

(19)



(11)

**EP 3 334 993 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**27.11.2019 Patentblatt 2019/48**

(51) Int Cl.:  
**F28F 1/40** <sup>(2006.01)</sup> **F28F 7/02** <sup>(2006.01)</sup>  
**F28F 13/06** <sup>(2006.01)</sup> **F28F 13/08** <sup>(2006.01)</sup>  
**F28F 13/12** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **16760396.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2016/069214**

(22) Anmeldetag: **12.08.2016**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2017/029211 (23.02.2017 Gazette 2017/08)**

(54) **STRÖMUNGSLEITELEMENTE IN EINEM KANAL**

FLOW CONDUCTING ELEMENTS IN A CHANNEL

ÉLÉMENTS D'ACHEMINEMENT D'UN FLUX DANS UN CONDUIT

(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**

- **HENSEL, Andreas**  
**76187 Karlsruhe (DE)**
- **WENKA, Achim**  
**75196 Remchingen (DE)**

(30) Priorität: **14.08.2015 DE 102015113432**

(74) Vertreter: **Fitzner, Uwe et al**  
**Meissner Bolte**  
**Patentanwälte Rechtsanwälte**  
**Partnerschaft mbB**  
**Hauser Ring 10**  
**40878 Ratingen (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**20.06.2018 Patentblatt 2018/25**

(73) Patentinhaber: **Karlsruher Institut für Technologie**  
**76131 Karlsruhe (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A1-2004/097323 WO-A1-2013/163398**  
**WO-A2-2011/115883 WO-A2-2015/119981**  
**DE-U1- 8 804 742**

(72) Erfinder:  
• **HANSJOSTEN, Edgar**  
**76149 Karlsruhe (DE)**  
• **BENZINGER, Walther**  
**67376 Harthausen (DE)**

**EP 3 334 993 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 vorliegende Erfindung betrifft einen mit Strömungsleitelementen versehenen Strömungskanal.

**[0002]** In dem Stand der Technik werden eine Vielzahl von Strömungskanälen vorgestellt, in welchen Einbauten vorhanden sind. Diese dienen der Durchmischung des Stoffstroms. Beispielsweise ist aus der Patentschrift DE 2808854 C3 eine Vorrichtung für den Wärmeaustausch bekannt. In dieser Vorrichtung wird vorwiegend der Stoffstrom gemischt. Hierfür sind in dieser statische Mischelemente eingebaut. Solche Einbauten liegen beispielsweise in Form von Stegen oder Steglatten vor, die als Pakete zusammengefasst hintereinander im Kanal eingebaut sind. Es handelt sich mithin um feste Einbauten, durch die die Kanalströmung umgelenkt wird. An den Kanten bilden sich beispielsweise Strömungswirbel, die die Quervermischung verbessern. Bei solchen statischen Mischern wird zugleich der Wärmeaustausch mit der Kanalwand als Folge der erhöhten Quervermischung verbessert.

**[0003]** Weitere Beispiele für feste Einbauten finden sich in der EP 1 067 352 A1, der DE 1 032 6381 A1, EP 1 332 794 B1, DE 195 116 93 A1, US 7,552,741 B, US 5,595,712 A, US 2012/00370 A1 und DE 195 368 56 A1. Ferner gibt es die Aufsätze Norbert Schwesiger, Thomas Frank und Helmut Wurmus: "A modular microfluid system with the integrated micromixture", Journal of micromechanisms and micro engineering (1996) 1, S. 99 - 102, Hessel, V., Ehrfeld, W., Freimuth, H., Haferkamp, V., Löwe-Richter, Th., Stadel, M. Und Wolf, A., "Publication and interconnection of ceramic microreaction systems for high temperature applications", Proc. 1 St. INT. Conf. on microreaction technology, 1997, S. 156 - 157. Allen Dokumenten ist zu entnehmen, dass der Wärmeaustausch verbessert wird sowie Turbulenzen erzeugt werden. In allen Fällen ist jedoch eine definierte Führung des Volumenstroms nicht verwirklicht. Vielmehr handelt es sich um Mischelemente, mit dem Nebeneffekt des verbesserten Wärmeaustausches.

**[0004]** WO 2011/115883 A2 beschreibt eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

**[0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es demgemäß, Strömungsführungen in einem Kanal so zu gestalten, dass eine definierte Führung des Volumenstroms erreicht wird und zugleich der erforderliche Wärme- und/oder Stoffaustausch z. B. mittels Diffusion gewährleistet ist.

**[0006]** Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 gelöst.

**[0007]** Ferner wird die Aufgabe durch ein Verfahren gemäß Anspruch 7 gelöst.

**[0008]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzielung einer definierten Führung eines Volumenstroms eines Fluids durch einen Strömungskanal, in welchem mikrokanalstrukturierte (mikrostrukturierten) Strömungsleitelemente zur Aufteilung des Volumenstroms und der definierten Führung der entstehenden Teilströme von Fluiden angeordnet sind.

**[0009]** Durch das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung können Austauschvorgänge sowohl mit der Kanalwand als auch zwischen den Teilströmen ablaufen. Durch die Aufteilung des Volumenstroms in Teilströme und abhängig von der Form der Strömungsleitelemente wird die Kontaktstrecke mit der Rohrwand sowie zwischen den einzelnen Teilströmen vorgegeben. Durch Variationen der geometrischen Form entlang des Kanals kann die Kontaktstrecke prozessabhängig verändert und somit der Prozess beeinflusst werden. Im Gegensatz zum Stand der Technik wird die Kanalströmung demgemäß nicht nur lokal umgelenkt, sondern es wird eine definierte Strömungsführung im Kanal gewährleistet.

**[0010]** Erfindungsgemäß sind in dem Strömungskanal mikrostrukturierte Strömungsleitelemente vorhanden. Strömungsleitelemente sind dünnwandige Bauteile, die in einen Strömungskanal (z.B. ein Rohr) eingebaut werden. Aufgabe der Strömungsleitelemente ist es, die Strömungsführung in einem Kanal so zu gestalten, dass ein Fluidstrom in Teilströme aufgeteilt und diese Teilströme abwechselnd an die Wand des Strömungskanals geführt werden. Dadurch können Austauschvorgänge mit der Kanalwand und/oder zwischen Teilströmen ablaufen. Die Strömungsleitelemente werden aus Grundformelementen aufgebaut.

**[0011]** Im Ergebnis handelt es sich darum, dass der Gegenstand der Erfindung keine Mischelemente sind, sondern Strömungsleitelemente in einem Strömungskanal. Ziel ist die Unterteilung einer Kanalströmung in definiert geführte Teilströme, wobei ein gezielter Wärmeaustausch aller geführten Teilströme an der Wandung stattfinden soll.

**[0012]** Durch das erste im Strömungskanal eingebaute Strömungsleitelement wird ein in den Strömungskanal einströmender Fluidstrom in Teilströme unterteilt. Ist ein Strömungsleitelement aus nur einem Grundformelement aufgebaut, werden zwei Teilströme erzeugt. Wurde das Strömungsleitelement aus mehreren Grundformelementen aufgebaut, legt deren Anordnung die Anzahl der Teilströme fest.

**[0013]** Die mikrostrukturierten Strömungsleitelemente sind mit der sog. 3D-Drucktechnik herstellbar. D.h. mit Hilfe der 3D-Drucktechnik lassen sich komplexe Formflächen (Freiformflächen) aufbauen. In bevorzugten Ausführungsformen haben die mikrostrukturierten Strömungsleitelemente einen kreis-, kreisring-, ellipsen- oder rechtecksförmig ausgestalteten Querschnitt.

**[0014]** Die Kanalhöhe der mikrostrukturierten Strömungsleitelemente liegt bei 0,1 - 100 mm, vorzugsweise 0,1 - 5 mm.

**[0015]** In demselben Bereich ist auch die Breite der mikrokanalstrukturierten Strömungsleitelemente anzusetzen.

**[0016]** Die Länge der mikrostrukturierten Strömungsleitelemente beträgt 3 - 300 mm, vorzugsweise 5 - 50 mm

**[0017]** Die Wandstärke der mikrokanalstrukturierten Strömungsleitelemente liegt bei 0,01 - 0,5 mm, vorzugsweise 0,1 - 0,3 mm.

**[0018]** Die Strömungsleitelemente werden derart in den Strömungskanal eingesetzt, dass sie etwa 5 - 50 %, vorzugsweise 5 - 30 % des kanalförmigen Elements (Strömungskanals) einnehmen.

**[0019]** Die erfindungsgemäßen mikrostrukturierten Strömungsleitelemente können auch ein katalytisch wirksames Material aufweisen oder hieraus bestehen. Ebenso ist es möglich, dass die Strömungsleitelemente mit katalytisch aktivem Material, einem Korrosionsschutz oder einer Antifoulingsschicht versehen sind oder mit beliebigen Kombinationen der genannten Schichten beaufschlagt sind. Ebenso ist es möglich, dass die Strömungsleitelemente aus den genannten Materialien bestehen.

**[0020]** Als bevorzugte Materialien für die Herstellung der mikrokanalstrukturierten Strömungsleitelemente können diese Metall, Keramik oder Kunststoffe enthalten oder hieraus bestehen, oder beliebige Kombinationen der genannten Stoffe aufweisen oder aus diesen bestehen.

**[0021]** Durch die mikrostrukturierten Strömungsleitelemente kann der Volumenstrom eines Fluids in beliebiger Weise aufgeteilt werden. Von zwei bis unendlich sind beliebige Teilströme denkbar. Beispielsweise können vier oder sechs Teilströme vorgesehen sein.

**[0022]** Durch die Strömungsleitelemente wird eine Führung (definierte Strömungsführung) der Teilströme erreicht. Hierbei ist die Konstruktion so ausgeführt, dass die Teilströme abwechselnd mit der Innenwand des kanalförmigen Elements (Wandung des Strömungskanals) und mit den anderen Teilströmen in Berührung gebracht werden. Der Wärmeaustausch mit der Wandung des Strömungskanals wird durch die im Strömungskanal eingebauten Strömungsleitelemente wie folgt verbessert:

Ein Teilstrom wird an die Wandung des Strömungskanals geführt. Infolge einer vorhandenen Temperaturdifferenz zwischen Fluid und Wandung des Strömungskanals findet ein Wärmeaustausch zwischen Fluid und Wandung des Strömungskanals statt. Der sich einstellende Wärmestrom zwischen Fluid und Wandung des Strömungskanals hat einen Wärmetransport durch die Fluidschicht zur Folge.

**[0023]** Bei einem Strömungskanal limitiert die Wärmeleitfähigkeit des Fluids den Wärmeübergang. Bei einem Strömungskanal mit Strömungsleitelementen wird ein Teilstrom nach einer Kontaktstrecke, die der Länge eines Strömungsleitelements entspricht, von der Wandung des Strömungskanals weggeführt und während der Verweilzeit im Inneren des Strömungskanals findet ein Temperatúrausgleich im Teilstrom statt. Nach dem Durchströmen der Temperatúrausgleichsstrecke wird der Teilstrom wieder zurück an die Wandung des Strömungskanals geführt.

**[0024]** Die Strömungsleitelemente sind mit unterschiedlichen Mikrokanalformen gefertigt, d. h. aus Grundformelementen aufgebaut. Dies ermöglicht es, dass die Teilströme beliebig in dem kanalförmigen Element geführt werden können. Hier sind jedoch die mikrokanalstrukturierten Strömungsleitelemente fest eingebaut. Damit ist gewährleistet, dass ein ständiger Kontakt mit der Kanalwand bzw. den anderen Teilströmen, an definierten Flächen gewährleistet ist. Damit lässt sich gezielt ein Wärme- bzw. Stoffaustausch erreichen. Im Ergebnis ist so eine kontrollierte Reaktions- und/oder Prozessführung bei gleichzeitiger Prozesstemperierung innerhalb der mikrostrukturierten Strömungsleitelemente möglich. Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher beschrieben:

## I. Bezugszeichenliste

### **[0025]**

- |         |                               |
|---------|-------------------------------|
| 1 - 6   | = Teilströme                  |
| 7,8     | = Strömungsleitelement        |
| 9       | = Kanalförmiges Element       |
| 10      | = Rohrwand                    |
| 11      | = Halbwellenlänge $\lambda/2$ |
| 10 - 14 | = Teilebene                   |
| 15      | = Kanal                       |
| 16      | = Fluidstrom                  |
| 17      | = Querschnitt des Teilstroms  |
| 18      | = Berührungsflächen           |

19 = Grundformelemente

20 = Position 1

5 21 = Position 2

22 = Position 3

10 23 = äußerer Kreisring

24 = innerer Kreisring

25 = Innenkreis

15 26 = Fluid 1

27 = Fluid 2

## II. Detaillierte Figurenbeschreibung:

20

[0026] Gemäß Figur 1 ist die Rohrströmung in vier Teilströme zur Verbesserung des Wärmeübergangs zwischen der Wand des kanalförmigen Elements und Stoffstrom aufgeteilt. In dem kanalförmigen Element sind in dem Beispiel gemäß Fig. 1 zwei Strömungsleitelemente 7,8 eingebaut. Die Wandstrukturen der Strömungsleitelemente 7,8 führen die Teilströme 1, 2, 3 und 4. Teilstrom 2 durchdringt Teilstrom 1 und wird zur Rohrwand 10 des kanalförmigen Elementes geleitet. Die Strömungsleitelemente weisen an der Berührungsfläche zwischen Teilstrom 2 und Teilstrom 3 keine Wand auf. Das heißt dort können die Teilströme sich stofflich austauschen. An der Wand des kanalförmigen Elements findet ein Wärmeaustausch statt. Der Teilstrom 1 wird von der Wand 10 des kanalförmigen Elementes Richtung Mitte des kanalförmigen Elementes geleitet. Ein entsprechender Austausch findet bei den Teilströmen 3 und 4 statt. Der entsprechende Austauschvorgang wiederholt sich im zweiten mikrokanalstrukturierten Strömungsleitelement 8. Die Wellenlänge für einen Austauschzyklus entspricht der Länge von zwei Strömungsleitelementen. Diese kann als Designparameter abhängig von der Viskosität des Stoffstroms gewählt werden.

25

30

[0027] Die Randbedingungen für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 sind folgende:

35

Anzahl der Teilströme  $n = 4$   
 Innendurchmesser des kanalförmigen Elements  $d = 10 \text{ mm}$   
 Länge der Strömungsleitelemente 7 und 8  $l = 15 \text{ mm}$   
 Wellenlänge  $\lambda = 30 \text{ mm}$   
 Wandstärke der Strömungsleitelemente 7,8  $s = 0,3 \text{ mm}$

40

[0028] Das mikrostrukturierte Strömungsleitelement wurde mithilfe der 3D-Drucktechnik aus Metall hergestellt. Der Volumenverbrauch durch die Einbauten beträgt in dem Beispiel gemäß Figur 1 8 % des Innenvolumens des kanalförmigen Elementes.

45

[0029] Mit der Anlage gemäß Figur 1 können hochviskose Fluide bei geringem Druckverlust homogen aufgeheizt werden.

[0030] Die Aufteilung der Volumenströme in dem kanalförmigen Element 9 erfolgt gemäß Figuren 2 und 3 in 18 Teilströme. Hierdurch lässt sich eine Optimierung der Prozessführung einer heterogenen Gasphasenreaktion und Temperierung über die Wand 10 des kanalförmigen Elementes 9 erreichen.

50

[0031] In einem kanalförmigen Element 9 sind drei mikrokanalstrukturierte Strömungsleitelemente eingelegt. Der Volumenstrom wird in dem ersten Element wiederum in sechs Teilebenen unterteilt. In jeder Teilebene wird der Volumenstrom nochmals in drei Teilströme aufgeteilt, so dass insgesamt 18 Teilströme entstehen.

55

[0032] Figur 3 zeigt den Verlauf der Teilströme je Teilebene (1.1, 2.1, 3.1, 4.1, 5.1, 6.1) auf einer Wegstrecke von 3 Strömungsleitelement-Längen. Aus der Figur ist ersichtlich, dass die Strömungsleitelemente in sechs Teilebenen unterteilt sind, die Teilströme werden systematisch von Teilebene zu Teilebene geführt. Jeder Teilstrom wird einmal an die Wandung des Strömungskanals geführt, wie dies aus Figur 3 ersichtlich ist. D.h. jedes mikrostrukturierte Strömungsleitelement kann einmal einen Wärmeaustausch an der Wandung des Strömungskanals durchführen. Nach einer Wegstrecke von sechs Einbauelementlängen haben die Teilströme wieder die Ausgangsposition erreicht, d.h. ein Austauschzyklus wurde durchlaufen. In dem Beispiel gemäß den Figuren 2 und 3 entspricht die Wellenlänge für einen Austausch-

zyklus der Länge von sechs mikrostrukturierten Strömungselementen. Die Kontaktstrecke an der Wandung des Strömungskanal und die Verweilzeit zwischen zwei Wandkontakten wird durch die Geometrieparameter definiert. Alle Teilströme haben gleich lange (äquivalente) Kontaktstrecken.

**[0033]** In dem Beispiel gemäß Figur 2 und 3 wurde das mikrostrukturierte Strömungselement mithilfe der 3D-Drucktechnik aus Metall mit einer konstanten Wandstärke  $s = 0,2 \text{ mm}$  hergestellt. Die mikrostrukturierten Strömungselementformen und -längen sind so gewählt, dass die Bauteile sicher mit einem katalytisch aktiven Material zu beschichten sind, bzw. aus katalytischem Material bestehen.

**[0034]** In dem Beispiel gemäß den Figuren 4 und 5 ist ein kreisförmiges, kanalförmiges Element dargestellt. Gemäß Figur 4 wird im Querschnitt des kanalförmigen Elements gezeigt, wie in den einzelnen kreisförmig angeordneten Teilebenen der Elemente 7, 12 - 14, die Teilströme mit den mikrokanalstrukturierten Strömungselementen angeordnet sind. Aus Figur 4 ist ersichtlich, dass je Teilebene drei Teilströme definiert sind.

**[0035]** Gemäß Figur 5 ist ersichtlich, dass die Teilebenen 12, 13 und 14 als Einbauten konstruiert sind, zwischen denen die Teilströme radial ausgetauscht werden. Auch hier ist gewährleistet, dass jeweils ein Teilstrom mindestens einmal an die Kanalwand geführt wird und mit anderen Teilströmen in Berührung gerät, so dass hier ein Stoffaustausch stattfinden kann.

**[0036]** Gemäß Figur 6 besteht ein Strömungselement 7,8 in der einfachsten Form aus genau einem Grundformelement 19 und kann in einen Strömungskanal 15 mit rechteckigem Querschnitt eingebaut werden. Die geometrische Form ist so konstruiert, dass der in Teilströme aufgeteilte Fluidstrom ein Strömungselement 7,8 mit minimalem Druckverlust durchströmt.

**[0037]** Gemäß Figur 7 kann der Fluidstrom 16 in Teilströme 1, 2 aufgeteilt werden. Der Kanalquerschnitt 17 wird durch das Strömungselement 7,8 in zwei Teilströme 1 und 2 unterteilt.

**[0038]** Gemäß Figur 8 erfolgt ein Austausch der Teilströme. Der Teilstrom 1 wird durch das Strömungselement 7,8 nochmals in die Teilströme 2.1 und 2.2 unterteilt.

**[0039]** Gemäß Figur 9 ist die Berührungsfläche 18 zweier Teilströme 2.1 und 2.2 dargestellt. Die Teilströme 2.1 und 2.2 werden nach Umströmung von Teilstrom 1 wieder zusammengeführt. Über die Berührungsfläche 18 ist ein Wärmeaustausch und/oder Stoffaustausch (z.B. durch Diffusion) möglich.

**[0040]** In Figur 10 ist die Anordnung der Grundformelemente 19 dargestellt. Durch Parallelschaltung in Richtung der X-Koordinatenachse wird die Anzahl der Teilströme 1 - 6 erhöht. Ein Strömungselement, aufgebaut aus drei parallelen Grundformelementen unterteilt einen Fluidstrom 16 in sechs Teilströme 1 - 6.

**[0041]** Gemäß Figur 11 ist eine Reihenschaltung in Richtung der Z-Koordinatenachse dargestellt.

**[0042]** Die Strömungselemente 7,8 werden in Strömungsrichtung hintereinander angeordnet. Die Teilströme 1 und 2 werden getrennt durch den Kanal geführt. Der Teilstrom 1 wird durch einen Strömungsquerschnitt 17a geführt. In gleicher Weise wird der Teilstrom 2 durch einen Strömungsquerschnitt 17b geführt.

**[0043]** Figur 12 zeigt die Anordnung der Grundformelemente 19 bzw. Strömungselemente 7,8. Es erfolgt eine Parallelschaltung in Richtung der Y-Achse und Reihenschaltung in Richtung der Z-Achse. Durch die Parallelschaltung von Grundformelementen 19 in Richtung der Y-Koordinatenachse wird die Anzahl der Teilströme auf 1 - 3 erhöht und durch eine zusätzliche Reihenschaltung der Strömungselemente 7,8 werden die Teilströme 1-3 abwechselnd an die Kanalwand geführt. D.h. ein Strömungselement 7,8, aufgebaut aus zwei parallel geschalteten Grundformelementen 19 unterteilt einen Fluidstrom in drei Teilströme 1, 2, 3. Hierbei werden die Strömungselemente aus Grundformelementen aufgebaut. Die geometrische Form ist so konstruiert, dass Fluidströme mit einem minimalen Druckverlust ein Strömungselement 7,8 durchströmen. Ein Strömungselement 7,8 kann aus einem oder mehreren parallel geschalteten Grundformelementen 19 aufgebaut sein.

**[0044]** Gemäß Figur 13 werden Strömungselemente 7,8 in einem Kanal angeordnet. Die Strömungsführung der Teilströme erfolgt mit Parallel- und Reihenschaltung. Das Strömungselement 7,8 ist aus zwei in Richtung der y-Koordinatenachse parallel geschalteten Grundformelementen 19 aufgebaut. Die drei Strömungselemente 7,8 sind in Reihe (z-Richtung) geschaltet. Der Teilstrom 3 wird im ersten und zweiten Strömungselement von Teilstrom 3 über die Position 20 nach Position 21 geführt. Im dritten Strömungselement wird der Teilstrom 3 wieder von Position 20 nach Position 22 geführt. Das Strömungselement ist mit den Ziffern 7,8 gekennzeichnet.

**[0045]** Die Figuren 14, 15, 16 sind geometrisch identisch. Sie sind Varianten der Figuren 4 und 5.

**[0046]** Gemäß Figur 14 erfolgt eine Parallelschaltung transformierter Grundformelemente 19 in Radial- und Umfangsrichtung in einem Rohr mit der Rohrwand 10 in einem kanalförmigen Element 9. In dem Beispiel liegen zwei gekrümmte Grundformelemente 19 in radialer Richtung oder drei gekrümmte Grundformelemente 19 in Umfangsrichtung vor. Durch die Anzahl der parallel geschalteten Grundformelemente 19 wird die Anzahl der Teilströme 1 - 6 definiert. Bei drei Grundformelementen 19 können neun Teilströme resultieren. In der Abbildung gemäß Fig. 14 teilt das kreisförmige Strömungselement 7,8 den Fluidstrom in einen Kreisring 23. Darunter folgt ein Kreisring 24 und ein Innenkreis 25.

**[0047]** Gemäß Figur 15 erfolgen in einem kreisförmigen, kanalförmigen Element 9 Aufteilungen des Fluidstroms 16. Z.B. kann ein Strömungselement 7,8 aus 2 in radialer Richtung und 3 in Umfangsrichtung gekrümmten Grundformelementen aufgebaut sein. Der Kanalquerschnitt wird durch das Strömungselement 7,8 in Kreis- bzw. Kreisringteil-

stromquerschnitt unterteilt. Der in das kanalförmige Element 9 eintretende Fluidstrom 16 wird durch das erste Strömungsleitelement in 9 Teilströme aufgeteilt. In Position 1 im Kreisring sind die Teilströme 20. In Position 2 im Kreisring sind die Teilströme 21 und in Position 3 sind die Teilströme 22 im Innenkreis angeordnet.

[0048] Figur 16 stellt eine weitere Variation der Funktion der Strömungsleitelemente in einem kreisförmigen, kanalförmigen Element 9 dar. Das Strömungsleitelement ist aus 2 x 3 gekrümmten Grundformelementen 19 aufgebaut. Der Kanalquerschnitt (Querschnitt des kanalförmigen Elements 9) wird durch das Strömungsleitelement in Kreis- bzw. Kreisringteilstromquerschnitt unterteilt. Der in den Kanal eintretende Fluidstrom 16 wird durch das erste Strömungsleitelement in neun Teilströme aufgeteilt. In Position 1 sind die Teilströme 20 im äußeren Kreisring dargestellt. Die Teilströme 21 sind im inneren Kreisring vorhanden. Die Teilströme 22 sind im Innenkreis vorhanden.

[0049] Figur 17 zeigt einen Versuchsaufbau für die Messung des thermischen Wirkungsgrades. Hierbei sind mit T die Temperaturen gekennzeichnet. Gemessen wird  $T_{10}$  des einfließenden Fluids 1 und die Temperatur  $T_{11}$  des ausfließenden Fluids 1. Auf der anderen Seite wird das Fluid 2 mit der Temperatur  $T_{20}$  gemessen und die Temperatur  $T_{21}$  zeigt das Fluid 2. Das Fluid 1 hat die Ziffer 26, und das Fluid 2 die Ziffer 27.

[0050] Die folgende Tabelle zeigt die Messergebnisse der Versuche mit Strömungsleitelementen und ohne Strömungsleitelemente. Die letzte Spalte zeigt den thermischen Wirkungsgrad.

[0051] Dieser ist bei den erfindungsgemäßen Vorrichtungen und mit Strömungsleitelementen erheblich größer als ohne Strömungsleitelement. Die dunkel unterlegten Zeilen geben die Ergebnisse der Versuche mit Strömungsleitelementen an. Die hellgrau unterlegten Zeilen geben die Ergebnisse der Versuche ohne Strömungsleitelemente an.

$\dot{m}$ [ kg/h ]	$T_{10}$ [ C° ]	$T_{11}$ [ C° ]	$T_{20}$ [ C° ]	$T_{21}$ [ C° ]	$\frac{T_{11} - T_{10}}{T_{20} - T_{10}}$
5	20	72	89	35	0,75
	20	51	90	56	0,44
10	20	68	90	40	0,68
	20	46	90	64	0,37
40	20	56	89	52	0,52
	20	35	90	73	0,21

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzielung einer definierten Führung eines Volumenstroms eines Fluids durch ein kanalförmiges Element, wobei in dem kanalförmigen Element mikrokanalstrukturierte Strömungsleitelemente zur Aufteilung des Volumenstroms und Führung der entstehenden Teilströme von Fluiden angeordnet sind,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Konstruktion so ausgeführt ist, dass die Teilströme abwechselnd mit der Innenwand des kanalförmigen Elements und mit den anderen Teilströmen in Berührung gebracht werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem kanalförmigen Element zur Führung der Teilströme wenigstens ein mikrokanalstrukturiertes Strömungsleitelement angeordnet ist.

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrokanäle der Strömungsleitelemente an definierten Berührungsflächen von Teilströmen ohne Wand zwecks Austausch der Teilströme ausgestaltet sind.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet, dass** der Querschnitt des

kanalförmigen Elements kreis-, kreisring-, elipsen- oder rechtecksförmig ausgestaltet ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strömungsleitelemente katalytisch wirksames Material aufweisen oder hieraus bestehen.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** die mikrokanalstrukturierten Strömungsleitelemente mit katalytisch aktivem Material, Korrosionsschutz oder einer Antifoulingsschicht versehen sind oder mit beliebigen Kombinationen der genannten Schichten beaufschlagt sind, oder die genannten Materialien aufweisen, oder hieraus bestehen, oder beliebige Kombinationen der genannten Materialien aufweisen oder hieraus bestehen.
7. Verfahren zur Erzielung einer definierten Führung eines Volumenstroms eines Fluids durch ein kanalförmiges Element **dadurch gekennzeichnet, dass**
  - das Fluid in das kanalförmige Element einströmt,
  - das Fluid in, vorzugsweise laminare, Teilströme aufgeteilt wird,
  - die Aufteilung mittels in dem kanalförmigen Element vorhandenen mikrokanalstrukturierten Strömungsleitelementen erzielt wird,
  - die Teilströme durch die mikrokanalstrukturierten Strömungsleitelemente definiert geführt werden und
  - die Teilströme derart geführt werden, dass sie mit der Innenwand des kanalförmigen Elements und untereinander in Berührung gebracht werden, wobei die Teilströme abwechselnd mit der Innenwand des kanalförmigen Elements und mit den anderen Teilströmen in Berührung gebracht werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Teilströme derart geführt werden, dass sie abwechselnd mit der Innenwand des kanalförmigen Elements und mit den anderen Teilströmen in Berührung gebracht werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Teilstrom mindestens einmal an die Innenwand des kanalförmigen Elements geführt wird.
10. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 6 zur Erzielung eines Wärmeaustauschs mit der Innenwand eines kanalförmigen Elementes oder den anderen Teilströmen, und/oder zur Erzielung eines Stoffaustauschs mit den anderen Teilströmen.
11. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 6 zur Erzielung einer kontrollierten Reaktions- und/oder Prozessführung innerhalb der mikrokanalstrukturierten Strömungsleitelemente und/oder Prozesstemperierung an der Innenwand des kanalförmigen Elements.

## Claims

1. Device for achieving a defined guidance of a volume flow of a fluid through a channel-shaped element ,wherein in the channel-shaped element microchannel structured flow guide elements are arranged for dividing the volume flow and for guidance of the resulting partial flows of fluids,  
**characterized in that** the construction is arranged in such a way that the partial streams are guided such that they are brought into contact alternately with the inner wall of the channel-shaped elements and with the other partial streams.
2. Device according to claim1, **characterized in that** in the channel-shaped element for guiding the partial flows at least a microchannel structured flow guide element is arranged.
3. Device according to any one of the preceding claims, **characterized in that** for the replacement of the partial streams, the microchannels of the flow guide elements are designed at defined contact surfaces of partial streams without a wall.
4. Device according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the cross section of the channel-shaped element is designed in a circular, circular-ring, elliptical or rectangular shape.
5. Device according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the flow guiding elements have cata-

lytically active material or consist thereof.

6. Device according to claim 5, **characterized in that** the microchannel structured flow guide elements are provided with catalytically active material, corrosion protection or with an antifouling layer or are applied with any combinations of the mentioned layers or they have the mentioned materials, or consist thereof, or have any of the combinations of the mentioned material or consist thereof.

7. Method for achieving a defined guidance of a volume flow of a fluid through a channel-shaped element, **characterized in that**

- the fluid flows into the channel-shaped element
- the fluid is divided in preferably laminar, partial flows
- the division is achieved by microchannel structured flow guide elements, which are present in the channel-shaped element
- the partial flows are guided in a defined manner through the microchannel structured flow guide elements
- the partial flows are guided such that they are brought into contact with the inner surface of the channel shaped elements and among each other, whereby the partial flows alternately are brought into contact with the inner wall of the channel-shaped elements and with the other partial streams.

8. Method according to claim 7, **characterized in that** the partial flows are guided in such a manner that they alternately get in contact alternately with the inner wall of the channel-shaped elements and with the other partial streams.

9. Method according to any one of the preceding claims, **characterized in that** each partial flow is guided at least once to the inner surface of the channel - shaped element.

10. Use of the device according to any of the claims 1 - 6 for obtaining a heat-exchange with the inner wall of a channel-shaped element or the other partials flows , and/or to achieve a mass transfer with the other partial flows.

11. Use of the device according to any of the 1 - 6 for achieving a controlled reaction and/or process control within the microchannel structured flow guide elements and/or temperature controle at the inner wall of the channel-shaped element.

## Revendications

1. Dispositif pour obtenir une guidage definie d'un circuit de volume d'un fluide par un élément en forme de canal, en ce que dans l'élément en forme de canal des éléments de guidage de circuit en structure microcanal sont arrangés pour la division du circuit et la guidage des circuits partiels résultants des fluides, **caractérisé en ce que** la construction est arrangée de telle sorte que les circuits partiels sont guidés d'une telle manière qu'ils sont mis en contact alternativement avec la paroi intérieure des éléments en forme de canal et avec les autres circuits partiels.

2. Dispositif selon la revendication1, caractérisé en ce e que dans l'élément en forme de canal pour la guidage des circuits partiels, au moins un élément de guidage de circuit en structure de microcanal est arrangé.

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les microcanaux des éléments de guidage des circuits sont formés aux définies surfaces de contact des circuits partiels sans paroi pour remplacement des circuits partiels.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la section transversale de l'élément en structure de canal est formée en forme circulaire, anneau-circulaire, elliptiquement ou rectangulaire.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les éléments de guidage de circuits ont un matériau catalytiquement actif ou sont composés de celui-ci.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce e que des éléments de guidage de circuits en forme de microcanal sont munis d'un matériau catalytiquement actif, protection contre la corrosion ou avec une couche antifouling ou sont appliqués avec diverses combinaisons des couches mentionnées, ou qui ont des matériaux mentionnés ou sont composés de ceux-ci ou ont toutes les combinaisons possibles du matériau mentionné ou sont composé de



ceux-ci.

7. Procédé pour obtenir la guidage définie d'un circuit de volume d'un fluide par un élément en forme de canal, **caractérisé en ce que**

- le fluide coule dans l'élément en forme de canal
- le fluide est divisé en des circuits partiels, en préférence laminaires
- la division est obtenue par des éléments de guidage de circuits en structure de microcanal, que sont présents dans l'élément en forme de canal
- les circuits partiels sont guidés dans une manière définie par les éléments de guidage de circuits en structure microcanal
- les circuits partiels sont guidés d'une telle manière qu'ils sont mis en contact avec la paroi intérieure de l'élément en forme de canal et l'un avec l'autre, et les circuits partiels sont mis en contact alternativement avec la paroi intérieure de l'élément en forme de canal et avec les autres circuits partiels.

8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** les circuits partiels sont guidés d'une telle manière qu'ils sont mis en contact alternativement avec la paroi intérieure de l'élément en forme de canal et avec les autres circuits partiels.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** chaque circuit partiel est guidé au moins une fois à la paroi intérieure de l'élément en forme de canal.

10. Utilisation selon l'une quelconque des revendications 1 - 6 pour obtenir un échange de chaleur avec la paroi intérieure d'un élément en forme de canal ou les autres circuits partiels, et/ou pour obtenir un transfert de mass avec les autres circuits partiels.

11. Utilisation selon l'une quelconque des revendications 1 - 6 pour obtenir une réaction contrôlée et/ou un processus de contrôle dans les éléments de guidage de circuits en structure microcanal et/ou le processus de contrôle de la température à la paroi intérieure de l'élément en forme de canal.

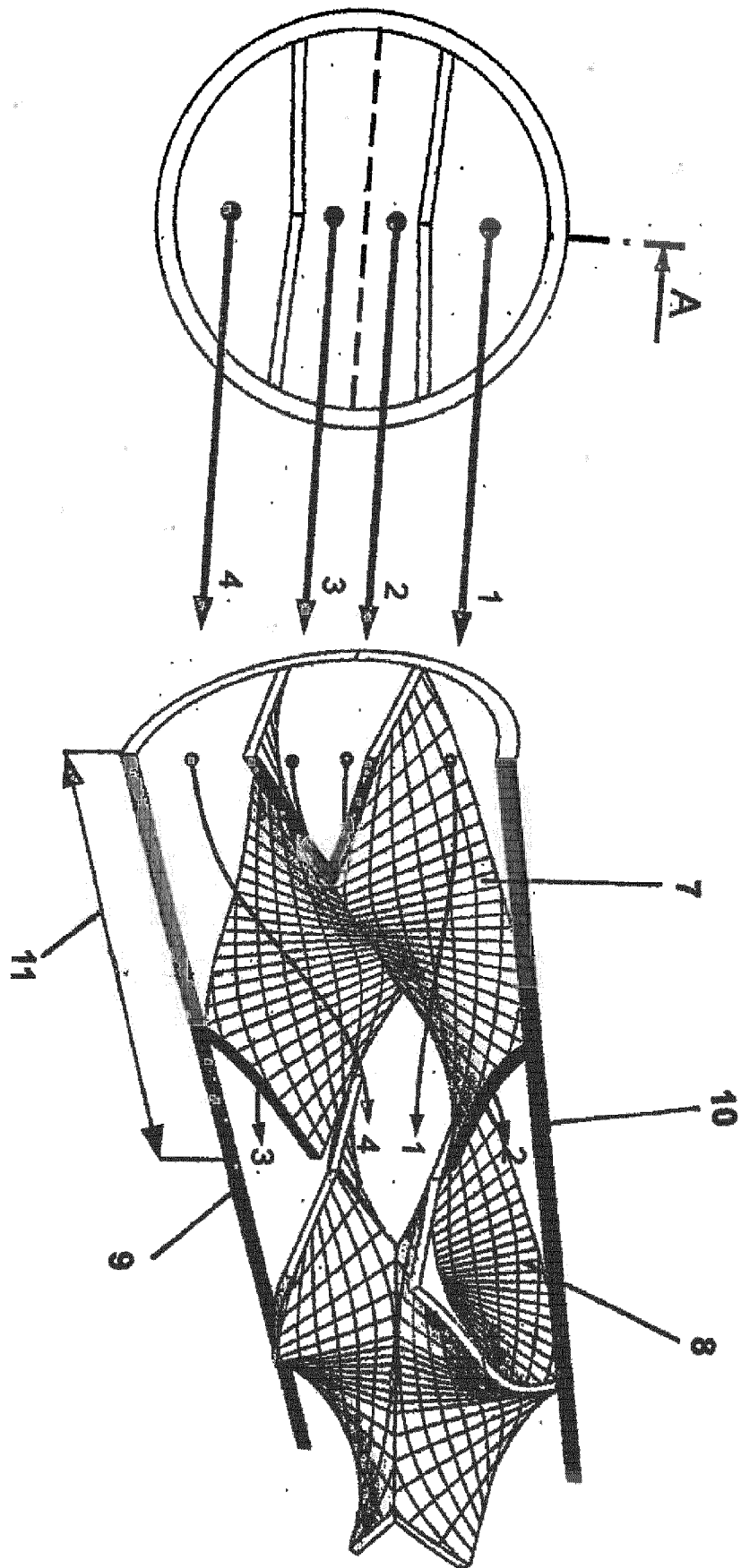


Figure 1

Figure 2

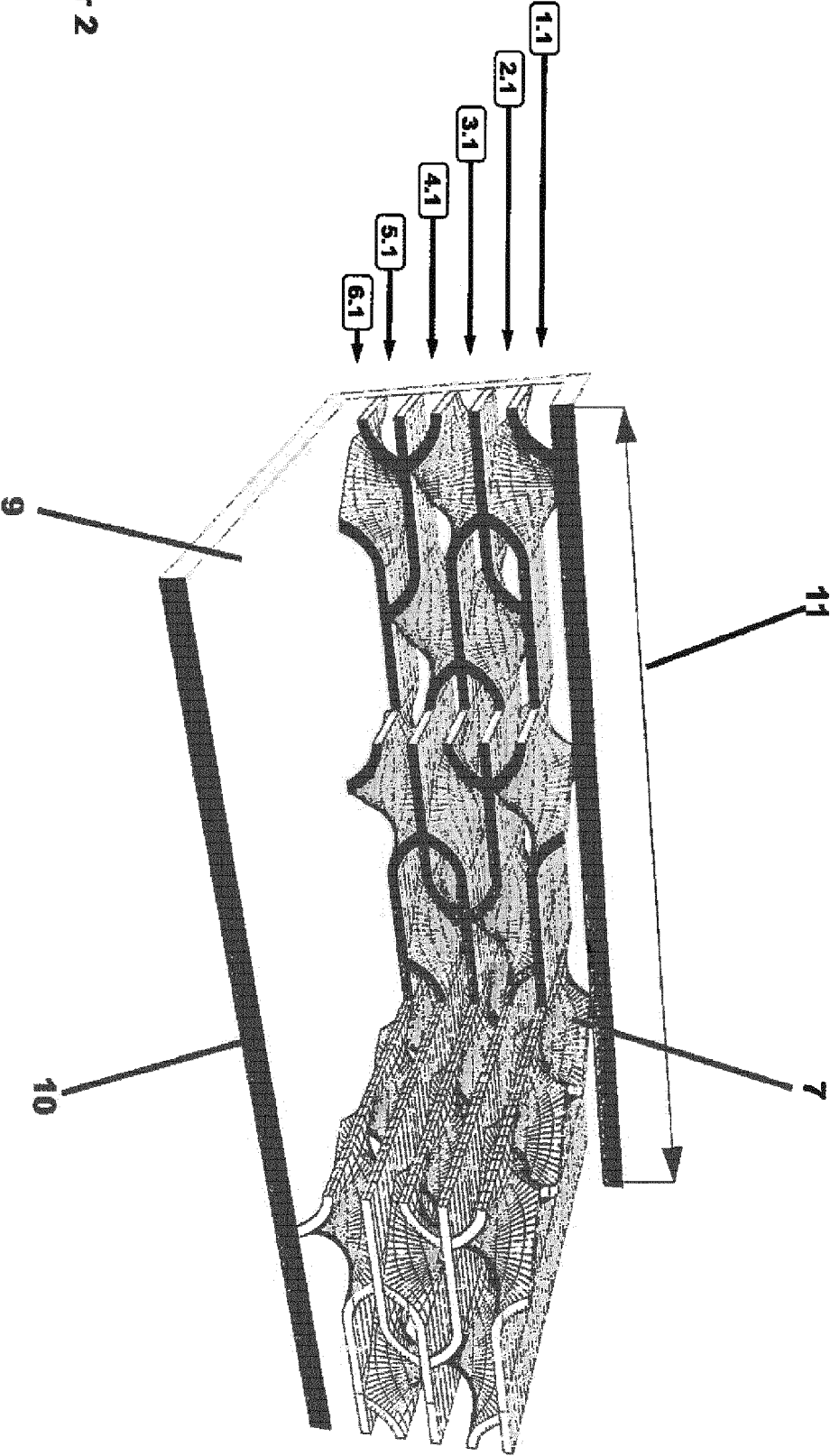
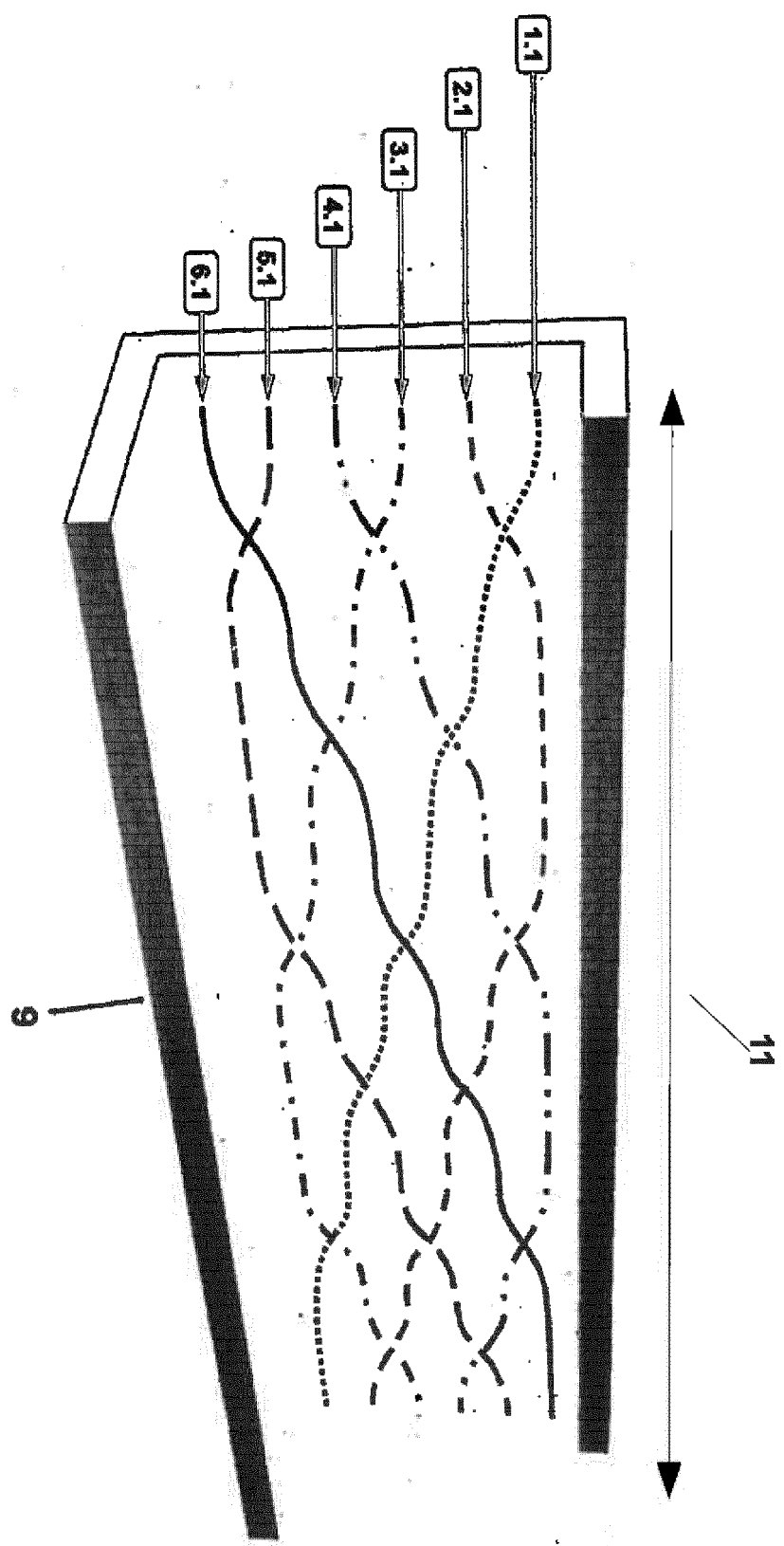
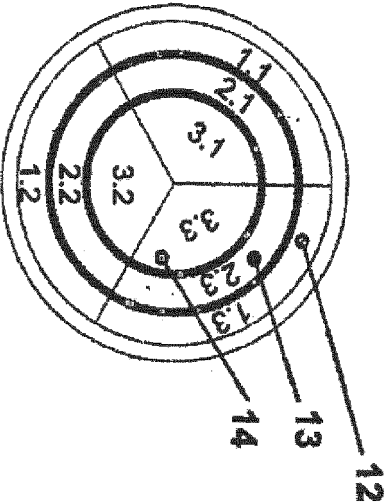
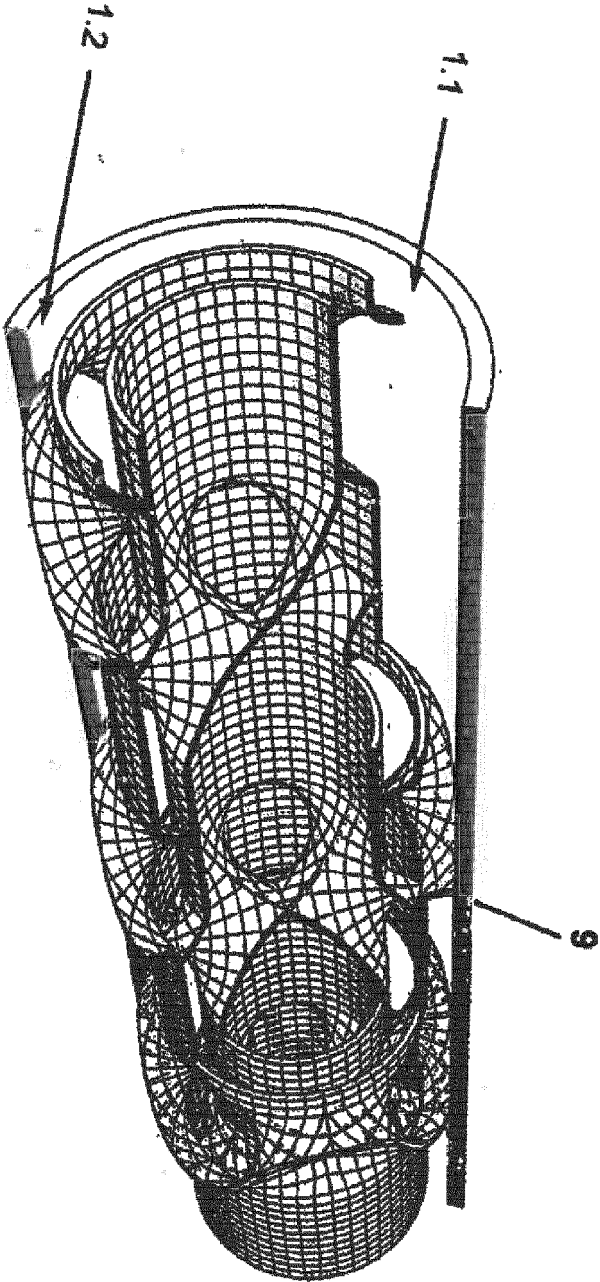


Figure 3



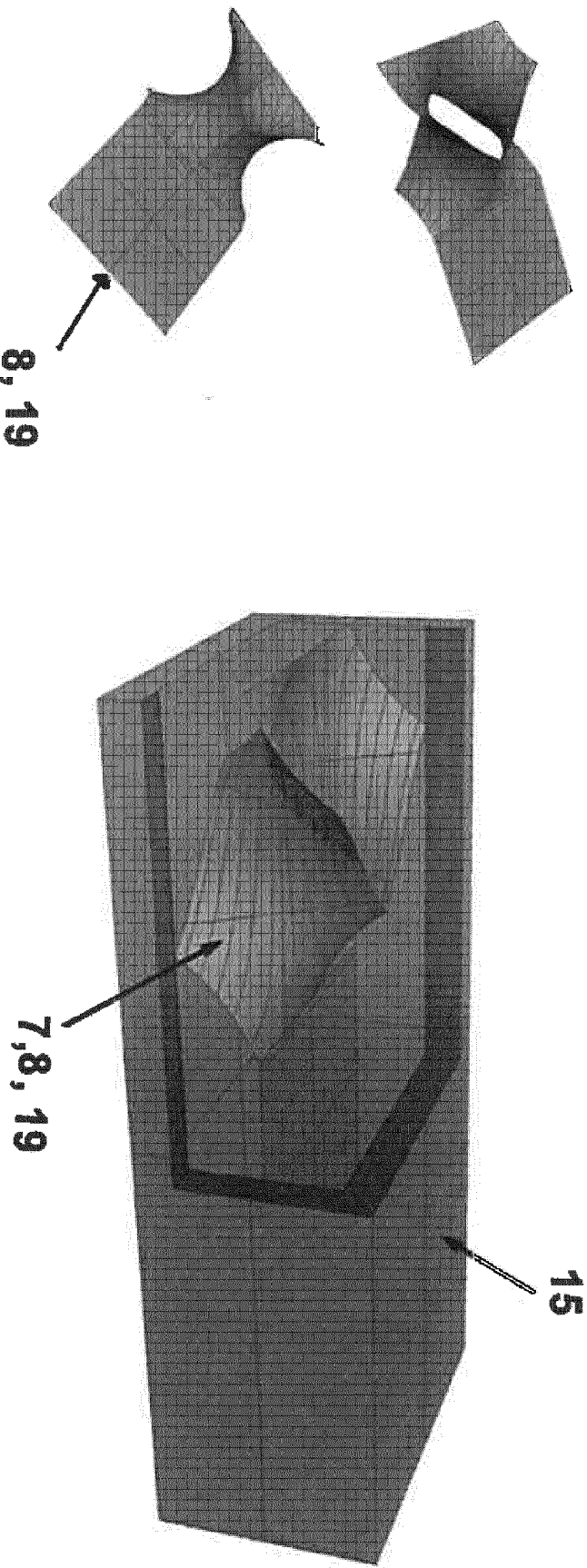


Figur 4

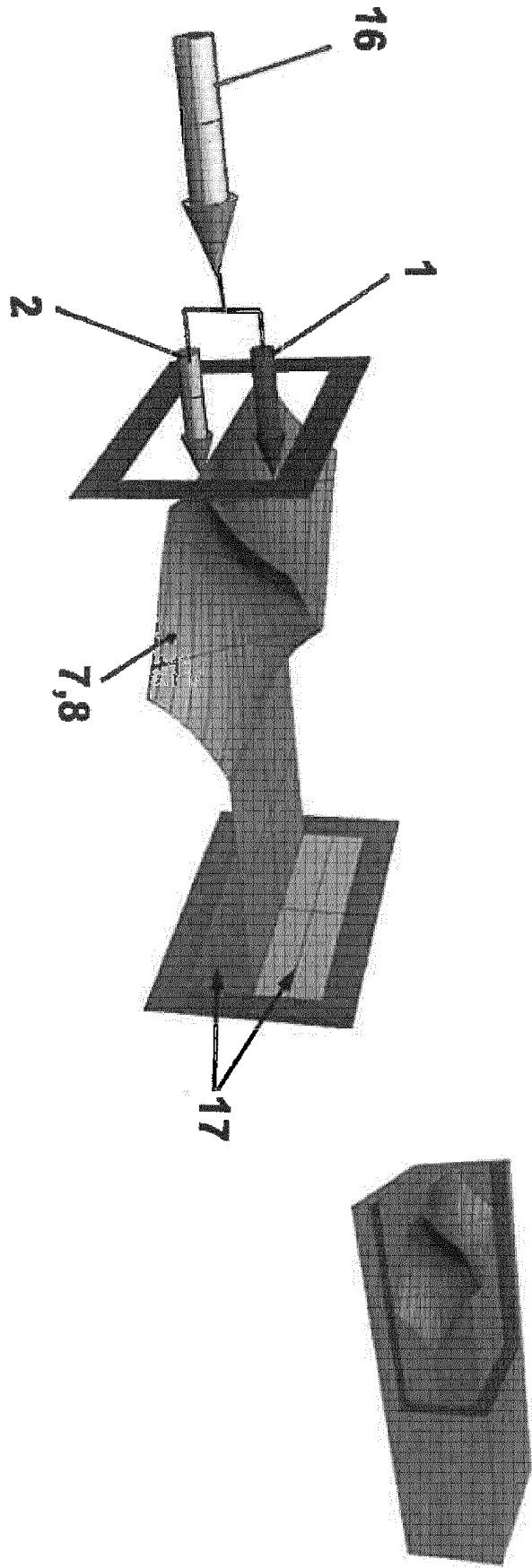


Figur 5

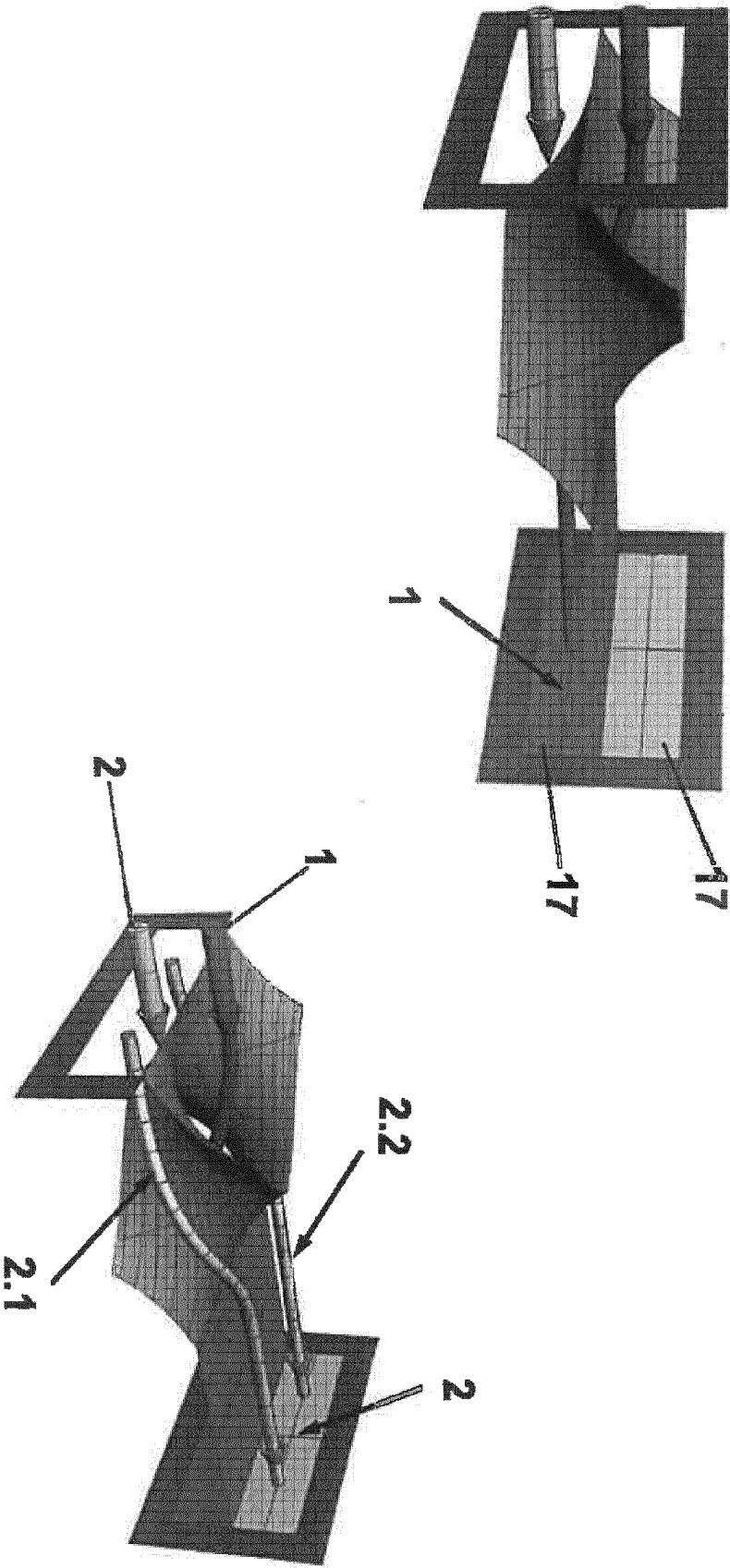
Figure 6



Figur 7

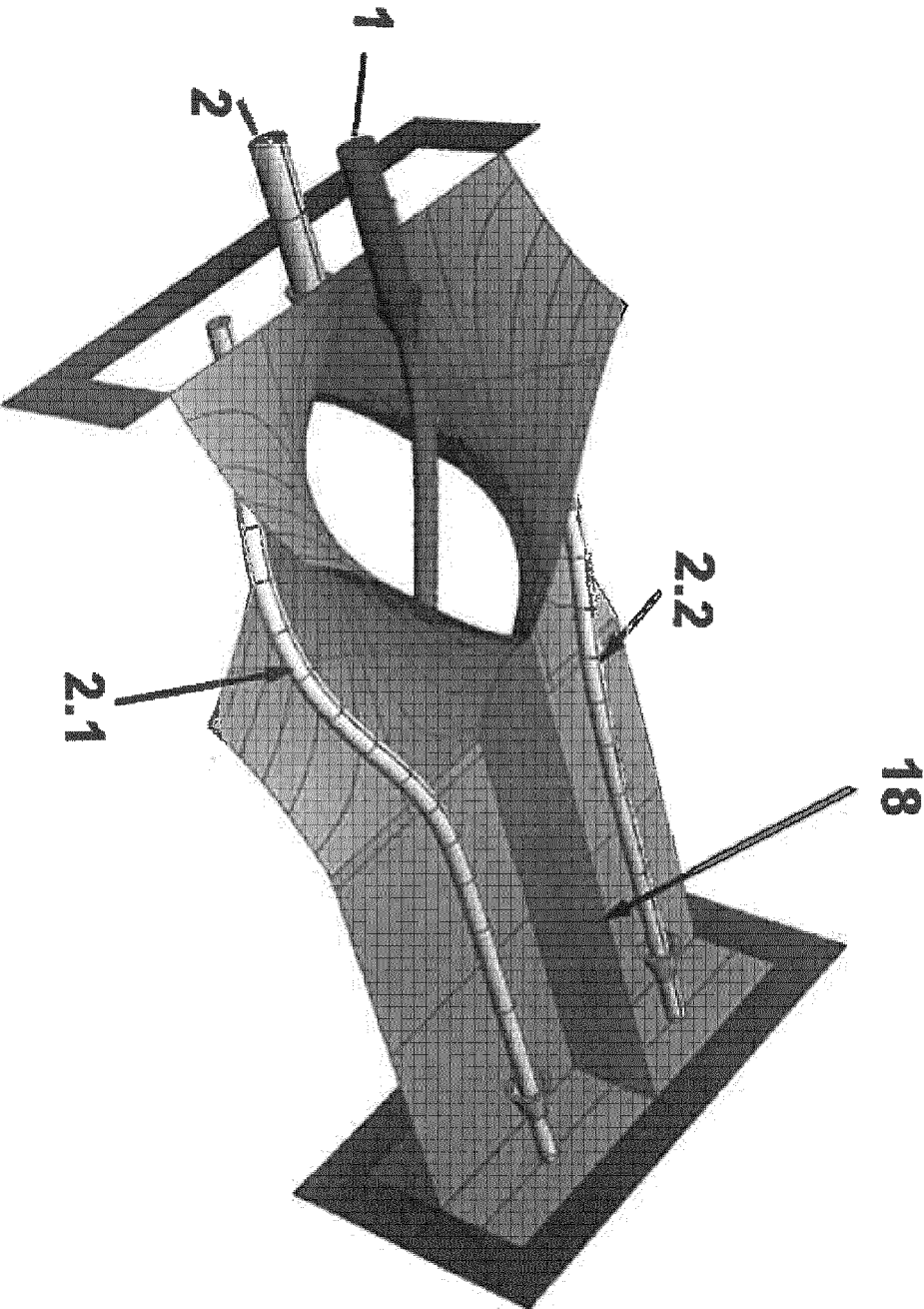


Figur 8





Figur 9



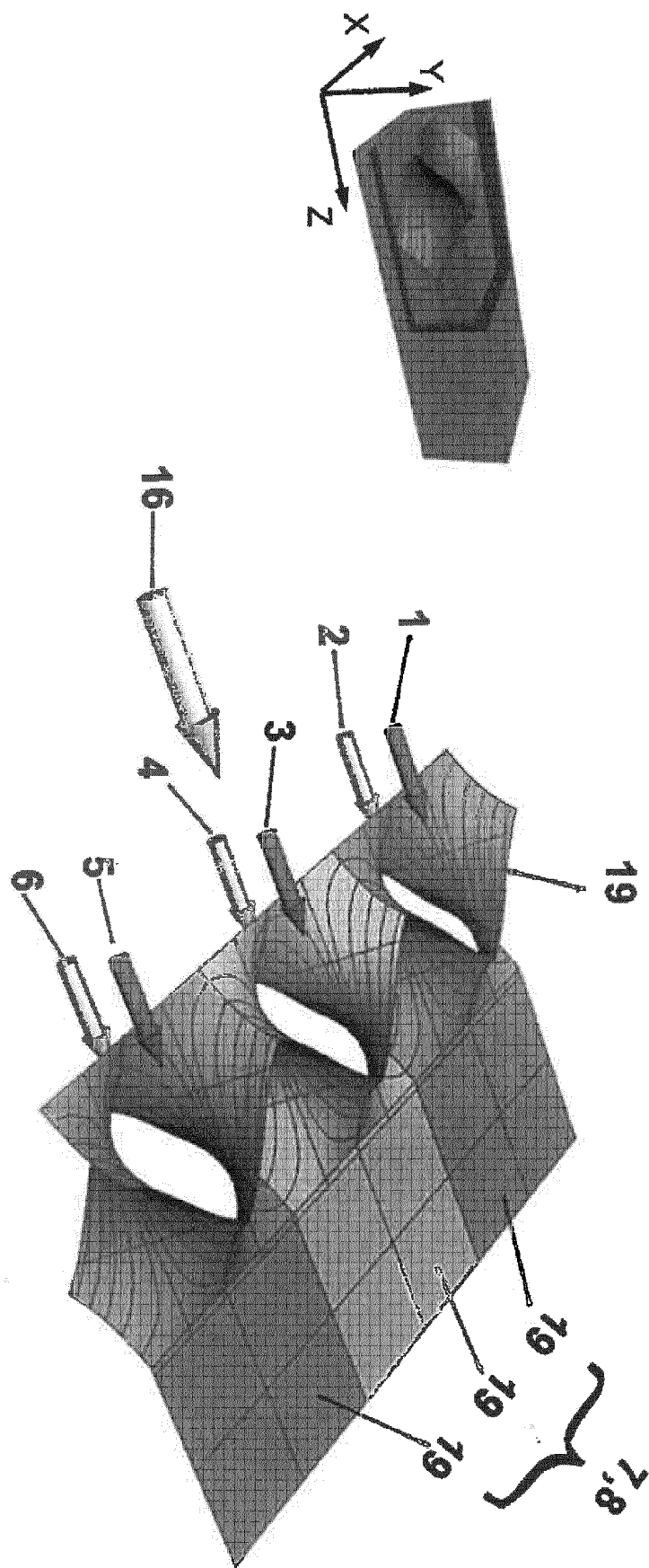
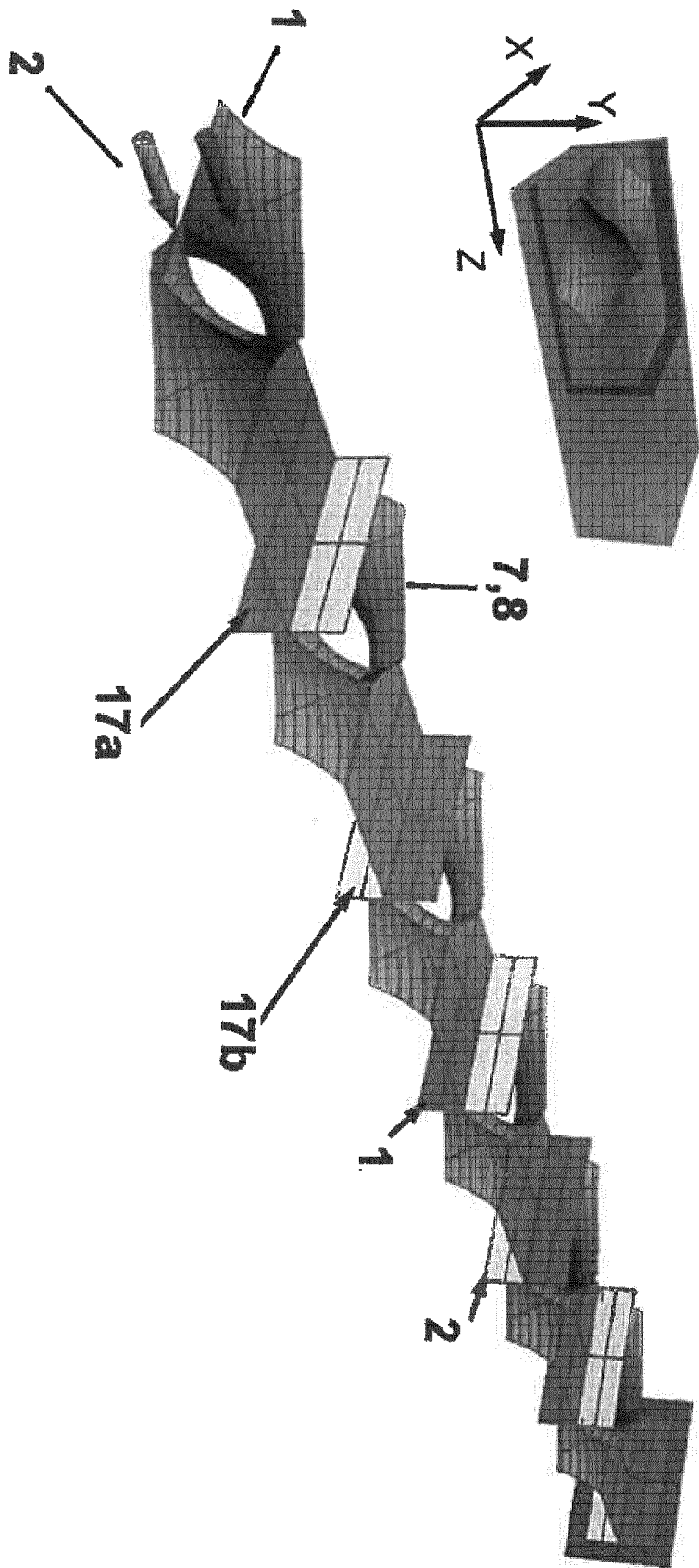
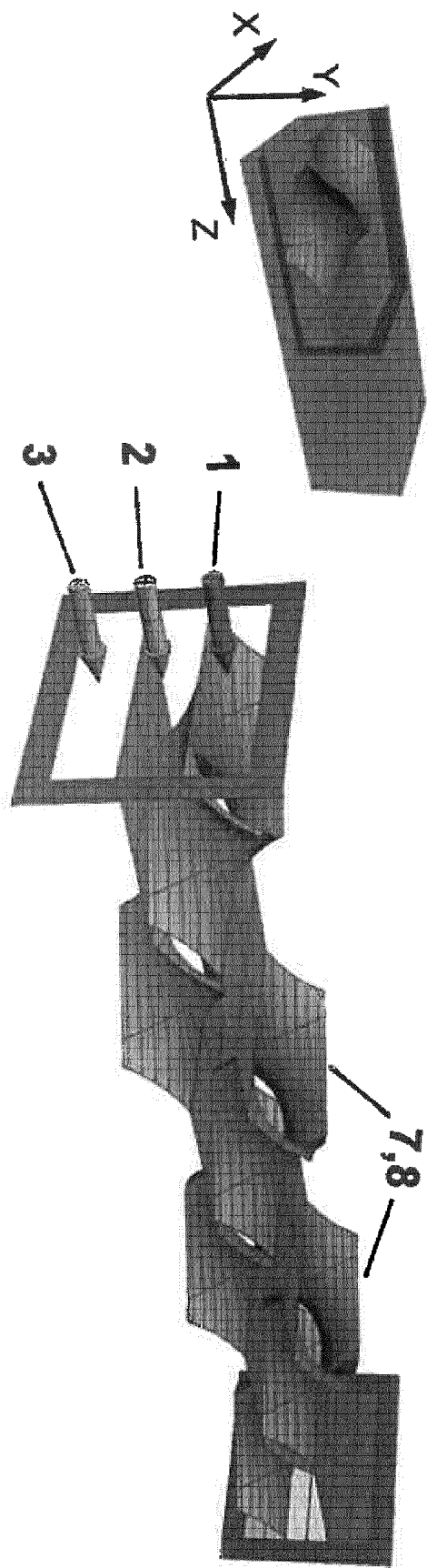


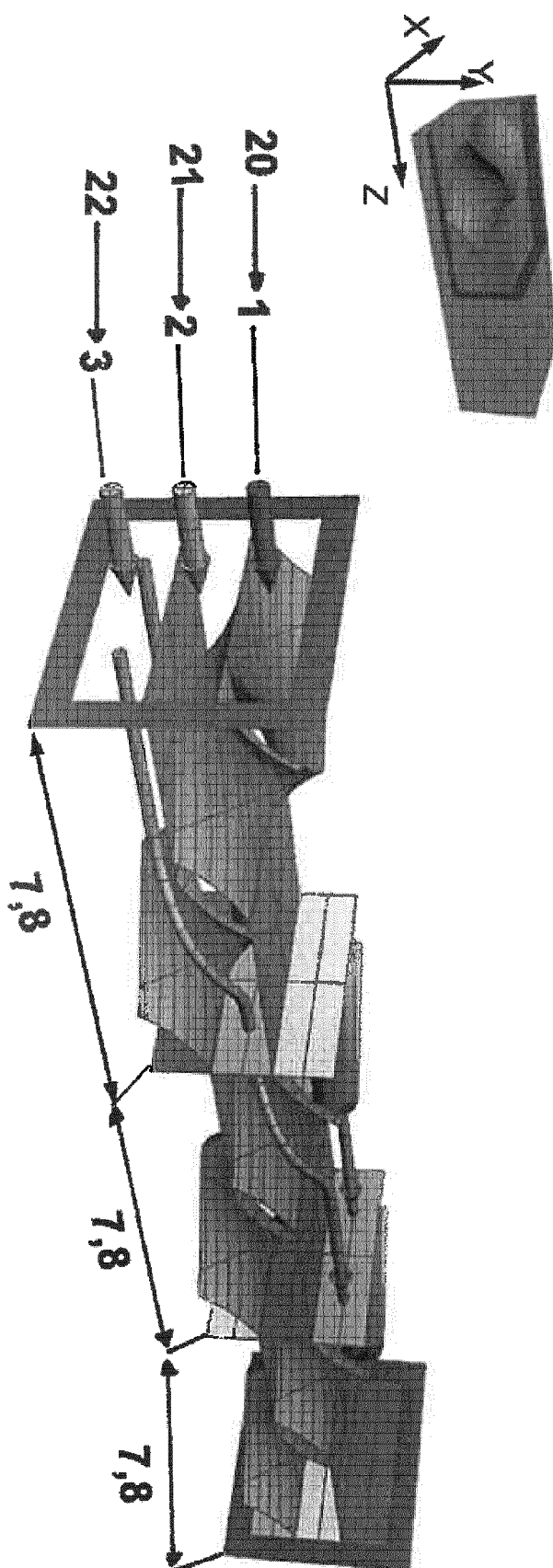
Figure 10



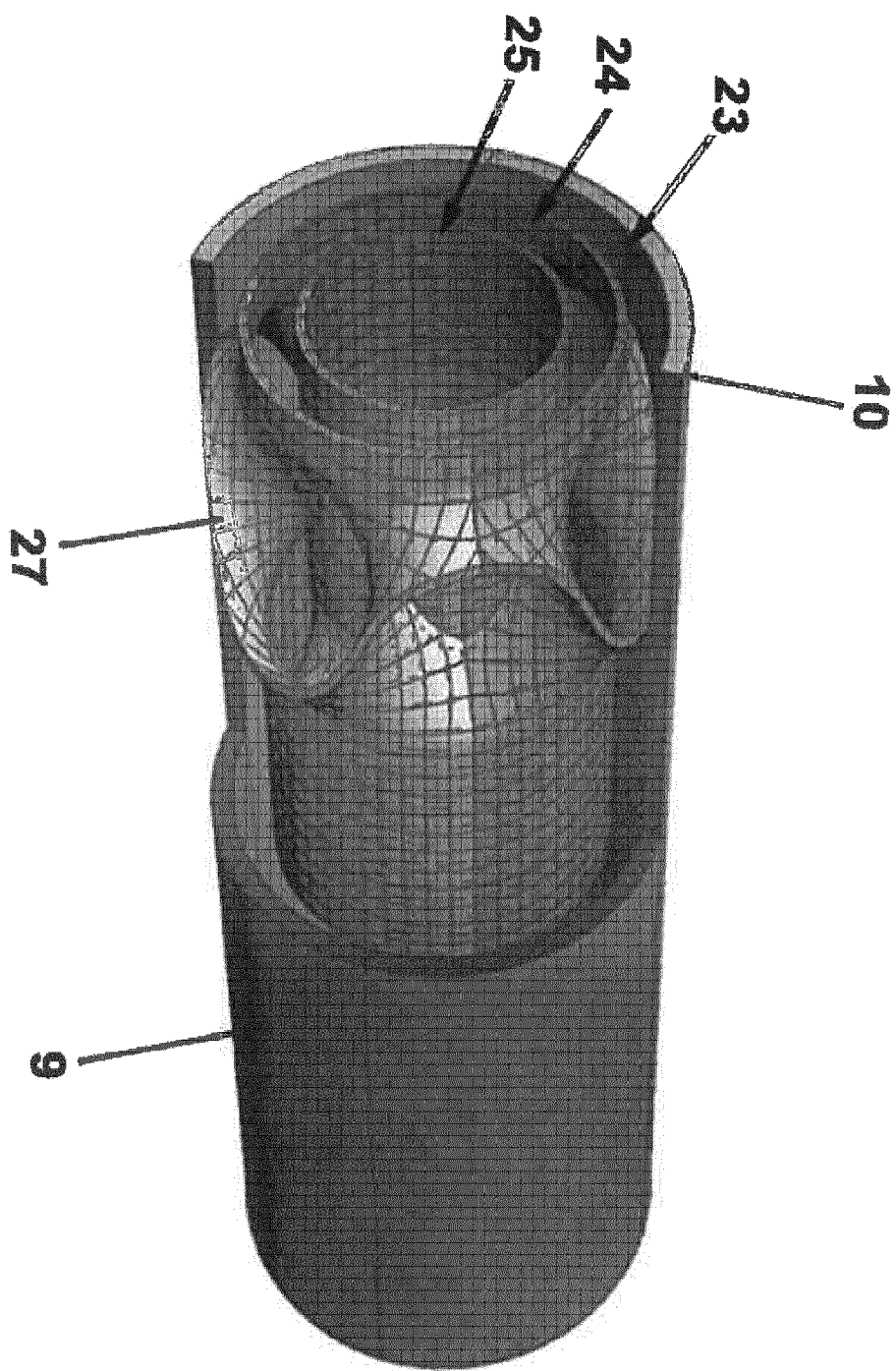
Figur 11



Figur 12



**Figure 13**



Figur 14

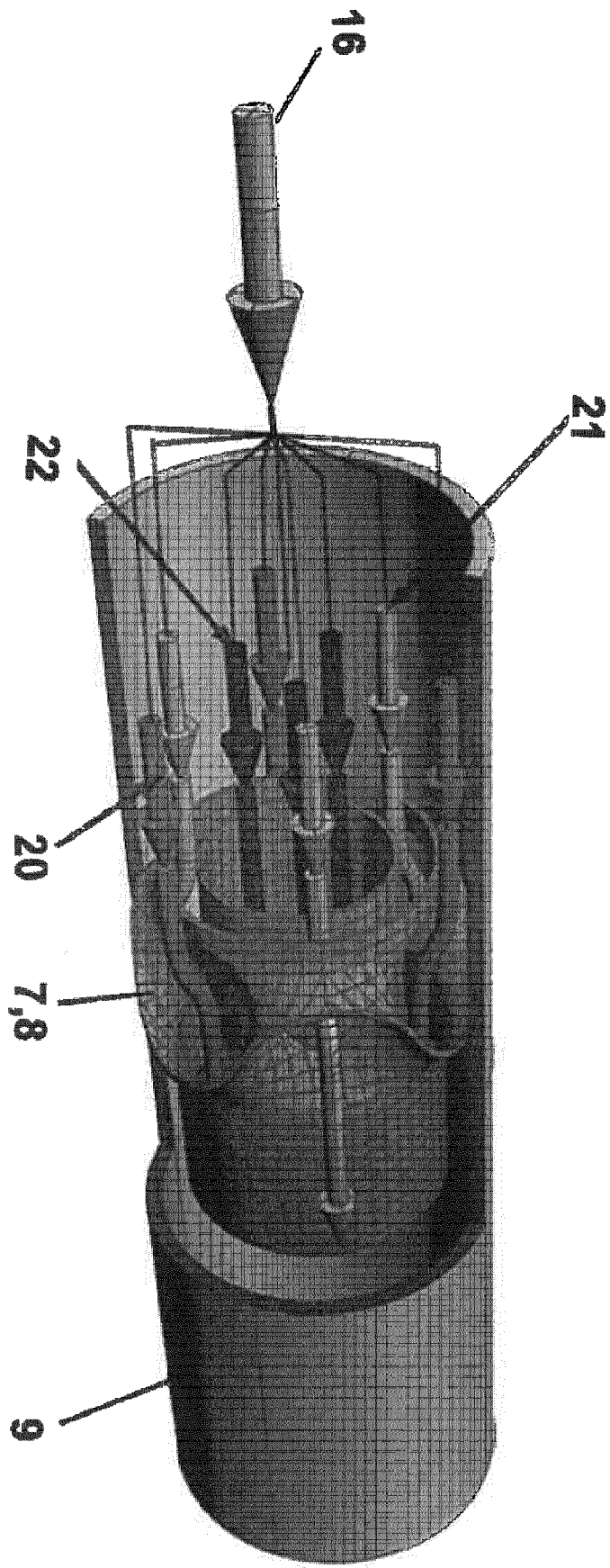
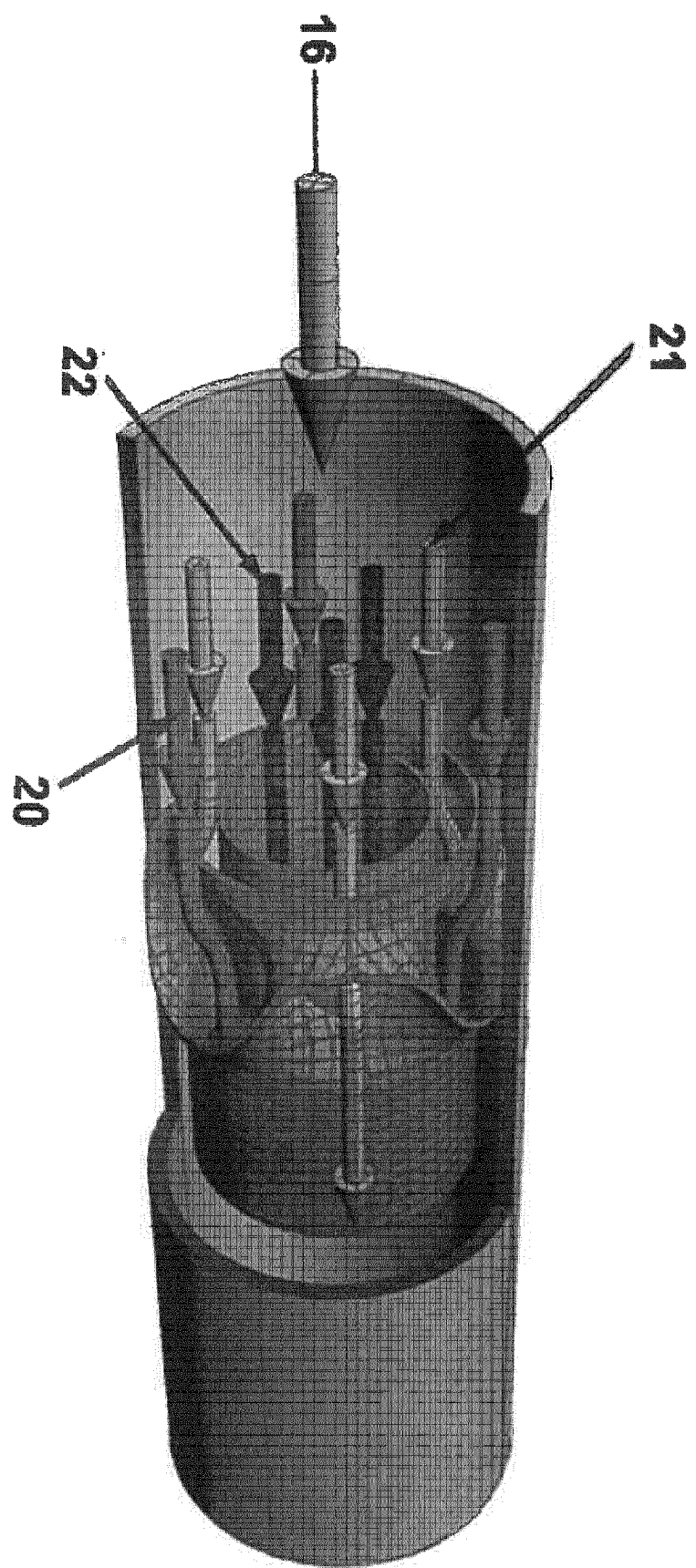
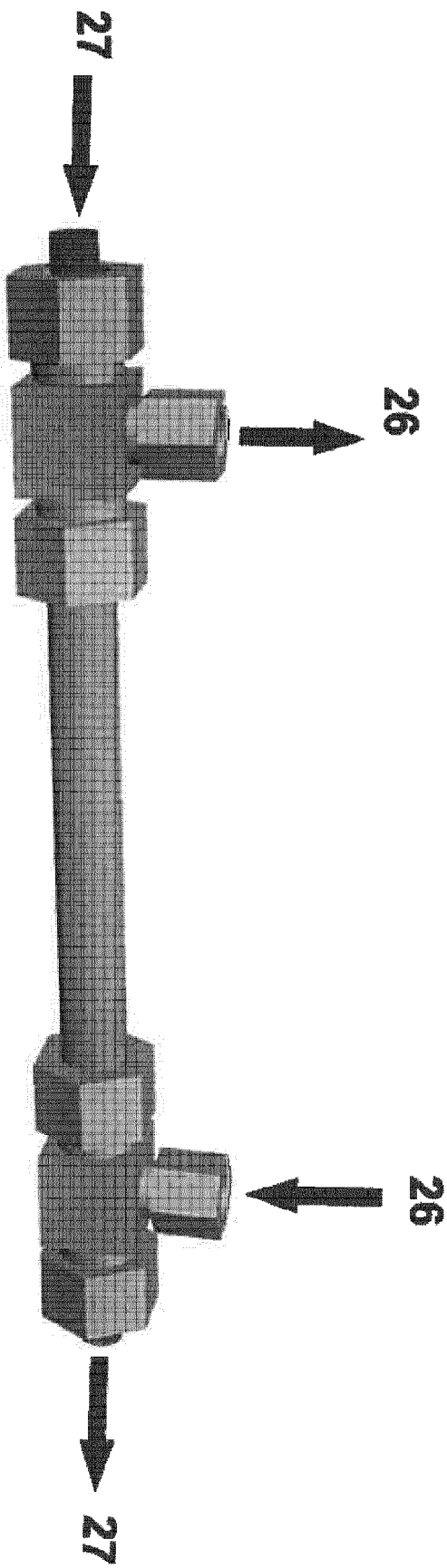


Figure 15



Figur 16





## 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

- DE 2808854 C3 [0002]
- EP 1067352 A1 [0003]
- DE 10326381 A1 [0003]
- EP 1332794 B1 [0003]
- DE 19511693 A1 [0003]
- US 7552741 B [0003]
- US 5595712 A [0003]
- US 201200370 A1 [0003]
- DE 19536856 A1 [0003]
- WO 2011115883 A2 [0004]

### In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- NORBERT SCHWESIGER; THOMAS FRANK; HELMUT WURMUS. A modular microfluid system with the integrated micromixture. *Journal of micro-mechanisms and micro engineering*, 1996, vol. 1, 99-102 [0003]
- HESSEL, V.; EHRFELD, W.; FREIMUTH, H.; HAFERKAMP, V.; LÖWE-RICHTER, TH.; STADEL, M.; WOLF, A. Publication and interconnection of ceramic microreaction systems for high temperature applications. *Proc. 1 St. INT. Conf. on micro-reaction technology*, 1997, 156-157 [0003]