



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 133 075.0**

(22) Anmeldetag: **14.12.2021**

(43) Offenlegungstag: **15.06.2023**

(51) Int Cl.: **C23C 18/16** (2006.01)

**C23C 2/38** (2006.01)

**C25D 7/04** (2006.01)

**B05D 7/22** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH, 88161  
Lindenberg, DE**

(74) Vertreter:  
**Lorenz Seidler Gossel Rechtsanwälte  
Patentanwälte Partnerschaft mbB, 80538  
München, DE**

(72) Erfinder:  
**Ostrop, Stefan, 88299 Leutkirch, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2016 223 561	A1
US	6 103 076	A
EP	3 540 093	B1
CN	2 08 485 953	U
CN	1 13 106 526	A
JP	2001- 335 994	A

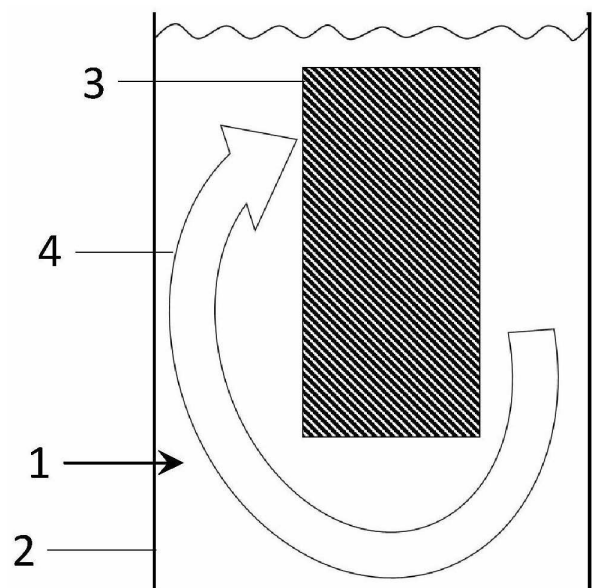
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Behandlung einer inneren Oberfläche eines Bauteils**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Behandlung, insbesondere Oberflächenveredelung, einer inneren Oberfläche eines Bauteils mittels eines Mediums, bei dem das zu behandelnde Bauteil zumindest teilweise innerhalb des Mediums platziert und eine Relativbewegung zwischen dem Bauteil und dem das Bauteil umgebenden Medium erzeugt wird. Erfindungsgemäß wird im Bereich einer mit der zu behandelnden inneren Oberfläche in fluidischer Verbindung stehenden Eintrittsöffnung des Bauteils ein Strömungsleiter angebracht, welcher einen Teil des sich relativ zum Bauteil bewegenden Mediums gezielt in die Eintrittsöffnung und damit zu der zu behandelnden inneren Oberfläche leitet. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Strömungsleiters einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Behandlung, insbesondere zur Veredelung, einer inneren Oberfläche eines Bauteils mittels eines Mediums, eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Strömungsleiters einer solchen Vorrichtung.

**[0002]** Das Anwendungsgebiet der vorliegenden Erfindung betrifft insbesondere Bauteile mit einer komplexen Innenstruktur wie z.B. Kanälen, Hinterschneidungen oder dergleichen, bei denen die Notwendigkeit besteht, eine innere Oberfläche mittels chemischer Prozesse zu verändern bzw. zu verbessern (Oberflächenveredelung).

**[0003]** Die Oberflächenveredelung ist ein fester Bestandteil in der Fertigung von funktionellen Bauteilen und befindet sich in einer stetigen Weiterentwicklung. Für die Oberflächenbehandlung von immer komplexer werdenden Geometrien werden zumeist rein chemische Prozesse bzw. außenstromlose Prozesse verwendet. Die Kinetik zur Bearbeitung der Oberflächen resultiert dabei aus der chemischen Reaktion zwischen dem Material des Werkstücks bzw. Bauteils und dem verwendeten Medium bzw. Reaktanden. Um die chemische Reaktion aufrechtzuerhalten, ist eine ständige Zuführung des flüssigen oder gasförmigen Mediums zu der zu bearbeitenden Oberfläche notwendig. Das Medium stellt in der unmittelbaren Nähe zur Bauteiloberfläche ein Verbrauchsmedium dar, sodass es zu einer Verarmung des Reaktanden kommt. Dies ist unabhängig davon der Fall, ob es sich hierbei um einen abtragenden oder beschichtenden Prozess handelt.

**[0004]** Um die Bearbeitung von Oberflächen mittels chemischer Prozesse bzw. die Oberflächenveredelung in inneren Strukturen von Bauteilen zu ermöglichen, wird im Stand der Technik meist eine zusätzliche Verfahrenstechnik in Form einer mechanischen Unterstützung verwendet. Hierbei muss gewährleistet sein, dass die initiierte Strömung des mit der Oberfläche reagierenden Mediums einheitlich und homogen an die zu bearbeitende Oberfläche, auch in den inneren Konturen, gelangt. In der Industrie sind u.a. folgende mechanische Unterstützungen zu chemischen Prozessen etabliert:

- Umwälzung des Mediums mittels einer oder mehrerer Pumpen, Rührwerke oder Gebläsen,
- Selektive bzw. zielgerichtete Anströmung des Bauteils oder Kanals mittels Düsen oder Pumpen,
- Beaufschlagung des Bauteils mit Vibrationen, besonders im Tauchverfahren,

- Anwendung von Ultraschall im Tauchverfahren,

- Warenträgerbewegungen in 2 oder 3 Dimensionen im Tauch- oder Dampf- bzw. Gasverfahren,

- Abdichtung des Bauteils / Kanals und/oder mehrmaliges Fluten und Entleeren mit Medium,

- Beaufschlagung von Über- oder Unterdruck im Prozessraum,

- Beaufschlagung von Über- oder Unterdruck in den Kanälen / Hohlräumen des Bauteils.

**[0005]** In der Industrie, besonders im Maschinenbau, zeichnet sich ein Trend ab, der zu immer kompakteren und komplexeren Bauteilen führt. Eine rasant wachsende Industriesparte, die dies explizit hervorhebt, ist der 3D-Druck. Die aktuellen Nachbehandlungsmethoden und deren Verfahrenstechniken für die Oberflächenbearbeitung in komplexen, innenliegenden Konturen stoßen hierbei schnell an fertigungstechnische Grenzen. Der Aufwand, eine ausreichende, homogene Strömung des Mediums auf bzw. entlang der gesamten zu behandelnden inneren Oberfläche zu gewährleisten, ist immens oder mit den aktuell etablierten Verfahrenstechniken schlichtweg nicht möglich.

**[0006]** Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, der chemischen Oberflächenbearbeitung eine Möglichkeit bereitzustellen, mit geringem Aufwand eine ständige Zuführung von Medium an Oberflächen von Bauteilen mit komplexen bis hochkomplexen innenliegenden Strukturen zu gewährleisten.

**[0007]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung.

**[0008]** Demnach wird ein Verfahren zur Behandlung, insbesondere Oberflächenveredelung, einer inneren Oberfläche eines Werkstücks bzw. Bauteils mittels eines Mediums vorgeschlagen, bei dem das zu behandelnde Bauteil zumindest teilweise innerhalb des Mediums platziert und eine Relativbewegung zwischen dem Bauteil und dem das Bauteil umgebenden Medium erzeugt wird.

**[0009]** Das Medium, insbesondere der Elektrolyt, kann gasförmig oder flüssig sein und fungiert insbesondere als Reaktand für die Oberflächenbehandlung bzw. Oberflächenveredelung.

**[0010]** Erfindungsgemäß wird im Bereich einer mit der zu behandelnden inneren Oberfläche in fluidi-

scher Verbindung stehenden Eintrittsöffnung des Bauteils ein Strömungsleiter angebracht, welcher einen Teil des sich relativ zum Bauteil bewegenden Mediums gezielt in die Eintrittsöffnung und damit zu der zu behandelnden inneren Oberfläche leitet.

**[0011]** Der im Bereich der Eintrittsöffnung zusätzlich vorgesehene Strömungsleiter initiiert bzw. verbessert die Strömung des Mediums in komplexen innenliegenden Strukturen des Bauteils. Der Strömungsleiter greift dabei einen Teil des Bauteils umgebenden Mediums ab und leitet es zielgerichtet in die innenliegende Struktur bzw. an die zu behandelnde innere Oberfläche. Dadurch kann die mit konventionellen Methoden nur schwer erreichbare innenliegende Oberfläche effektiv und konstant mit Medium versorgt werden. Somit kann insbesondere eine einheitliche Strömung des Mediums auf der gesamten Bauteiloberfläche erzielt und damit eine homogene chemische Oberflächenbearbeitung bzw. -veredelung ermöglicht werden.

**[0012]** Das Bauteil kann mehrere Eintrittsöffnungen aufweisen, denen jeweils mindestens ein Strömungsleiter zugewiesen ist. Pro Eintrittsöffnung können ein oder mehrere Strömungsleiter vorgesehen sein.

**[0013]** Die zu behandelnde Oberfläche ist vorzugsweise Teil einer komplexen inneren Struktur wie z.B. einer Hinterschneidung, eines Kanals, einer Abzweigung etc.

**[0014]** Die Relativbewegung zwischen Medium und Bauteil kann durch eine Bewegung des Bauteils (beispielsweise durch eine translative, rotatorische und/oder schwenkende Bewegung), eine Bewegung des Mediums (beispielsweise mittels Düsen und/oder Pumpen) oder eine Kombination davon erzeugt werden.

**[0015]** Die Eintrittsöffnung kann eine beliebige Form aufweisen und in einen Kanal oder Hohlraum münden oder selbst Teil einer Aussparung bzw. eines Hohlraums sein. Das in die Eintrittsöffnung eintretende Medium kann durch eine oder mehrere Austrittsöffnungen des Bauteils wieder aus diesem austreten oder aber das Medium bewegt sich innerhalb der Eintrittsöffnung und tritt aus dieser wieder aus (beispielsweise, wenn es sich bei der Eintrittsöffnung um die Öffnung einer Aussparung bzw. eines Hohlraums handelt).

**[0016]** Das Merkmal, dass der Strömungsleiter im Bereich der Eintrittsöffnung angeordnet ist, ist breit auszulegen und kann bedeuten, dass der Strömungsleiter vollständig innerhalb der Eintrittsöffnung (d.h. innerhalb des Bauteils) angeordnet ist, vollständig außerhalb der Austrittsöffnung (d.h. außerhalb des Bauteils) angeordnet ist oder durch die Eintritts-

öffnung hindurchragt (d.h. teilweise sowohl innerhalb als auch außerhalb des Bauteils angeordnet ist).

**[0017]** Die Behandlung der innenliegenden Oberfläche kann das Aufbringen oder Entfernen einer Schicht umfassen und kann der Verbesserung mindestens einer funktionalen und/oder dekorativen Eigenschaft der Oberfläche dienen. Im Falle des Aufbringens einer Schicht kann es sich um einen metallischen, keramischen, amorphen und/oder organischen Überzug handeln.

**[0018]** Ferner kann die Oberflächenbehandlung mehrere hintereinander erfolgende Behandlungsschritte umfassen, welche auch einen konsekutiven Einsatz verschiedener Medien umfassen kann. Die Behandlung kann insbesondere eine Kombination der im vorherigen Absatz genannten Prozesse bzw. Schritte umfassen, beispielsweise das Aufbringen mehrerer unterschiedlicher Schichten übereinander oder das Entfernen einer oder mehrerer Schichten und das anschließende Aufbringen einer oder mehrerer Schichten.

**[0019]** Bei der genannten Eintrittsöffnung kann es sich um eine einzelne, zusammenhängende Öffnung oder auch um mehrere separate Öffnungen handeln. So ist es beispielsweise denkbar, dass ein Strömungsleiter im Bereich mehrerer einzelner Eintrittsöffnungen angeordnet ist und die Strömung des Mediums gezielt durch diese Öffnungen leitet. Diese Öffnungen im Bereich des Strömungsleiters können zusammengefasst auch als „Eintrittsöffnung“ verstanden werden.

**[0020]** In einer möglichen Ausführungsform vorgesehen, dass das Bauteil innerhalb des Mediums aktiv bewegt wird und sich der Strömungsleiter mit dem Bauteil mitbewegt. Vorzugsweise wird das Bauteil innerhalb des Mediums aktiv rotiert, wobei der Strömungsleiter mit dem Bauteil mitrotiert. Durch die aktive Bewegung des Bauteils und damit auch des Strömungsleiters, greift letzterer Medium ab und leitet dieses zielgerichtet zur zugeordneten Eintrittsöffnung.

**[0021]** Das Medium, das das Bauteil umgibt, muss somit nicht unbedingt aktiv selbst bewegt werden, um es zu der mindestens einen bzw. durch die mindestens eine Eintrittsöffnung zu befördern. Selbstverständlich ist es aber zusätzlich möglich, auch das Medium aktiv zu bewegen, beispielsweise mittels einer Pumpe, einer Düse oder anderweitig bewegten Elementen.

**[0022]** In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist wenigstens ein Strömungsleiter in Form einer Schaufel vorgesehen, welche im Bereich einer Eintrittsöffnung des Bauteils nach außen ragt. Die Schaufel leitet das Medium zielgerichtet zur Eintritts-

öffnung. Hierfür ist die Schaufel insbesondere speziell geformt, sodass Medium effektiv abgegriffen und gezielt geführt werden kann. Insbesondere kann die Schaufel mindestens einen gekrümmten und/oder geknickten Bereich aufweisen. Die Schaufel kann auch insgesamt, d.h. im Wesentlichen durchgängig gekrümmt sein, wobei die Krümmung das Medium zur Eintrittsöffnung leitet. Im einfachsten Fall könnte aber auch ein flaches, nach außen ragendes Element vorgesehen sein, um das Medium abzugreifen.

**[0023]** Idealerweise weist die Schaufel eine speziell auf das Bauteil und/oder die Eintrittsöffnung angepasste Geometrie auf. Diese kann beispielsweise durch Simulation und/oder experimentell bestimmt werden. Ein mögliches Verfahren hierzu wird weiter unten beschrieben.

**[0024]** In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Strömungsleiter einen trichterförmigen und/oder schalenförmigen Aufbau aufweist. Dadurch ergibt sich eine effektive Aufnahme und Führung von Medium hin zur Eintrittsöffnung.

**[0025]** Alternativ oder zusätzlich kann der Strömungsleiter mindestens eine Oberflächenstruktur an einer der Eintrittsöffnung zugewandten Oberfläche aufweisen. Bei dieser Oberflächenstruktur kann es sich um eine Rippe bzw. einen Steg handeln. Selbstverständlich sind Kombinationen verschiedener Oberflächenstrukturen denkbar, je nach Art und Form des Bauteils bzw. der Eintrittsöffnung. Beispielsweise könnte die Eintrittsöffnung mehrere kleine Öffnungen umfassen, welche durch Rippen bzw. Stege des Strömungsleiters voneinander getrennt sind. Dadurch wird das Medium aufgeteilt und gezielt zu den einzelnen Öffnungen geführt.

**[0026]** In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Strömungsleiter zumindest teilweise an einer Außenseite des Bauteils im Bereich der Eintrittsöffnung anliegt. Der Strömungsleiter schließt sich also zumindest teilweise direkt an eine Oberfläche bzw. Außenseite des Bauteils an, sodass das Medium effektiv zur Eintrittsöffnung geführt werden kann.

**[0027]** In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist wenigstens ein Strömungsleiter vorgesehen, welcher sich zumindest teilweise innerhalb einer Eintrittsöffnung befindet, wobei der Strömungsleiter vorzugsweise wenigstens einen gekrümmten und/oder abgelenkten Bereich bzw. Abschnitt aufweist.

**[0028]** Ein derartiger Strömungsleiter kann die Strömung des Mediums innerhalb der Eintrittsöffnung initiieren und somit beispielsweise das Medium zielgerichtet in innenliegende komplexe Strukturen führen

oder dafür sorgen, dass das Medium bestimmte innere Bereiche auch wirklich erreicht und diese konstant mit „frischem“ Medium versorgt werden. Der Strömungsleiter kann so geformt sein, dass er dem Medium eine bestimmte Bewegung bzw. Strömungsrichtung aufprägt, beispielsweise das Medium gezielt in eine Rotation oder Verwirbelung versetzt.

**[0029]** Insbesondere wenn es sich bei der besagten Eintrittsöffnung nicht um die Öffnung eines Kanals, sondern um die Öffnung einer Aussparung bzw. einer Kavität handelt, kann die Anordnung eines speziell geformten Strömungsleiters innerhalb dieser Aussparung bzw. Kavität vorteilhaft sein, um das Medium darin zielgerichtet führen zu können und alle inneren Oberflächen zu erreichen.

**[0030]** Selbstverständlich ist auch eine Kombination dergestalt denkbar, dass ein Strömungsleiter sowohl außerhalb des Bauteils vorgesehen ist, beispielsweise als Schaufel geformt wie oben beschrieben, und damit das Medium von außen zur Eintrittsöffnung führt, und sich derselbe Strömungsleiter gleichzeitig durch die Eintrittsöffnung in das Innere des Bauteils erstreckt und dort mit Hilfe einer bestimmten Geometrie das Strömungsverhalten des Mediums in der entsprechenden Ausnehmung bzw. Kavität beeinflusst.

**[0031]** In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Strömungsleiter nicht direkt mit dem Bauteil verbunden ist, sondern über eine Haltevorrichtung relativ zum Bauteil in Position gehalten wird. Der Strömungsleiter ist also kein Bestandteil des Bauteils, sondern ein externes Element, welches lediglich zur Verbesserung der Heranführung des Mediums sowie von dessen Strömungsverhalten vorgesehen ist.

**[0032]** Das Bauteil wird dabei vorzugsweise in einer Bauteilaufnahme gehalten, mit der die Haltevorrichtung fest oder beweglich verbunden ist. Der Strömungsleiter kann also entweder fester Bestandteil der Bauteilaufnahme und beispielsweise in einem Stück mit dieser verbunden sein, oder ein separates Element darstellen, welches relativ zur Bauteilaufnahme bewegbar und dessen Position beispielsweise einstellbar ist. In letzterem Fall kann die Positionierung des Strömungsleiters flexibel an die Geometrie des Bauteils bzw. der Eintrittsöffnung angepasst werden.

**[0033]** In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass wenigstens ein innerer Strömungsleiter vollständig innerhalb des Bauteils in einem mit einer Eintrittsöffnung verbundenen Kanal oder Hohlraum vorgesehen ist. Ein solcher innerer Strömungsleiter wird nicht von außen gehalten, sondern ist in dem Bauteil integriert und beeinflusst eine Strömung des Mediums im Inneren, bei-

spielsweise direkt innerhalb einer komplexen inneren Struktur. Dadurch kann Einfluss auf die Verteilung und Strömung des Mediums in Bereichen innerhalb des Bauteils genommen werden, an die von außen herangeführte Elemente nicht oder nicht ohne Weiteres herankommen würden. Selbst in sehr komplexen inneren Strukturen kann damit die Strömung des Mediums gezielt beeinflusst werden, sodass die zu behandelnden inneren Oberflächen effektiv und konstant vom Medium erreicht werden.

**[0034]** Der innere Strömungsleiter kann in einem Stück mit dem Bauteil ausgebildet sein und beispielsweise zusammen mit diesem hergestellt werden. Dies bietet sich vor allem dann an, wenn das Bauteil mit einem 3D-Druckverfahren hergestellt wird. Dabei können die inneren Strömungsleiter gleich mitgeplant und mitgedruckt werden. Hierbei kann vorgesehen sein, dass diese inneren Strömungsleiter auch nach der Oberflächenveredelung innerhalb des Bauteils verbleiben und eine bestimmte Funktion im normalen Betrieb des Bauteils übernehmen. Hierbei könnte bereits von vornherein berücksichtigt werden, dass ein innerer Strömungsleiter in einem später von einem Fluid durchströmten Bereich des Bauteils vorgesehen wird und auch im späteren Betrieb den entsprechenden Fluidfluss beeinflusst, beispielsweise um Fluid um eine Ecke bzw. in einen abzweigenden Kanal zu leiten. Die inneren Strömungsleiter könnten allerdings auch während und/oder nach dem Oberflächenbehandlungsprozess aus dem Bauteil entfernt werden.

**[0035]** Alternativ kann der mindestens eine innere Strömungsleiter ein separates Element darstellen, welches mit dem Bauteil verbunden wird. Der mindestens eine Strömungsleiter wird in diesem Fall nach der Herstellung des Bauteils zu diesem hinzugefügt und mit diesem verbunden.

**[0036]** Auch eine Kombination von mindestens an einem Stück mit dem Bauteil ausgebildeten inneren Strömungsleiter und mindestens einem separaten, mit dem Bauteil verbundenen inneren Strömungsleiter ist möglich.

**[0037]** Die vorliegende Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Vorrichtung umfasst demnach eine Bauteilaufnahme zum Halten eines Bauteils mit einer zu behandelnden inneren Oberfläche innerhalb eines Mediums sowie wenigstens einen über eine Haltevorrichtung mit der Bauteilaufnahme fest oder beweglich verbundenen Strömungsleiter, welcher im Bereich einer mit der inneren Oberfläche in fluidischer Verbindung stehenden Eintrittsöffnung des Bauteils platzierbar ist. Der Strömungsleiter ist derart ausgebildet, dass er bei einer Relativbewegung zwischen dem Bauteil und dem umgebenden

Medium einen Teil des Mediums gezielt in die Eintrittsöffnung leitet.

**[0038]** Die Bauteilaufnahme, die Haltevorrichtung und/oder der Strömungsleiter können gemäß einer der zuvor in Bezug auf das Verfahren beschriebenen Ausführungsformen ausgebildet sein.

**[0039]** Dabei ergeben sich offensichtlich dieselben Vorteile und Eigenschaften wie für das erfindungsgemäße Verfahren, weshalb an dieser Stelle auf eine wiederholende Beschreibung verzichtet wird.

**[0040]** In einer möglichen Ausführungsform ist es vorgesehen, dass die Vorrichtung einen Antrieb zum Bewegen, insbesondere zum rotatorischen Bewegen, der Bauteilaufnahme relativ zum Medium umfasst. Die Rotation erfolgt vorzugsweise um eine im Wesentlichen vertikale Achse, wobei selbstverständlich auch eine Rotation um eine im Wesentlichen horizontale oder um eine schräggestehende Achse denkbar ist.

**[0041]** In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Vorrichtung einen, die Bauteilaufnahme und/oder das durch die Bauteilaufnahme gehaltene Bauteil, umgebenden Behälter umfasst, welcher mit Medium befüllbar ist. Der Behälter kann einen Einlass sowie einen Auslass für das Medium umfassen.

**[0042]** Bei Verwendung eines gasförmigen Mediums, kann die Vorrichtung bzw. können Bauteilaufnahme und Bauteil vollständig innerhalb des Behälters angeordnet sein. Bei Verwendung eines flüssigen Mediums kann der Behälter teilweise offen, insbesondere nach oben offen, sein.

**[0043]** Innerhalb des Behälters können eine oder mehrere der folgenden Komponenten vorgesehen sein: eine Pumpe, eine Düse, eine Mischvorrichtung, eine Heizvorrichtung, eine Kühlvorrichtung, ein Sensor (beispielsweise ein Temperatursensor, ein Strömungssensor oder ein Drucksensor).

**[0044]** In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Strömungsleiter der Vorrichtung gemäß einem der oben beschriebenen Ausführungsbeispiele ausgebildet ist.

**[0045]** Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin Verfahren zur Herstellung eines Strömungsleiters einer erfindungsgemäßen Vorrichtung. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

a) Bereitstellen oder Simulieren eines Bauteils mit einer zu behandelnden inneren Oberfläche innerhalb eines Mediums. Das Bauteil weist insbesondere eine komplexe innere Struktur auf, die durch Kontakt mit dem Medium hinsichtlich

mindestens einer Eigenschaft verändert werden soll.

b) Analysieren, durch physisches Erzeugen einer Relativbewegung zwischen Bauteil und Medium und/oder durch Simulation, wenigstens eines Strömungsparameters des Mediums im Bereich einer Eintrittsöffnung und/oder im Bereich eines mit der Eintrittsöffnung fluidisch verbundenen Kanals oder Hohlraums des Bauteils und/oder wenigstens eines Oberflächenparameters der zu behandelnden inneren Oberfläche.

c) Bereitstellen oder Simulieren eines Strömungsleiterentwurfs (falls dieser tatsächlich physisch bereitgestellt wird, könnte man auch von einem Strömungsleiter-Prototypen sprechen) im Bereich der Eintrittsöffnung und erneutes Analysieren des wenigstens einen Strömungsparameters und/oder des wenigstens einen Oberflächenparameters. Bei einer korrekt entworfenen Strömungsleitergeometrie und -platzierung sollten sich die genannten Parameter verbessern, da nun eine zielgerichtete Strömung des Mediums zur / in die Eintrittsöffnung erfolgt und dadurch idealerweise ein konstanter Strom von Medium an der zu behandelnden inneren Oberfläche bereitgestellt wird.

d) Entwerfen und Herstellen, insbesondere mittels eines 3D-Druckverfahrens, eines Strömungsleiters mit einer Form, für die der wenigstens eine Strömungsparameter und/oder der wenigstens eine Oberflächenparameter optimiert wird. Dabei kann es sich jeweils um eine Erhöhung oder eine Verringerung des entsprechenden Parameterwerts (z.B. die Erhöhung einer Strömungsgeschwindigkeit) handeln.

**[0046]** Die Überprüfung der Wirkung des Strömungsleiters kann virtuell oder anhand von gefertigten Modellen und experimentellen Tests (oder einer Kombination davon) erfolgen.

**[0047]** Teil des zuvor genannten Prozesses kann eine Identifizierung einer optimalen Ausrichtung des Bauteils im Medium (bzw. in einem Warenfenster), beispielsweise im Hinblick auf Luftblasenbildung, Medium-Anströmungsverhalten, Medium-Verschleppung oder dergleichen, und/oder eine Identifizierung von kritischen Bauteilmerkmalen, die eine einheitliche Anströmung der zu bearbeitenden Oberfläche behindern, sein. Wiederum kann dies virtuell per Simulation, experimentell oder beides erfolgen.

**[0048]** In einer möglichen Ausführungsform ist es vorgesehen, dass der wenigstens eine Strömungsparameter einen Volumenstrom des Mediums durch die Eintrittsöffnung und/oder einen Volumenstrom des Mediums innerhalb des Bauteils, insbesondere

in einem mit der Eintrittsöffnung fluidisch verbundenen Kanal oder Hohlraum, betrifft. Durch den Strömungsleiter sollte sich der Volumenstrom durch die Eintrittsöffnung (oder, bei einem innenliegenden Strömungsleiter, innerhalb der Eintrittsöffnung oder einem Kanal / Hohlraum) erhöhen.

**[0049]** In einer möglichen Ausführungsform ist es vorgesehen, dass der wenigstens eine Oberflächenparameter eine durch eine insbesondere chemische Reaktion des Mediums mit der zu behandelnden inneren Oberfläche zu verändernde Eigenschaft der inneren Oberfläche betrifft. Durch den wenigstens einen Strömungsleiter sollte sich die Qualität der Oberflächenbehandlung bzw. -veredelung erhöhen, da beispielsweise mehr Medium pro Zeiteinheit und/oder eine konstantere Zufuhr von Medium an der zu behandelnden inneren Oberfläche bereitgestellt wird.

**[0050]** In einer weiteren möglichen Ausführungsform ist vorgesehen, dass einer oder mehrere der folgenden Parameter bzw. Prozesse derart angepasst wird, dass der wenigstens eine Strömungsparameter und/oder der wenigstens eine Oberflächenparameter optimiert wird: eine Platzierung oder Orientierung des Strömungsleiters im Bereich der Eintrittsöffnung, ein Bewegungsparameter, insbesondere eine Rotationsgeschwindigkeit, das Bauteils innerhalb des Mediums, eine Ausrichtung des Bauteils innerhalb des Mediums bzw. eines Warenfensters.

**[0051]** Für die Konstruktion bzw. Herstellung des Strömungsleiters können konventionelle Verfahren oder ein 3D-Druckverfahren zum Einsatz kommen.

**[0052]** Ferner ist eine modulare Ausgestaltung der Vorrichtung denkbar, bei der beispielsweise mehrere unterschiedlich geformte Strömungsleiter vorgehalten werden, die nach Bedarf und abhängig von der Geometrie des Bauteils über entsprechende Verbindungselemente mit der Haltevorrichtung verbunden werden können. Für das jeweilige Bauteil bzw. die jeweilige Eintrittsöffnung wird der passende Strömungsleiter ausgewählt (oder neu gefertigt) und dann mit der Haltevorrichtung verbunden. Hierbei wäre eine gewisse Beweglichkeit der Haltevorrichtung oder der Strömungsleiter vorteilhaft, um die Strömungsleiter optimal relativ zum Bauteil platzieren zu können. Hierzu kann beispielsweise die Haltevorrichtung entsprechende Bewegungsfreiheitsgrade (die idealerweise für den Behandlungsprozess fixiert bzw. verriegelt werden können) aufweisen, z.B. eine oder mehrere Schwenkachsen, einen Teleskopauszug oder dergleichen.

**[0053]** Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgend

anhand der Figuren erläuterten Ausführungsbeispielen. Es zeigen:

**Fig. 1:** ein Beispiel für ein Warenfenster innerhalb eines flüssigen Mediums in einer schematischen Seitenansicht;

**Fig. 2:** ein Beispiel für ein Warenfenster innerhalb eines gasförmigen Mediums in einer schematischen Seitenansicht;

**Fig. 3:** ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit gehaltenem Bauteil in einer schematischen Seitenansicht;

**Fig. 4a-c:** vergrößerte perspektivische Ansichten des Strömungsleiters der Vorrichtung gemäß **Fig. 3**;

**Fig. 5:** ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen modularen Vorrichtung mit gehaltenem Bauteil und modular angesetzten Strömungsleiter in einer perspektivischen Seitenansicht;

**Fig. 6:** eine vergrößerte perspektivische Ansicht des Strömungsleiters der Vorrichtung gemäß **Fig. 5**;

**Fig. 7a-c:** perspektivische Ansichten eines weiteren modularen Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

**Fig. 8a-c:** vergrößerte Ansichten von Strömungsleitern der Vorrichtung gemäß **Fig. 7a-c**;

**Fig. 9:** ein Ausführungsbeispiel eines Bauteils mit inneren Strömungsleitern in einer seitlichen Schnittansicht;

**Fig. 10:** einen beispielhaften Ablauf des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens;

**Fig. 11:** ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem innerhalb eines Warenfensters rotierten Bauteil und einem flüssigen Medium in einer schematischen Seitenansicht; und

**Fig. 12:** ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit innerhalb eines Warenfensters rotierten Bauteilen und einem gasförmigen Medium in einer schematischen seitlichen Schnittansicht.

**[0054]** Die **Fig. 1** und **Fig. 2** zeigen beispielhaft und lediglich schematisch zwei Vorrichtungen zur Oberflächenbehandlung von Bauteilen 10 (hier nicht gezeigt), welche in einem „Warenfenster“ genannten Bereich 3 innerhalb eines Behälters 2 angeordnet werden können. Der Behälter 2 ist mit einem Reaktanden bzw. Medium 1 geflutet, welches mindestens über eine chemische Reaktion mit Oberflächen der innerhalb des Warenfensters 3 platzierten Bauteile 10 eine gewünschte Veränderung besagter Oberflächen bewirkt (Oberflächenveredelung).

**[0055]** In der **Fig. 1** ist eine Variante mit einem flüssigen Medium, beispielsweise einem Elektrolyten, gezeigt. Die Bauteile 10 werden von oben in den an der Oberseite offenen Behälter 2 eingeführt und ins Medium 1 eingetaucht. Dort werden können sie beispielsweise um eine vertikale Achse rotiert werden, um den Kontakt der zu behandelnden Oberflächen mit frischem (d.h. nicht durch die chemische Reaktion verbrauchtem) Medium 1 zu verbessern. Auch das Medium 1 selbst kann aktiv in eine Umwälzbewegung (hier schematisch durch den Pfeil 4 angedeutet) versetzt werden, beispielsweise über eine oder mehrere Pumpen und/oder Rührwerke.

**[0056]** Die **Fig. 2** zeigt eine Variante mit einem gasförmigen Medium 1. Hierzu weist der Behälter 2 einen Gaseinlass 5 sowie einen Gasauslass 6 auf. Unterhalb des Warenfensters 3 kann sich, wie hier gezeigt, ein Substrat 8 befinden, welches über eine Heizvorrichtung 7 verdampft wird. Das gasförmige Substrat 9 mischt sich mit dem in den Behälter 2 eingeführten Gas (beispielsweise ein Trägergas) und bildet so das Medium 1 für die Oberflächenbehandlung. Auch das gasförmige Medium 1 kann optional in Bewegung versetzt werden (nicht gezeigt), beispielsweise mittels Düsen.

**[0057]** Selbst wenn das Medium 1 aktiv in Bewegung versetzt wird, kann es bei Bauteilen 10 mit komplexen inneren Strukturen wie z.B. verzweigten Kanälen, Hinterschneidungen oder etlichen das Medium 1 behindernden Strukturen dazu kommen, dass nicht alle fluidführenden inneren Oberflächen ausreichen oder konstant mit frischem Medium 1 versorgt werden, was die Oberflächenveredelung dieser inneren Oberflächen negativ beeinflusst (oder gar verhindert).

**[0058]** Zur Lösung dieses Problems setzt die vorliegende Erfindung auf die aktive Erzeugung einer Relativbewegung zwischen dem zu behandelnden Bauteil 10 und dem umgebenden Medium 1, insbesondere durch eine Bewegung des Bauteils 10, sowie den Einsatz spezieller Leitbleche bzw. Strömungsleiter 20, 22 in den Bereichen von Eintrittsöffnungen 12, um das Medium 1 abzugreifen und zielgerichtet in die Eintrittsöffnungen 12 und dadurch zu den innenliegenden Strukturen und Oberflächen des Bauteils 10 zu führen.

**[0059]** In der **Fig. 3** ist ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Behandlung von inneren Oberflächen eines Bauteils 10 in einer schematischen Seitenansicht gezeigt, wobei der umgebende Behälter 2 mit dem Medium 1 ausgeblendet ist.

**[0060]** Gezeigt ist ein Bauteil 10 mit einer komplexen inneren Struktur in Form von mehrfach abknickenden bzw. abgewinkelten und sich verzweigenden Kanälen. Das Bauteil 10 weist drei Öffnungen auf,

die je nach Funktion des Bauteils 10 jeweils als Eintritts- und/oder Austrittsöffnungen für ein Fluid (gas- oder wasserförmig) dienen können.

**[0061]** Zum Zwecke der Veredelung der inneren Oberflächen der Kanäle des Bauteils 10 dient eine der Öffnungen (hier die Öffnung unten rechts) als Eintrittsöffnung 12 für das Medium 1, d.h. als Öffnung, in die zielgerichtet Medium 50 geleitet werden soll, damit das Medium 1 die Kanäle durchströmt und mit allen inneren Oberflächen der Kanäle zum Zwecke der Oberflächenveredelung in Kontakt kommt.

**[0062]** Selbstverständlich könnte eine andere der drei Öffnungen oder gar mehrere der Öffnungen als „Eintrittsöffnung“ i.S.d. Erfindung, also für das Einleiten von Medium 1 in die Kanäle, dienen.

**[0063]** Das Bauteil 10 wird durch eine Bauteilaufnahme 40 gehalten. Vorliegend ist der Begriff Bauteilaufnahme breit auszulegen und ist nicht auf ein das Bauteil 10 tatsächlich greifendes Element beschränkt. Vielmehr kann jeder Bereich, jedes Element, jede Vorrichtung, in der das Bauteil gehalten, gegriffen, gelagert etc. wird, als Bauteilaufnahme 40 aufgefasst werden.

**[0064]** Im vorliegenden Beispiel der **Fig. 3** ist das Bauteil 10 in der Bauteilaufnahme 40 aufgehängt und in das Medium 1 eingetaucht (nicht gezeigt). Mit der Bauteilaufnahme 40 ist eine Haltevorrichtung 30 verbunden, an deren Ende ein Strömungsleiter 20 angeordnet ist. Der Strömungsleiter 20 wird durch die Haltevorrichtung 30 direkt neben der Eintrittsöffnung 12 gehalten.

**[0065]** Zweckmäßigerweise gibt es keine feste Verbindung zwischen dem Strömungsleiter 20 und dem Bauteil 10, d.h. der Strömungsleiter 20 wird durch die Haltevorrichtung 30 neben der Eintrittsöffnung 12 positioniert und der Strömungsleiter 20 ragt zum Teil in die Eintrittsöffnung 12 hinein, wie in **Fig. 4a** näher zu sehen ist. Gegebenenfalls kann die Haltevorrichtung 30 den Strömungsleiter 20 mit einer gewissen Kraft gegen die Außenseite des Bauteils 10 drücken, um eine abdichtende Wirkung an den Kontaktbereichen zu erzeugen. Dies kann entweder durch die Form des Halteelements 30 (und/oder des Strömungsleiters 20) erreicht werden. Auch der Einsatz eines Federelements ist denkbar, der die Haltevorrichtung 30 oder den Strömungsleiter 20 in Richtung Bauteil 10 drückt.

**[0066]** Prinzipiell ist jedoch ebenfalls vorstellbar, dass der Strömungsleiter 20 durch Verbindungsmittel für den Behandlungsprozess temporär (d.h. lösbar) mit dem Bauteil 10 verbindbar ist.

**[0067]** In dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel weist der Strömungsleiter 20 die Form einer trichter-

förmigen Schaufel auf, welche auf den Bereich der Eintrittsöffnung 12 (bzw. zur Eintrittsöffnung 12 hin) zuläuft bzw. sich verengt. Der Strömungsleiter 20 weist eine komplexe geometrische, dreidimensionale Form auf.

**[0068]** Die **Fig. 4a-c** zeigen drei unterschiedliche perspektivische Ansichten des Strömungsleiters 20 der **Fig. 3** aus verschiedenen Blickwinkeln.

**[0069]** Der Strömungsleiter 20 ist gekrümmt und verengt sich von einer vom Bauteil 10 weggerichteten Öffnung bzw. Einlass hin zu einem die Eintrittsöffnung 12 des Bauteils 10 umgebenden Auslass. Der Auslass des Strömungsleiters 20 endet in der Eintrittsöffnung 12 des Bauteils 10 und gibt somit ausreichenden Halt für die entstehenden Querbelastrungen zum Abgreifen des Mediums 50. Die in der Eintrittsöffnung gehaltene Positionierung des Strömungsleiters 20 ermöglicht es, dass mittels des Einlasses des Strömungsleiters 20 eintretendes Medium 1 durch dessen Auslass in die Eintrittsöffnung 12 des Bauteils 10 strömt.

**[0070]** Mittels eines nicht gezeigten Antriebs wird die Bauteilaufnahme 40 und damit auch das darin gehaltene Bauteil 10 um eine vertikale Achse rotiert (vgl. gestrichelten Pfeil in der **Fig. 3**), sodass sich das Bauteil 10 innerhalb des Mediums 1 dreht. Der rotationsstarr mit der Haltevorrichtung 40 verbundene Strömungsleiter 20 dreht sich daher mit dem Bauteil 10 mit und greift aufgrund seiner Form Medium 1 ab, welches durch die nichtlineare Geometrie des Strömungsleiters 20 so zur Eintrittsöffnung 12 geleitet wird.

**[0071]** Das durch die Eintrittsöffnung 12 einströmende Medium 1 strömt weiter durch die inneren Kanäle des Bauteils 10 und erreicht dadurch nicht nur sämtliche inneren Oberflächen, sondern es findet auch ein stetiger Austausch bzw. eine konstante Erneuerung von Medium 1 innerhalb des Bauteils 10 statt. Das Medium 1 kann durch die beiden anderen Öffnungen wieder nach außen entweichen.

**[0072]** In der **Fig. 5** ist ein zweites Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem anderen Bauteil 10 und einem unterschiedlich geformten Strömungsleiter 20 gezeigt. Das Bauteil 10 weist ein Gehäuse mit einer komplexen inneren Struktur und mehreren Öffnungen auf. Der Strömungsleiter 20 ist wiederum über eine Haltevorrichtung 30 mit der rotierbaren Bauteilaufnahme 40 verbunden, wobei in diesem Ausführungsbeispiel die Haltevorrichtung 30 entlang der Längsachse der Bauteilaufnahme 40 (bzw. entlang einer Führungsstange der Bauteilaufnahme 40) verschiebbar gelagert ist, um die Position des Strömungsleiters 20 relativ zum Bauteil 10 verändern zu können. Vorzugweise kann die Haltevorrichtung 30 in der gewünsch-



ten Position an der Bauteilaufnahme 40 fixiert bzw. verriegelt werden.

**[0073]** Der Strömungsleiter 20 weist eine halbschaufelförmige bzw. muschelförmige Geometrie auf und befindet sich an der Außenseite des Bauteils 10 im Bereich einer Eintrittsöffnung 12, die drei kleinere und voneinander getrennte Öffnungen 13 umfasst. Der Strömungsleiter 20 und die drei Öffnungen 13 sind in der **Fig. 6** vergrößert dargestellt. An der zu den Öffnungen 13 weisenden Innenseite weist der Strömungsleiter 20 geschwungene Stege bzw. Rippen 21 auf, die sich von der rundtorförmigen Öffnung des Strömungsleiters 20 zu den zwischen den Öffnungen 13 liegenden Bereichen der Außenseite des Bauteils 10 erstrecken. Die Rippen 21 leiten zusammen mit der gekrümmten Schaufel-Form des Strömungsleiters 20 das abgegriffene Medium 1 zielgerichtet zu den jeweiligen Öffnungen. Die entsprechenden Mediumströme sind in der **Fig. 6** durch gestrichelte Pfeile 50 angedeutet.

**[0074]** Die **Fig. 7a-b** zeigen ein drittes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei hier mehrere Halterahmen 46 vorgesehen sind, die entlang einer Haltestange 44 mit rechteckigem Querschnitt übereinander angeordnet sind und jeweils zwei einander gegenüberliegende Bauteilaufnahmen 40 aufweisen, in denen jeweils ein Bauteil 10 (vgl. **Fig. 7b**) ablegbar bzw. befestigbar ist. Die Bauteilaufnahmen 40 sind hier also durch ganze Aufnahmebereiche der Halterahmen 46 gebildet.

**[0075]** Die **Fig. 7b** zeigt die Vorrichtung gemäß **Fig. 7a** in einer Explosionsdarstellung. Die Haltestange 44 weist am unteren Ende einen Fuß 45 auf, auf dem der unterste Halterahmen 46 aufliegt. Darüber befindet sich ein mittlerer Halterahmen 46, der im Vergleich zum unteren Halterahmen 46 um 90° gedreht ist. Darüber befindet sich ein wiederum um 90° im Vergleich zum mittleren Halterahmen 46 gedrehter oberer Halterahmen 46. Am oberen Ende ist die Haltestange 44 über einen Verbindungsbereich in einer Halterung 42 befestigt, welche mittels eines nicht gezeigten Antriebs in rotatorische Bewegung versetzt werden kann, um die Haltestange 44 samt Halterahmen 46 und Bauteilen 10 innerhalb des Mediums 1 (nicht gezeigt) zu rotieren.

**[0076]** Im Bereich jeder Bauteilaufnahme 40 ist jeweils ein schaufelförmiger Strömungsleiter 20 angeordnet, welcher einer Eintrittsöffnung 12 des in der Bauteilaufnahme 40 aufzunehmenden Bauteils 10 zugeordnet ist. Der den Strömungsleiter 20 tragende Steg des Halterahmens 46 kann als Haltevorrichtung 30 angesehen werden, welcher den Strömungsleiter 20 mit der Bauteilaufnahme 40 verbindet. Darüber hinaus weist jede Bauteilaufnahme 40 in einem unteren Bereich einen weiteren Strömungsleiter 22 auf, welcher einer Ausnehmung

an der Unterseite der Bauteile 10 zugeordnet ist und im befestigten Zustand in diese hineinragt.

**[0077]** Die **Fig. 8a** zeigt den Bereich eines schaufelförmigen Strömungsleiters 20 zusammen mit dem zugehörigen Bauteil 10. Auch hier ist die durch die gekrümmte, trichterförmige Form des Strömungsleiters 20 bewirkte Strömung des Mediums 1 mit einem gestrichelten Pfeil 50 angedeutet.

**[0078]** Die **Fig. 8b** zeigt einen Schnitt durch ein Bauteil 10 und den Halterahmen 46 im Bereich des weiteren Strömungsleiters 22. In der **Fig. 8c** ist schließlich eine Bauteilaufnahme 40 eines der Halterahmen 46 in einer perspektivischen Ansicht gezeigt.

**[0079]** Man erkennt in den **Fig. 8b-c** den weiteren Strömungsleiter 22, der durch eine Eintrittsöffnung 12 im Boden des Bauteils 10 in eine Ausnehmung ragt. Der Strömungsleiter 22 weist zwei sich kreuzende bzw. um 90° zueinander gedrehte und jeweils gekrümmte Schaufeln auf. Medium 1, das durch die Eintrittsöffnung 12 und zwischen den Schaufeln des Strömungsleiters 22 in die Ausnehmung strömt (vgl. Pfeil 50 in der **Fig. 8b**), wird durch die gekrümmte, spiralförmige Form des Strömungsleiters 22 eine Rotation aufgeprägt, die dazu führt, dass sich das Medium 1 in der Ausnehmung effektiv verteilt und alle Bereiche der inneren, zu behandelnden Oberfläche erreicht und umspült.

**[0080]** Die Form und Anzahl der Halterahmen 46, der Strömungsleiter 20, 22 und der Bauteilaufnahmen 40 kann selbstverständlich variiert werden und hängt von dem zu behandelnden Bauteil 10 und den identifizierten kritischen Bereichen desselben ab. Durch die auf die Haltestange 44 aufsteckbaren Halterahmen 46 ist das gesamte System skalierbar.

**[0081]** Die Halterahmen 46 können - zusammen mit den entsprechenden Strömungsleitern 20, 22 - durch ein 3D-Druckverfahren hergestellt sein.

**[0082]** Zusätzlich zu den bisher gezeigten, außen am Bauteil 10 angebrachten Strömungsleitern 20, 22 können innerhalb des Bauteils 10, insbesondere im Bereich der komplexen inneren Struktur, weitere innere Strömungsleiter 24 vorgesehen sein, wie dies anhand eines Ausführungsbeispiels in der **Fig. 9** dargestellt ist. Hier ist das bereits aus der **Fig. 3** bekannte Bauteil 10 in einer Schnittansicht dargestellt. Innerhalb der abgewinkelten und sich verzweigenden Kanäle des Bauteils 10 sind mehrere innere Strömungsleiter 24 in Form von mit den Kanalwänden verbundenen Schaufeln vorhanden, die für eine Führung und Verteilung des Mediums 1 innerhalb der Kanäle sorgen. So ist beispielsweise im Bereich der Abzweigung, die zur links im Bild gezeigten Öffnung des Bauteils 10 führt, ein schaufelförmiger innerer Strömungsleiter 24' vorgesehen, der in den Abzwei-

gungsbereich hineinragt und einen Teil des durch den Kanal strömenden Mediums 1 abgreift und nach links in den abzweigenden Kanal leitet.

**[0083]** Dadurch wird dafür gesorgt, dass das Medium 1 durch die äußeren Strömungsleiter 20, 22 nicht nur effektiv von außen in die innere Struktur des Bauteils 10 geleitet wird, sondern dass das Medium 1 auch innerhalb der komplexen Struktur gezielt geführt und überall an die zu behandelnden Oberflächen gebracht wird.

**[0084]** Die inneren Strömungsleiter 24 können in einem Stück mit dem Bauteil 10 ausgebildet sein. Dies bietet sich vor allem dann an, wenn das Bauteil 10 mittels eines 3D-Druckverfahrens hergestellt wird. Hierbei können die inneren Strömungsleiter 24 im gleichen Prozess mitgefertigt werden.

**[0085]** Die **Fig. 10** zeigt schematisch einen möglichen Verfahrensablauf für die Konzeption und Herstellung entsprechender Strömungsleiter 20, 22, 24 für ein zu behandelndes Bauteil 10.

**[0086]** In einem ersten Schritt wird eine günstigste Ausrichtung und Positionierung des Bauteils 10 innerhalb des Warenfensters 3 mit insbesondere gesonderter Betrachtung auf Luftblasenbildung, Medium-Anströmungsverhalten oder anschließender geringer Medium/Elektrolyt-Verschleppung definiert. Dies kann computerbasiert erfolgen, wobei die entsprechenden Prozesse simuliert werden, oder durch entsprechende experimentelle Versuche (oder beides).

**[0087]** In einem zweiten Schritt werden kritische Bauteilmerkmale, die eine einheitliche Anströmung der zu behandelnden Bauteiloberfläche durch das Medium 1 behindern, identifiziert. Es wird also insbesondere untersucht, an welchen Stellen oder aufgrund welcher Merkmale ein unzureichendes Anströmverhalten gewisser Oberflächen durch das Medium 1 erfolgt.

**[0088]** In einem dritten Schritt erfolgt eine Platzierung und Auslegung von ersten Strömungsleiterentwürfen oder -prototypen in den Bereichen der identifizierten kritischen Merkmale.

**[0089]** Anschließend (oder davor) wird entschieden, wie bzw. mit welcher Variante (fixe oder verschiebbare Haltevorrichtung 30, Verwendung von Halterahmen 46, Vorsehen von inneren Strömungsleitern 24 etc.) jeder einzelne Strömungsleiter 20, 22, 24 am / im Bauteil 10 positioniert wird.

**[0090]** In einem darauffolgenden fünften Schritt erfolgt die Konstruktion, Simulation und Herstellung der Strömungsleiter 20, 22, 24. Hierfür können

sowohl konventionelle als auch 3D-Druck-Technologien verwendet werden.

**[0091]** In einem sechsten Schritt erfolgt eine Überprüfung der Strömungsleiterqualität, Bauteilpositionierung innerhalb der Vorrichtung und Strömungsleiteranbindung am Bauteil 10 oder Probekörper. Dies kann rein experimentell oder auch computerunterstützt erfolgen (oder beides).

**[0092]** Ein Verfahrenstest in dem zu behandelnden Medium 1 und der verwendeten Vorrichtung bzw. Anlage (oder einer vergleichbaren Anlagentechnik) mit einer anschließenden Beurteilung der behandelten inneren Oberfläche erfolgt in einem siebten Schritt. Hierbei können verschiedene Strömungs- und/oder Oberflächenparameter betrachtet und dabei analysiert werden, ob die verwendeten Strömungsleiter 20, 22, 24 den gewünschten Effekt hervorbringen.

**[0093]** Als achter Schritt kann ggf. eine weitere Optimierung der Strömungsleiter 20, 22, 24 im Hinblick auf deren Position, Art, Ausführung, Variante, Material und/oder eine Anpassung der Umdrehungsgeschwindigkeit im Prozess erfolgen, wenn im vorherigen Schritt keine ausreichende Verbesserung der betrachteten Parameter beobachtet wurde.

**[0094]** In einem finalen neunten Schritt erfolgt die Festlegung und Anwendung des Verfahrens mittels der optimierten Strömungsleiter 20, 22, 24.

**[0095]** Die **Fig. 11** zeigt eine Variante der Vorrichtung gemäß den **Fig. 7a-b** mit nur einem einzigen Halterahmen 46 und einem darin befestigten Bauteil 10 in einer schematischen Seitenansicht, wobei hier ebenfalls der Behälter 2 mit einem flüssigen Medium 1 gezeigt ist. Das Warenfenster 3 ist durch einen gestrichelten Kasten angedeutet. Die Halterung 42 für die den Halterahmen 46 tragende Haltestange 44 reicht von außerhalb des Mediums 1 durch eine obere Öffnung des Behälters 2 in dessen inneren Bereich, sodass der Halterahmen 46 mit dem Bauteil 10 vollständig in das Medium 1 eingetaucht ist und darin rotiert. Zusätzlich kann das Medium 1 in eine Umwälzbewegung 4 versetzt werden, wobei dies nicht zwingend erforderlich ist.

**[0096]** Die **Fig. 12** zeigt schließlich eine Vorrichtung zur Verwendung mit einem gasförmigen Medium 1. Der entsprechende Behälter 2 weist eine beheizbare Wandung mit einer Heizung 60 auf (z.B. Induktions- oder Strahlungserwärmung). Im Inneren des Behälters 2 sind innerhalb eines Warenfensters 3 mehrere Bauteile 10 gelagert und rotieren jeweils um eine vertikale Achse, wobei sie von dem gasförmigen Medium 1 umgeben sind.

[0097] Das Medium 1 wird durch Zuführung eines reaktiven Gases über einen Gasmischer 62 mit Mas-sendurchflussregler sowie eines Trägergases bereitgestellt. Über eine Pumpe 64 und einen Abluftwäscher wird Medium 1 wieder aus dem Behälter 2 herausgeführt.

60	Heizung
62	Gasmischer
64	Pumpe

[0098] Der wesentliche Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens (bzw. der entsprechenden Vorrichtung) liegt zusammengefasst darin, dass es in nahezu allen chemischen Prozessen verwendet werden kann. Mittels einer einfachen Konstruktion einer strömungsleitenden geometrischen Form 20, 22, 24 und der dazugehörigen Rotation im Medium 1, wird eine leichte Implementierung in den bereits bestehenden Prozess ermöglicht. Durch dieses Verfahren werden Fluide und Gase zielgerichtet in komplexe innere Strukturen wie z.B. stark abgewinkelte Rohrleitungen mit Hohlräumen geleitet. Dies ermöglicht eine homogene und reproduzierbare Beschichtung oder Abtrag der Oberfläche.

#### Bezugszeichenliste

1	Medium
2	Behälter
3	Warenfenster
4	Umwälzströmung
5	Gaseinlass
6	Gasauslass
7	Heizvorrichtung
8	Substrat
9	Gasförmiges Substrat
10	Bauteil
12	Eintrittsöffnung
13	Öffnung
20	Strömungsleiter
21	Oberflächenstruktur (Rippe)
22	Strömungsleiter
24	Innerer Strömungsleiter
24'	Innerer Strömungsleiter
30	Haltevorrichtung
40	Bauteilaufnahme
42	Halterung
44	Haltestange
45	Fuß
46	Halterahmen
50	Strömung des Mediums

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Behandlung, insbesondere Veredelung, einer inneren Oberfläche eines Bauteils (10) mittels eines Mediums (1), wobei das Bauteil (10) zumindest teilweise innerhalb des Mediums (1) platziert und eine Relativbewegung zwischen dem Bauteil (10) und dem das Bauteil (10) umgebenden Medium (1) erzeugt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Bereich einer mit der zu behandelnden inneren Oberfläche in fluidischer Verbindung stehenden Eintrittsöffnung (12) des Bauteils (10) ein Strömungsleiter (20, 22) angebracht wird, welcher einen Teil des sich relativ zum Bauteil (10) bewegenden Mediums (1) gezielt in die Eintrittsöffnung (12) leitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Bauteil (10) innerhalb des Mediums (1) aktiv bewegt, insbesondere rotiert wird, und sich der Strömungsleiter (20, 22) mit dem Bauteil (10) mitbewegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei wenigstens ein Strömungsleiter (20) in Form einer insbesondere gekrümmten und/oder geknickten Schaufel vorgesehen ist, welche im Bereich einer Eintrittsöffnung (12) des Bauteils (10) nach außen ragt.

4. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der Strömungsleiter (20) einen trichterförmigen und/oder schalenförmigen Aufbau und/oder mindestens eine Oberflächenstruktur (21), insbesondere Rippe, an einer der Eintrittsöffnung (12) zugewandten Oberfläche aufweist.

5. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei der Strömungsleiter (20) zumindest teilweise an einer Außenseite des Bauteils (10) im Bereich der Eintrittsöffnung (12) anliegt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens ein Strömungsleiter (22) vorgesehen ist, welcher sich zumindest teilweise innerhalb einer Eintrittsöffnung (12) befindet, wobei der Strömungsleiter (22) vorzugsweise wenigstens einen gekrümmten und/oder abgelenkten Bereich aufweist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Strömungsleiter (20, 22) nicht direkt mit dem Bauteil (10) verbunden ist, sondern über eine Haltevorrichtung (30) relativ zum Bauteil (10) in Position gehalten wird, wobei das Bauteil (10) vorzugsweise in einer Bauteilaufnahme

(40) gehalten wird, mit welcher die Haltevorrichtung (30) fest oder beweglich verbunden ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens ein innerer Strömungsleiter (24) vollständig innerhalb des Bauteils (10) in einem mit einer Eintrittsöffnung (12) verbundenen Kanal oder Hohlraum vorgesehen ist, wobei der innere Strömungsleiter (24 mit dem Bauteil (10) als einzelnes Element mit dem Bauteil ausgebildet ist oder ein mit diesem verbundenes, separates Element darstellt.

9. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend eine Bauteilaufnahme (40) zum Halten eines Bauteils (10) mit einer zu behandelnden inneren Oberfläche innerhalb eines Mediums (1) sowie wenigstens einen über eine Haltevorrichtung (30) mit der Bauteilaufnahme (40) fest oder beweglich verbundenen Strömungsleiter (20, 22), welcher im Bereich einer mit der inneren Oberfläche in fluidischer Verbindung stehenden Eintrittsöffnung (12) des Bauteils (10) platzierbar und derart ausgebildet ist, dass er bei einer Relativbewegung zwischen dem Bauteil (10) und dem umgebenden Medium (1) einen Teil des Mediums (50) gezielt in die Eintrittsöffnung (12) leitet.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, ferner umfassend einen Antrieb zum insbesondere rotatorischen Bewegen der Bauteilaufnahme (30) relativ zum Medium (1).

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, ferner umfassend einen die Bauteilaufnahme (40) und/oder das durch die Bauteilaufnahme (40) gehaltene Bauteil (10) umgebenden Behälter (2), welcher mit Medium (1) befüllbar ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei wenigstens ein Strömungsleiter (20, 22) gemäß einem der Ansprüche 3 bis 6 ausgebildet ist.

13. Verfahren zur Herstellung eines Strömungsleiters (20, 22) einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, umfassend folgende Schritte:

- Bereitstellen oder Simulieren eines Bauteils (10) mit einer zu behandelnden inneren Oberfläche innerhalb eines Mediums (1),
- Analysieren, durch Erzeugen einer Relativbewegung zwischen Bauteil (10) und Medium (1) und/oder durch Simulation, wenigstens eines Strömungsparameters des Mediums (50) im Bereich einer Eintrittsöffnung (12) und/oder im Bereich eines mit der Eintrittsöffnung (12) fluidisch verbundenen Kanals oder Hohlraums des Bauteils (10) und/oder wenigstens eines Oberflächenparameters der zu behandelnden inneren Oberfläche,
- Bereitstellen oder Simulieren eines Strömungslei-

terentwurfs im Bereich der Eintrittsöffnung (12) und erneutes Analysieren des wenigstens einen Strömungsparameters und/oder des wenigstens einen Oberflächenparameters,

- Entwerfen und Herstellen, insbesondere mittels eines 3D-Druckverfahrens, eines Strömungsleiters (20, 22) mit einer Form, für die der wenigstens eine Strömungsparameter und/oder der wenigstens eine Oberflächenparameter optimiert wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei der wenigstens eine Strömungsparameter einen Volumenstrom des Mediums (1) durch die Eintrittsöffnung (12) und/oder einen Volumenstrom des Mediums (1) innerhalb des Bauteils (10), insbesondere in einem mit der Eintrittsöffnung (12) fluidisch verbundenen Kanal oder Hohlraum, betrifft und/oder dass der wenigstens eine Oberflächenparameter eine durch eine insbesondere chemische Reaktion des Mediums (1) mit der zu behandelnden inneren Oberfläche zu verändernde Eigenschaft der inneren Oberfläche betrifft.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, wobei die Platzierung des Strömungsleiters (20, 22) im Bereich der Eintrittsöffnung (12) und/oder ein Bewegungsparameter, insbesondere eine Rotationsgeschwindigkeit, des Bauteils (10) innerhalb des Mediums (1) und/oder eine Ausrichtung des Bauteils (10) innerhalb des Mediums (1) derart angepasst wird, dass der wenigstens eine Strömungsparameter und/oder der wenigstens eine Oberflächenparameter optimiert wird.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

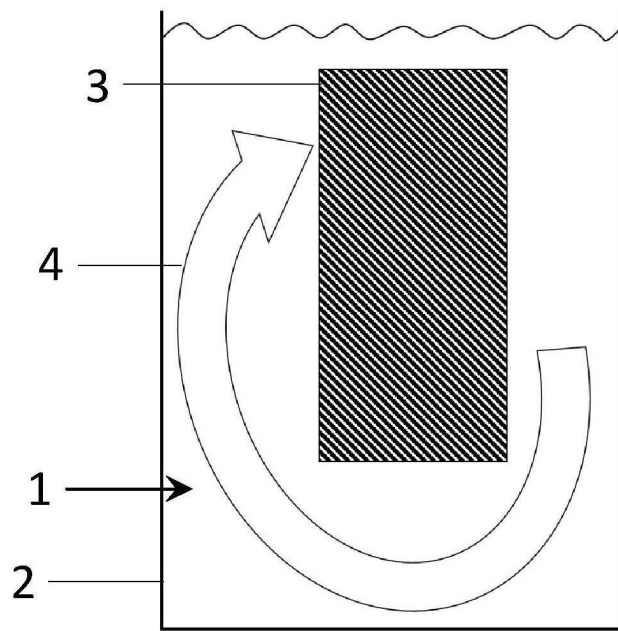


Fig. 1

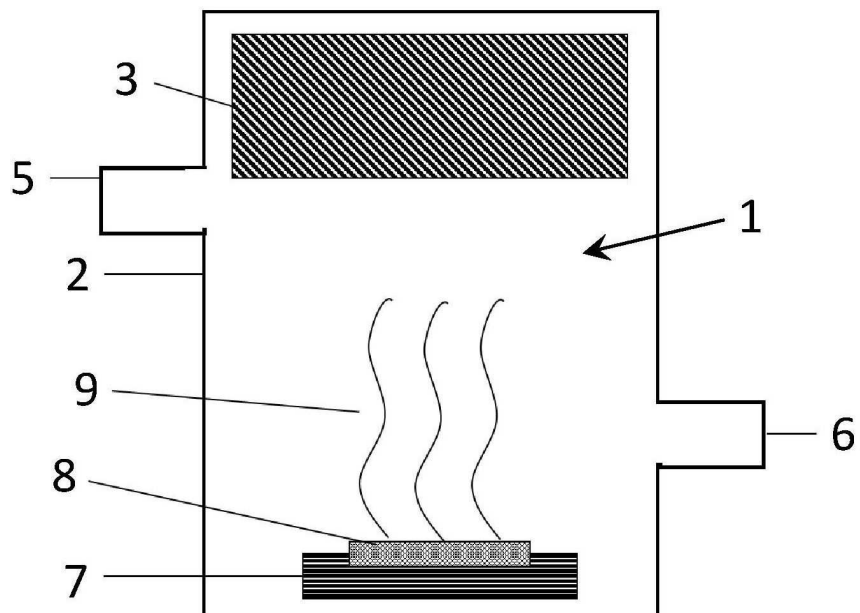


Fig. 2

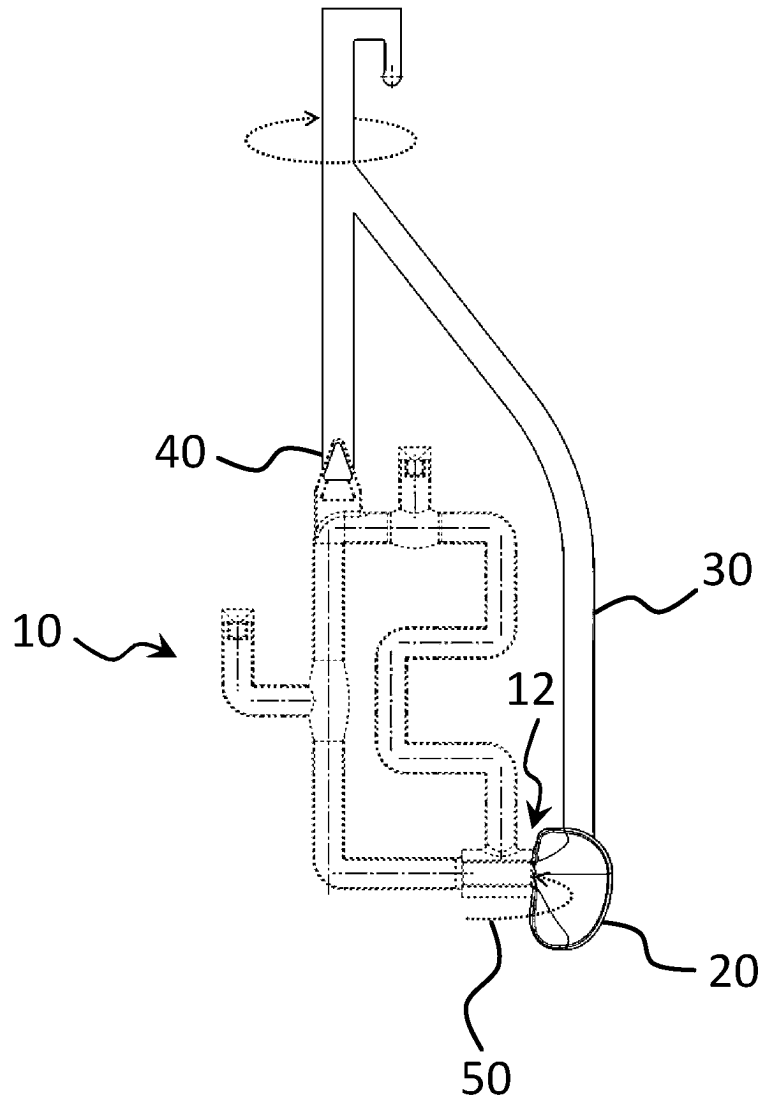


Fig. 3

Fig. 4a

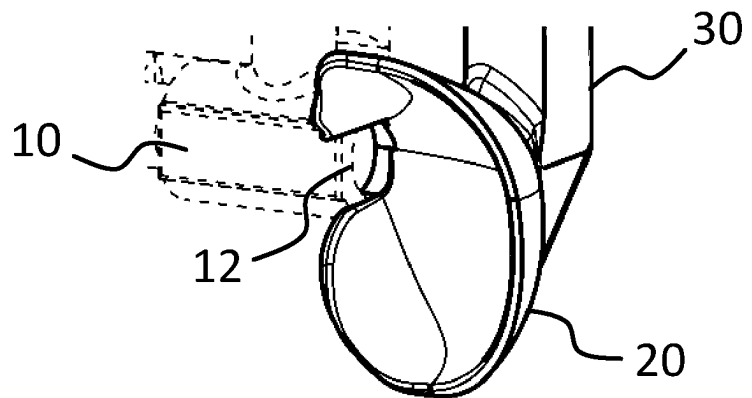


Fig. 4b

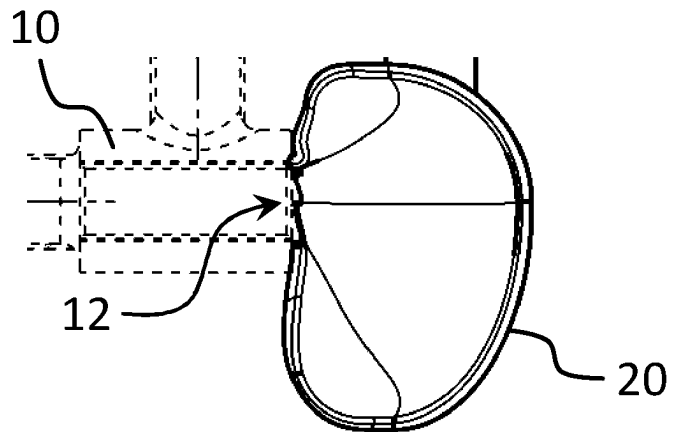
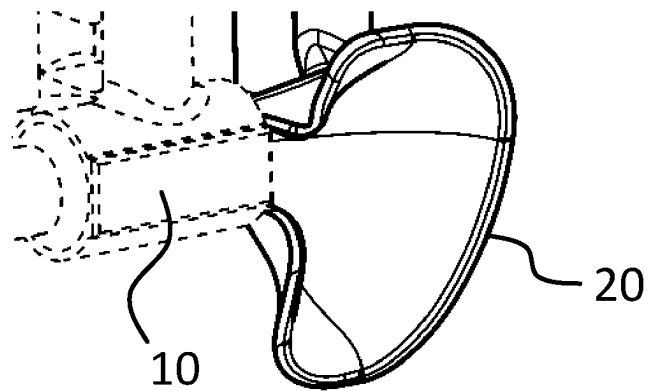


Fig. 4c



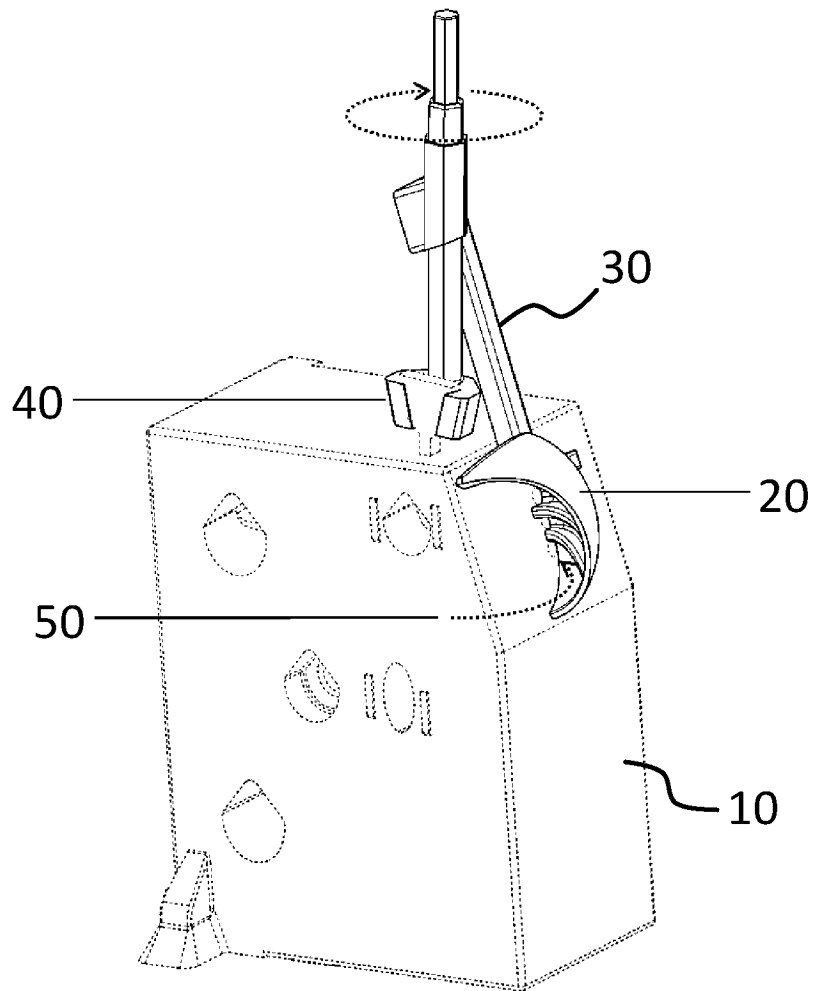


Fig. 5



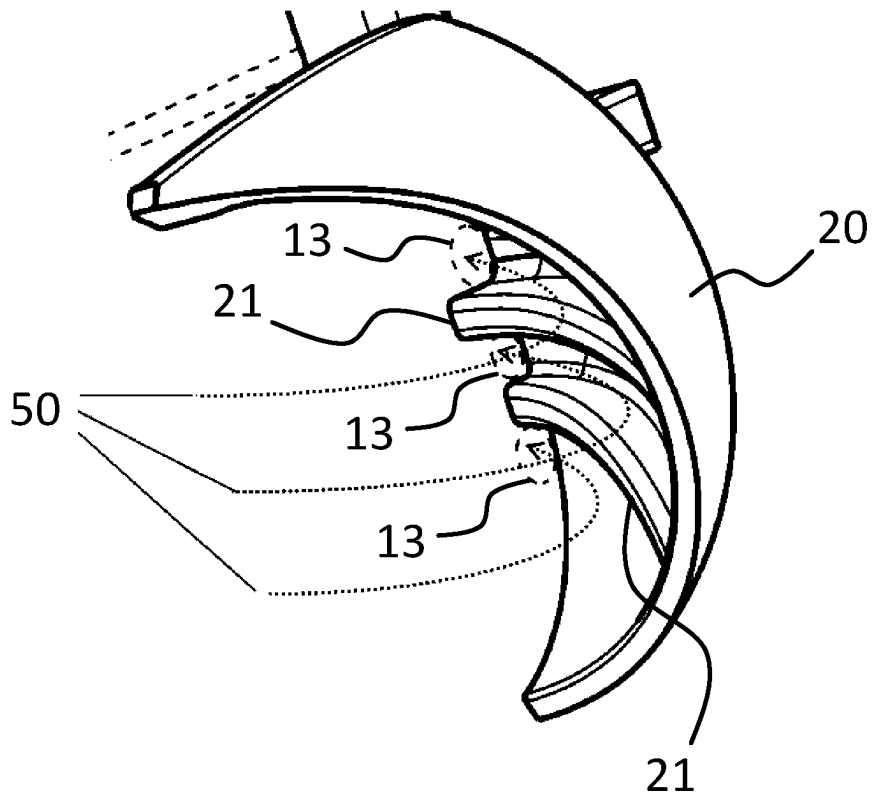


Fig. 6

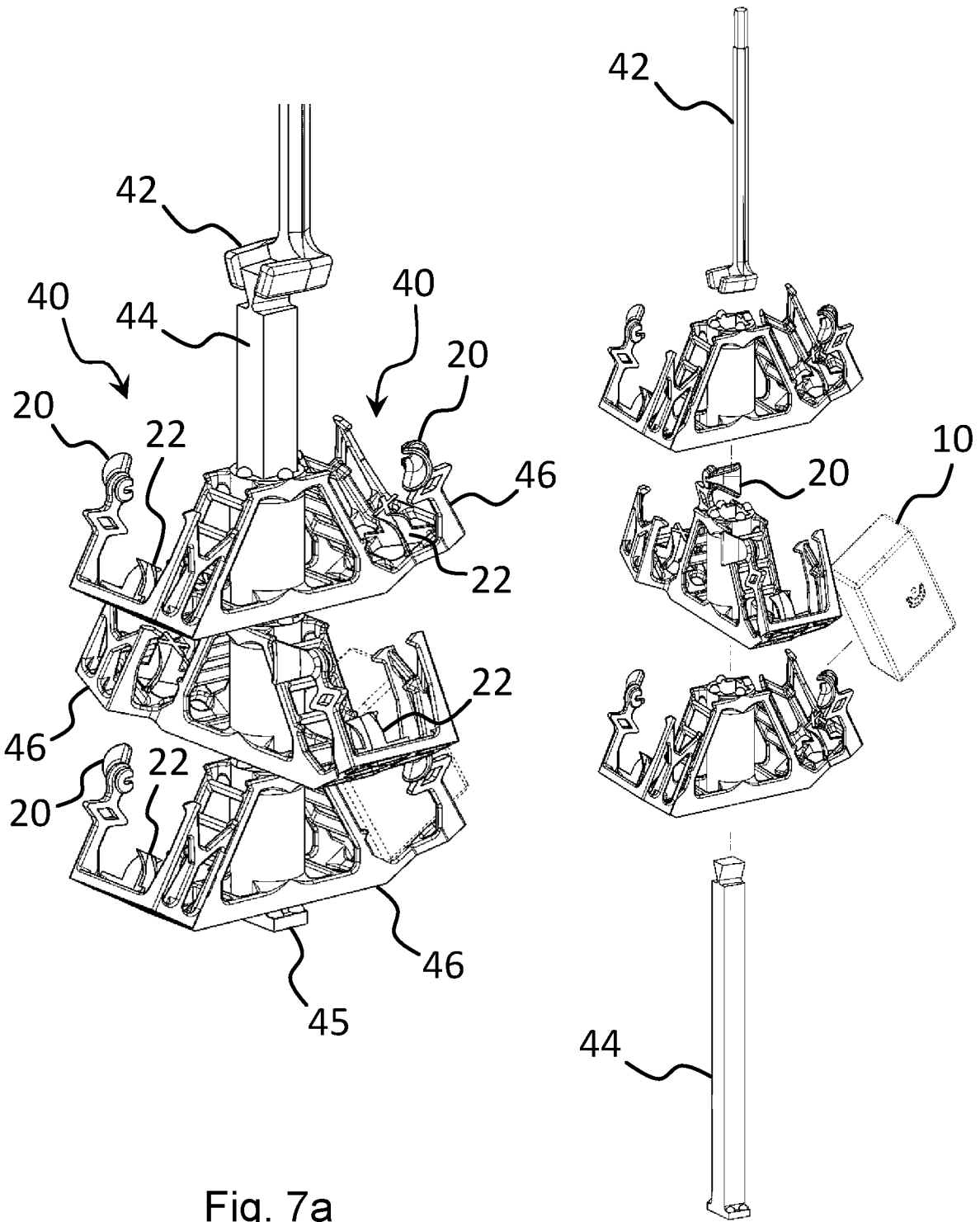


Fig. 7a

Fig. 7b

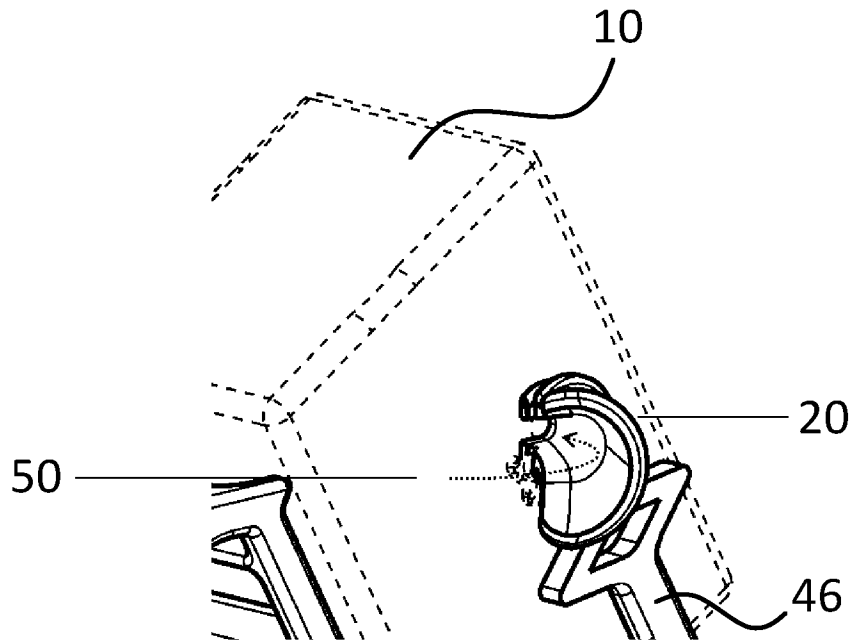


Fig. 8a

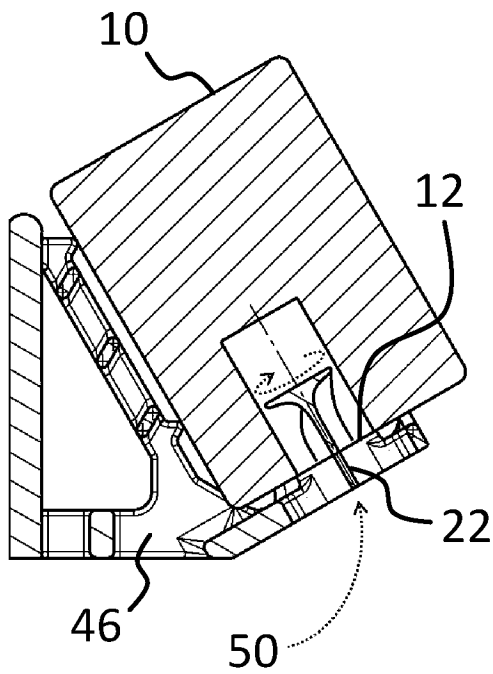


Fig. 8b

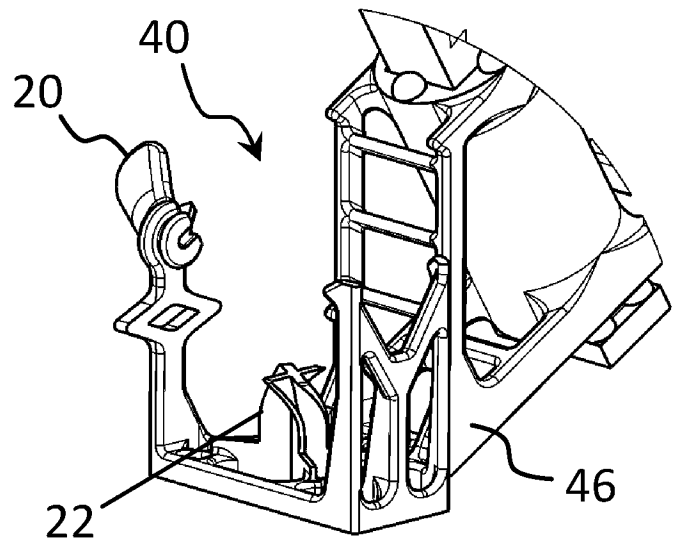


Fig. 8c

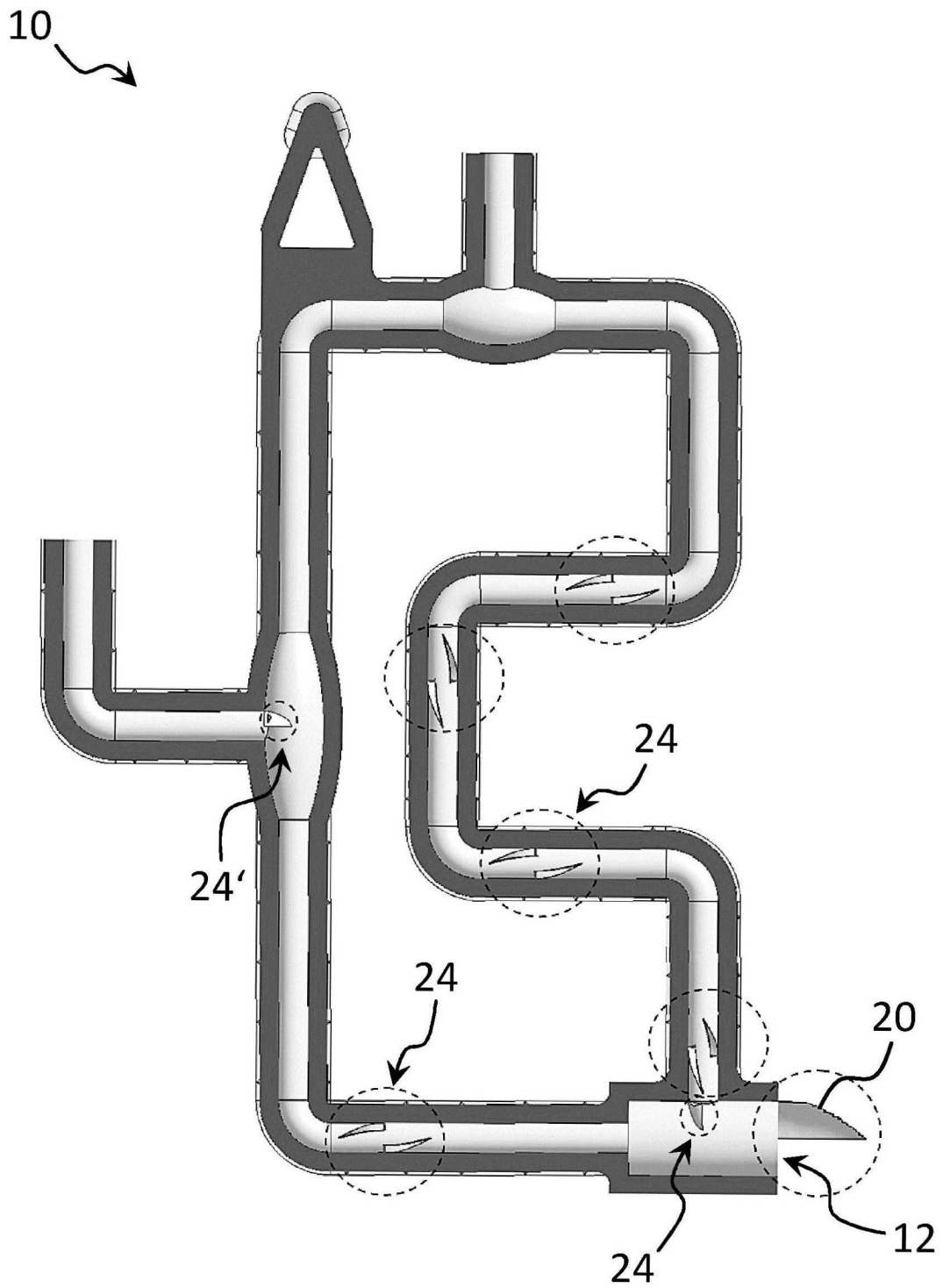


Fig. 9

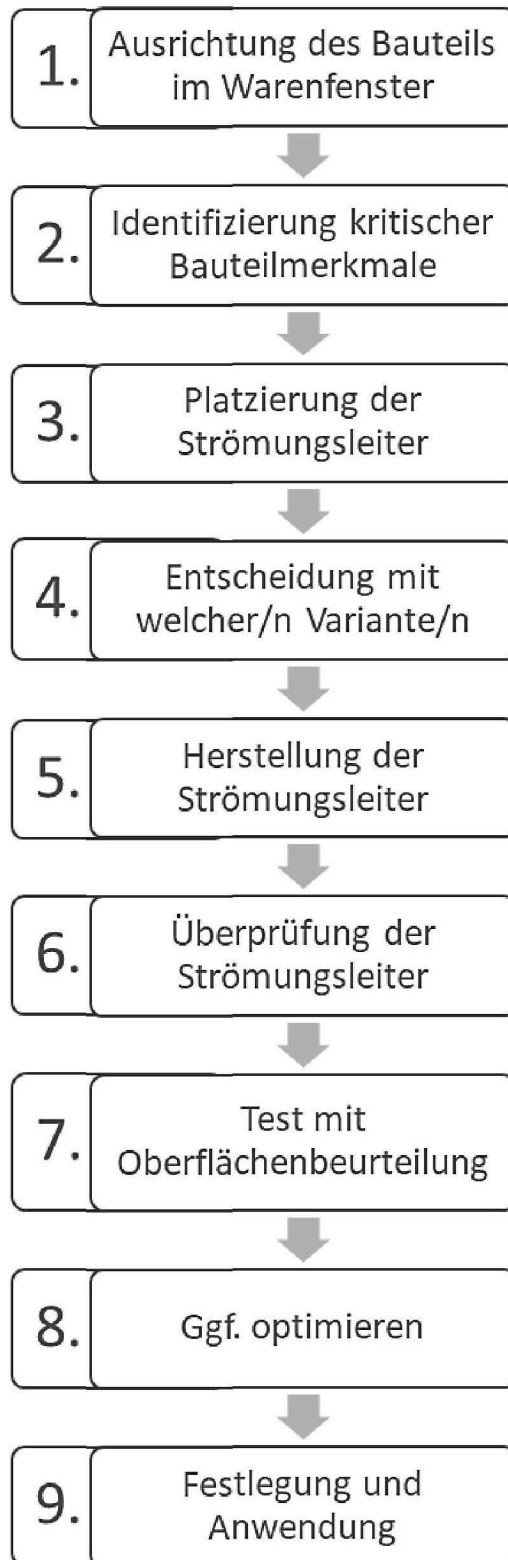


Fig. 10

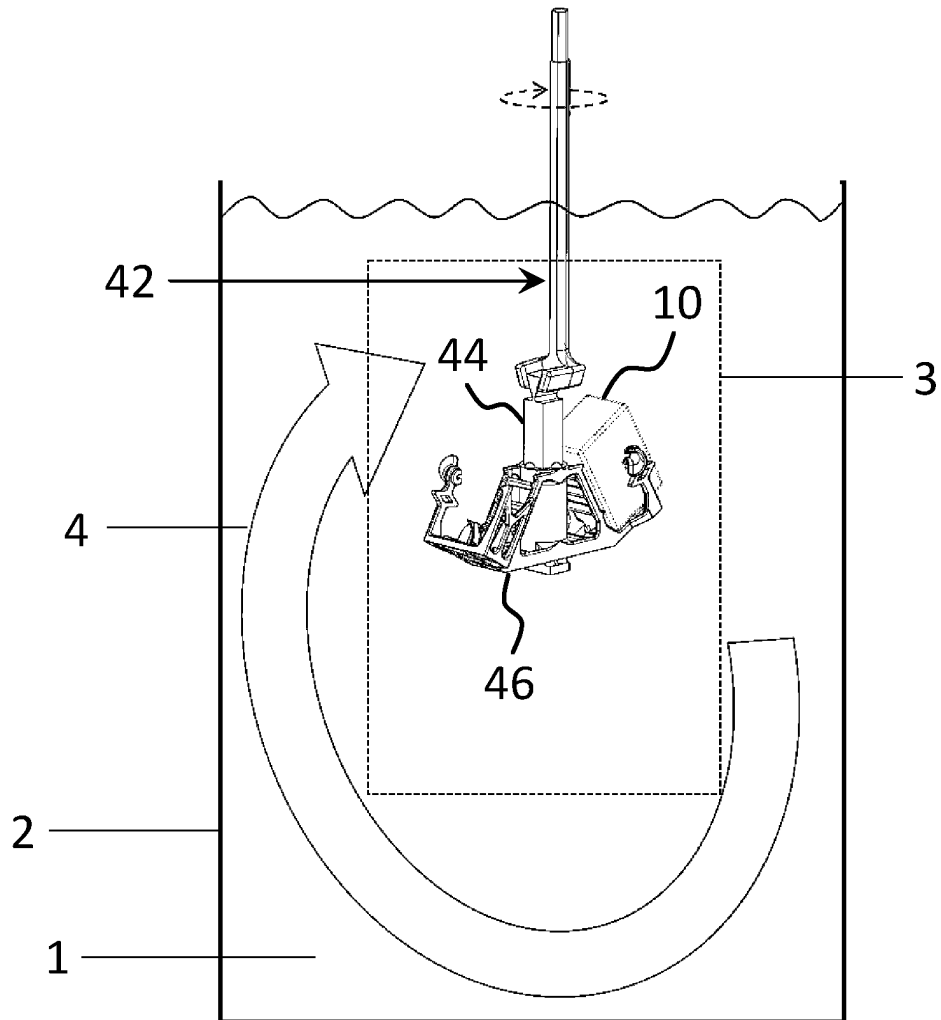


Fig. 11

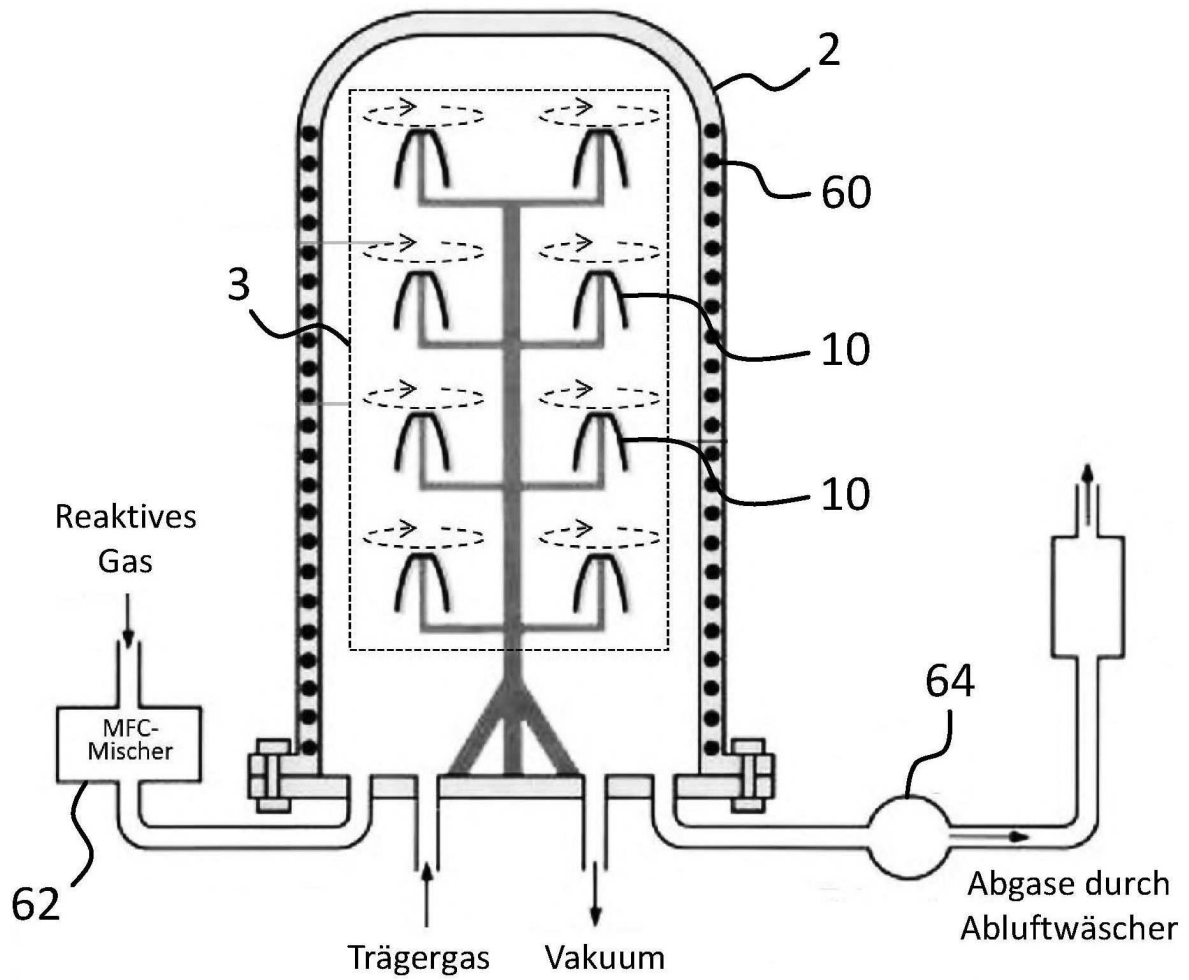


Fig. 12