

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50614/2022
(22) Anmeldetag: 09.08.2022
(45) Veröffentlicht am: 15.01.2024

(51) Int. Cl.: **H05H 1/30** (2006.01)
F23G 5/08 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 69216970 T2
US 6153852 A
US 2004107796 A1
EP 1433366 A1
WO 2005020646 A2
US 2005061783 A1
EP 2671430 A1
EP 3314989 A1
DE 102020202484 A1

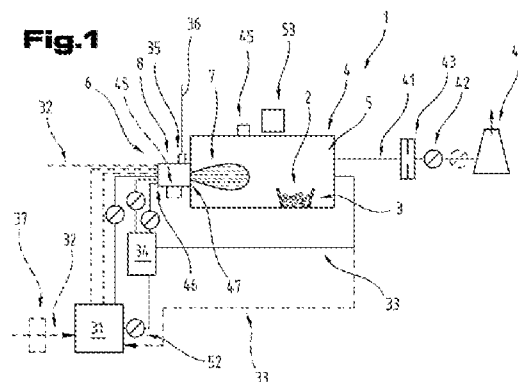
(73) Patentinhaber:
Thermal Processing Solutions GmbH
5282 Braunau am Inn - Ranshofen (AT)

(72) Erfinder:
Wiggen Werner
95189 Köditz (DE)

(74) Vertreter:
Anwälte Burger und Partner Rechtsanwalt
GmbH
4580 Windischgarsten (AT)

(54) **Vorrichtung zur Bereitstellung eines Plasmas**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (6) zur Bereitstellung eines Plasmas umfassend zumindest ein Plasmaerzeugungselement (8) mit einem Eingang (46) und einem Ausgang (47) für ein gasförmiges Fluid, wobei in dem Plasmaerzeugungselement (8) ein erster Strömungskanal (11) angeordnet ist, gegebenenfalls ein dazu konzentrisch angeordneter zweiter Strömungskanal (12), der den ersten Strömungskanal (11) zumindest abschnittsweise umgibt, angeordnet ist, wobei der erste Strömungskanal (11) mit einem ersten Anschluss (16) für ein gasförmiges Fluid zur Ausbildung eines erhitzten Gasstroms und/oder eine Plasmastroms strömungsverbunden ist, und wobei der Eingang (46) des Plasmaerzeugungselements (8) mit einem Förderelement (34) strömungsverbunden ist, mit dem das gasförmige Fluid beschleunigbar ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bereitstellung eines Plasmas umfassend zumindest ein Plasmaerzeugungselement mit einem Eingang und einem Ausgang für ein gasförmiges Fluid, wobei in dem Plasmaerzeugungselement ein erster Strömungskanal angeordnet ist, gegebenenfalls ein dazu konzentrisch angeordneter zweiter Strömungskanal, der den ersten Strömungskanal zumindest abschnittsweise umgibt, angeordnet ist, wobei der erste Strömungskanal mit einem ersten Anschluss für ein gasförmiges Fluid zur Ausbildung eines erhitzten Gasstroms und/oder eines Plasmastroms strömungsverbunden ist.

[0002] Weiter betrifft die Erfindung eine Einrichtung zur thermischen Behandlung eines Stoffes, insbesondere eines Feststoffes, umfassend zumindest eine Vorrichtung zur Bereitstellung eines Plasmas.

[0003] Zudem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Vorrichtung zur Bereitstellung eines Plasmas für die Erzeugung eines Heißgasstromes und/oder eines Plasmastroms zum thermischen Behandeln von einem Stoff umfassend die Schritte: Zuführung eines gasförmigen Fluids in ein Plasmaerzeugungselement der Vorrichtung, Erzeugen eines Plasmas im Plasmaerzeugungselement; Bereitstellen eines heißen Fluidstroms durch das Plasma, gegebenenfalls durch Erhitzung des gasförmigen Fluids mit dem Plasma zur Herstellung eines Heißgases, wobei der heiße Fluidstrom außerhalb des Plasmaerzeugungselements auf den zu behandelnden Stoff gelenkt wird.

[0004] Der Einsatz von sogenannten Plasmabrennern unterschiedlichster Ausführungen für das Schmelzen von Substanzen, insbesondere von Metallen, ist bereits im Stand der Technik dokumentiert.

[0005] So beschreibt zum Beispiel die DE10 2020 202 484 A1 eine Vorrichtung zum Schmelzen von Metallen, deren Schmelztemperatur kleiner 1000 °C ist, bei der an einem Schmelzofen eine Einrichtung zur Ausbildung eines Plasma angeordnet ist, wobei die Einrichtung an eine elektrische Spannungsversorgung und an die Einrichtung mindestens eine erste Zuführung für ein Plasmagas, mit dem das Plasma ausbildbar ist, angeschlossen ist und die Einrichtung so ausgebildet, dimensioniert, angeordnet und/oder ausgerichtet ist, dass das ausgebildete Plasma in einem Abstand zum Metall als Schmelzgut angeordnet ist, und dabei mit dem Plasma ein Heißgasstrom ausbildbar ist, der in Richtung des Schmelzguts ausgerichtet ist und zur Aufnahme des geschmolzenen Metalls eine Schmelzwanne oder ein Tiegel im Schmelzofen angeordnet ist.

[0006] Aus der EP 1 433 366 A1 ist ein Induktivplasmabrenner bekannt mit einem rohrförmigen Brennerkörper mit einem proximalen und einem distalen Ende, der ferner eine innere zylindrische Fläche mit einem ersten Durchmesser aufweist, einem ein Plasma einschließendes Rohr, welches aus einem Material gefertigt ist, welches eine hohe thermische Leitfähigkeit aufweist, welches eine axiale Kammer definiert, in der ein Hochtemperaturplasma eingeschlossen ist, und welches eine zylinderförmige äußere Fläche aufweist mit einem zweiten Durchmesser, der geringfügig kleiner ist als der erste Durchmesser, wobei das das Plasma einschließende Rohr innerhalb des rohrförmigen Brennerkörpers montiert ist und die zylinderförmigen inneren und äußeren Flächen koaxial zueinander ausgerichtet sind, um zwischen den inneren und äußeren Oberflächen eine dünne ringförmige Kammer mit gleicher Dicke zu bilden, einem Gasverteilerkopf, der am proximalen Ende des Brennerkörpers montiert ist, um mindestens eine gasförmige Substanz in die axiale Kammer einzuführen, die durch das ein Plasma einschließende Rohr definiert wird, einer Kühlfluidquelle, die mit der dünnen ringförmigen Kammer verbunden ist, um eine Kühlfluidströmung hoher Geschwindigkeit in der ringförmigen Kammer herzustellen, wobei sowohl die hohe thermische Leitfähigkeit des Materials, aus dem das das Plasma einschließende Rohr gefertigt ist, als auch die Strömung hoher Geschwindigkeit des Kühlfluids effizient zu der Wärmeübertragung von dem das Plasma einschließenden Rohr in das Kühlfluid beitragen, wodurch das das Plasma einschließende Rohr effizient gekühlt wird, einer ersten Stromversorgung mit einem höheren Frequenzgang, einer zweiten Stromversorgung mit einem niedrigeren Frequenzgang, die erste und zweite Anschlüsse aufweist, einer Reihe von Induktionsspu-

len, die am rohrförmigen Brennerkörper im Wesentlichen koaxial zum rohrförmigen Brennerkörper zwischen dem proximalen und dem distalen Ende des Brennerkörpers angeordnet sind, aufweisend eine erste Induktionsspule, die mit dem Ausgang höherer Frequenz der ersten Stromversorgung verbunden ist, um induktiv Energie an mindestens eine gasförmige Substanz anzulegen, die in die axiale Kammer gespeist wird, und eine Mehrzahl zweiter Induktionsspulen, die zwischen der ersten Induktionsspule und dem distalen Ende des rohrförmigen Brennerkörpers angeordnet sind, wobei die zweiten Induktionsspulen jeweils entsprechende Anschlüsse aufweisen, und einer Verbindungsschaltung, die zwischen ersten und zweiten Anschlüssen des Ausgangs niedrigerer Frequenz der zweiten Stromversorgung und den Anschlüssen der zweiten Induktionsspulen angeordnet ist, um die zweiten Induktionsspulen in einer Reihen- und/oder Parallelschaltung zwischen den ersten und zweiten Anschlüssen miteinander zu verbinden, um eine Eingangsimpedanz der zweiten Induktionsspulen an eine Ausgangsimpedanz der zweiten Stromversorgung anzupassen, und induktiv Energie an die mindestens eine gasförmige Substanz anzulegen, die in die axiale Kammer gespeist wird.

[0007] Die US 2004/107796 A1 beschreibt ein plasmaunterstütztes Schmelzverfahren, umfassend: Bilden eines Plasmas in einem Hohlraum, indem ein erstes Gas elektromagnetischer Strahlung mit einer Frequenz von weniger als etwa 333 GHz in Gegenwart eines Plasmakatalysators ausgesetzt wird; Erhitzen eines zweiten Gases mit dem Plasma; Hinzufügen eines Feststoffs zu einem Schmelzgefäß; und Richten des erhitzten zweiten Gases auf den Feststoff, ausreichend, um den Feststoff zumindest zu schmelzen.

[0008] Aus der DE 69216970 T2 ist ein Induktionsplasmabrenner bekannt, der umfasst: einen röhrenförmigen Brennerkörper, der eine zylindrische Innenfläche mit einem ersten Durchmesser enthält; eine Plasmaeinschließungsröhre, die aus wärmeleitendem Keramikmaterial besteht und ein erstes Ende, ein zweites Ende sowie eine zylindrische Außenfläche enthält, die einen zweiten Durchmesser aufweist, der kleiner ist als der erste Durchmesser; wobei die Plasmaeinschließungsröhre in dem röhrenförmigen Brennerkörper angebracht ist und zwischen der zylindrischen Innen- und der Außenfläche eine ringförmige Kammer bildet; einen Gasverteiler, der an dem röhrenförmigen Brennerkörper am ersten Ende der Plasmaeinschließungsröhre angebracht ist und der Plasmaeinschließungsröhre wenigstens eine gasförmige Substanz zuführt, wobei die wenigstens eine gasförmige Substanz durch die Plasmaeinschließungsröhre von ihrem ersten Ende auf ihr zweites Ende zu strömt; eine Induktionsspule, der ein elektrischer Strom zugeführt wird, um der wenigstens einen gasförmigen Substanz, die durch die Plasmaeinschließungsröhre strömt, induktiv Energie zuführen, um Plasma in der Einschließungsröhre herzustellen und zu erhalten, wobei die Induktionsspule koaxial zu der zylindrischen Innen- und der Außenfläche der ringförmigen Kammer ist; und eine Einrichtung zum Herstellen eines Stroms von Kühlfluid in der ringförmigen Kammer; wobei die Induktionsspule in dem röhrenförmigen Brennerkörper eingebettet ist, und die zylindrische Innen- und die Außenfläche maschinell bearbeitet und koaxial sind, so dass die ringförmige Kammer eine einheitliche Dicke aufweist.

[0009] Die EP 3 314 989 B1 beschreibt einen Induktionsplasmabrenner umfassend: einen röhrenförmigen Brennerkörper mit einem vorgelagerten Bereich und einem nachgelagerten Bereich, wobei der vorgelagerte und der nachgelagerte Bereich jeweilige innere Oberflächen definieren; und eine Plasmaeinschlussröhre, bereitgestellt innerhalb des röhrenförmigen Brennerkörpers, koaxial mit dem röhrenförmigen Brennerkörper und mit einer inneren Oberfläche von konstantem inneren Durchmesser und einer äußeren Oberfläche; und einen röhrenförmigen Einsatz, montiert an der inneren Oberfläche des nachgelagerten Bereichs des röhrenförmigen Brennerkörpers wobei der röhrenförmige Einsatz eine innere Oberfläche aufweist; und einen ringförmigen Kanal, definiert zwischen der inneren Oberfläche des vorgelagerten Bereichs des röhrenförmigen Brennerkörpers und der inneren Oberfläche des röhrenförmigen Einsatzes, und der äußeren Oberfläche der Plasmaeinschlussröhre, wobei der ringförmige Kanal konfiguriert ist, um eine Kühlflüssigkeit zum Kühlen der Plasmaeinschlussröhre zu leiten; und wobei die Plasmaeinschlussröhre eine röhrenförmige Wand mit einer sich über wenigstens einen Bereich der Plasmaeinschlussröhre in eine axiale Richtung des Plasmaflusses verjüngenden Dicke aufweist.

[0010] Die EP 2 671 430 B1 beschreibt einen Induktions-Plasmabrenner, Folgendes umfassend:

einen rohrförmigen Brennerkörper, aufweisend eine innere Oberfläche; ein Plasmaeinschlussrohr, koaxial mit dem rohrförmigen Brennerkörper in dem rohrförmigen Brennerkörper angeordnet, wobei das Plasmaeinschlussrohr eine äußere Oberfläche aufweist; einen Gasverteilerkopf, angeordnet an einem Ende des Plasmaeinschlussrohrs und strukturiert, um mindestens eine gasförmige Substanz in das Plasmaeinschlussrohr zuzuführen; ein induktives Kopplungselement zum Aufbringen von Energie auf die gasförmige Substanz, um Plasma in dem Plasmaeinschlussrohr zu erzeugen und aufrechtzuerhalten; und eine kapazitive Abschirmung, beinhaltend eine Schicht von einem leitfähigen Material, die auf die äußere Oberfläche des Plasmaeinschlussrohrs oder die innere Oberfläche des rohrförmigen Brennerkörpers aufgebracht ist, wobei die Schicht von leitfähigem Material in axiale Streifen segmentiert sind und die axialen Streifen an einem Ende miteinander verbunden sind, und wobei das induktive Kopplungselement innerhalb des rohrförmigen Brennerkörpers eingebettet ist und axiale Nuten in der äußeren Oberfläche des Plasmaeinschlussrohrs oder der inneren Oberfläche des rohrförmigen Brennerkörpers ausgebildet sind, wobei eine der axialen Nuten zwischen einem Paar von seitlich angrenzenden axialen Streifen angeordnet ist.

[0011] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine verbesserte Möglichkeit zur thermischen Behandlung von einem Stoff bereitzustellen.

[0012] Die Aufgabe der Erfindung wird bei der eingangs genannten Vorrichtung zur Bereitstellung eines Plasmas dadurch gelöst, dass der Eingang des Plasmaerzeugungselements mit einem Förderelement strömungsverbunden ist, mit dem das gasförmige Fluid beschleunigbar ist.

[0013] Weiter wird die Aufgabe der Erfindung mit der eingangs genannten Einrichtung zur thermischen Behandlung eines Stoffes gelöst, die die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bereitstellung eines Plasmas aufweist.

[0014] Schließlich wird die Aufgabe der Erfindung mit dem eingangs genannten Verfahren gelöst, nach dem vorgesehen ist, dass das gasförmige Fluid vor der Zuführung in das Plasmaerzeugungselement beschleunigt wird.

[0015] Von Vorteil ist dabei, dass mit der Beschleunigung die Einbringung des gasförmigen Fluids in das Plasmaerzeugungselement verbessert werden kann. Dies wiederum kann einer Überhitzung des Plasmaerzeugungselementes und/oder der Einrichtung, an der das Plasmaerzeugungselement angeordnet ist, und/oder des thermisch zu behandelnden Stoffes im Bereich des Plasmas vorbeugen. Insbesondere ist die Beschleunigung von Vorteil, wenn dem Plasmaerzeugungselement ein Gemisches aus gasförmigen Fluiden, wie vorzugsweise ein Kreislaufgas und ein Frischgas zugeführt wird, da mit dem beschleunigten Gasstrom auch der jeweils andere Gasstrom „mitgerissen“ werden kann. Zudem kann aufgrund der mit der Beschleunigung gegebenenfalls einhergehenden Druckerhöhung ein Überdruck im System erzeugt werden, der die Eindringung von sauerstoffhaltigen Gasen aus der Umgebung der Vorrichtung und damit oxidative Probleme auch in der die Vorrichtung aufweisenden Einrichtung zur thermischen Behandlung eines Stoffes verhindern.

[0016] Gemäß einer Ausführungsvariante der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das Plasmaerzeugungselement mit einer Gasversorgungsvorrichtung strömungsverbunden ist. Es kann damit eine einfachere Bereitstellung der gasförmigen Fluide bzw. eine einfachere Volumenstromregelung der Zufuhr an diesen gasförmigen Fluiden zum Plasmaerzeugungselement erreicht werden.

[0017] Entsprechend einer Ausführungsvariante dazu kann die Gasversorgungsvorrichtung eine Frischgaszuführung und/oder eine Kreislaufgaszuführung für eine Kreislaufgas aufweisen, womit die Gasführungen im System vereinfacht werden können, insbesondere wenn dem Plasmaerzeugungselement gasförmiges Fluid an mehreren unterschiedlichen Stellen zugeführt wird.

[0018] Vorzugsweise ist das Förderelement nach einer Ausführungsvariante der Erfindung in einer Kreislaufgasführung für das Kreislaufgas angeordnet, die mit dem Ausgang des Plasmaerzeugungselements strömungsverbunden ist. Nachdem der Anteil an Kreislaufgas in der Vorrichtung möglichst maximiert werden soll, um damit die Energiebilanz zu verbessern, können mit

dieser Ausführungsvariante die voranstehend genannte Effekte weiter verbessert werden.

[0019] Nach einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das Förderelement eine Strahlpumpe ist. Dies hat den Vorteil, dass damit das gasförmige Fluid, insbesondere das Kreislaufgas, heißer sein kann, da eine Strahlpumpe ohne bewegte Teile betrieben werden kann.

[0020] Dabei kann gemäß einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen sein, dass die Strahlpumpe einen Treibmittelanschluss aufweist, der an die Frischgaszuführung angeschlossen ist. Das dem Plasmaerzeugungselement zugeführte Frischgas kann damit auch die Funktion des Treibmittels übernehmen, womit eine Kostenreduktion durch Reduzierung der benötigten Fluidmengen erreicht werden kann.

[0021] Nach einer weiteren Ausführungsvariante kann vorgesehen sein, dass die Strahlpumpe eine regelbare Strahlpumpe mit einer Regelung des Volumen- oder Mengenstroms an Frischgas ist, womit die Regelung und/oder Steuerung der Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas und der Einrichtung zur thermischen Behandlung eines Stoffes vereinfacht werden kann.

[0022] Entsprechend einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der Eingang des Plasmaerzeugungselements mit einer weiteren Frischgaszuführung strömungsverbunden ist. Es ist damit bei gleichbleibenden Volumenstrom an Kreislaufgas eine Reduktion des Volumenstroms an Frischgas in der Strahlpumpe erreichbar. Andererseits können damit auch andere Förderelemente für die Kreislaufführung des Kreislaufgases eingesetzt werden.

[0023] Von Vorteil ist, wenn gemäß einer Ausführungsvariante der Erfindung in Strömungsrichtung des gasförmigen Fluids vor dem Förderelement ein Wärmetauscher angeordnet ist, da damit die Temperatur des gasförmigen Fluids reduziert werden kann und in weitere Folge auch thermisch weniger belastbare Förderelemente, wie beispielsweise ein Ventilator, eingesetzt werden können. Durch den Wärmetauscher kann zudem die damit dem gasförmigen Fluid entzogene Energie weiter verwendet werden.

[0024] Es ist auch von Vorteil, wenn gemäß einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung in der weiteren Frischgaszuführung ein weiterer Wärmetauscher angeordnet ist, sodass das Frischgas bereits mit einer höheren Temperatur in das Plasmaerzeugungselement eingebracht werden kann. Der Einsatz eines Wärmetauschers ermöglicht die Abwärme aus einem anderen Prozess zu verwenden.

[0025] Der weitere Wärmetauscher kann entsprechend einer Ausführungsvariante der Erfindung mit dem Wärmetauscher vor dem Förderelement strömungsverbunden sein, sodass die Vorwärmung mit der Abwärme aus dem Prozess selbst erfolgen kann. Dabei ist die Entfernung zwischen den Wärmetauschern vergleichsweise gering, womit die Energiebilanz der Vorrichtung bzw. der Einrichtung nach der Erfindung verbessert werden kann.

[0026] Das Förderelement kann nach einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung auch ein Ventilator oder eine Turbine sein, womit auf die Zuführung eines Treibfluids verzichtet werden kann, gleichzeitig aber eine gute Regelbarkeit des Volumenstroms ermöglicht werden kann.

[0027] Zur Beeinflussung der Prozessbedingungen kann nach einer Ausführungsvariante des Verfahrens dem gasförmigen Fluid ein weiteres gasförmiges Fluid zugemischt werden.

[0028] Das weitere gasförmige Fluid kann nach einer weiteren Ausführungsvariante des Verfahrens aber auch dazu verwendet werden, die Temperatur und/oder die Lage einer Plasmafackel einzustellen oder zu regeln. Es können damit lokale Temperaturüberhöhungen minimiert und der Gesamtwärmeübergang zu verbessert werden.

[0029] Gemäß einer Ausführungsvariante des Verfahrens kann vorgesehen sein, dass das Plasma induktiv mit zumindest einer elektrischen Induktionsspule erzeugt wird, und dass weiter die Temperatur der Induktionsspule und/oder ein Temperaturanstieg einer Kühlflüssigkeit für die Induktionsspule und/oder eine Temperaturänderung der Wandung des Plasmaerzeugungselementes im Bereich des Heißgasaustritts gemessen wird und anhand dieses Messwertes bei einer

Temperaturänderung der Volumenstrom des Zentralgasstroms verändert wird. Es kann damit die Effizienz der Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas verbessert werden, indem beispielsweise der Volumenstromanteil an Kreislaufgas erhöht oder reduziert wird.

[0030] Aus den voranstehenden Gründen ist es von Vorteil, wenn gemäß einer Ausführungsvariante des Verfahrens vorgesehen ist, dass dieses weiter die Schritte Zuführung eines Frischgasstroms zu einer Gasversorgungsvorrichtung des Plasmaerzeugungselements, Zuführung eines Kreislaufgasstroms aus einer Behandlungskammer, in der der Stoff thermisch behandelt wird, zu der Gasversorgungsvorrichtung umfasst, wobei für die Zuführung des Kreislaufgasstromes eine Strahlpumpe verwendet wird, die mit einem Frischgasstrom als Treibgas betrieben wird.

[0031] Dabei kann nach einer Ausführungsvariante des Verfahrens vorgesehen sein, dass der Volumenstrom des Kreislaufgasstroms mit dem Volumenstrom an Frischgas, das der Strahlpumpe zugeführt wird, geregelt wird, womit in weiterer Folge auf die Temperatur in der Behandlungskammer für den thermische zu behandelnden Stoff Einfluss genommen werden kann.

[0032] Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

[0033] Es zeigen jeweils in vereinfachter, schematischer Darstellung:

- [0034]** Fig. 1 eine Einrichtung zur thermischen Behandlung eines Stoffes;
- [0035]** Fig. 2 einen Ausschnitt aus einer Vorrichtung zur Bereitstellung eines Plasmas;
- [0036]** Fig. 3 einen Ausschnitt aus einer Ausführungsvariante einer Vorrichtung zur Bereitstellung eines Plasmas;
- [0037]** Fig. 4 einen Ausschnitt aus einer weiteren Ausführungsvariante einer Vorrichtung zur Bereitstellung eines Plasmas;
- [0038]** Fig. 5 einen Ausschnitt aus einer weiteren Ausführungsvariante einer Vorrichtung zur Bereitstellung eines Plasmas;
- [0039]** Fig. 6 eine Anordnung von mehreren Plasmaerzeugungselementen;
- [0040]** Fig. 7 eine andere Anordnung von mehreren Plasmaerzeugungselementen;
- [0041]** Fig. 8 eine Strahlpumpe im Längsschnitt;
- [0042]** Fig. 9 einen Ausschnitt aus einer Ausführungsvariante der Vorrichtung zur Bereitstellung eines Plasmas;
- [0043]** Fig. 10 eine Ausführungsvariante einer Einrichtung zur thermischen Behandlung eines Stoffes;
- [0044]** Fig. 11 eine weitere Ausführungsvariante einer Einrichtung zur thermischen Behandlung eines Stoffes.

[0045] Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind diese Lageangaben bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

[0046] Im Nachfolgenden werden ein erstes und ein zweites gasförmiges Fluid sowie ein weiteres gasförmiges Fluid angeführt. Dabei können diese Fluide unterschiedliche Gase oder gleiche Gase sein. Weiter können die gasförmigen Fluide Reingase oder Gasmischungen sein.

[0047] Zudem werden im Nachfolgenden die Begriffe Frischgas, Kreislaufgas, Abgas und Prozessgas (auch als Plasmagas bezeichnenbar) angeführt. Das Frischgas und das Prozessgas können durch zumindest eines der im voranstehenden Absatz genannten gasförmigen Fluide gebil-

det sein. Das Kreislaufgas wird - wie der Name bereits sagt - in der Einrichtung nach der Erfindung im Kreislauf geführt, und wieder zur Plasmaerzeugung verwendet. Es wird daher vom Abgas wieder zum Prozessgas.

[0048] Weiter werden in dieser Beschreibung die Begriffe „heißes Fluid“ bzw. „heißer Fluidstrom“ verwendet. Diese Begriffe sind im Sinne der Beschreibung sowohl für einen Plasmastrom, der direkt auf einen zu behandelnden Stoff geleitet wird, als auch für einen Heißgasstrom, also einen Gasstrom, der mit einem Plasma erhitzt wird und der in weiterer Folge auf den zu behandelnden Stoff gelenkt wird bzw. zur thermischen Behandlung des Stoffes eingesetzt wird, verwendet.

[0049] Als gasförmige Fluide können alle zur Bildung eines Plasmas geeigneten Gase verwendet werden, wie beispielsweise Stickstoff, Argon, Neon, Xenon, Luft, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Wasserstoff, gasförmiges Wasser, oder eine Mischung aus zumindest zwei dieser Gase.

[0050] In Fig. 1 ist eine Einrichtung 1 zur thermischen Behandlung (im Folgenden nur mehr als Einrichtung 1 bezeichnet) eines Stoffes 2 dargestellt.

[0051] Der Stoff 2 kann eine Flüssigkeit oder ein Gas sein. Bevorzugt ist der Stoff 2 jedoch ein Feststoff, insbesondere ein metallischer Feststoff.

[0052] Die thermische Behandlung kann das Schmelzen des Stoffes 2 oder die Temperierung des Stoffes 2, beispielsweise das Aufrechterhalten einer bestimmten Temperatur, oder das Erwärmen des Stoffes 2 sein. Die thermische Behandlung kann aber auch eine chemische Reaktion umfassen, die bei einer erhöhten Temperatur durchgeführt wird. Diese Aufzählung an Möglichkeiten des Einsatzes der Einrichtung 2 sind nur beispielhaft zu verstehen, wobei das Schmelzen eines metallischen Feststoffes eine der bevorzugten Anwendungen ist.

[0053] Da die Einsatzgebiete der Einrichtung 1 unterschiedlich sind, ist auch die schematische Darstellung in Fig. 1 nicht beschränkend, sondern nur die Erfindung verdeutlichend zu verstehen.

[0054] Die Einrichtung 1 umfasst eine Aufnahme 3 für den Stoff 2. Die Aufnahme 3 kann durch einen gesonderten Behälter gebildet sein, in der sich der Stoff 2 befindet. Im Falle eines Gases bzw. generell kann die Aufnahme 3 aber auch nur ein Gehäuse 4 einer Behandlungskammer 5 bzw. eine Kammer der Behandlungskammer 5 sein, in der sich der Stoff 2 für die thermische Behandlung befindet. Der genannten gesonderte Behälter ist, falls vorhanden, ebenfalls in der Behandlungskammer 5 angeordnet.

[0055] Nur der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass in der Behandlungskammer 5 auch mehr als eine Aufnahme 3 für den Stoff 2 angeordnet sein kann, wobei in den Aufnahmen 3 auch unterschiedliche Stoffe 2 aufgenommen sein können, beispielsweise um eine chemische Reaktion durchzuführen.

[0056] Weiter umfasst die Einrichtung 1 eine Vorrichtung 6 zur Bereitstellung eines Plasmas (im Folgenden nur mehr als Vorrichtung 6 bezeichnet), mit dem die thermische Energie für die thermische Behandlung des Stoffes 2 bereitgestellt wird. Die Vorrichtung 6 ist derart am Gehäuse 4 der Behandlungskammer 5 angeordnet, dass sich eine Plasmafackel bzw. ein Plasmastrom bzw. ein Heißgasstrom 7, der mit dem Plasma aus dem Prozessgas erzeugt wird, in die bzw. in Richtung auf die Behandlungskammer 5 erstreckt.

[0057] Für weitere Bestandteile der Einrichtung 1, die im Nachfolgenden nicht erwähnt oder ausgeführt werden, sei zur Vermeidung von Wiederholungen auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen.

[0058] Die Vorrichtung 6 umfasst zumindest ein Plasmaerzeugungselement 8.

[0059] Eine Ausführungsvariante des Plasmaerzeugungselements 8 (auch als Plasmabrenner bezeichnenbar) ist in Fig. 2 ausschnittsweise im Längsschnitt dargestellt.

[0060] Das Plasmaerzeugungselements 8 weist einen Elementkörper 9 (auch als Brennerkörper bezeichnenbar) auf. Im bzw. am Elementkörper 9 ist zumindest eine elektrische Induktionsspule 10 für die Plasmaerzeugung angeordnet. Es können auch mehrere Induktionsspulen 10 eingesetzt werden, die gegebenenfalls unabhängig voneinander regel- und/oder steuerbar ausgeführt

sein können. Die mehreren Induktionsspulen 10 können in Strömungsrichtung des/der gasförmigen Fluids/Fluide hintereinander angeordnet sein.

[0061] Die Plasmaerzeugung kann auch anders erfolgen, beispielsweise mittels eines Magnetrons oder generell mit Mikrowellen (beispielsweise mittels eines Solid State Mikrowellengenerators erzeugt) oder mittels zweier Elektroden, etc.

[0062] Weiter sind im Elementkörper 9 ein erster Strömungskanal 11 für ein erstes gasförmiges Fluid und ein konzentrisch angeordneter zweiter Strömungskanal 12 für ein zweites gasförmiges Fluid angeordnet. Der erste Strömungskanal 11 ist zumindest abschnittsweise, beispielsweise im Bereich oberhalb oder einem Teilbereich der Anordnung der Induktionsspule 10 innerhalb des zweiten Strömungskanals 12 angeordnet. Der erste und der zweite Strömungskanal 11, 12 können rohrförmig ausgebildet sein, beispielsweise mit kreisförmigem Querschnitt. Der erste und/oder der zweite Strömungskanal 11, 12 können beispielsweise aus einem Quarzglasrohr oder einem Aluminiumoxidrohr oder einem Bornitridrohr, etc., gebildet sein.

[0063] Der zweite Strömungskanal 12 kann in einem Abstand 13 von einer Oberfläche 14 des Elementkörpers 9 (insbesondere jener Oberfläche 9, hinter der die Induktionsspule 10 angeordnet ist) angeordnet sein, der ausgewählt ist aus einem Bereich von 0 mm bis 30 mm, insbesondere von 0 mm bis 20 mm.

[0064] Der erste Strömungskanal 11 kann in einem radialen Abstand 15 zum zweiten Strömungskanal 12 angeordnet sein, der ausgewählt ist aus einem Bereich von 0,1 mm bis 40 mm, insbesondere 0,4 mm bis 30 mm. Über den Abstand kann u.a. auch die Geschwindigkeit des Schutzgasstroms 20 eingestellt werden.

[0065] Der erste Strömungskanal 11 weist einen ersten Anschluss 16, d.h. eine erste Zuführung, für das erste gasförmige Fluid und der zweite Strömungskanal 12 weist einen zweiten Anschluss 17, d.h. eine zweite Zuführung, für das zweite gasförmige Fluid auf. Wie aus Fig. 2 ersichtlich können der erste und der zweite Anschluss 16, 17 von einer gemeinsamen Zufuhrleitung 18 für die gasförmigen Fluide gespeist werden. Es können aber auch völlige voneinander getrennte/unabhängige Zuführungen für das erste und zweite gasförmige Fluid vorhanden sein.

[0066] Über den ersten Anschluss 16 wird das erste gasförmige Fluid dem ersten Strömungskanal 11 zur Ausbildung eines erhitzten Gasstroms (Zentralgasstrom 19) zugeführt. Über den zweiten Anschluss 17 wird das zweite gasförmige Fluid dem zweiten Strömungskanal 12 zugeführt, der einen Schutzvolumenstrom (Schutzgasstrom 20) zwischen der Oberfläche 14 des Plasmaerzeugungselements 8, d.h. des Elementkörpers 9, und dem erhitzten Gasstrom bzw. dem Plasmastrom bildet. Beide Gasströme, also der Zentralgasstrom 19 und der Schutzgasstrom 20, verlassen das Plasmaerzeugungselement 8 gemeinsam über einen Ausgang 21, d.h. eine Ausströmöffnung, um für die thermische Behandlung des Stoffes 2 zur Verfügung zu stehen.

[0067] Es sei darauf hingewiesen, dass die Darstellung des Plasmaerzeugungselements 8 in Fig. 2 beispielhaften Charakter hat. Die jeweils konkrete Anordnung der einzelnen Elemente im Plasmaerzeugungselement 8 kann auch anders ausgeführt sein, solange die Funktionalität erhalten bleibt.

[0068] In Fig. 3 ist eine weitere und gegebenenfalls für sich eigenständige Ausführungsform des Plasmaerzeugungselements 8 im Längsschnitt und schematisiert gezeigt, wobei wiederum für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen bzw. Bauteilbezeichnungen wie in den Fig. 1 und 2 verwendet werden. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, wird auf die voranstehende Beschreibung dazu hingewiesen bzw. Bezug genommen.

[0069] Wie aus Fig. 3 zu ersehen ist, endet der erste Strömungskanal 11 beabstandet vom Ausgang 21 des Plasmaerzeugungselements 8, wodurch u.a. die Wirkung der Induktionsspule 10 auf den Zentralgasstrom 19 verbessert werden kann. Der jeweils konkrete Abstand zum Ausgang 21 richtet sich nach der jeweiligen konstruktiven Ausführung des Plasmaerzeugungselements 8.

[0070] Weiter ist zu ersehen, dass für den zweiten Strömungskanal 12 kein gesondertes Kanalelement (Rohr) verwendet wird, sondern dass entsprechend einer Ausführungsvariante des Plas-

maerzeugungselements 8 der zweite Strömungskanal 12 nach außen von der Oberfläche 14 des Elementkörpers 9 des Plasmaerzeugungselements 8 begrenzt ist, also durch das Plasmaerzeugungselement 8 selbst gebildet ist. Alternativ dazu kann vorgesehen sein, dass der zweite Strömungskanal 12 zwar durch ein eigenes Kanalelement 22 gebildet ist, wie dies bei der Ausführungsvariante nach Fig. 2 der Fall ist und in Fig. 3 strichliert dargestellt ist, aber dies Kanalelement 22 unmittelbar an der Oberfläche 14 des Elementkörpers 9 anliegend angeordnet ist. Gegebenenfalls kann dieses Kanalelement 22 auch als Beschichtung der Oberfläche 14 des Elementkörpers 9 gebildet sein. Die Beschichtung kann beispielsweise zumindest teilweise aus Silber, Gold, Aluminium, etc., gebildet sein. Selbstverständlich ist auch bei der Ausführungsvariante des Plasmaerzeugungselements 8 nach Fig. 3 die in Fig. 2 gezeigte beabstandete Anordnung des Kanalelements 22 möglich.

[0071] Aus Fig. 3 ist auch zu ersehen, dass die Induktionsspule 10 mit geringem Abstand zur Oberfläche 14 des Elementkörpers 9 angeordnet sein können. Zudem ist aus Fig. 3 zu ersehen, dass die Induktionsspule 10 gekühlt ausgeführt sein kann, wozu diese einen Kühlkanal 23 aufweisen kann. Als Kühlmedium, das durch den Kühlkanal 23 fließen kann, kann z.B. Wasser, ein Kühllöl, etc., eingesetzt werden.

[0072] Bei der Ausführungsvariante des Plasmaerzeugungselements 8 nach Fig. 3 ist vorgesehen, dass im Plasmaerzeugungselement 8 zumindest ein weiterer Strömungskanal 24 angeordnet bzw. ausgebildet ist. Beispielsweise kann der weitere Strömungskanal 24 im Elementkörper 9 des Plasmaerzeugungselements 8 ausgebildet sein. Der weitere Strömungskanal 24 ist mit einem weiteren Anschluss 25 für ein weiteres gasförmiges Fluid strömungsverbunden. Gegebenenfalls kann der weitere Anschluss 25 auch mit der Zufuhrleitung 18 (siehe Fig. 2) verbunden sein, sodass alle drei gasförmigen Fluide gleich zusammengesetzt sind. Es ist jedoch auch ein völlig eigenständige, von den Zuführungen des ersten und zweiten gasförmigen Fluids unabhängige Zuführung des weiteren gasförmigen Fluids möglich.

[0073] Wie aus Fig. 3 zu ersehen ist, ist der weitere Strömungskanal 24 schräg verlaufend zum ersten Strömungskanal 11 und zum zweiten Strömungskanal 12 ausgebildet, wobei ein Winkel 26 zwischen den Strömungskanälen 11 bzw. 12 und 24 so ausgebildet ist, dass eine Strömungsrichtung eines durch das dritte Fluid gebildeten Gasstroms, insbesondere eines Kühlgasstroms 27, in Richtung Mitte bzw. in Richtung einer Längsmittelachse 28 verläuft.

[0074] In Fig. 3 verläuft der weitere Strömungskanal 24 über seine gesamte Länge im Plasmaerzeugungselement 8, d.h. im Elementkörper 9, mit gleichem Neigungswinkel. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass nur ein Endabschnitt mit dem Winkel 26 schräg verlaufend ausgebildet ist. Der Endabschnitt beginnt dabei an einer Auslassöffnung 29 des weiteren Strömungskanals 24 im Plasmaerzeugungselement 8. Der weitere Strömungskanal 24 kann daher über seine Länge betrachtet mit unterschiedlichen Schrägungswinkeln ausgebildet sein bzw. kann der weitere Strömungskanal 24 auch einen kurvenförmigen Verlauf aufweisen.

[0075] Der weitere Strömungskanal 24 ermöglicht die Zuführung des weiteren gasförmigen Fluids zur Veränderung der Temperatur des aus dem Schutzgasstrom 20 und dem Zentralgasstrom 19 gebildeten Heißgasstroms 7 bzw. Plasmastroms. Gegebenenfalls kann damit auch die Lage des Heißgasstroms 7 bzw. des Plasmastroms bzw. der Plasmafackel verändert werden.

[0076] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante des Plasmaerzeugungselements 8 kann der Winkel 26, den zumindest der Endabschnitt des weiteren Strömungskanals 24 mit dem ersten und zweiten Strömungskanal 11, 12 einschließt, ausgewählt sein aus einem Bereich von 10 ° und 80 °, insbesondere aus einem Bereich von 15 ° bis 70 °. Beispielsweise kann der Winkel 26 20 ° oder 30 ° oder 40 ° oder 45 ° oder 50 ° oder 60 ° betragen.

[0077] Es ist im Rahmen der Erfindung möglich, dass nur ein einziger weiterer Strömungskanal 24 ausgebildet ist. Wie die Fig. 4 zeigt, die eine Draufsicht auf einen Ausschnitt einer Ausführungsvariante des Plasmaerzeugungselements 8 im Querschnitt zeigt, können mehrere weitere Strömungskanäle 24 vorgesehen sein, beispielsweise vier oder nur zwei oder drei oder mehr als vier, beispielsweise fünf oder sechs, etc. Die mehreren weiteren Strömungskanäle 24 sind ent-

lang eines Kreisumfanges (bzw. Umfanges), der durch den zweiten Strömungskanal 12 definiert ist, verteilt angeordnet, insbesondere gleichmäßig verteilt oder symmetrisch verteilt. Zwischen den einzelnen weiteren Strömungskanälen 24 können Stege 30 des Elementkörpers 9 ausgebildet sein.

[0078] Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass auch der zweite Strömungskanal 12 auf mehrere zweite Strömungskanäle 12 aufgeteilt sein kann, die über den Umfang des ersten Strömungskanals 11 verteilt angeordnet sind.

[0079] Jeder der mehreren weiteren Strömungskanäle 24 erstreckt sich - wie dies in Fig. 4 dargestellt ist - über ein Kreisringsegment (bzw. einen Kreisringabschnitt). Die Kreisringsegmente können gemäß einer Ausführungsvariante des Plasmaerzeugungselements 8 ausgewählt sein aus einem Bereich von 2° bis 88° . Beispielsweise können sich die Kreisringsegmente über einen Bereich von 10° bis 80° oder einen Bereich von 20° bis 70° , erstrecken. Ein einzelnes Kreisringsegment kann sich aber auch über einen Bereich von 10° bis 358° erstrecken. Generell können sich Kreisringsegmente über einen Bereich von 2° bis zu einem Wert, der durch $360^\circ / \text{Anzahl der Kreisringsegmente} - 1^\circ$ definiert ist, insbesondere bis zu einem Wert, der durch $360^\circ / \text{Anzahl der Kreisringsegmente} - 5^\circ$ definiert ist, erstrecken.

[0080] Die mehreren Kreisringsegmente können alle eine gleiche Länge in Umfangsrichtung aufweisen. Zumindest eines der Kreisringsegmente kann aber auch eine zu den anderen Kreisringsegmenten unterschiedliche Länge in Umfangsrichtung aufweisen.

[0081] Wie aus Fig. 1 zu ersehen ist, besteht nach einer weiteren Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 die Möglichkeit, dass diese eine Gasversorgungsvorrichtung 31 aufweist. Es besteht dabei die Möglichkeit, dass das Plasmaerzeugungselement 8 nicht nur mit dem ersten gasförmigen Fluid, sondern auch mit dem zweiten und dem weiteren gasförmigen Fluid von der Gasversorgungsvorrichtung 31 versorgt wird, wie dies in Fig. 1 strichliert angedeutet ist. Dazu können der erste Anschluss 16 für das erste gasförmige Fluid und der zweite Anschluss 17 für das zweite gasförmige Fluid und/oder der weitere Anschluss 25 für das weitere gasförmige Fluid mit der Gasversorgungsvorrichtung 31 strömungsverbunden sein.

[0082] Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass einige oder jeder der Anschlüsse 16, 17 und 25 mit einer eigenen Gasversorgungsvorrichtung 31 strömungsverbunden ist.

[0083] Somit können der erste Anschluss 16 für das erste gasförmige Fluid und der zweite Anschluss 17 für das zweite gasförmige Fluid und der weitere Anschluss 25 für das weitere gasförmige Fluid jeweils mit dem gleichen gasförmigen Fluid oder zumindest zwei davon oder alle mit unterschiedlichen gasförmigen Fluiden beaufschlagt werden bzw. sein. Beispielsweise können der erste Anschluss 16 mit einem Frischgas und der zweite Anschluss 17 und/oder der weitere Anschluss 25 mit einem Kreislaufgas beaufschlagt sein. Demzufolge kann gemäß einer weiteren Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 vorgesehen sein, dass in die Gasversorgungsvorrichtung 31 zur Bereitstellung zumindest eines Anteils zumindest eines der gasförmigen Fluide zumindest eine Frischgaszuführung 32 und zumindest eine Kreislaufgaszuführung 33 münden, wie dies in Fig. 1 strichliert dargestellt ist. Dabei ist die Kreislaufgaszuführung mit der Einrichtung 1 zur thermischen Behandlung des Stoffes 2, insbesondere einem Ofen, verbindbar, in die das mit dem Plasmaerzeugungselement 8 erzeugte Heißgas bzw. Plasma einleitbar ist.

[0084] Gemäß einer anderen Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 kann vorgesehen sein, dass das Kreislaufgas direkt, ohne den Umweg über die Gasversorgungsvorrichtung 31, in das Plasmaerzeugungselement 8 eingeleitet wird, wie dies in Fig. 1 in vollen Linien dargestellt ist.

[0085] Gemäß einer anderen Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 kann vorgesehen sein, dass in der Kreislaufgaszuführung zumindest ein Förderelement 34, beispielsweise eine Strahlpumpe, für das Kreislaufgas angeordnet ist. Bezüglich des Förderelements 34 sei auch auf nachstehende Ausführungen verwiesen.

[0086] Es kann nach einer weiteren Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 vorgesehen sein, dass das Plasmaerzeugungselement 8 einen Anschluss 35 für ein Zündgas 36, beispielsweise

Argon, aufweist, um damit die Entstehung des Plasmas zu verbessern bzw. zu beschleunigen bzw. um auch weniger geeignete Gase für die Bereitstellung des Plasmas in die Vorrichtung 6 einspeisen zu können.

[0087] Es kann nach einer Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 auch vorgesehen sein, dass in der Frischgaszuführung 32 zumindest ein Wärmetauscher 37 zur Erwärmung des neu zugeführten gasförmigen Fluids (des Frischgases) angeordnet ist. Der Wärmetauscher kann dem Stand der Technik entsprechend ausgebildet sein.

[0088] Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass in Fig. 1 die Frischgaszuführung 32 an die Gasversorgungsvorrichtung 31 angeschlossen ist. Es kann jedoch vorgesehen sein, dass alternativ oder zusätzlich dazu die Frischgaszuführung 32 direkt an das Plasmaerzeugungselement 8 angeschlossen ist, wie dies in Fig. 1 strichliert dargestellt ist.

[0089] In Fig. 5 ist eine weitere und gegebenenfalls für sich eigenständige Ausführungsform des Plasmaerzeugungselements 8 im Längsschnitt und schematisiert gezeigt, wobei wiederum für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen bzw. Bauteilbezeichnungen wie in den Fig. 1 bis 4 verwendet werden. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, wird auf die voranstehende Beschreibung dazu hingewiesen bzw. Bezug genommen.

[0090] Bei dieser Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 bzw. des Plasmaerzeugungselements 8 ist vorgesehen, dass der erste Strömungskanal 11 innen und/oder der zweite Strömungskanal 12 innen eine reflektierende Beschichtung 38 aufweist/aufweisen. Diese Beschichtung 38 kann sich über die gesamte Länge oder nur einen Teilbereich der Länge des ersten Strömungskanals 11 und/oder des zweiten Strömungskanals 12 erstrecken, beispielsweise nur in einem Anfangsbereich oder einen Endbereich und/oder einen Mittenbereich des ersten Strömungskanals 11 und/oder des zweiten Strömungskanals 12 erstrecken. Die Beschichtung 38 kann auch aus unterschiedlich zusammengesetzten Abschnitten bestehen, um damit der Temperaturverteilung im Plasmaerzeugungselement 8 besser zu entsprechen, da die Strahlungsmaxima entsprechend der Temperatur bei unterschiedlichen Wellenlängen auftreten. So verschieben sich die Strahlungsmaxima bei höheren Temperaturen zu kürzeren Wellenlängen. Auf diese Weise kann der jeweiligen Wellenlänge bzw. dem Wellenlängenbereich entsprechend ein Werkstoff für Beschichtungsabschnitte ausgewählt werden, der beim jeweiligen Maximum der Strahlung besonders effektiv ist. Beispielsweise kann bei kürzeren Wellenlängen eine Beschichtung aus Aluminium effektiver sein als eine aus Gold oder Silber. Bei längeren Wellenlängen kann dies genau umgekehrt sein.

[0091] Die Beschichtung 38 kann beispielsweise metallisch ausgeführt sein. Z.B. kann die Beschichtung 38 durch Silber, Gold, Platin, Aluminium, oder eine Legierung mit zumindest einem dieser Metalle gebildet sein. Es ist damit u.a. möglich, die Quantität der reflektierten Strahlung und/oder den Wellenlängenbereich der reflektierten Strahlung einzustellen bzw. zu verändern bzw. zu erhöhen. Insbesondere kann auch über Legierungen bzw. Legierungselemente der Wellenlängenbereich der reflektierten Strahlung auf Wellenlängen von kleiner 500 nm bzw. kleiner 200 nm abgedeckt werden, um den Anteil an reflektierter Strahlung in diesem Wellenlängenbereich zu erhöhen.

[0092] Neben der umfänglich vollflächigen Ausführung der Beschichtung 38 besteht gemäß einer Ausführungsvariante dazu auch die Möglichkeit, diese streifenförmig oder spaltenförmig auszubilden, wie dies in Fig. 5 anhand der strichliert dargestellten Streifen 39 angedeutet ist. Die Streifen 39 können eine Breite in Umfangsrichtung des ersten Strömungskanals 11 bzw. des zweiten Strömungskanals 12 aufweisen, der ausgewählt ist aus einem Bereich zwischen 0,1 % und 20 %, insbesondere zwischen 1 % und 10 %, des Umfanges des ersten Strömungskanals 11 bzw. des zweiten Strömungskanals 12.

[0093] Die Streifen 39 können in einem Abstand 40 zueinander angeordnet sein, der ausgewählt ist aus einem Bereich zwischen 0,1 % und 20 %, insbesondere zwischen 1 % und 10 %, des Umfanges des ersten Strömungskanals 11 bzw. des zweiten Strömungskanals 12.

[0094] Es kann weiter vorgesehen sein, dass nur ein Teilbereich des Umfanges oder der gesamte

Umfang mit zueinander beabstandeten Streifen 39 des ersten Strömungskanal 11 bzw. des zweiten Strömungskanal 12 versehen ist.

[0095] Die Streifen 39 können alle aus dem gleichen Werkstoff bestehen. Sie können aber auch aus verschiedenen Werkstoffen bestehen, beispielsweise können Streifen 39 aus unterschiedlich stark reflektierenden Metallen in einem Plasmaerzeugungselement 8 miteinander kombiniert werden. Unterschiedliche Werkstoffe können auch bei der durchgehenden Beschichtung 38 vorgesehen werden, indem diese abschnittsweise aus verschiedenen Werkstoffen gebildet wird, wie dies voranstehend ausgeführt wurde.

[0096] Die Streifen 39 weisen eine Längserstreckung in Richtung der Längsmittelachse 28 durch den ersten Strömungskanal 11 auf. Nach einer Ausführungsvariante dazu kann die Streifenform der Beschichtung 38 auch durch eine oder mehrere schraubenförmige Ausbildung(en) erreicht werden, wobei auch hier wiederum Abstände zwischen den beschichteten Abschnitten ausgebildet sein können (z.B. in Form eines schraubenförmigen, unbeschichteten Abschnitts).

[0097] Die Streifen 39 können als Beschichtung 38 ausgeführt sein. Sie können aber auch als gesonderte Bauteile hergestellt und nachträglich mit dem ersten Strömungskanal 11 bzw. dem zweiten Strömungskanal 12 verbunden werden. Gleiches gilt für die Beschichtung 38 an sich, indem diese als Rohr hergestellt wird und dieses in den ersten Strömungskanal 11 bzw. den zweiten Strömungskanal 12 eingesetzt wird. Zudem besteht die Möglichkeit, dass der erste Strömungskanal 11 bzw. der zweite Strömungskanal 12 aus einem entsprechend reflektierenden Material bzw. mit einer entsprechend reflektierenden Oberfläche, z.B. aufgrund einer ausgebildeten Oberflächenstrukturierung, hergestellt wird.

[0098] In den Fig. 6 und 7 sind weitere und gegebenenfalls für sich eigenständige Ausführungsformen der Vorrichtung 6 schematisiert und ausschnittsweise gezeigt, wobei wiederum für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen bzw. Bauteilbezeichnungen wie in den Fig. 1 bis 5 verwendet werden. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, wird auf die voranstehende Beschreibung dazu hingewiesen bzw. Bezug genommen.

[0099] In den voranstehenden Ausführungen zur Vorrichtung 6 wies diese immer nur ein Plasmaerzeugungselement 8 auf. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass in der Vorrichtung 6 mehrere Plasmaerzeugungselemente 8 angeordnet werden. Dazu sind in den Fig. 6 und 7 Ausführungsvarianten mit drei bzw. fünf Plasmaerzeugungselementen 8 als Beispiele dargestellt. Es können auch nur zwei oder vier oder mehr als fünf, beispielsweise sechs, etc., Plasmaerzeugungselemente 8 in einer Vorrichtung 6 angeordnet sein.

[00100] Die Plasmaerzeugungselemente 8 können alle die gleiche Heizleistung oder eine unterschiedliche Heizleistung aufweisen, wie dies in den Fig. 6 und 7 mit unterschiedliche großen Ausführungen der Plasmaerzeugungselemente 8 angedeutet ist. Es sei auch dazu wieder darauf hingewiesen, dass die konkreten Darstellungen als Beispiele verstanden werden sollen. Es sind auch andere Ausführungen möglich, wie beispielsweise drei Plasmaerzeugungselemente 8 mit einer gleich großen Heizleistung und ein Plasmaerzeugungselement 8 mit einer verglichen dazu geringeren Heizleistung, um z.B. Spitzenlasten mit diesem „kleineren“ Plasmaerzeugungselement 8 ausgleichen zu können.

[00101] Beispielsweise kann bei drei Plasmaerzeugungselementen 8 mit je 300 kW maximaler Leistung (bei drei Leistungseinspeisungen in das gasförmige Fluid) vorgesehen sein, dass bei gewünschten 900 kW Leistung die Plasmaerzeugungselemente 8 mit 100 % Leistung (je 300 kW) betrieben werden, oder dass bei gewünschten 700 kW Leistung die Plasmaerzeugungselemente 8 mit je 78 % Leistung betrieben werden, oder dass bei gewünschten 600 kW Leistung zwei Plasmaerzeugungselemente 8 mit je 100 % Leistung und das dritte mit 0 % Leistung betrieben werden, oder dass bei gewünschten 300 kW Leistung ein Plasmaerzeugungselemente 8 mit je 100 % Leistung und die beiden anderen mit 0 % Leistung betrieben werden. Es kann auch vorgesehen werden, dass bei einer Maximallast von 400 kW zwei Plasmaerzeugungselemente 8 mit 100 % und ein Plasmaerzeugungselement 8 mit 25 % Leistung betrieben werden. Es kann vorgesehen werden, dass bei einer Maximallast von 400 kW zwei Plasmaerzeugungselemente 8 mit

0 % und ein Plasmaerzeugungselement 8 mit 25 % Leistung betrieben werden um 100 kW gewünschte Leistung zu erhalten.

[00102] Es sei darauf hingewiesen, dass diese Beispiele nur der Verdeutlichung dienen und keinen einschränkenden Charakter haben.

[00103] Die mehreren Plasmaerzeugungselemente 8 können alle gleich ausgeführt sein, sodass die Ausführungen zum Plasmaerzeugungselement 8 in dieser Beschreibung auf alle Plasmaerzeugungselemente 8 angewandt werden können.

[00104] Nach einer Ausführungsvariante der Einrichtung 1 kann vorgesehen sein, dass die Behandlungskammer 5 mit einer Abgasleitung 41 strömungsverbunden ist, wobei in der Abgasleitung 41 zumindest eine Klappe 42 und/oder zumindest ein Schieber und/oder zumindest ein Querschnittsverjüngungselement 43 angeordnet ist/sind. Das Querschnittsverjüngungselement 43 kann beispielsweise als Blende, gegebenenfalls verstellbare Blende mit veränderlichem Durchmesser der Durchgangsöffnung, ausgebildet sein.

[00105] Mit der zumindest einen Klappe 42 bzw. dem zumindest einem Schieber bzw. dem zumindest einen Querschnittsverjüngungselement 43 ist es möglich, den Volumenstrom des Abgases zur steuern bzw. zu regeln, der die Einrichtung 1 über ein Ableitelement 44, z.B. einen Kamin, verlässt.

[00106] Der Rest des Abgases wird zum Kreislaufgas und kann dem Prozess als solches über die Kreislaufgaszuführung 32 wieder zugeführt werden. Der Anteil, der durch das Ableitelement 44 die Einrichtung 1 verlässt, kann mit Frischgas über die Frischgaszuführung 33 ersetzt werden. Es ist also über die Steuerung und/oder Regelung mittels der zumindest einen Klappe 42 und/oder dem zumindest einen Schieber und/oder dem zumindest einen Querschnittsverjüngungselement 43 eine Steuerung und/oder Regelung des Volumenstromverhältnisses an Kreislaufgas/Frischgas möglich. Weiter ist damit auch eine Druckregelung des Drucks in der Behandlungskammer 5 möglich.

[00107] Nach einer weiteren, ebenfalls in Fig. 1 dargestellten Ausführungsvariante der Einrichtung 1 kann vorgesehen sein, dass die Behandlungskammer 5 und/oder die Vorrichtung 6 zur Bereitstellung eines Plasmas eine Zufuhrvorrichtung 45 für das Einbringen von die thermische Strahlung erhöhenden Feststoffpartikeln aufweist/aufweisen. Diese Zufuhrvorrichtung 45 kann beispielsweise ein Düse sein, sodass die Feststoffpartikel fein verteilt in die Behandlungskammer 5 oder das Plasmaerzeugungselement 8 bzw. generell die Vorrichtung 6 erfolgen kann. Die Zufuhrvorrichtung 45 kann auch anders ausgebildet sein.

[00108] Die Feststoffpartikel können durch Graphit, ein Metall, wie z.B. Eisen oder Kupfer oder Aluminium, gebildet sein. Es können auch Feststoffpartikel eingesetzt werden, die mit dem Stoff 2 in der Behandlungskammer 5 reagieren, beispielsweise um eine Legierung zu bilden. Die Feststoffpartikel können beispielsweise eine durchschnittliche Partikelgröße zwischen 0,1 µm und 1000 µm aufweisen.

[00109] Mit der Vorrichtung 6 kann ein Plasma bereitgestellt werden, das einen Gasstrom erhitzen kann, sodass der dadurch entstehende Heißgasstrom 7 oder auch der Plasmastrom an sich zur thermischen Behandlung eines Stoffes 2 eingesetzt werden kann. Dazu wird ein gasförmiges Fluid in zumindest ein Plasmaerzeugungselement 8 der Vorrichtung 6 eingebracht und in dem Plasmaerzeugungselement 8 ein Plasma erzeugt. Zum besseren Schutz des Plasmaerzeugungselements 8 ist vorgesehen, dass das gasförmige Fluid im Plasmaerzeugungselement 8 in Form eines Zentralgasstroms 19, der von einem Schutzgasstrom 20 umgeben ist, geführt wird.

[00110] Es kann vorgesehen sein, dass dem aus dem Schutzgasstrom 20 und dem Zentralgasstrom 19 gebildeten gasförmigen Fluid im Plasmaerzeugungselement 8 ein weiteres gasförmiges Fluid zugemischt wird, wobei gegebenenfalls mit dem weiteren gasförmigen Fluid die Temperatur und/oder die Lage einer Plasmafackel eingestellt oder geregelt wird.

[00111] Zur Regelung und/oder Steuerung der Einrichtung 1 bzw. der Vorrichtung 6, insbesondere der Volumenströme der gasförmigen Fluide, kann nach Ausführungsvarianten vorgesehen

sein, dass die Temperatur der Induktionsspule 10 und/oder ein Temperaturanstieg der durch den Kühlkanal 23 der Induktionsspule 10 fließenden Kühlflüssigkeit und/oder eine Temperaturänderung der Wandung des Plasmaerzeugungselementes 8 im Bereich des Heißgasaustritts oder Plasmaaustritts aus dem Plasmaerzeugungselement 8 gemessen wird. Anhand dieses Messwertes kann bei einer Temperaturänderung beispielsweise der Volumenstrom des Zentralgasstroms 20 verändert werden.

[00112] Die Messung der Temperatur kann mit bekannten Methoden erfolgen. Beispielsweise kann zumindest ein Thermoelement in oder an der Wandung des Plasmaerzeugungselementes 8 im Bereich des Plasmagasaustritts angeordnet sein.

[00113] Es ist weiter möglich, dass eine Temperatur des Schutzgasstroms 20 gemessen wird und anhand dieses Messwertes bei einer Temperaturänderung der Volumenstrom des Schutzgasstroms 20 verändert wird und/oder dass ein Gasdruck im Plasmaerzeugungselement 8 über eine Veränderung des Volumenstroms in der Abgasleitung 41 aus einer Behandlungskammer 5 geregelt wird.

[00114] Weiter ist es möglich, dass die Temperatur des Zentralgasstroms 19 berechnet wird, und anhand dieses berechneten Wertes bei einer Temperaturänderung zumindest ein Volumenstrom der zugeführten Gase, insbesondere der Volumenstrom des Zentralgasstroms 19, verändert wird. Dazu kann die Berechnung mit der Formel $T_{\text{calc}} \times c_{p\text{calc}} \times \Sigma V_i = \Sigma (V_i \times T_i \times c_{p_i}) + P_{\text{Induktion}}$ erfolgen. Hierin bedeuten T_{calc} die berechnete Temperatur, $c_{p\text{calc}}$ die berechnete spezifische Wärmekapazität des heißen Fluids, ΣV_i die Summe der Volumenströme, $\Sigma (V_i \times T_i \times c_{p_i})$ die Summe der Produkte aus dem jeweiligen Volumenstrom mal der Temperatur des jeweiligen Volumenstroms $\times$ der spezifischen Wärmekapazität des jeweiligen Volumenstroms und $P_{\text{Induktion}}$ die induktiv eingebrachte Leistung. Die Volumenströme beziehen sich auf den Schutzgasstrom 20, den Zentralgasstrom 19 und den gegebenenfalls vorhandenen Volumenstrom, der über den zumindest einen weiteren Strömungskanal 24 zugeführt wird. Die zu berechnende Temperatur kann durch entsprechende Umformung der Gleichung erhalten werden.

[00115] Es ist aber auch möglich, die Temperatur des Zentralgasstroms 19 zu messen, insbesondere berührungslos zu messen, beispielsweise mit einem Pyrometer.

[00116] Merkmale der nachfolgenden Ausführungen können für sich oder in Kombination mit Merkmalen der voranstehenden Ausführungen eine eigenständige Erfindung bilden. Insbesondere ist für nachfolgende Ausführungsvarianten der Vorrichtung 6 bzw. der Einrichtung 1 die Aufteilung des gasförmigen Fluids auf den Zentralgasstrom 19 und einen Schutzgasstrom 20 nicht zwingend erforderlich.

[00117] Eine dieser eigenständigen Erfindungen ist die Vorrichtung 6 zur Bereitstellung eines Plasmas umfassend zumindest ein Plasmaerzeugungselement 8 mit zumindest einem Eingang 46 und einem Ausgang 47 für ein gasförmiges Fluid, wobei in dem Plasmaerzeugungselement 8 der erste Strömungskanal 11 angeordnet bzw. ausgebildet ist, gegebenenfalls der dazu konzentrisch angeordnete zweite Strömungskanal 12, der den ersten Strömungskanal 11 zumindest abschnittsweise umgibt, angeordnet ist, wobei der erste Strömungskanal 11 den einen ersten Anschluss 16 für ein gasförmiges Fluid zur Ausbildung eines erhitzten Gasstroms bzw. eines Plasmastroms strömungsverbunden ist. Der zumindest eine Eingang 46 wird durch den Anschluss 16 für das gasförmige Fluid gebildet. Nachdem mehrere gasförmige Fluide in das Plasmaerzeugungselement 8 eingeleitet werden können, wie dies voranstehend ausgeführt wurde und dies auch die bevorzugte Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 bzw. des Plasmaerzeugungselements 8 ist, kann das Plasmaerzeugungselement 8 auch mehrere Eingänge 46 aufweisen, über die die weiteren gasförmigen Fluide in das Plasmaerzeugungselement 8 eingebracht werden können. Es sei dazu auf voranstehende Ausführungen verwiesen.

[00118] Bei dieser Ausführungsvariante ist ebenfalls das Förderelement 34 für das gasförmige Fluid bzw. sind mehrere Förderelemente 34 für gasförmige Fluide vorhanden bzw. angeordnet. Das Förderelement 34 ist bzw. die Förderelemente 34 sind mit dem Eingang 46 des Plasmaerzeugungselements 8 strömungsverbunden.

[00119] Im Folgenden wird nur mehr auf ein Förderelemente 34 näher eingegangen. Sofern mehrere Förderelemente 34 vorhanden sind, können einige davon oder alle Förderelemente 34 gleich ausgebildet sein, sodass die nachstehenden Ausführungen auch auf diese Förderelemente 34 übertragen werden können.

[00120] Mit dem Förderelement 34 ist das durch dieses geförderte gasförmige Fluid beschleunigbar bzw. wird damit beschleunigt.

[00121] Gemäß Ausführungsvarianten kann das Plasmaerzeugungselement 8 mit der Gasversorgungsvorrichtung 31 strömungsverbunden sein, die vorzugsweise auch die Frischgaszuführung 32 und/oder eine Kreislaufgaszuführung 33 für eine Kreislaufgas aufweisen kann. Die voranstehenden Ausführungen zu diesen Ausführungsvarianten können angewandt werden.

[00122] Entsprechend einer Ausführungsvariante kann vorgesehen sein, dass das Förderelement 34 in einer Kreislaufgaszuführung für das Kreislaufgas angeordnet ist, die mit dem Ausgang 47 des Plasmaerzeugungselements 8 strömungsverbunden ist. In der Ausführung der Einrichtung 1 nach Fig. 1 ist der Ausgang des Plasmaerzeugungselements 8 nicht unmittelbar mit dem Förderelement 34 strömungsverbunden, sondern ist dazwischen zumindest die Behandlungskammer 5 angeordnet. Beide Ausführungsvarianten, also die unmittelbare Strömungsverbindung des Ausgangs 47 mit dem Förderelement 34 und die mittelbare Strömungsverbindung des Ausgangs 47 mit dem Förderelement 34 sind möglich, wobei letztere Ausführungsvariante die bevorzugte ist.

[00123] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 kann das Förderelement 34 eine Strahlpumpe 48 sein, wie sie beispielhaft in Fig. 8 dargestellt ist.

[00124] Die Strahlpumpe 48 weist einen ersten Gasanschluss 49 und einen Treibmittelanschluss 50 sowie einen Auslass 51 auf. Der erste Gasanschluss 49 kann an die Frischgaszuführung 32 oder vorzugsweise an die Kreislaufgaszuführung (siehe Fig. 1) angeschlossen sein, sodass also Frischgas oder Kreislaufgas, das insbesondere aus dem Abgas der Behandlungskammer 5 stammt, beschleunigt werden kann.

[00125] Dem Treibmittelanschluss 50 wird ein, insbesondere gasförmiges, Treibmittel unter Überdruck zugeführt. Dieser Überdruck wird in der Strahlpumpe 48 durch eine Querschnittsverengung 52, durch die das Treibmittel durch muss, in Geschwindigkeit umgesetzt. Dies erzeugt im ersten Gasanschluss 49 einen Unterdruck, der das dort zugeführte Gas mitreißt und beschleunigt.

[00126] Prinzipiell kann jedes geeignete Treibmittel eingesetzt werden, wobei gasförmige Treibmittel bevorzugt werden. In der bevorzugten Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 wird jedoch als Treibmittel ein Frischgas eingesetzt, das auch dem Plasmaerzeugungselement 8 zugeführt wird, sodass der Treibmittelanschluss 50 bei dieser Ausführungsvariante an die Frischgaszuführung angeschlossen ist, beispielsweise über die Gasversorgungsvorrichtung 31, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist.

[00127] Dabei kann nach einer Ausführungsvariante vorgesehen sein, dass der Volumenstrom des Kreislaufgasstroms mit dem Volumenstrom an Frischgas, das der Strahlpumpe 48 zugeführt wird, geregelt wird. Dies kann beispielsweise über ein Regelement 52 erfolgen, das in der Frischgaszuführung zur Strahlpumpe angeordnet ist, wie dies ebenfalls aus Fig. 1 ersichtlich ist. Das Regelement 52 kann z.B. eine Klappe, ein Schieber oder ein Ventil sein.

[00128] Generell sei angemerkt, dass die Einrichtung 1 bzw. die Vorrichtung 6 eine Regel- und/oder Steuervorrichtung 53 aufweisen kann, der die entsprechenden Daten von den Messwertgebern der Einrichtung 1 bzw. Vorrichtung 6 drahtlos oder drahtgebunden bereitgestellt werden können und die die entsprechenden Regel- und/oder Steuersignale ausgeben kann, beispielsweise zur Veränderung der Volumenströme der Prozessgase.

[00129] Alternativ oder zusätzlich zum Regelement 52 kann auch eine regelbare Strahlpumpe 48 zur Veränderung bzw. Regelung der Volumenströme eingesetzt werden. Die regelbare Strahlpumpe 48 kann dazu mit einer Regelung des Volumen- oder Mengenstroms an Frischgas, das

der Strahlpumpe 48 als Treibmittel zugeführt wird, ausgebildet sein.

[00130] In Fig. 9 ist eine weitere und gegebenenfalls für sich eigenständige Ausführungsform der Vorrichtung 6 zur Bereitstellung eines Plasmas schematisiert gezeigt, wobei wiederum für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen bzw. Bauteilbezeichnungen wie in den Fig. 1 bis 8 verwendet werden. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, wird auf die voranstehende Beschreibung dazu hingewiesen bzw. Bezug genommen.

[00131] Bei dieser Ausführungsvariante ist der Eingang 46 des Plasmaerzeugungselements 8 mit einer weiteren Frischgaszuführung 32 strömungsverbunden.

[00132] Gemäß einer weiteren Ausführungsvariante dazu ist in Strömungsrichtung des gasförmigen Fluids, insbesondere des Kreislaufgases, vor dem Förderelement 34 ein Wärmetauscher 54 angeordnet.

[00133] Weiter kann nach einer Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 in der weiteren Frischgaszuführung 32 ein weiterer Wärmetauscher 55 angeordnet sein.

[00134] Der Wärmetauscher 54 und der weitere Wärmetauscher 55 können dem Stand der Technik entsprechend ausgebildet sein.

[00135] Es ist weiter möglich, dass der weitere Wärmetauscher 55 mit dem Wärmetauscher 54 vor dem Förderelement 34 strömungsverbunden ist. Damit kann erreicht werden, dass das Kreislaufgas im Wärmetauscher 54 abgekühlt werden kann, und die dabei gewonnen thermische Energie auf das Frischgas übertragen werden kann, die über die weitere Frischgaszuführung 32 dem Plasmaerzeugungselement 8 zugeführt wird.

[00136] Alternativ dazu kann auf der Wärmetauscher 54 in der Kreislaufgaszuführung 33 auch mit dem Wärmetauscher 37 der Einrichtung 1 (siehe Fig. 1) zur Übertragung von thermischer Energie verbunden sein.

[00137] Mit der Abkühlung des Kreislaufgases vor dem Förderelement 34 ist es insbesondere auch möglich, auch thermisch weniger belastbare Förderelemente 34 einzusetzen, wie beispielsweise nach einer Ausführungsvariante der Vorrichtung 6 einen Ventilator oder eine Turbine.

[00138] Weitere einsetzbare Förderelemente 34 sind eine Pumpe, eine Vakuumpumpe, ein Kompressor, ein Injektor, etc.

[00139] Nach einer Ausführungsvariante kann vorgesehen sein, dass in Strömungsrichtung vor dem Förderelement 34 zumindest ein Filterelement angeordnet ist, um dem Förderelement 34 ein reineres Gas zuführen zu können. Es können damit beispielsweise abrasive Belastungen oder Verstopfungen des Förderelements 34 und des Plasmaerzeugungselements 8 verringert bzw. vermieden werden.

[00140] Merkmale der nachfolgenden Ausführungen können für sich oder in Kombination mit Merkmalen der voranstehenden Ausführungen eine eigenständige Erfindung bilden. Insbesondere ist für nachfolgende Ausführungsvarianten der Einrichtung 1 die Aufteilung des gasförmigen Fluids auf den Zentralgasstrom 19 und den Schutzgasstrom 20 und/oder der Einsatz eines Förderelements 34 nicht zwingend erforderlich.

[00141] In den Figuren 10 und 11 sind weitere und gegebenenfalls für sich eigenständige Ausführungsformen der Einrichtung 1 schematisiert gezeigt, wobei wiederum für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen bzw. Bauteilbezeichnungen wie in den Fig. 1 bis 9 verwendet werden. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, wird auf die voranstehende Beschreibung dazu hingewiesen bzw. Bezug genommen.

[00142] Die Einrichtung 1 zur thermischen Behandlung des Stoffes 2 dieser Ausführungsvarianten umfassen wieder die Behandlungskammer 5 und zumindest eine Vorrichtung 6 zur Bereitstellung eines Plasmas, wobei die Behandlungskammer 5 einen Eingang 56 und einen Ausgang 57 für die Zuführung und die Abführung eines gasförmigen Fluids in und aus der Behandlungskammer 5 aufweist.

[00143] Bei beiden Ausführungsvarianten ist vorgesehen, dass der Ausgang 57 der Behandlungskammer 5 mit zumindest einem Wärmetauscher 58 strömungsverbunden ist, wobei der Wärmetauscher 58 einen Eingang 59 und einen Ausgang 60 für die Zufuhr und die Abfuhr des gasförmigen Fluids aufweist.

[00144] Das gasförmige Fluid ist vorzugsweise das Abgas aus der Behandlungskammer 5, das im Kreislauf durch die Einrichtung 1 geführt wird.

[00145] Der Wärmetauscher 58 weist zumindest ein Wärmespeicherelement 61 auf. Das Wärmespeicherelement 61 kann beispielsweise durch einen Werkstoff auf Basis von oder mit Aluminiumoxid (Al_2O_3), Siliziumdioxid (SiO_2), Eisen(III)oxid (Fe_2O_3), Titandioxid (TiO_2), Kaliumoxid (K_2O), Calciumoxid (CaO), Natriumoxid (Na_2O), etc., gebildet sein.

[00146] Das zumindest eine Wärmespeicherelement 61 dient dazu, von dem gasförmigen Fluid, das durch den Wärmetauscher 58 geleitet wird, Wärme aufzunehmen und für eine spätere Verwendung zu speichern.

[00147] Bei der Ausführungsvariante nach Fig. 10 ist zumindest ein weiterer Wärmetauscher 58 vorgesehen, der ebenfalls zumindest ein Wärmespeicherelement 61 aufweist. Es ist aber möglich, dass nur ein Wärmetauscher 58 mit zumindest einem Wärmespeicherelement 61 vorhanden ist. In diesem Fall kann die dem Prozessgas entzogene und im Wärmespeicherelement 61 gespeicherte thermische Energie z.B. für einen anderen Prozess verwendet werden. Ebenso kann vorgesehen sein, dass die bei der Abkühlung des Prozessgases diesem entzogene thermische Energie als Heizenergie für die Raumheizung und/oder Wassererwärmung und/oder zur Stromerzeugung verwendet wird. Für diese Ausführungsvariante kann vorgesehen sein, dass der zumindest eine Wärmetauscher 58 in einem Fluidkreislauf angeordnet ist, der den Ausgang 57 der Behandlungskammer 5 mit dem Eingang der Behandlungskammer 56 verbindet.

[00148] In der bevorzugten Ausführungsvariante wird die dem Prozessgas, d.h. in diesem Fall dem Kreislaufgas, aber im Prozess selbst wieder eingesetzt.

[00149] Bei der Ausführungsvariante der Einrichtung 1 wird dies durch die Verwendung von zumindest zwei Wärmetauschern 58 mit jeweils zumindest einem Wärmespeicherelement 61 erreicht. Dazu wird das heiße Kreislaufgas vom Ausgang 57 in den ersten Wärmetauscher 58 geleitet. In der Darstellung in Fig. 10 ist dies der obere der beiden Wärmetauscher 58. In diesem ersten Wärmetauscher 58 wird das Kreislaufgas abgekühlt und die entzogene thermische Energie in dessen Wärmespeicherelement 61 gespeichert.

[00150] Nach dem ersten Wärmetauscher 58 wird das abgekühlte Kreislaufgas in ein Gasfördererelement 62, wie z.B. einen Ventilator oder eines der voranstehend genannten Fördererelemente 34. Dazu kann der Ausgang 60 des ersten Wärmetauschers 58 mit dem Gasfördererelement 62 strömungsverbunden sein. Das Gasfördererelement 62 kann den Druck aufbauen, um das Kreislaufgas durch die Wärmetauscher 58 bzw. im Kreislauf zu führen.

[00151] Falls das Kreislaufgas für die Einleitung in das Gasfördererelement 62 noch zu heiß ist, besteht nach einer Ausführungsvariante der Einrichtung 1 die Möglichkeit, dass das Kreislaufgas vor dem Gasfördererelement 62 mit einem kühleren Frischgas vermischt wird. Das Frischgas kann beispielsweise in das abgekühlte Kreislaufgas eingedüst werden. Das Frischgas kann beispielsweise über die Gasversorgungsvorrichtung 31 zugeführt werden. In der Einrichtung 1 kann bei dieser Ausführungsvariante in Strömungsrichtung des gasförmigen Fluids vor dem Gasfördererelement 62 ein Zuführelement zur Zuführung eines Kühlmediums, wie beispielsweise das Frischgas, in das gasförmige Fluid angeordnet sein.

[00152] Generell kann eine (Vor)Kühlung des Kreislaufgases auch an einem anderen Ort erfolgen. Es ist weiter möglich, dass ein Teilstrom des Kreislaufgases abgezweigt wird und gegebenenfalls einer gesonderten Kühlung mit einem anderen Wärmetauscher zugeführt wird, um eine thermische Überlastung der Wärmespeicherelemente 61 zu vermeiden. Dabei kann vorgesehen sein, dass der gesondert gekühlte Teilgasstrom dem Wärmetauscher 58, d.h. dem zumindest einen Wärmespeicherelement 61 zuzuführen, welches nicht erhitzt wird, sondern das (thermisch)

entladen wird.

[00153] Nach einer anderen Ausführungsvariante kann alternativ oder zusätzlich dazu vorgesehen sein, dass bereits vor dem Eingang 59 oder am Eingang 59 ein kühleres Frischgas in den heißen Kreislaufgasstrom eingebracht wird, wozu am Eingang 59 oder vor dem Eingang 59 des Wärmetauschers 58 für das gasförmige Fluid eine Frischgaszuführung angeordnet sein kann.

[00154] Das Gasförderelement 62 kann auch an einer anderen Stelle der Einrichtung 1 angeordnet sein.

[00155] Nach dem ersten Wärmetauscher 58 gelangt das abgekühlte Kreislaufgas, bevorzugt mit dem Gasförderelement 61, über den Eingang 59 in den zweiten (unteren) Wärmetauscher 58. Der Eingang 59 des zweiten Wärmetauschers 58 ist dazu mit dem Ausgang 60 des ersten Wärmetauschers 58 direkt oder indirekt über das Gasförderelement 61 strömungsverbunden.

[00156] Das zumindest eines Wärmespeicherelement 61 des zweiten Wärmetauschers 58 ist im Normalbetrieb, also nicht in der Anfahrphase der Einrichtung 1, bereits erhitzt, sodass in diesem zweiten Wärmetauscher 58 das Kreislaufgas wieder erhitzt wird. Dabei kühlt das Wärmespeicherelement 61 des zweiten Wärmetauschers 58 wird ab.

[00157] Das erhitzte Kreislaufgas wird über den Ausgang 60 des zweiten Wärmetauschers 58, der mit dem Eingang 56 der Behandlungskammer über das Plasmaerzeugungselement 8 strömungsverbunden ist, wieder als Prozessgas zugeführt. Vorher wird es im Plasmaerzeugungselement 8 noch auf die gewünschte Prozesstemperatur erhitzt.

[00158] Dieser Vorgang läuft so lange ab, bis der erste Wärmetauscher 58 eine kritische Temperatur erlangt. Diese kann beispielsweise durch die Temperaturbelastbarkeit der Gasförderelements 62 vordefiniert sein.

[00159] Zu diesem Zeitpunkt wird die Strömungsrichtung des Kreislaufgases umgekehrt. Dazu können entsprechende Zyklusklappen 63 bzw. andere geeignete Elemente zur Änderung der Strömungsrichtung des Gases ihre Stellung entsprechend verändern, sodass das Abgas aus der Behandlungskammer 5 in weiterer Folge zuerst über den zweiten (unteren) Wärmetauscher 58 zur Abkühlung und danach über den ersten (oberen) Wärmetauscher 58 zur Wiedererwärmung geführt wird. Mit anderen Worten wird in diesem Zyklus der zweite Wärmetauscher 58 zum ersten Wärmetauscher 58 und der erste Wärmetauscher 58 zum zweiten Wärmetauscher 58. Dieser Zyklus läuft danach wieder so lange ab, bis die kritische Temperatur wieder erreicht wird und die Zyklusklappen 63 erneut ihre Stellung verändern.

[00160] Das entsprechende Leitungsschema für diese Zyklisierung ist aus Fig. 10 ersichtlich.

[00161] Die Änderung der Stellung der Zyklusklappen 63 bzw. der genannten Elemente erfolgt bevorzugt vollautomatisch. Dazu kann ein Temperatursensor in jedem der Wärmetauscher 58 angeordnet sein, der die entsprechenden Messsignale liefert.

[00162] Nach einer anderen und in Fig. 11 gezeigten Ausführungsvariante der Einrichtung 1 kann vorgesehen sein, dass der Wärmetauscher 58 mehrere Wärmespeicherelemente 61 aufweist, die drehbar angeordnet sind, sodass die Wärmespeicherelemente 61 abwechselnd mit dem gasförmigen Fluid, insbesondere dem heißen Abgas bzw. dem Kreislaufgas, aus der Behandlungskammer 5 beaufschlagbar sind.

[00163] Das Heißgas bzw. das heiße Abgas (Kreislaufgas) kann über den oberen Teil des Wärmetauschers 58 zugeführt werden. Dabei gibt es seine Wärme an die Wärmespeicherelemente 61 ab, d.h. das jeweilige in der richtigen Drehstellung befindliche Wärmespeicherelement 61. Das abgekühlte Abgas (Kreislaufgas) wird danach wieder dem Plasmaerzeugungselement 8 als Prozessgas zugeführt. Über die Wärmespeicherelemente 61 gelangt die thermische Energie in den ebenfalls feststehenden unteren Teil des Wärmetauschers 58 und kann hier die zugeführte kalte Frischluft erwärmen. Diese wird damit heiß und die Wärmespeicherelemente 61 kühlen wieder ab und stehen für eine neue Beladung zur Verfügung.

[00164] Dieser Vorgang kann über einen Temperatursensor, z.B. ein Thermoelement, im kalten

Abgas gesteuert werden. Über die Drehzahl des Wärmetauschers 58 kann die gespeicherte Wärmemenge pro Wärmespeicherelement 61 vorgegeben werden.

[00165] Das erhitzte Frischgas kann in der Folge dem Plasmaerzeugungselement 8 zugeführt werden.

[00166] In der Darstellung der Fig. 11 sind acht Wärmespeicherelemente 61 vorgesehen. Es können aber auch weniger oder mehr als acht Wärmespeicherelemente 61 eingesetzt werden, beispielsweise drei oder vier oder fünf oder sechs oder sieben oder neun oder zehn, bzw. deutlich mehr als acht, wie beispielsweise mehr als 100, etc.

[00167] Die Wärmespeicherelemente 61 können als Wabenkörper, als Kugelschüttung bzw. generell als Schüttung, als Schaum, als mittels eines additiven Verfahren hergestellte Körper, etc., ausgeführt sein. Dabei kann über die Form der erlaubte Druckverlust, der Platzbedarf, etc., vorgegeben werden.

[00168] Die Wärmespeicherelemente 61 können mit einer Beschichtung, beispielsweise einer katalytischen Beschichtung, versehen sein.

[00169] Nachdem die Wärme bzw. die thermische Energie bevorzugt wieder im gleichen Prozess eingesetzt wird, kann auch in diesen Ausführungsvarianten vorgesehen sein, dass der zumindest eine Wärmetauscher 58 in einem Fluidkreislauf angeordnet ist, der den Ausgang 57 der Behandlungskammer 5 mit dem Eingang 56 der Behandlungskammer 5 verbindet.

[00170] Nach einer weiteren Ausführungsvariante der Einrichtung kann vorgesehen sein, dass in Strömungsrichtung vor dem Gasfördererelement 62 ein dritter Wärmetauscher 64 angeordnet ist, um das gasförmige Fluid nach Verlassen der ersten Wärmetauschers 58 weiter abzukühlen. Dieser dritte Wärmetauscher 64 kann ohne Wärmespeicherelemente 61 ausgeführt sein.

[00171] In voranstehenden Ausführungen wurde davon ausgegangen, dass abgesehen von dem Teilvolumenstrom, der über das Ableitelement 44 dem Prozess gänzlich entzogen wird, der restlichen Volumenstrom zur Gänze abgekühlt wird. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass nur ein Teil des restlichen Volumenstroms gekühlt wird. In diesem Fall kann dieser Teil beispielsweise dazu verwendet werden, um Bauteile im Plasmaerzeugungselement 8 zu kühlen.

[00172] Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten, wobei auch Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind.

[00173] Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus Elemente teilweise unmaßstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Einrichtung	31	Gasversorgungsvorrichtung
2	Stoff	32	Frischgaszuführung
3	Aufnahme	33	Kreislaufgaszuführung
4	Gehäuse	34	Förderelement
5	Behandlungskammer	35	Anschluss
6	Vorrichtung	36	Zündgas
7	Heißgasstrom	37	Wärmetauscher
8	Plasmaerzeugungselement	38	Beschichtung
9	Elementkörper	39	Streifen
10	Induktionsspule	40	Abstand
11	Strömungskanal	41	Abgasleitung
12	Strömungskanal	42	Klappe
13	Abstand	43	Querschnittsverjüngungselement
14	Oberfläche	44	Ableitelement
15	Abstand	45	Zufuhrvorrichtung
16	Anschluss	46	Eingang
17	Anschluss	47	Ausgang
18	Zufuhrleitung	48	Strahlpumpe
19	Zentralgasstrom	49	Gasanschluss
20	Schutzgasstrom	50	Treibmittelanschluss
21	Ausgang	51	Auslass
22	Kanalelement	52	Regelement
23	Kühlkanal	53	Steuervorrichtung
24	Strömungskanal	54	Wärmetauscher
25	Anschluss	55	Wärmetauscher
26	Winkel	56	Eingang
27	Kühlgasstrom	57	Ausgang
28	Längsmittelachse	58	Wärmetauscher
29	Auslassöffnung	59	Eingang
30	Steg	60	Ausgang
		61	Wärmespeicherelement
		62	Gasförderelement
		63	Zyklusklappe
		64	Wärmetauscher

Patentansprüche

1. Vorrichtung (6) zur Bereitstellung eines Plasmas umfassend zumindest ein Plasmaerzeugungselement (8) mit einem Eingang (46) und einem Ausgang (47) für ein gasförmiges Fluid, wobei in dem Plasmaerzeugungselement (8) ein erster Strömungskanal (11) angeordnet ist, gegebenenfalls ein dazu konzentrisch angeordneter zweiter Strömungskanal (12), der den ersten Strömungskanal (11) zumindest abschnittsweise umgibt, angeordnet ist, wobei der erste Strömungskanal (11) mit einem ersten Anschluss (16) für ein gasförmiges Fluid zur Ausbildung eines erhitzten Gasstroms und/oder eines Plasmastroms strömungsverbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Eingang (46) des Plasmaerzeugungselements (8) mit einem Förderelement (34) strömungsverbunden ist, mit dem das gasförmige Fluid beschleunigbar ist.
2. Vorrichtung (6) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Plasmaerzeugungselement (8) mit einer Gasversorgungsvorrichtung (31) strömungsverbunden ist.
3. Vorrichtung (6) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gasversorgungsvorrichtung (31) eine Frischgaszuführung (32) und/oder eine Kreislaufgaszuführung (33) für eine Kreislaufgas aufweist.
4. Vorrichtung (6) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Förderelement (34) in einer Kreislaufgasführung für das Kreislaufgas angeordnet ist, die mit dem Ausgang (47) des Plasmaerzeugungselements (8) strömungsverbunden ist.
5. Vorrichtung (6) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Förderelement (34) eine Strahlpumpe (48) ist.
6. Vorrichtung (6) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlpumpe (48) einen Treibmittelanschluss (50) aufweist, der an die Frischgaszuführung (32) angeschlossen ist.
7. Vorrichtung (6) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlpumpe (48) eine regelbare Strahlpumpe (48) mit einer Regelung des Volumen- oder Mengenstroms an Frischgas ist.
8. Vorrichtung (6) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Eingang (46) des Plasmaerzeugungselements (8) mit einer weiteren Frischgaszuführung (32) strömungsverbunden ist.
9. Vorrichtung (6) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Strömungsrichtung des gasförmigen Fluids vor dem Förderelement (34) ein Wärmetauscher (54) angeordnet ist.
10. Vorrichtung (6) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der weiteren Frischgaszuführung (32) ein weiterer Wärmetauscher (55) angeordnet ist.
11. Vorrichtung (6) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der weitere Wärmetauscher (55) mit dem Wärmetauscher (54) vor dem Förderelement (34) strömungsverbunden ist.
12. Vorrichtung (6) nach einem der Ansprüche 1 bis 3 und 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Förderelement (34) ein Ventilator oder eine Turbine ist.
13. Einrichtung (1) zur thermischen Behandlung eines Stoffes (2), insbesondere eines Feststoffes, umfassend zumindest eine Vorrichtung (6) zur Bereitstellung eines Plasmas, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (6) zur Bereitstellung eines Plasmas nach einem der Ansprüche 1 bis 12 gebildet ist.
14. Verfahren zum Betreiben einer Vorrichtung (6) zur Bereitstellung eines Plasmas für die Erzeugung eines Heißgasstromes und/oder eines Plasmastroms zum thermischen Behandeln von einem Stoff (2) umfassend die Schritte:

- Zuführung eines gasförmigen Fluids in ein Plasmaerzeugungselement (8) der Vorrichtung (6),
 - Erzeugen eines Plasmas im Plasmaerzeugungselement (8);
 - Bereitstellen eines heißen Fluidstroms durch das Plasma, gegebenenfalls durch Erhitzung des gasförmigen Fluids mit dem Plasma zur Herstellung eines Heißgases, wobei der heiße Fluidstrom außerhalb des Plasmaerzeugungselements (8) auf den zu behandelnden Stoff (2) gelenkt wird,
dadurch gekennzeichnet, dass das gasförmige Fluid vor der Zuführung in das Plasmaerzeugungselement (8) beschleunigt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem gasförmigen Fluid ein weiteres gasförmiges Fluid zugemischt wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit dem weiteren gasförmigen Fluid die Temperatur und/oder die Lage einer Plasmafackel eingestellt oder geregelt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Plasma induktiv mit zumindest einer elektrischen Induktionsspule (10) erzeugt wird, und dass weiter die Temperatur der Induktionsspule (10) und/oder ein Temperaturanstieg einer Kühlflüssigkeit für die Induktionsspule (10) und/oder eine Temperaturänderung der Wandung des Plasmaerzeugungselements (8) im Bereich des Heißgasaustritts gemessen wird und anhand dieses Messwertes bei einer Temperaturänderung der Volumenstrom des gasförmigen Fluids und/oder weiteren gasförmigen Fluids verändert wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses weiter die Schritte
- Zuführung eines Frischgasstroms zu einer Gasversorgungsvorrichtung (31) des Plasmaerzeugungselements (8),
 - Zuführung eines Kreislaufgasstroms aus einer Behandlungskammer (5), in der der Stoff (2) thermisch behandelt wird, zu der Gasversorgungsvorrichtung (31) umfasst, wobei für die Zuführung des Kreislaufgasstromes eine Strahlpumpe (48) verwendet wird, die mit einem Frischgasstrom als Treibgas betrieben wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Volumenstrom des Kreislaufgasstroms mit dem Volumenstrom an Frischgas, das der Strahlpumpe (48) zugeführt wird, geregelt wird.

Hierzu 6 Blatt Zeichnungen

Fig.1

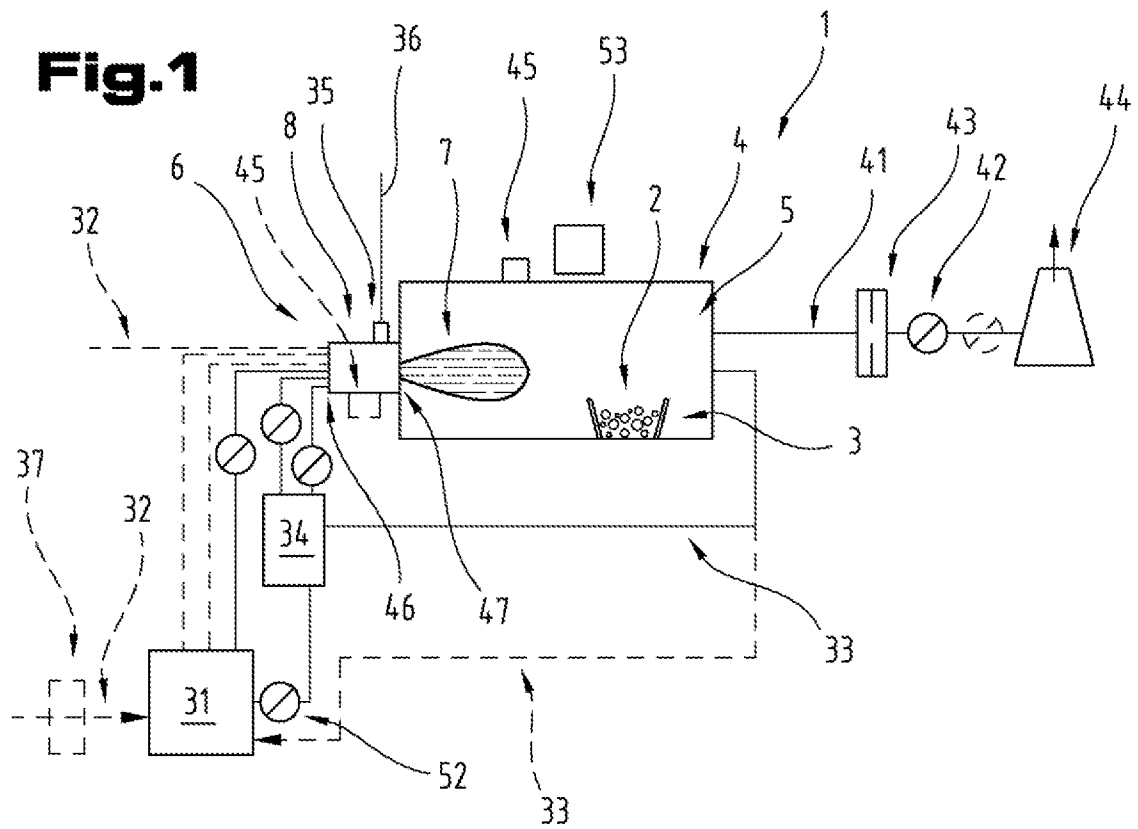


Fig.2

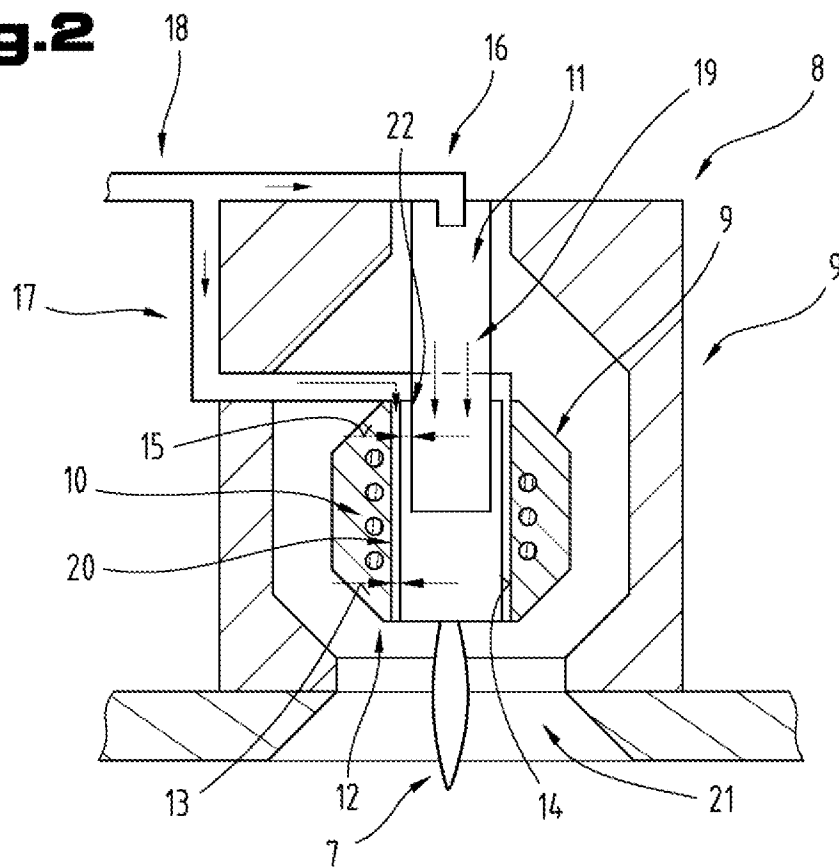


Fig.3

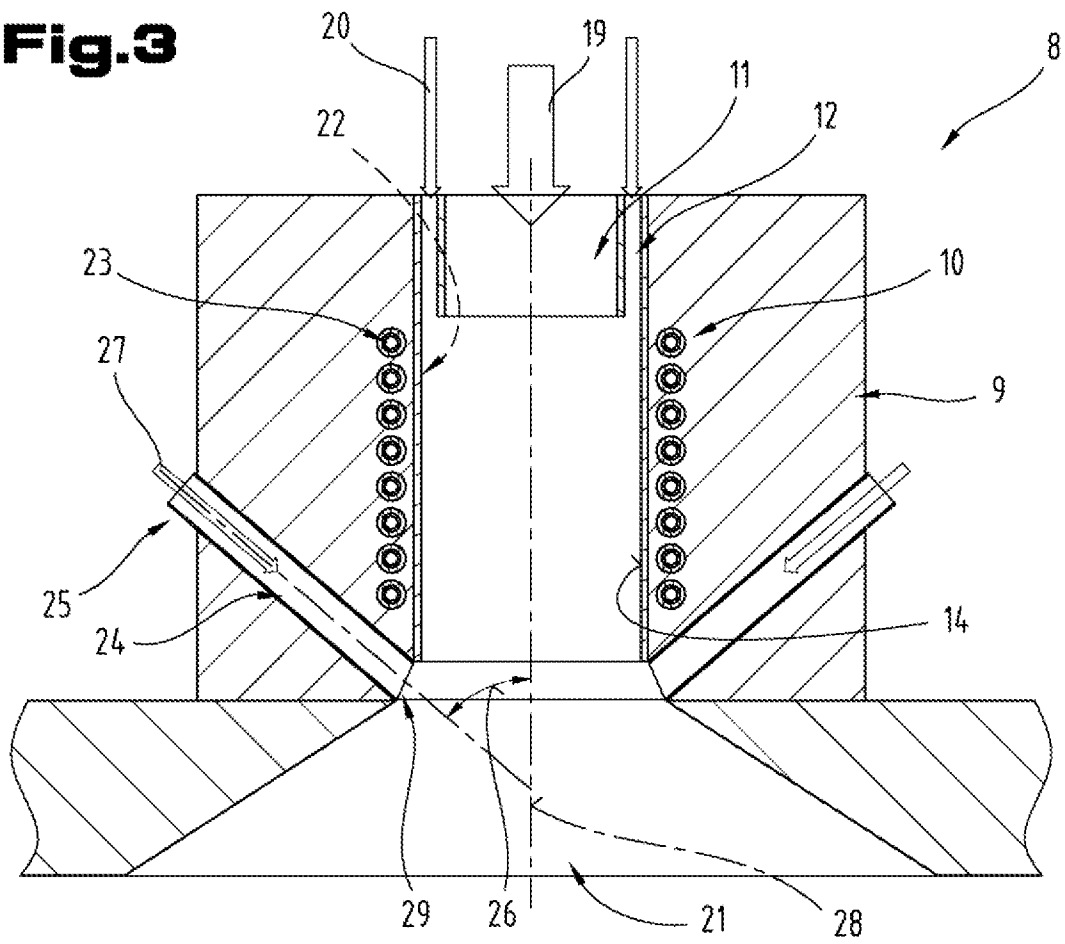


Fig.4

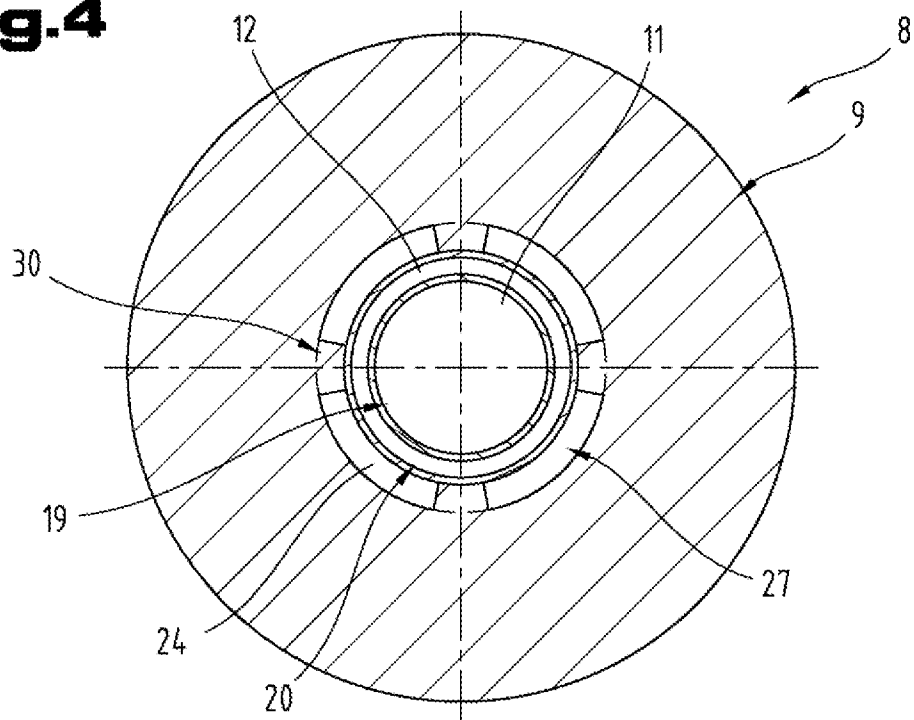


Fig.5

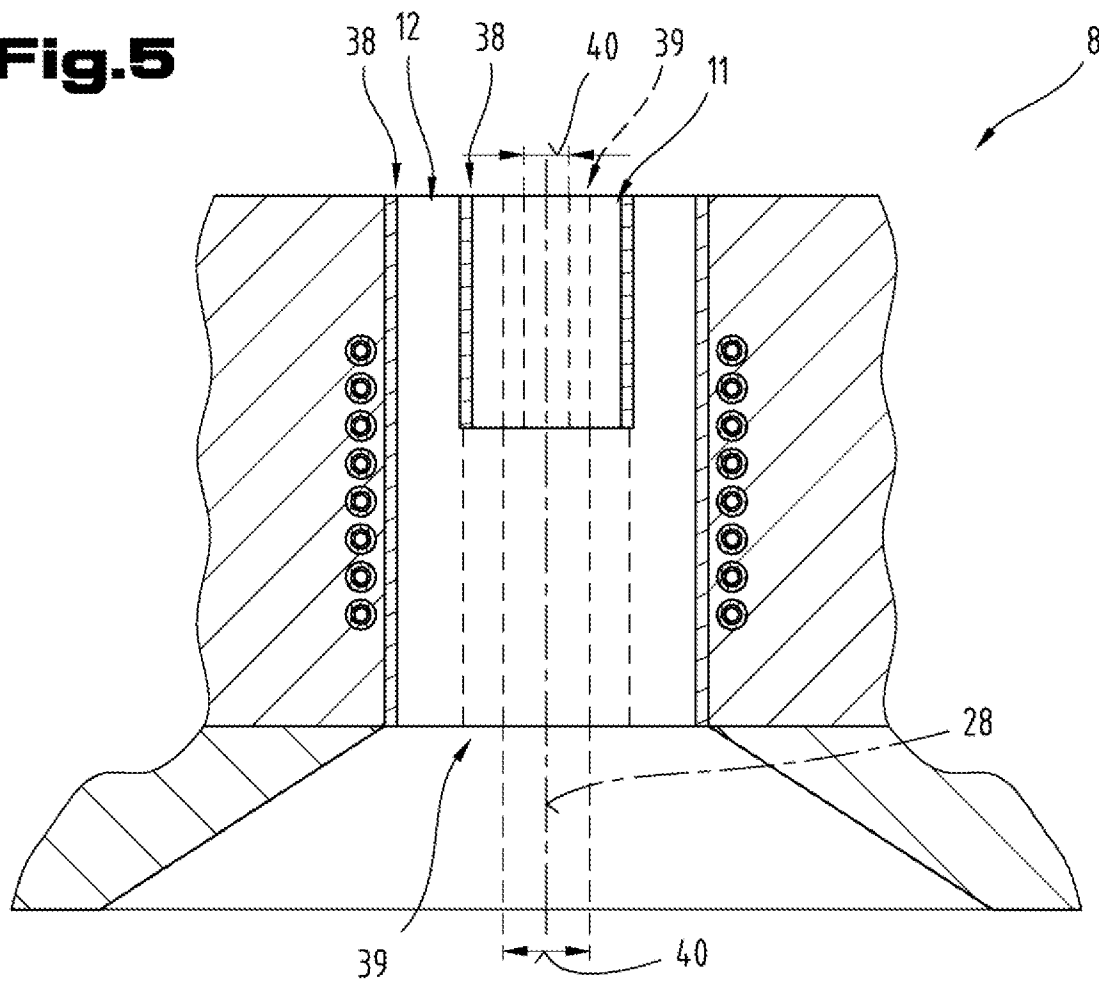


Fig.6

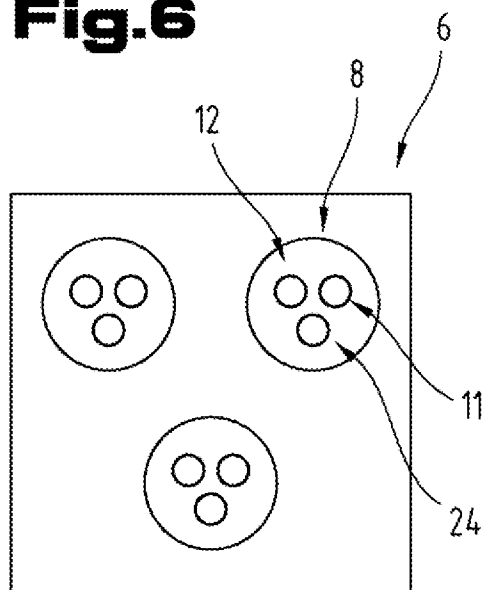


Fig.7

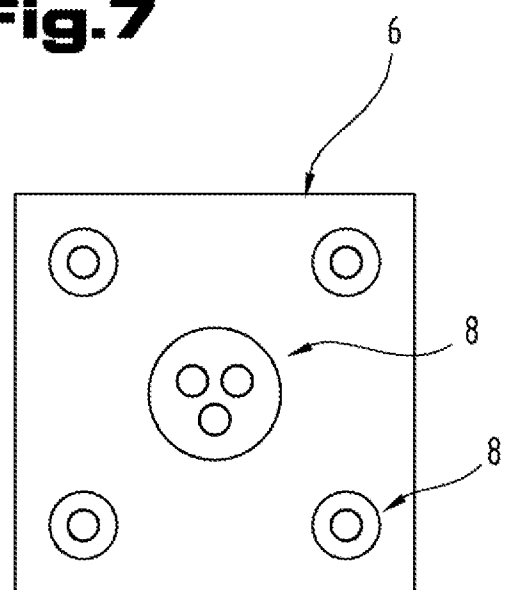


Fig.8

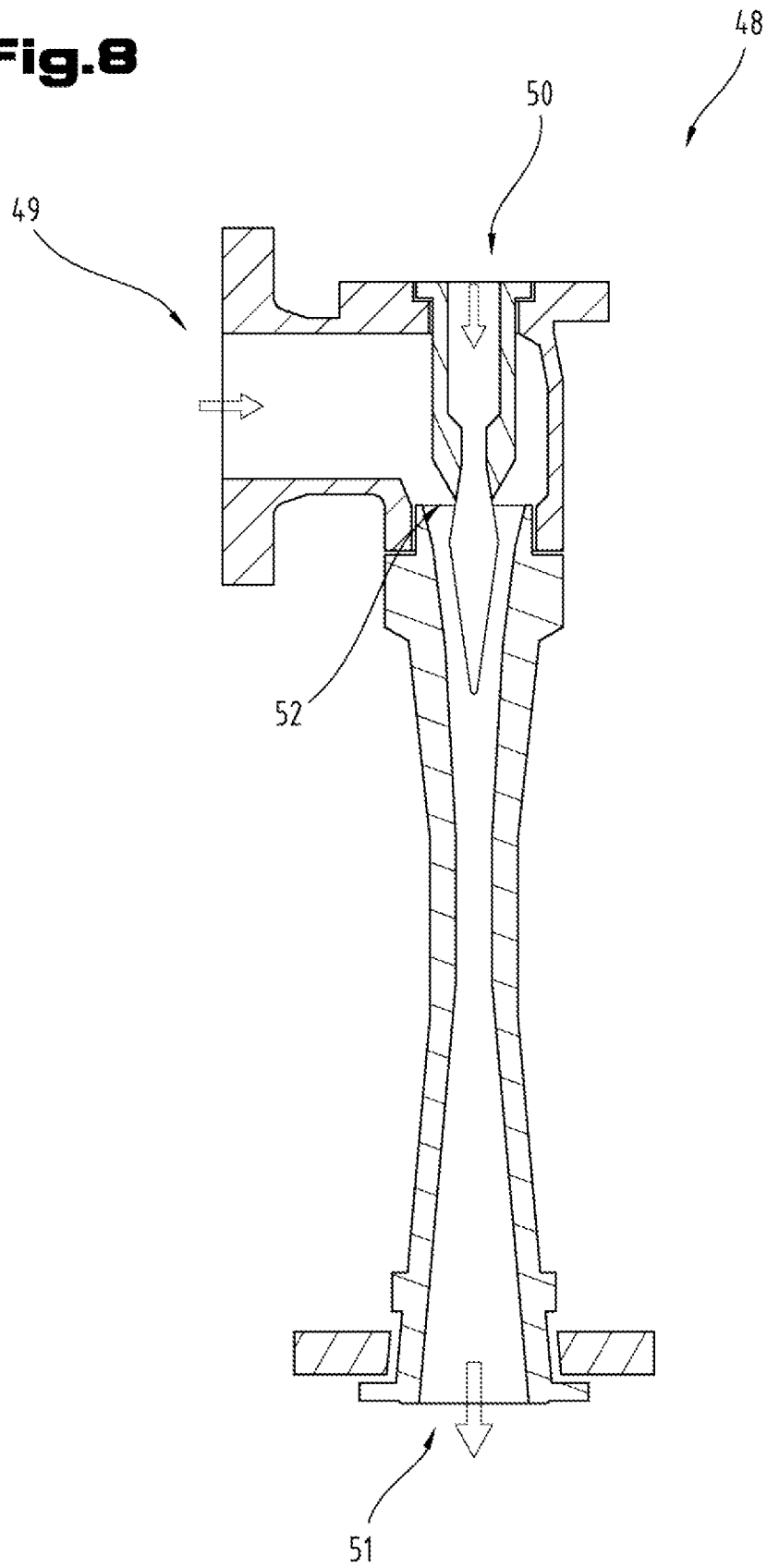


Fig.9

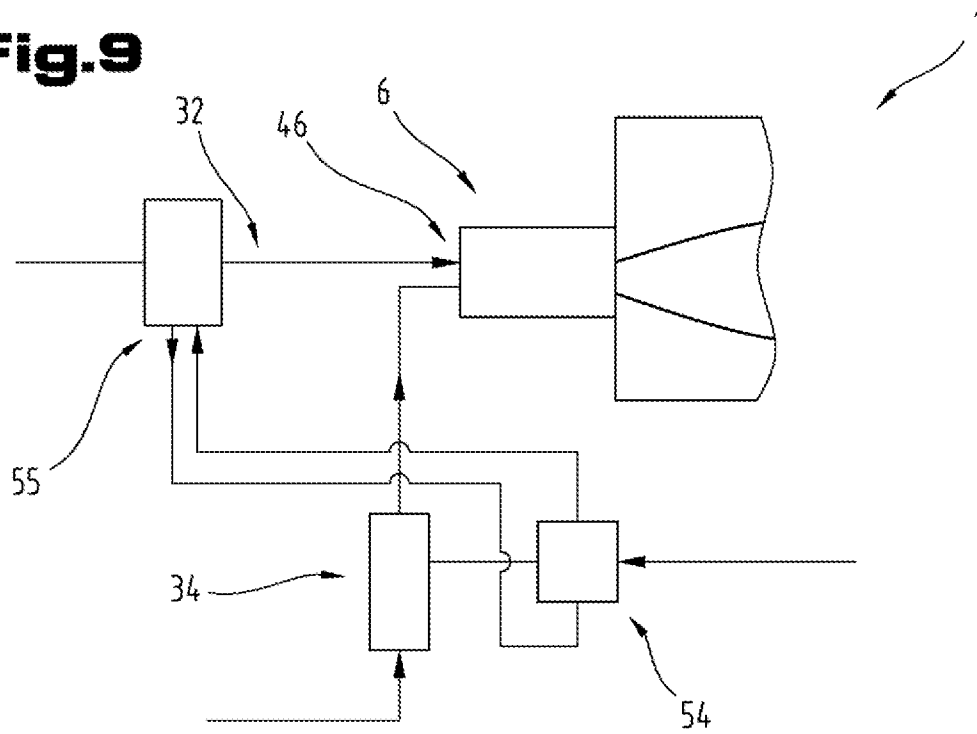


Fig.10

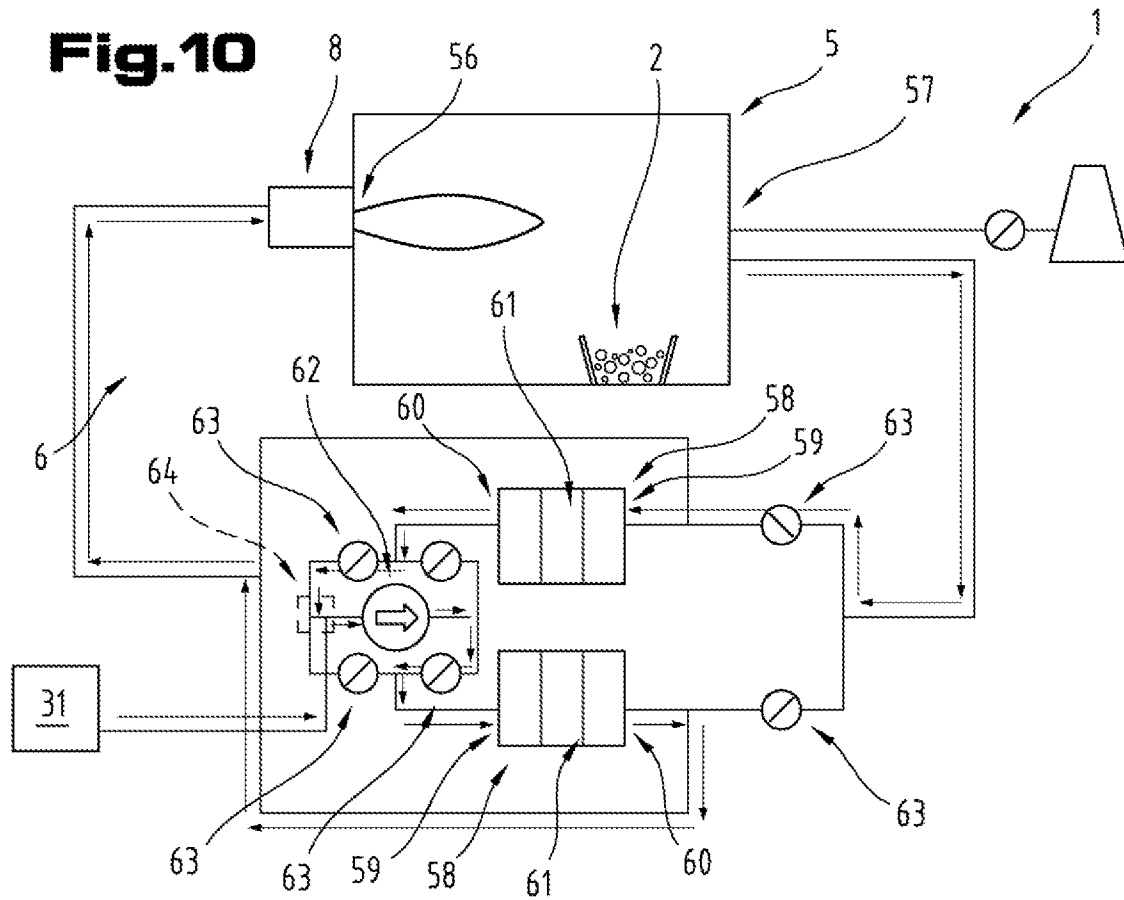


Fig.11

