(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 4 309 809 A1**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
24.01.2024 Patentblatt 2024/04

(21) Anmeldenummer: **23184091.9**

(22) Anmeldetag: **07.07.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B08B 5/00 *(2006.01)* *B08B 5/02* *(2006.01)*

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B08B 5/00; B08B 5/02

(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 ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(30) Priorität: **19.07.2022 DE 102022118067**
05.10.2022 DE 102022125722

(71) Anmelder: **Müller, Axel**
83624 Otterfing (DE)

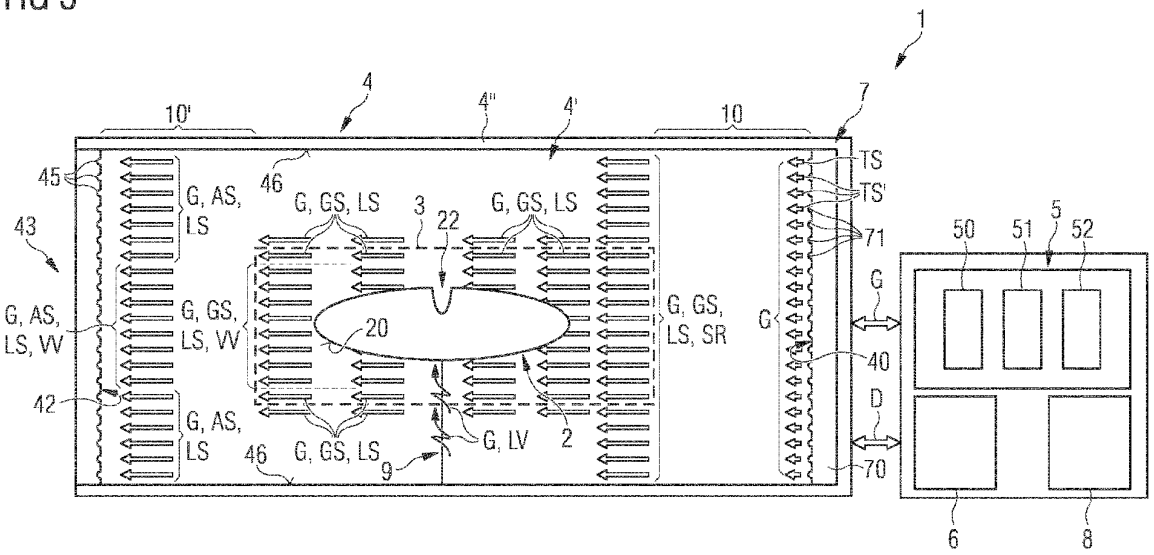
(72) Erfinder: **Müller, Axel**
83624 Otterfing (DE)

(74) Vertreter: **Beckord & Niedlich Patentanwälte PartG mbB**
Marktplatz 17
83607 Holzkirchen (DE)

(54) REINIGUNGSVERFAHREN MITTELS GASSPÜLUNG

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reinigung eines Objekts (2), wobei ein Objekt (2) in einem Reinigungsbereich (3) einer gasdicht verschlossenen Kammer (4) bereitgestellt wird (I) und wobei ein Spülgas (G) bereitgestellt wird (II) und auf eine bestimmte Mindesttemperatur erwärmt wird (III). In dem Verfahren wird ein laminarer Gasgrundstrom (GS) aus erwärmtem Spülgas (G) erzeugt (IV), der zumindest den Reinigungsbereich (3) der Kammer (4) in Form einer laminaren Strömung (LS) durchströmt. Das Objekt (2) wird mit dem laminaren Gasgrundstrom (GS) derart umströmt (V), dass volatile Verbindungen (VV) durch den Gasgrundstrom (GS) von einer Objektoberfläche (20) abgelöst werden und in den laminaren Gasgrundstrom (GS) eintreten.

FIG 3



EP 4 309 809 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reinigung eines Objekts, wobei ein Objekt in einem Reinigungsbereich einer gasdicht verschlossenen Kammer bereitgestellt wird, ein Spülgas bereitgestellt und auf eine bestimmte Mindesttemperatur erwärmt wird, ein laminarer Gasgrundstrom aus erwärmtem Spülgas erzeugt wird und das Objekt mit dem laminaren Gasgrundstrom umströmt wird. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Reinigungsvorrichtung zur Reinigung eines Objekts.

[0002] In vielen Bereichen der Technik werden Objekte, z.B. technische Bauteile, vor ihrer bestimmungsgemäßen Verwendung einer Reinigung unterzogen. Eine Reinigung kann den Zweck haben, um unerwünschte Partikel von einer Oberfläche eines Objekts zu entfernen und eine bestimmte Reinheit des Objekts zu erreichen. Diese Partikel können eine Größe von nur wenigen Mikrometern (z.B. Staubpartikel) bis zu einigen Angström (z.B. filmbildende chemische Verbindungen) haben und können z.B. bei Objekten, die in der Raumfahrt eingesetzt werden, die Funktion von optischen, z.B. mechanischen, elektrischen und elektronischen, Sensoren und Mechanismen beeinträchtigen, stören oder blockieren. Solche Partikel können auch die Funktion von thermalen Kontrollsystemen im Raumfahrtbereich nachteilig beeinflussen, z.B. indem sich Partikel an Oberflächenbereiche eines Objekts anlagern, die spezielle Materialien und Farben aufweisen, um das Objekt bei Verwendung im thermischen Gleichgewicht zu halten. Häufig ist eine bestimmte Reinheit einer Objektoberfläche auch sicherzustellen und ggf. nachzuweisen, um eine Weiterbearbeitung eines Objekts einwandfrei durchführen zu können, z.B. Nachfolgeprozesse wie Kleben, Beschichten, Schweißen und Ähnliches. Während sich größere Partikel wie z.B. Staub üblicherweise auf der Objektoberfläche ansammeln, kann ein Objekt zusätzlich chemisch kontaminiert sein. Dabei kann es sich um Oberflächeneffekte und Diffusionsprozesse aus den Materialien des Objekts handeln, z.B. Herstellungshilfsstoffe und chemische Reaktionsprozesse.

[0003] In einigen Bereichen der Technik ist es erforderlich, dass vor der bestimmungsgemäßen Verwendung eines Objekts volatile Ausgasprodukte von oder aus dem Objekt entfernt werden, wobei das Objekt gereinigt wird (von einer chemischen Kontamination). Im Rahmen der Erfindung wird unter dem Begriff Reinigung verstanden, dass bei einem Objekt, insbesondere einem Bauteil, eine gezielte Reduktion von volatilen Ausgasprodukten erfolgt. Volatile Ausgasprodukte, nachfolgend als volatile Verbindungen bezeichnet, sind flüchtige gas- und dampfförmige Stoffe, die aus einem Objekt entweichen und in eine das Objekt umgebende Atmosphäre eintreten. In den meisten Fällen handelt es sich bei diesen Verbindungen um flüchtige organische Verbindungen oder kurz VOC (Volatile Organic Compounds).

[0004] Volatile Verbindungen entweichen üblicherweise von selbst aus einem Objekt, z.B. durch chemische Reaktionen, Alterungsprozesse des Objekts, Veränderungen von Temperatur und Druckverhältnissen, und werden dabei relativ langsam über eine Objektoberfläche an die Umgebung abgegeben. Dadurch diffundieren weitere volatile Verbindungen aus einem Objektinneren an die Oberfläche. Dieser Prozess wird als Ausgasen (Outgassing) bezeichnet. Volatile Verbindungen können besonders aus Verbundmaterialien, Kunststoffen, Dichtstoffen, Schmiermitteln, Klebstoffen, Reinigungsmitteln, Trennmitteln, Flussmitteln oder Bestandteilen davon hervorgehen, wobei diese Aufzählung nur beispielhaft und nicht abschließend ist. Volatile Verbindungen können aus den Materialien eines Objekts selbst oder aus Fertigungsrückständen oder (Herstellungs-)Hilfsstoffen entweichen.

[0005] Hinzu kommt, dass die Oberfläche eines Objekts permanent leicht flüchtige Bestandteile aus einer Umgebung des Objekts (z.B. bei der Fertigung oder Lagerung) aufsammeln bzw. aufnehmen kann, wobei das Objekt vor der Inbetriebnahme oder Weiterbearbeitung ggf. davon gereinigt werden muss.

[0006] Die aus einem Objekt bzw. einem Bauteil austretenden volatilen Verbindungen können gesundheitsgefährdend sein, wenn sie sich in einer geschlossenen Umgebung wie z.B. einem Auto oder einem Gebäude ansammeln. Eine wichtige Rolle spielen volatile Verbindungen bei Objekten, die in Vakuum betrieben werden. Das betrifft Objekte für die Raumfahrt aber auch andere industrielle und wissenschaftliche Anwendungen. Die ausgasenden volatilen Verbindungen können die Herstellung und Aufrechterhaltung eines möglichst reinen Vakuums verhindern (durch direkte Beeinflussung) oder können an kontaminationskritischen Oberflächen, z.B. optischen Oberflächen, kondensieren und dadurch die Funktionalität des Objekts schädigen, was als indirekte Beeinflussung durch Kontaminationsübertrag bezeichnet wird. Volatile Verbindungen können auch zu einer Kontamination, also zu einer Verunreinigung mit volatilen Verbindungen, von anderen Objekten in der Umgebung des ausgasenden Objekts führen. Weiterhin können volatile Verbindungen auch Produktionsschäden verursachen, z.B. bei einer Beschichtung einer ausgasenden Oberfläche, oder zu einer Modifikation von Oberflächeneigenschaften führen. Entsprechend ist eine möglichst umfassende Reduktion der von einem Objekt ausgehenden volatilen Verbindungen häufig erforderlich, insbesondere vor einer bestimmungsgemäßen Verwendung des Objekts oder als Zwischenreinigung vor einer Weiterbearbeitung des Objekts. Im Gegensatz zur Reinigung gegenüber größeren Partikeln wie Staubpartikeln, stellen volatile Verbindungen oder Kontaminanten aus dem Material des Objekts ein großes Reservoir dar, welches üblicherweise exponentiell durch Outgassing reduziert wird. Eine permanente, sich reduzierende Abgabe von volatilen Verbindungen kann zu einer zeitlich zunehmenden Beeinträchtigung einer gewünschten Performance des Objekts führen. Deshalb kann eine nachweisbare Reduktion der von dem Objekt ausgehenden volatilen

Verbindungen (Quellenstärke) vor einer Inbetriebnahme des Objekts bezüglich einer Langzeitstabilität des Objekts wichtig sein.

[0007] Eine gängige Methode, um das Austreten von volatilen Verbindungen aus Objekten zu beschleunigen und die Objekte dadurch zu reinigen, ist das Ausheizen unter Vakuum oder Vacuum Bake Out. Dabei wird üblicherweise ein zu reinigendes Objekt in einer Vakuumkammer angeordnet und über eine Heizung in der Kammer oder durch die Kammer selbst aktiv erwärmt. Die aus dem Objekt austretenden volatilen Verbindungen können mittels einer Vakuumpumpe aus der Vakuumkammer entfernt werden. Beim Vacuum Bake Out werden regelmäßig Temperaturen von ca. 100 °C und mehr in dem Objekt erreicht. Der Wärmeübertrag kann dominant durch Strahlungsübertrag in Stufen erfolgen, um Temperaturgradienten und Druckspitzen zu vermeiden.

[0008] Das Vacuum Bake Out kann je nach Objekt und Anwendungsfall einige Nachteil haben. Beispielsweise ist das gesamte Verfahren relativ aufwendig, da ein zu reinigendes Objekt zunächst mit Sensoren und einer Verkabelung versehen wird (z.B. Temperaturmonitoring, Nachweis des Reinigungserfolges), bevor die Vakuumkammer evakuiert und das Objekt per Strahlungswärme erhitzt wird. Je nach Objekt wird der Vacuum Bake Out für mehrere Tage durchgeführt, so dass der gesamte Prozess zeitintensiv ist. Ein weiteres Problem ist, dass besonders große Vakuumkammern in der Verfügbarkeit limitiert sind, so dass zur Reinigung von großen, komplexen Bauteilen nur geringe Kapazitäten zur Verfügung stehen. Ein anderer Nachteil kann sein, dass beim Vacuum Bake Out die volatilen Verbindungen zunächst an Oberflächen in der Vakuumkammer anhaften, bevor sie aus dem System entfernt oder zumindest gebunden werden, z.B. durch Kontaminationsfallen. Dadurch kann die Vakuumkammer selbst kontaminiert werden, was eine anschließende Reinigung erforderlich macht, oder andere in der Vakuumkammer befindliche, z.B. hochreine, Objekte können kontaminiert werden. Es kann also eine unerwünschte Kontaminationsumverteilung erfolgen, insbesondere eine Gleichverteilung der Kontamination zwischen allen Oberflächen in der Vakuumkammer. Weiterhin kann es im Vakuumsystem zu einer Rückdiffusion von z.B. Luft und Bestandteilen des Pumpsystems kommen. Ein Problem kann auch in der unterschiedlichen Temperaturbeständigkeit einzelner Bestandteile eines Objekts bzw. unterschiedlicher Objekte in der Vakuumkammer bestehen. Beispielsweise wird die Temperatur während des Vacuum Bake Out limitiert durch die geringste Temperaturbeständigkeit eines Bestandteils eines Objekts, wobei grundsätzlich die Effektivität des Vacuum Bake Out von der Temperatur abhängt.

[0009] Weiterhin erfolgt das Erreichen der notwendigen Temperatur und des Drucks häufig in langwierigen Stufen, um Temperatur- und Druckspitzen zu vermeiden und eine einheitliche Temperatur im Objekt zu erreichen. Eine Schwierigkeit kann auch im Beenden des Vacuum Bake Out bestehen, da in Folge einer Reduktion der Temperatur und einer Aufhebung des Vakuums in der Vakuumkammer eine Kontaminationsumverteilung von Chemie und Partikeln, insbesondere volatile Verbindungen, von Wänden der Vakuumkammer oder Kältefallen auf die Objektoberfläche, ggf. auch in das Objekt hinein, erfolgen kann. Ein weiteres Problem beim Vacuum Bake Out kann sein, dass ein Reinigungserfolg regelmäßig durch Messtechnik erbracht wird, die an den Wänden der Kammer realisiert ist oder durch Vergleichsflächen, wobei häufig nicht feststellbar ist, ob eine Kontamination erfolgreich entfernt und gesammelt wurde oder ob in der Vakuumkammer noch Kontamination umverteilt wurde, so dass die Reinigung möglicherweise nicht erfolgreich war. Weiterhin wird beim Vacuum Bake Out die gesamte Vakuumkammer evakuiert, wobei eine objektspezifische Optimierung, z.B. bezüglich einer tatsächlichen Objektgröße, üblicherweise nicht möglich ist. Für spezifische Anwendungsfälle können sich weitere Nachteile ergeben.

[0010] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Reinigung eines Objekts zur Verfügung zu stellen, mit denen zumindest einige der zuvor genannten Nachteile vermindert oder beseitigt werden können.

[0011] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1 und eine Vorrichtung gemäß Patentanspruch 12 gelöst.

[0012] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur, vorzugsweise industriellen, Reinigung zumindest eines Objekts umfasst den Schritt der Bereitstellung des Objekts in einem Reinigungsbereich einer gasdicht verschlossenen Kammer. Bereitstellen bedeutet zumindest, dass ein zu reinigendes Objekt im Reinigungsbereich einer gasdicht verschlossenen Kammer angeordnet ist. Bevorzugt kann Bereitstellen bedeuten, dass ein zu reinigendes Objekt im Reinigungsbereich platziert wird. Das zu reinigende Objekt ist bevorzugt ein technisches Bauteil. Die Erfindung wird nachfolgend, ohne eine Beschränkung darauf, anhand eines einzelnen Objekts beschrieben, wobei das Objekt ein technisches Bauteil ist. Das technische Bauteil kann auch als Hardware bezeichnet werden. Bevorzugt können in demselben Verfahren zwei oder mehr Objekte, insbesondere auch unterschiedliche Bauteile, gleichzeitig gereinigt werden.

[0013] Bei der Kammer handelt es sich um eine reversibel verschließbare Kammer mit wenigstens einer Öffnung zum Einbringen des Objekts in einen Innenraum der Kammer. Die Kammer ist zumindest dazu ausgebildet, um den Innenraum gegenüber einer die Kammer umgebenden Atmosphäre im Betrieb gasdicht abzuschließen. Der Begriff "gasdicht" bedeutet, dass während des Verfahrens - abgesehen von einem Spülgas, das zur Reinigung gezielt in den Innenraum der Kammer eingebracht wird und diesen durchströmt - im Wesentlichen kein Gas von außerhalb in die Kammer gelangt und umgekehrt. Der Innenraum der Kammer stellt bevorzugt eine möglichst saubere bzw. reine Umgebung zur Aufnahme des Objekts bereit.

[0014] Der Reinigungsbereich der Kammer ist im Inneren der Kammer ausgebildet. Vorzugsweise umfasst der Reinigungsbereich zumindest einen bestimmten Teilbereich des Innenraums der Kammer. Der Reinigungsbereich ist zumindest so ausgebildet, dass das zu reinigende Objekt vollständig in dem Reinigungsbereich aufgenommen wird. Bevorzugt kann der Reinigungsbereich zur Aufnahme von zwei oder mehr Objekten ausgebildet sein. Der Reinigungsbereich kann ein Reinigungsabschnitt der Kammer sein. Dies wird später beschrieben.

[0015] In einem weiteren Schritt des Verfahrens wird ein Spülgas, vorzugsweise ein Inertgas, bereitgestellt. Das Spülgas kann grundsätzlich eine Mischung von verschiedenen Gasen sein. Bevorzugt kann das Spülgas, insbesondere objektspezifisch, so ausgewählt sein, dass volatile Verbindungen vom Spülgas aufgenommen und vom Objekt entfernt werden und/oder so, dass eine Rückkontamination von abgelösten volatilen Verbindungen auf das Objekt während des Verfahrens möglichst gering ist.

[0016] Bevorzugt kann das Spülgas in Form von einem Inertgas bereitgestellt werden, also in Form von einem reaktionsträgen Gas. Grundsätzlich kann eine Mischung unterschiedlicher Inertgase als Spülgas verwendet werden. Bevorzugt wird nur eine Art von Inertgas mit einer möglichst hohen Reinheit als Spülgas verwendet. Die Erfindung wird nachfolgend, ohne eine Beschränkung darauf, anhand eines Inertgases als Spülgas beschrieben.

[0017] Das bereitgestellte Spülgas, insbesondere das Inertgas, wird auf eine bestimmte Mindesttemperatur, insbesondere aktiv, erwärmt. Zum Erwärmen auf die Mindesttemperatur wird dem Inertgas bevorzugt thermische Energie zugeführt. Das Inertgas kann vorzugsweise auf eine Mindesttemperatur erwärmt werden, die höher ist als eine Umgebungstemperatur der Kammer. Das erwärmte Inertgas kann mit der Mindesttemperatur in die Kammer eingebracht werden.

[0018] In einem weiteren Schritt des Verfahrens wird ein laminarer, insbesondere permanenter, Gasgrundstrom aus erwärmtem Spülgas, vorzugsweise Inertgas, erzeugt. Der Gasgrundstrom wird so erzeugt, insbesondere wird das Spülgas, vorzugsweise das Inertgas, so in die Kammer eingebracht und/oder so durch die Kammer durchgeführt, dass der Gasgrundstrom zumindest den Reinigungsbereich in der Kammer in Form einer laminaren Strömung durchströmt. Entsprechend ist der Reinigungsbereich auch dadurch definiert, dass im Reinigungsbereich eine laminare Strömung aus Spülgas, vorzugsweise Inertgas, anliegt.

[0019] Unter einer laminaren Strömung wird, wie allgemein üblich, eine Bewegung von Gas verstanden, bei der in einem Übergangsgebiet zwischen zwei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten, das sich senkrecht zu einer Strömungsrichtung ausbreitet, keine sichtbaren Turbulenzen auftreten. Das Spülgas, vorzugsweise das Inertgas, kann in Schichten strömen, die sich nicht miteinander vermischen.

[0020] Das Merkmal einer laminaren Strömung ist im Rahmen der Erfindung so zu verstehen, dass eine möglichst laminare Strömung erzeugt wird. Technisch bedingt kann die im Reinigungsbereich anliegende laminare Strömung bereichsweise von einer idealen laminaren Strömung abweichen. Beispielsweise kann bei einer Weiterbildung des Verfahrens vorgesehen sein, dass im Reinigungsbereich ein lokaler Gasstrom mittels einer Lanze erzeugt wird. Dadurch können sich in der ansonsten laminaren Strömung ggf. Turbulenzen, z.B. Verwirbelungen oder Querströmungen bilden. Auch durch eine Halterung für das Bauteil oder durch die Geometrie des Bauteils selbst können sich ggf. geringfügige lokale Turbulenzen bilden. Entsprechend kann im Reinigungsbereich eine laminare Hauptströmung aus Spülgas, vorzugsweise Inertgas, erzeugt werden, die möglichst wenig - soweit technisch möglich - turbulente Bereiche enthält. Deshalb kann die Strömung im Reinigungsbereich auch als im Wesentlichen laminare Strömung bezeichnet werden. Mit anderen Worten kann im Reinigungsbereich eine annähernd laminare Strömung anliegen. Anders formuliert kann im Reinigungsbereich eine quasi laminare Strömung erzeugt werden. Besonders bevorzugt wird im Wesentlichen der gesamte Reinigungsbereich von einem quasi laminaren, gerichteten Strom aus erwärmtem Spülgas, vorzugsweise Inertgas, durchströmt. Vorzugsweise kann der laminare Gasgrundstrom ein möglichst turbulenzarmer Gasgrundstrom sein.

[0021] In dem Verfahren wird das zu reinigende Objekt von dem laminaren Gasgrundstrom, insbesondere dem quasi laminaren Gasgrundstrom, so umströmt, dass volatile Verbindungen durch den Gasgrundstrom von einer Objektoberfläche abgelöst werden und in der Folge in den laminaren Gasgrundstrom eintreten. Bevorzugt wird das Bauteil so von dem Gasgrundstrom umspült, dass volatile Verbindungen, die auf der Bauteiloberfläche angeordnet sind, z.B. daran anhaften, durch die Einwirkung des überwiegend laminar strömenden Spülgases, vorzugsweise Inertgases, von der Oberfläche gelöst werden. Bevorzugt kann das Bauteil so umspült werden, dass das Spülgas, vorzugsweise das Inertgas, eine Bauteiloberfläche direkt kontaktiert. Bevorzugt wird im Wesentlichen eine gesamte äußere Oberfläche des Bauteils vom Gasgrundstrom umspült.

[0022] Die abgelösten bzw. freien volatilen Verbindungen treten in den gerichteten quasi laminaren Gasgrundstrom ein und werden durch diesen von der Bauteiloberfläche weggeführt. Der Prozess des Umströmens der Bauteiloberfläche mit dem Gasgrundstrom, wobei volatile Verbindungen von der Bauteiloberfläche gelöst werden, kann auch als Abgasen (Offgassing) bezeichnet werden.

[0023] Die zuvor beschriebenen Schritte müssen nicht zwingend in der genannten Reihenfolge ausgeführt werden, wobei auch mehrere Schritte im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt bzw. einen gemeinsamen Schritt bilden können.

[0024] Vorteilhafterweise kann durch das Verfahren eine besonders gründliche und effiziente Reinigung von Bauteilen erfolgen, insbesondere auch sensible Bauteile, wie z.B. Objekte für die Raumfahrt. Mittels des Verfahrens, das auch als Reinigungsverfahren bezeichnet wird, können vor allem volatile Verbindungen von der Bauteiloberfläche entfernt werden, wobei grundsätzlich auch andere Verunreinigungen des Bauteils zumindest reduziert werden können. Unter volatilen Verbindungen werden, wie eingangs beschrieben, verschiedene flüchtige gas- und dampfförmige Stoffe unterschiedlichen Ursprungs verstanden, insbesondere flüchtige organische Verbindungen (VOC). Unter VOC werden allgemein und im Rahmen der Erfindung organische Stoffe verstanden, die bei Raumtemperatur oder höheren Temperaturen durch Verdampfen in die Gasphase übergehen und deshalb flüchtig sind. Flüchtige organische Verbindungen sowie deren Quellen sind dem Fachmann bekannt und bedürfen deshalb keiner genaueren Erläuterung. In der Beschreibung wird, ohne eine Beschränkung darauf, davon ausgegangen, dass die ausgasenden volatilen Verbindungen flüchtige organische Verbindungen (VOC) sind.

[0025] Vorteilhafterweise kann das umströmte Bauteil durch das erwärmte Spülgas, vorzugsweise das Inertgas, vergleichsweise schnell auf eine bestimmte Solltemperatur für die Reinigung gebracht werden. Sowohl das Bauteil als auch die vorzugsweise wärmeisolierte Kammer können durch Wärmeleitung effektiv auf eine einheitliche Solltemperatur gebracht werden und können kontinuierlich auf dieser Temperatur gehalten werden. Dadurch kann einerseits auf zusätzliche Heizeinrichtungen in der Kammer verzichtet werden, wobei andererseits das Aufheizen des Objekts und damit das Verfahren insgesamt beschleunigt werden kann.

[0026] Das eingesetzte Spülgas, vorzugsweise das Inertgas, wird vorzugsweise so gewählt, dass ein Partialdruck der volatilen Verbindungen, die von der Bauteiloberfläche gelöst werden sollen, im Spülgas, vorzugsweise im Inertgas, null ist oder zumindest annähernd null ist. Entsprechend kann ein Partialdruck-Vakuum oder ein partielles Vakuum (bezüglich bestimmter VOC) im Reinigungsabschnitt erzeugt werden. Dazu kann grundsätzlich auch ein anderes Gas als ein Inertgas verwendet werden. Auf Grund der Temperatur des erwärmten Inertgases (als Spülgas) und auf Grund von Teilchenstößen, werden volatile Verbindungen zumindest von der Bauteiloberfläche abgelöst und treten unmittelbar nach der Ablösung in den quasi laminaren Gasgrundstrom ein. Der Gasgrundstrom ist bevorzugt in Richtung eines Gasaustrittsbereichs der Kammer gerichtet. Vorteilhafterweise werden die abgelösten volatilen Verbindungen vom Bauteil weggeführt, wobei eine Verunreinigung einer Kammerwand und/oder anderer Bauteile und/oder Sensorik in der Kammer durch die mitgeführten volatilen Verbindungen stark limitiert ist. Das bedeutet, dass eine Kontaminationsumverteilung in der Kammer, insbesondere auch von der Kammer auf das zu reinigende Bauteil, stark reduziert sein kann gegenüber anderen Verfahren. Somit ist das Verfahren besonders robust gegenüber einer Historie des Kammerbetriebs. Weiterhin vorteilhaft kann die Reinigung des Objekts ohne Verwendung von Chemikalien erfolgen.

[0027] Da das Verfahren grundsätzlich ohne Vakuum auskommt, können Probleme in Zusammenhang mit einer Rückdiffusion im Pumpsystem von geläufigen Vakuumkammern vermieden werden. Weiterhin kommt das Verfahren mit vergleichsweise wenig und technisch einfachen Komponenten aus, so dass anders als z.B. beim Vacuum Bake Out auf teure Spezialteile wie Turbopumpen verzichtet werden kann. Dadurch ist das Reinigungsverfahren sowohl effizienter als auch weniger störanfällig und damit robuster als bekannte Verfahren und kann z.B. auch im Wochenendbetrieb eingesetzt werden. Da in dem Reinigungsverfahren grundsätzlich auch mit Umgebungsdruck gearbeitet werden kann, kann eine vergleichsweise einfach konstruierte Kammer verwendet werden, wobei die Kammer besonders großvolumig sein kann, um auch größere Bauteile aufzunehmen. Vorteilhafterweise können auch relativ kleine Bauteile in einer großvolumigen Kammer effizient gereinigt werden, indem z.B. der laminar durchströmte Reinigungsbereich bauteilspezifisch angepasst wird oder durch bauliche Maßnahmen in der Kammer, wobei der Bedarf an Inertgas möglichst geringgehalten werden kann. Schließlich kann die Temperatur im erwärmten Inertgas gegenüber dem Vacuum Bake Out deutlich geringer sein, wobei auch temperatursensible Bauteile effektiv gereinigt werden können. Vorteilhafterweise ist das Reinigungsverfahren dazu ausgebildet, um Reinstmaterialien, Halbzeuge, Assemblies, Units und ganze Einheiten aus verschiedenen Materialkombinationen zu reinigen, d.h. um volatile Verbindungen zumindest von der Oberfläche der genannten Teile zu entfernen.

[0028] Eine erfindungsgemäße Reinigungsvorrichtung zur, vorzugsweise industriellen, Reinigung wenigstens eines Objekts umfasst als Komponente zumindest eine gasdicht verschließbare, insbesondere saubere, Kammer mit einem Reinigungsbereich für das Objekt bzw. Bauteil. Eine weitere Komponente der Reinigungsvorrichtung ist eine Gasbereitstellungseinheit, die eine Heizeinrichtung umfasst. Die Gasbereitstellungseinheit ist dazu ausgebildet, um ein Spülgas, vorzugsweise ein Inertgas, bereitzustellen und das Spülgas auf eine bestimmte Mindesttemperatur bzw. Reinigungstemperatur zu erwärmen. Bevorzugt ist die Heizeinrichtung dazu ausgebildet, um im Betrieb eine bestimmte Menge thermische Energie in das Spülgas, vorzugsweise das Inertgas, einzubringen, um das Spülgas aktiv auf die Reinigungstemperatur zu beheizen.

[0029] Optional kann die Reinigungsvorrichtung eine Filtereinrichtung zur Filterung des Spülgases, vorzugsweise des Inertgases, zur Herstellung einer bestimmten notwendigen Reinheit aufweisen. Insbesondere können mittels der Filtereinrichtung Wasser und Sauerstoffanteile im Spülgas vor dem Einbringen in die Kammer gezielt

reduziert werden, um chemische Reaktionen auszuschließen, falls diese als kritisch für die Materialien eines Objekts angesehen werden. Die Filtereinrichtung kann Teil der Gasbereitstellungseinheit sein.

[0030] Die Reinigungsvorrichtung umfasst als weitere Komponente eine Strömungserzeugungseinheit zur Erzeugung eines laminaren, insbesondere permanenten, Gasgrundstroms aus erwärmtem Spülgas, vorzugsweise Inertgas. Die Strömungserzeugungseinheit erzeugt den Gasgrundstrom so, dass der Gasgrundstrom zumindest den Reinigungsbereich der Kammer in Form einer laminaren Strömung durchströmt und das Bauteil so vom Gasgrundstrom umströmt wird, dass volatile Verbindungen durch den Gasgrundstrom von einer Bauteiloberfläche abgelöst werden und in den laminaren Gasgrundstrom eintreten. Bevorzugt ist die Strömungserzeugungseinheit dazu ausgebildet, um einen quasi laminaren Gasgrundstrom so zu erzeugen, dass der quasi laminare Gasgrundstrom zumindest den Reinigungsbereich der Kammer in Form einer quasi laminaren Strömung durchströmt und das Bauteil so vom quasi laminaren Gasgrundstrom umströmt wird, dass volatile Verbindungen durch den quasi laminaren Gasgrundstrom von einer Bauteiloberfläche abgelöst werden und in den quasi laminaren Gasgrundstrom eintreten.

[0031] Die Reinigungsvorrichtung kann optional eine Steuereinheit zur Steuerung der einzelnen Komponenten der Reinigungsvorrichtung aufweisen. Bevorzugt kann die Reinigungsvorrichtung ausgebildet sein zur Reinigung eines Objekts mit einem simultanen Reinheitsnachweis eines aktuellen Bauteilzustands. Dies wird später beschrieben.

[0032] Die Reinigungsvorrichtung umfasst insbesondere die technischen Mittel, um das erfindungsgemäße Reinigungsverfahren auszuführen. Folglich ergeben sich auch für die Reinigungsvorrichtung die anhand des Reinigungsverfahrens beschriebenen Vorteile.

[0033] Weitere, besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung, wobei die unabhängigen Ansprüche einer Anspruchskategorie auch analog zu den abhängigen Ansprüchen und Ausführungsbeispielen einer anderen Anspruchskategorie weitergebildet sein können und insbesondere auch einzelne Merkmale verschiedener Ausführungsbeispiele bzw. Varianten zu neuen Ausführungsbeispielen bzw. Varianten kombiniert werden können.

[0034] Das zu reinigende Bauteil wird vorzugsweise so umströmt, dass volatile Verbindungen, die durch Ausgasung (Outgassing) aus dem Bauteil erhalten werden, von der Bauteiloberfläche abgelöst werden. Insbesondere wird das Verfahren so durchgeführt, dass durch ein Offgassing des Bauteils ein Outgassing desselben Bauteils erreicht wird. Das bedeutet, dass das Bauteil vorzugsweise so umströmt wird, dass in Folge der Umströmung volatile Verbindungen von der Bauteiloberfläche gelöst, insbesondere entfernt, werden, um darüber ein Ausgasen des Bauteils zu erreichen und/oder zu beschleunigen.

[0035] Bevorzugt kann das Spülgas, vorzugsweise das Inertgas, so gewählt sein, dass ein Partialdruck zumindest bestimmter VOC, die im Verfahren aus dem Bauteil herausgelöst werden sollen, im Inertgas null ist oder gegen null geht. Das Herauslösen von VOC aus dem Bauteil kann bevorzugt ein (dauerhaftes) Entfernen der VOC aus dem Bauteil umfassen.

[0036] Das verwendete Spülgas kann grundsätzlich (anders als ein Inertgas) ein chemisch reaktives Gas sein oder zumindest umfassen. Beispielsweise kann das Spülgas so ausgewählt sein, dass durch das Auftreffen des Spülgases auf eine Objektoberfläche eine bestimmte, z.B. chemische Reaktion im Objekt initiiert wird. Dadurch kann die Abgabe von Ausgasprodukten je nach Bauteil beschleunigt werden. Es wäre alternativ oder zusätzlich auch möglich, dass das Spülgas chemische Additive umfasst, um abgelöste volatile Verbindungen im Spülgas zu binden. Insbesondere kann das Spülgas auch so ausgewählt sein, dass poröse Oberflächen, hygroskopische oder lipophile Oberflächen effektiv gereinigt werden können. Die Beschaffenheit des Spülgases kann vorzugsweise in Abhängigkeit des Bauteils ausgewählt sein. Die Erfindung wird, ohne eine Beschränkung darauf, anhand eines Inertgases als Spülgas beschrieben, da sich dadurch besondere Vorteile ergeben können und in vielen Anwendungsfällen eine effektive Reinigung möglich ist.

[0037] In Folge der Umspülung mit einem erwärmten Inertgas können VOC von der Bauteiloberfläche gelöst werden, wobei dadurch weitere VOC aus einem Inneren des Bauteils oder des Ensembles (z.B. ein Kabelmantel) an die Bauteiloberfläche diffundieren. Vorteilhafterweise können die an bzw. auf der Bauteiloberfläche befindlichen VOC durch den permanenten Gasgrundstrom kontinuierlich von der Bauteiloberfläche entfernt werden, wobei aus anderen Baueilbereichen kontinuierlich VOC auf Grund von Diffusion an die umströmte Bauteiloberfläche nachströmen.

[0038] Vorteilhafterweise können in dem Verfahren volatile Ausgasprodukte eines Bauteils gezielt reduziert werden (gegenüber einem unbehandelten Bauteil). Insbesondere kann das Verfahren so erfolgen, dass ein gereinigtes Bauteil ein bestimmtes Ausgasverhalten bei der bestimmungsgemäßen Verwendung hat. Vorzugsweise kann das Bauteil so gereinigt werden, dass eine Stoffmenge an VOC, die zeitlich und/oder absolut von einem gereinigten Bauteil abgegeben wird, unterhalb eines bestimmten (Grenz-)Werts liegt.

[0039] Das zu reinigende Bauteil kann vorzugsweise ein stark ausgasendes Bauteil sein. Insbesondere kann das Bauteil ein Kabelbaum (Harness) oder ein Kabelbündel sein oder ein größeres Bauteil mit solchen Teilen. Alternativ oder zusätzlich kann das Bauteil vollständig oder teilweise aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) ausgebildet sein. Das Reinigungsverfahren ist allerdings nicht darauf beschränkt, wobei Bauteile aus unterschiedlichen technischen Bereichen gereinigt wer-

den können. Das Verfahren kann vorteilhafterweise auch dazu eingesetzt werden, um einen bestimmten Bereich eines Bauteils zu trocknen (alternativ oder ergänzend zur Reinigung), z.B. eine Beschichtung des Bauteils.

[0040] Das Verfahren ist insbesondere zur direkten Anwendung geeignet. Das bedeutet, dass ein fertig montiertes Bauteil ohne Zwischenschritte, insbesondere ohne Modifikationen am Bauteil, direkt in das Verfahren eingesetzt werden kann. Vorteilhafterweise ist das Verfahren besonders schonend gegenüber dem zu reinigenden Bauteil. In dem Verfahren können auch besonders große Bauteile in Gänze bzw. an einem Stück gereinigt werden. Beispielsweise können die Bauteile Abmessungen von bis zu 3 m Länge, 2 m Breite und 2 m Höhe haben. Vorteilhafterweise kann in dem Verfahren ein verfügbares Kammervolumen optimal genutzt werden, da zwei oder mehr Bauteile gleichzeitig gereinigt werden können, da durch den laminaren Gasgrundstrom ein Kontaminationsübertrag zwischen den jeweiligen Bauteilen vermieden werden kann. Das Verfahren kann sowohl dazu eingesetzt werden, um ein Bauteil vor einer bestimmungsgemäßen Verwendung bzw. Inbetriebnahme zu reinigen, als auch zur Zwischenreinigung eines Bauteils, z.B. vor einer Weiterbearbeitung des Bauteils.

[0041] Das Reinigungsverfahren kann vorzugsweise so durchgeführt werden, dass das Spülgas, vorzugsweise das Inertgas, zum Einbringen in die Kammer auf eine Mindesttemperatur von wenigstens 60 °C, vorzugsweise wenigstens 70 °C, bevorzugt wenigstens 80 °C, besonders bevorzugt wenigstens 90 °C, insbesondere 100 °C oder mehr erwärmt wird. Vorzugsweise kann das Inertgas beim Durchströmen des Reinigungsbereichs eine der zuvor beschriebenen Temperaturen haben. Es wird darauf hingewiesen, dass das Verfahren nicht auf die genannten Temperaturwerte beschränkt ist, wobei auch geringere oder höhere Temperaturen möglich sind. Allerdings hat sich gezeigt, dass bereits bei vergleichsweise geringen Temperaturen eine effektive Reinigung von Bauteilen möglich ist, wobei das Verfahren besonders auch zur Reinigung von temperatursensiblen Bauteilen geeignet ist. Beispielsweise kann die Temperatur des Inertgases angepasst sein an eine höchstzulässige Temperatur einer Bauteiluntereinheit, um diese vor einer temperaturbedingten Schädigung zu bewahren.

[0042] Das erwärmte Inertgas hat, wie schon beschrieben, auch die Funktion, um das zu reinigende Bauteil zu erwärmen. Entsprechend kann das Bauteil während der Reinigung mittels des erwärmten Inertgases auf eine der zuvor beschriebenen Temperaturen erwärmt werden. Vorteilhafterweise kann über die Temperatur des Inertgases - und damit auch des Bauteils - ein Ablöseverhalten der volatilen Verbindungen von der Bauteiloberfläche begünstigt werden. In dem Verfahren kann die Bauteiloberfläche permanent mit Inertgasmolekülen beaufschlagt bzw. "beschossen" werden. Der Impulsübertrag der Gasmoleküle auf die Moleküle der Verunreinigungen (die volatilen Verbindungen) auf der Objektoberfläche kann der Geschwindigkeitsverteilung (maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung) der Temperatur des Inertgases entsprechen. Daraus kann sich unter Berücksichtigung einer Geschwindigkeit und einer Masse der Gasmoleküle eine Ablösewahrscheinlichkeit der volatilen Verbindungen von der Objektoberfläche ergeben. Vorteilhafterweise können in dem Verfahren Moleküle bzw. VOC besonders effektiv von der Bauteiloberfläche entfernt werden, z.B. verglichen mit einem Vacuum Bake Out. Weiterhin kann die Temperatur des Inertgases relativ schnell auf das Bauteil übertragen werden, wobei ein Nachdiffundieren von VOC aus dem Bauteilinneren beschleunigt wird.

[0043] Das Spülgas, insbesondere das Inertgas, kann vorzugsweise in Form von zwei oder mehr Teilströmen so in den Innenraum der Kammer eingebracht werden, dass zumindest im Reinigungsbereich der laminare Gasgrundstrom erzeugt wird. Vorzugsweise kann das Inertgas, insbesondere die jeweiligen Teilströme, in einem Eintrittsbereich oder synonym Gaseintrittsbereich der Kammer in den Innenraum einströmen. Der Gaseintrittsbereich liegt bezogen auf eine Hauptströmungsrichtung des laminaren Gasgrundstroms stromaufwärts des Reinigungsbereichs. Vorzugsweise werden die jeweiligen Teilströme über den Gaseintrittsbereich so gelenkt, dass sich die Teilströme zu einem gemeinsamen Strom aus Inertgas (als Spülgas) vereinigen, um (spätestens) im Reinigungsbereich den laminaren Gasgrundstrom auszubilden. Entsprechend kann es vorkommen, das im Gaseintrittsbereich selbst und in einem kurzen Bereich, der sich stromabwärts daran anschließt, die laminare Strömung noch nicht ausgebildet ist.

[0044] Vorzugsweise umfasst der Gaseintrittsbereich eine Ausströmfläche für Inertgas mit zwei oder mehr separat steuerbaren bzw. schaltbaren Öffnungen. Bevorzugt kann der Gaseintrittsbereich zwei oder mehr separat steuerbare Düsen aufweisen, insbesondere ein Düsenarray oder ein Düsenfeld. Nachfolgend wird die Erfindung, sofern nicht anders erwähnt und ohne eine Beschränkung darauf, anhand eines Düsenfelds (als Ausströmfläche) mit einer Vielzahl von separat steuerbaren Düsen beschrieben. Vorzugsweise sind die Düsen dazu ausgebildet, um jeweils einen Teilstrom aus Inertgas in die Kammer einzubringen. Bevorzugt kann der Druck des einströmenden Intergases und der Volumenstrom bei allen Düsen im Wesentlichen gleich sein, um den (reinen) Gasgrundstrom zu erzeugen. Das bedeutet, zur Erzeugung (nur) des permanenten Gasgrundstroms, ohne besondere Strömungsprofile, können sämtliche Düsen mit denselben vorgebbaren Standardparametern bezüglich Druck und Volumenstrom des Intergases betrieben werden. Das wird als Regelbetrieb bezeichnet. Die Standardparameter können bauteilspezifisch angepasst sein, z.B. in Abhängigkeit einer Bauteilgeometrie oder einer Reinigungsaufgabe, insbesondere unter Berücksichtigung einer vorherigen Simulation des Reinigungsverfahrens mittels CFD (Computational Fluid Dynamics).

[0045] Die Teilströme können so erzeugt werden, dass ein Strömungsquerschnitt des laminaren Gasgrund-

stroms im Reinigungsbereich im Wesentlichen gleich ist zu einem Strömungsquerschnitt des Reinigungsbereichs. Das bedeutet, dass dann der gesamte Reinigungsbereich, bezogen auf seinen Querschnitt, vollständig von dem Gasgrundstrom durchströmt wird. Sofern der Reinigungsbereich ein Reinigungsabschnitt der Kammer ist, kann der Strömungsquerschnitt des laminaren Gasgrundstroms im Reinigungsabschnitt im Wesentlichen gleich sein zu einem Strömungsquerschnitt des Reinigungsabschnitts. Entsprechend kann der gesamte Reinigungsabschnitt, bezogen auf seinen Querschnitt, vollständig von dem Gasgrundstrom durchströmt werden. Bevorzugt kann ein Strömungsquerschnitt entlang einer Längserstreckung des Reinigungsabschnitts bzw. des Reinigungsbereichs im Wesentlichen konstant sein.

[0046] Unter einem Reinigungsabschnitt wird ein bestimmtes Segment des Innenraums der Kammer verstanden. Der Reinigungsabschnitt erstreckt sich über eine gewisse Länge des Innenraums zwischen den Innenwänden der Kammer, die den Innenraum in diesem Segment bilden. Das bedeutet, dass der Reinigungsabschnitt von Wand zu Wand reicht. In diesem Fall kann in dem betreffenden Abschnitt in einem gesamten Strömungsquerschnitt des Innenraums ein quasi laminarer Gasgrundstrom anliegen. Der quasi laminare Gasgrundstrom grenzt dann direkt an die Innenwände der Kammer an.

[0047] Der Reinigungsbereich unterscheidet sich vorzugsweise dadurch von dem Reinigungsabschnitt, dass der Reinigungsbereich nicht unmittelbar an die Innenwände der Kammer angrenzt. Bevorzugt ist der Reinigungsbereich von den Innenwänden der Kammer beabstandet. Folglich kann in einem Übergangsbereich zwischen dem Reinigungsbereich, in dem eine laminare Strömung anliegt, und den Innenwänden der Kammer eine Strömung aus Inertgas erzeugt werden, die von einer laminaren oder quasi laminaren Strömung abweicht. Es kann mitunter technisch aufwendig sein, auch im Wandbereich eine laminare Strömung zu erzeugen, z.B. auf Grund einer Wandbeschaffenheit oder wegen Messgeräten oder anderen technischen Einrichtungen, die ausgehend von einer Wand in die Strömung hineinragen. Aus diesem Grund kann es bevorzugt sein, die laminare bzw. quasi laminare Strömung nur in einem Reinigungsbereich zu erzeugen. Die Erfindung wird nachfolgend, ohne eine Beschränkung darauf, anhand eines Reinigungsbereichs beschrieben, da auch damit die beschriebenen Vorteile erreicht werden können.

[0048] Der Gasgrundstrom im Reinigungsbereich kann im einfachsten Fall so erzeugt werden, dass das Inertgas in Form einer laminaren Strömung gemäß einer Hauptströmungsrichtung ausgehend vom Gaseintrittsbereich den gesamten Reinigungsbereich durchströmt. Nach Durchströmen des Reinigungsbereichs kann das Inertgas über einen Gasaustrittsbereich aus dem Kammer abgeführt werden, wobei der Gasaustrittsbereich vorzugsweise dem Gaseintrittsbereich bezogen auf die Hauptströmungsrichtung gegenüberliegt. Der Reinigungsbereich liegt also vorzugsweise mittig zwischen dem Gaseintritts- und dem Gasaustrittsbereich. Die Hauptströmungsrichtung entspricht einer kürzesten Distanz zwischen dem Gaseintrittsbereich, insbesondere dem Düsenfeld, und dem Gasaustrittsbereich.

[0049] Bevorzugt kann in dem Verfahren ein Gasfluss, insbesondere ein Einstrom von Spülgas, vorzugsweise Inertgas, in die Kammer räumlich, vorzugsweise zumindest bezogen auf einen Strömungsquerschnitt des Reinigungsbereichs ortsaufgelöst, und/oder zeitlich gesteuert werden, insbesondere um zumindest im Reinigungsbereich ein bestimmtes Profil im Gasgrundstrom zu erzeugen. Besonders bevorzugt erfolgt eine zeitliche und/oder örtliche Veränderung des Gasstroms über eine Ausstromfläche für Inertgas in die Kammer. Eine solche räumliche und/oder zeitliche Steuerung des Gasflusses in die Kammer kann bevorzugt durch eine Steuereinheit der Reinigungsvorrichtung gesteuert werden. Vorteilhafterweise lassen sich damit die Reinigungsergebnisse weiter verbessern, wie nachfolgend beschrieben wird.

[0050] Zur Steuerung, insbesondere Veränderung, des Gasflusses in die Kammer kann ein Druck des in die Kammer eingebrachten bzw. einströmenden Spülgases, vorzugsweise Inertgases, während der Reinigung desselben Bauteils zumindest einmalig geändert werden. Bevorzugt kann dadurch wenigstens einmalig eine wellenartige Druckschwankung im Gasgrundstrom zumindest im Reinigungsbereich erzeugt werden. Unter einer wellenartigen Druckschwankung oder kurz Welle wird ein Bereich oder Strömungspaket im Gasgrundstrom, insbesondere eine Front, mit einer bestimmten Geschwindigkeit verstanden, die sich von einer Strömungsgeschwindigkeit des umliegenden Gasgrundstroms unterscheidet. Eine solche Welle kann in Form eines Druckimpulses im Gasgrundstrom erzeugt werden, der sich durch den Reinigungsbereich fortpflanzt. Entsprechend kann die im Gasgrundstrom erzeugte Welle auch als Druckwelle bezeichnet werden. Vorzugsweise können im Verfahren zeitliche und/oder räumliche Variationen des Gasgrundstroms (als Wellen) erzeugt werden, um das Umströmen des Bauteils und den Abtransport von VOC weiter zu verbessern.

[0051] Beispielsweise kann das Inertgas in Form von Teilströmen während eines ersten Zeitraums mit einem relativ hohen Druck in die Kammer einströmen, wobei der Druck der einzelnen Teilströme im Wesentlichen gleich ist. Während eines zweiten Zeitraums, der sich unmittelbar an den ersten Zeitraum anschließt, kann das Inertgas in Form von Teilströmen mit einem geringeren Druck in die Kammer einströmen. Der Wechsel vom ersten Druck zum zweiten Druck kann vorzugsweise schlagartig erfolgen. Ein solcher Druckwechsel kann vorzugsweise mehrmals nacheinander während des Reinigungsverfahrens erfolgen.

[0052] Vorzugsweise können während der Reinigung eines Bauteils mehrere aufeinanderfolgende wellenartige Druckschwankungen im Grundgasstrom im Reinigungsbereich erzeugt werden. Dadurch kann ein Profil

im Gasgrundstrom erzeugt werden. In dem beschriebenen Fall kann eine Welle mit einer zur Hauptströmungsrichtung annähernd orthogonal verlaufenden Wellenfront erzeugt werden, wobei sich die Welle entlang der Hauptströmungsrichtung im Reinigungsbereich ausbreitet. Eine solche zeitliche Variation der Druckverhältnisse im Gasgrundstrom wird auch als "Atmen" bezeichnet. Vorteilhafterweise können mittels solcherWellen (Atmen) Hinterschneidungen und Kavitäten eines Bauteils besonders gründlich gereinigt werden.

[0053] Alternativ oder zusätzlich kann eine Steuerung des Gaseinstroms in die Kammer beinhalten, dass ein Volumenstrom des in die Kammer einströmenden Inertgases während der Reinigung zumindest einmalig geändert wird. Vorzugsweise können sich Phasen eines relativ großen Volumenstroms und Phasen eines geringeren Volumenstroms abwechseln, um dadurch eine Welle (als ein Profil) im Gasgrundstrom im Reinigungsbereich zu erzeugen. Es ist möglich, eine Steuerung des Gasflusses in die Kammer über eine Änderung des Volumenstroms in Kombination mit einer Druckänderung des einströmenden Inertgases zu erreichen.

[0054] In den beiden zuvor beschriebenen Fällen kann das Inertgas in Form mehrerer Teilströme über die Ausströmfläche bzw. das Düsenfeld in die Kammer eintreten, wobei der Gasdruck im jeweiligen Teilstrom und/oder der (Teil-)Volumenstrom des jeweiligen Teilstroms im Wesentlichen gleich sein kann. Die jeweiligen Düsen können also parallelgeschaltet sein. Das bedeutet, dass dann ausschließlich eine zeitliche Veränderung des Gasstroms in die Kammer während des Reinigungsverfahrens erfolgt. Die Strömungsrichtung der im Gasgrundstrom erzeugten Wellen kann dann der Hauptströmungsrichtung entsprechen.

[0055] Alternativ, vorzugsweise zusätzlich, zu einer rein zeitlichen Steuerung des Gasflusses in die Kammer, kann in dem Verfahren der Einstrom von Inertgas über die Ausstromfläche räumlich gesteuert, vorzugsweise verändert, werden. Insbesondere kann der Einstrom von Inertgas örtlich aufgelöst erfolgen in Bezug auf einen Strömungsquerschnitt des Reinigungsbereichs, wobei der Strömungsquerschnitt orthogonal zur Strömungsrichtung des Gasgrundstroms im Reinigungsbereich ist. Bei einer (auch) räumlichen Veränderung des Gasstroms in die Kammer kann die Strömungsrichtung des Gasgrundstroms während des Verfahrens zumindest zeitweise von der Hauptströmungsrichtung abweichen.

[0056] Vorzugsweise kann der Strömungsquerschnitt des Reinigungsbereichs, zumindest virtuell, rasterartig gegliedert sein. Beispielsweise kann der Strömungsquerschnitt in eine Mehrzahl von gleichartigen Querschnittssegmenten (virtuell) unterteilt sein. Bevorzugt kann jedem Querschnittssegment eine separate Düse als Teil der Ausstromfläche zugeordnet sein, um in dem jeweiligen Querschnittssegment eine bestimmte (Segment-)Strömung zu erzeugen. Dadurch kann ein örtlich aufgelöstes Einströmen von Inertgas (bezogen auf den Strömungsquerschnitt) erreicht werden. Bevorzugt können die jeweiligen (Segment-)Strömungen unterschiedlich erzeugt werden.

[0057] Die einzelnen (Segment-)Strömungen sind vorzugsweise Teil des Gasgrundstroms. Mit anderen Worten kann der Gasgrundstrom im Reinigungsbereich durch mehrere, zumindest gedanklich trennbare, (Segment-)Strömungen gebildet sein. Im Betrieb bilden die (Segment-)Strömungen im Reinigungsbereich vorzugsweise die laminare Strömung aus und sind dann nicht als einzelne (Segment-)Strömungen wahrnehmbar.

[0058] Vorzugsweise können zumindest einige Düsen der Ausströmfläche bzw. des Düsenfelds so gesteuert werden, dass unterschiedliche Teilströme durch die jeweiligen Düsen erzeugt werden. Bevorzugt können zumindest zwei, insbesondere eine Vielzahl, von Teilströmen erzeugt werden, die sich bezüglich eines Drucks des einströmenden Inertgases und/oder bezüglich eines Volumenstroms von anderen Teilströmen unterscheiden. Bevorzugt kann zusätzlich eine zeitliche Variation erfolgen, um den Druck des jeweils einströmenden Inertgases und/oder den Volumenstrom des jeweiligen Teilstroms während des Reinigungsverfahrens zeitlich zu variieren.

[0059] Vorzugsweise kann eine Ausströmfläche eine Vielzahl von separat steuerbaren Düsen aufweisen, die gleichmäßig über eine Grundfläche der Ausströmfläche verteilt sind. Grundsätzlich können mehrere Düsen zu einer Düseneinheit zusammengefasst und als Einheit betrieben werden. Dadurch kann das Düsenfeld und die Ansteuerung technisch einfacher realisiert sein. Beispielsweise können mehrere Düsen in einer Reihe angeordnet und als Einheit betrieben werden, wobei die Ausströmfläche dann mehrere parallele Reihen von Düsen aufweisen kann.

[0060] Es ist aber ebenso möglich, dass alle Düsen des Düsenfelds separat ansteuerbar sind. Insbesondere kann eine jeweilige Düse mittels einer Steuereinheit so gesteuert werden, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt des Verfahrens das Inertgas mit einem definierten Druck über die betreffende Düse in die Kammer einströmt und/oder so, dass ein definierter Volumenstrom von Inertgas über die Düse in die Kammer einströmt. Dadurch können auch komplexe Strömungsprofile erzeugt werden, die speziell an ein zu reinigendes Bauteil angepasst sind.

[0061] Vorteilhafterweise kann - ungeachtet der konkreten Ausführungform - bei einer kombinierten zeitlichen und räumlichen Steuerung des Gasstroms über das Düsenfeld ein bestimmtes Profil im Gasgrundstrom erzeugt werden, um die Reinigungsleistung weiter zu verbessern. Ein Profil kann vorzugsweise eine Abfolge von mehreren (auch unterschiedlichen) Wellen umfassen. Dazu kann der Gasgrundstrom während der Reinigung des Bauteils moduliert werden, insbesondere wellenartig. Bevorzugt kann eine (jeweilige) Welle in Form eines Druckimpulses im Gasgrundstrom erzeugt werden. Vorzugsweise können die an der Erzeugung der Welle beteiligten Düsen anhand ihrer relativen Lage bezogen auf

die Ausstromfläche ausgewählt werden, insbesondere unter Berücksichtigung einer Ausbreitungsrichtung einer Wellenfront bezogen auf den Strömungsquerschnitt des Reinigungsbereichs. Die ausgewählten Düsen können zeitlich versetzt bzw. gestaffelt angesteuert und mit einem von den Standardparametern abweichenden Druck beaufschlagt werden.

[0062] Bevorzugt kann eine Welle, insbesondere ein Druckimpuls, mit einer bestimmten Wellenfront erzeugt werden. Die Wellenfront kann gegenüber der Hauptströmungsrichtung geneigt sein und/oder kann (entlang ihrer Länge) unterschiedliche Winkel zur Hauptströmungsrichtung bilden. Beispielsweise kann eine Wellenfront mäandrierend sein. Die Form der Wellenfront kann vorzugsweise an eine Bauteilgeometrie angepasst sein. Die so im Gasgrundstrom erzeugten Wellen können im einfachsten Fall den Reinigungsbereich gemäß der Hauptströmungsrichtung durchlaufen.

[0063] In dem Verfahren ist es weiterhin möglich, dass eine oder mehrere Wellen den Reinigungsbereich in einer (Ausbreitungs-)Richtung durchströmen, die von der Hauptströmungsrichtung abweicht. Bevorzugt kann eine Welle dadurch definiert sein, dass die (Ausbreitungs-)Richtung einer Wellenfront um einen bestimmten Wert von der Hauptströmungsrichtung abweicht, insbesondere in mehreren Dimensionen, und/oder dass eine Geschwindigkeit der Wellenfront von einer Durchschnittsgeschwindigkeit des Gasgrundstroms abweicht.

[0064] Vorzugsweise kann eine Welle so erzeugt werden, dass sich die Wellenfront schräg zur Hauptströmungsrichtung im Reinigungsbereich ausbreitet, insbesondere unter Ausbildung eines bestimmten Winkels. Vorzugsweise kann eine solche Welle dadurch definiert sein, dass sie in einer ersten Dimension schräg zur Hauptströmungsrichtung verläuft und in zumindest einer anderen Dimension parallel zur Hauptströmungsrichtung verläuft.

[0065] Alternativ oder zusätzlich kann eine Welle so erzeugt werden, dass sich die Wellenfront in zwei unterschiedlichen Dimensionen schräg zur Hauptströmungsrichtung im Reinigungsbereich ausbreitet, insbesondere jeweils unter Ausbildung eines bestimmten Winkels. In den Fällen, in denen sich eine Welle in zumindest einer Dimension schrägt zur Hauptströmungsrichtung ausbreitet, kann die Strömungsrichtung des Gasgrundstroms während des Reinigungsverfahrens, zumindest in Teilen des Reinigungsbereichs, vorübergehend geändert werden (also von der Hauptströmungsrichtung abweichen). Der Gasgrundstrom strömt dann gemäß der Strömungsrichtung der Wellenfront. Bevorzugt werden die zuvor beschriebenen Wellen so erzeugt, dass während des gesamten Reinigungsverfahrens eine laminare Strömung im Reinigungsbereich anliegt.

[0066] Vorteilhafterweise kann mittels der beschriebenen zeitlichen und räumlichen Veränderung des Gaseinstroms in die Kammer eine Umströmung des Bauteils und ein Abtransport von abgelösten VOC verbessert werden. Vorteilhafterweise kann durch die besondere Strömungsführung im Reinigungsbereich erreicht werden, dass während des Verfahrens möglichst alle Oberflächenbereiche des Bauteils zumindest zeitweise mit Inertgas umspült werden, so dass permanente Totwassergebiete, also Bereiche ohne Gasaustausch, vermieden werden. Weiterhin können turbulente teilweise geschlossene Bereiche des Bauteils und damit eine Konzentrationsanhäufung von VOC vermieden werden. Die beschriebene Strömungsführung kann besonders bei Bauteilen mit einer komplexen Geometrie vorteilhaft sein. Beispielsweise können in dem Verfahren Wellen im Gasgrundstrom, insbesondere Druckimpulse, so erzeugt werden, dass das Inertgas in Form einer laminaren Strömung auch in Kavitäten des Bauteils eintaucht, so dass ein Gasaustausch zwischen dem Gasgrundstrom und dem Gas innerhalb der Kavität oder im Bereich einer Hinterschneidung verbessert wird. Dieser als Atmen bezeichnete Prozess kann eine verdünnende Wirkung haben und kann die Reinigung weiter verbessern. Beispielsweise kann beim Atmen auch ein vorübergehender lokaler Unterdruck erzeugt werden. Ein weiterer Vorteil kann sich dadurch ergeben, dass ein Winkel, mit dem der Gasgrundstrom auf das Bauteil auftritt, zeitweise verändert wird, was die Reinigung weiter verbessern kann. Die beschriebenen Vorteile können sich auch bereits bei einer (rein) zeitlichen Steuerung des Gaseinstroms in die Kammer ergeben. Beispielsweise kann in Abhängigkeit der Bauteilgeometrie eine vergleichsweise einfache Modulation des Gasgrundstroms erfolgen, um trotzdem eine gründliche Reinigung zu erzielen.

[0067] Vorteilhafterweise kann der Gasgrundstrom bezüglich der Ausgestaltung der darin erzeugten Wellen, insbesondere der Druckimpulse, moduliert werden. Vorzugsweise können zumindest einige der folgenden Parameter einer erzeugten Welle bauteilspezifisch angepasst werden: eine (mehrdimensionale) Ausbreitungsrichtung einer Welle, eine Stärke eines Druckimpulses, eine Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle, eine Form einer Wellenfront, ein Zeitpunkt einer Erzeugung der Welle. Auch eine Frequenz von aufeinanderfolgenden Wellen desselben oder eines unterschiedlichen Typs kann, vorzugsweise bauteilspezifisch, gesteuert werden. Eine solche Modulation kann vorzugweise mittels einer Steuereinheit der Reinigungsvorrichtung erfolgen. Vorzugsweise ist Steuereinheit weiter dazu ausgebildet, um die Komponenten der Reinigungsvorrichtung so zu steuern, dass ein entsprechend modulierter Gasgrundstrom im Verfahren erzeugt wird. Vorteilhafterweise kann das Reinigungsverfahren dadurch bestmöglich an die Geometrie eines zu reinigenden Bauteils angepasst sein, was die Reinigung effektiver macht.

[0068] Es wird darauf hingewiesen, dass in dem Verfahren zur Reinigung desselben Bauteils unterschiedliche Arten von Wellen erzeugt werden können. Beispielsweise können zeitlich gestaffelt nacheinander unterschiedliche Arten von Wellen erzeugt werden. Es ist aber auch möglich, dass mehrere Wellen im Wesentlichen zeitgleich erzeugt werden und/oder im Wesentlichen

zeitgleich verschiedene Teile des Reinigungsbereichs durchströmen. Derartige Wellen können vom selben Typ sein oder unterschiedlich sein.

[0069] Es ist weiterhin möglich, dass in dem Verfahren zwei oder mehr Strömungskorridore gebildet werden, die auch unterschiedlich mit Inertgas durchströmt werden können. Beispielsweise können in dem Verfahren zwei oder mehr Bauteile gleichzeitig gereinigt werden, wobei jedem Bauteil ein eigener Strömungskorridor zugeordnet ist. In den einzelnen Strömungskorridoren können unterschiedliche Wellen (als Profile) im Gasgrundstrom erzeugt werden. Die Strömungskorridore können bezogen auf die Hauptströmungsrichtung vorzugsweise nebeneinander angeordnet sein. Weiterhin können zwei benachbarte Strömungskorridore durch einen separaten Strömungsbereich (als Gasvorhang) strömungstechnisch voneinander getrennt werden. Dadurch kann das Risiko einer Kreuzkontamination weiter reduziert werden. Zur Ausbildung eines Gasvorhangs kann z.B. eine Reihe von Düsen mit einem höheren Druck und/oder Volumenstrom betrieben werden, als die beidseits angrenzenden Düsenreihen, die den jeweiligen Strömungskorridoren zugeordnet sind.

[0070] Das Verfahren kann vorzugsweise so durchgeführt werden, dass (nur) ein bestimmter Teilbereich der Bauteiloberfläche gezielt von einem Gaslokalstrom aus Spülgas, vorzugsweise Inertgas, angeströmt wird, insbesondere mit einem Gaslokalstrom aus Inertgas beaufschlagt wird. Der Gaslokalstrom wird vorzugsweise separat gegenüber dem Gasgrundstrom erzeugt. Der Gaslokalstrom kann vorzugsweise eine gegenüber dem Gasgrundstrom unterschiedliche Strömungsrichtung haben. Je nach Ausführungsform kann für den Gaslokalstrom ein anderes Gas, vorzugsweise ein anderes Inertgas, als für den Gasgrundstrom verwendet werden. Es ist jedoch bevorzugt, dass für den Gasgrundstrom und den Gaslokalstrom dasselbe Inertgas verwendet wird.

[0071] Der Gaslokalstrom kann vorzugsweise mittels einer steuerbaren Lanze oder Gas-Sonde erzeugt werden, die im Innenraum der Kammer, insbesondere im Reinigungsbereich, frei beweglich ist. Im Bereich der Lanze kann es zu geringfügigen lokalen Störungen der ansonsten laminaren Strömung im Reinigungsbereich kommen. Entsprechend kann, wie eingangs beschrieben, insbesondere bei Verwendung einer Lanze eine quasi laminare Strömung im Reinigungsbereich erzeugt werden. Die Lanze kann vorzugsweise vollständig aus dem Reinigungsbereich entfernt werden.

[0072] Die Steuerung der Lanze erfolgt vorzugsweise mittels der Steuereinheit der Reinigungsvorrichtung. Vorzugsweise kann der Druck und/oder ein Volumenstrom des ausströmenden Intergases gesteuert werden. Die Lanze kann endseitig eine Düse zur Abgabe des Inertgases aufweisen. Vorzugsweise kann die Lanze gegenüber der Bauteiloberfläche bewegt werden, um die Düse mit einem bestimmten Abstand gegenüber dem zu beströmenden Teilbereich zu positionieren. Der zu beströmende Teilbereich kann insbesondere in einer von außen zugänglichen Kavität im Bauteil angeordnet sein. Bevorzugt ist Lanze zumindest abschnittsweise flexibel ausgebildet und/oder kann sich an die Form eines Hohlraums im Bauteil anpassen. Bevorzugt ist die Düse automatisch schwenkbar gegenüber der (restlichen) Lanze.

[0073] Vorteilhafterweise kann mittels einer Lanze die Reinigungsleistung weiter verbessert werden, wobei Bauteile, die mit bekannten Verfahren nur schwer zu reinigen sind, effektiv gereinigt werden können. Beispielsweise kann die Lanze auch in Bauteile mit schwer zugänglichen Kavitäten, z.B. enge Hohlräume, eingeführt werden, um das Bauteil quasi von innen heraus zu reinigen. Die mittels des Gaslokalstroms abgelösten VOC können durch das aus der Lanze ausströmende Inertgas aus der Kavität herausgetrieben werden. Vorzugsweise wird der Gaslokalstrom so erzeugt, dass eine ausreichend hohe Austrittsgeschwindigkeit des Inertgases aus der Kavität erreicht wird, um die abgelösten volatilen Verbindungen möglichst vollständig aus der Kavität zu entfernen und/oder um einen Rückstrom von volatilen Verbindungen in die Kavität zu verhindern. Unmittelbar nach Verlassen der Kavität können die abgelösten VOC in den quasi laminaren Gasgrundstrom eintreten, der das Bauteil außen umspült, und abtransportiert werden. Vorteilhafterweise können dadurch andere Oberflächenbereiche desselben Bauteils vor einer Aufnahme der VOC möglichst geschützt werden.

[0074] Die Lanze kann auch dazu eingesetzt werden, um einen Teilbereich eines Bauteils mit Inertgas gezielt, insbesondere direkt, zu beaufschlagen, wobei sensible Oberflächenbereiche besonders zuverlässig von einer Aufnahme von abgelösten VOC geschützt werden. Solche besonders kontaminationskritischen Bereiche, z.B. optische Systeme von Raumfahrtobjekten, können durch den Gaslokalstrom gegenüber abgelösten VOC abgeschirmt werden. Dieses Vorgehen wird auch als Pointing bezeichnet. Die geschützten Bereiche können sowohl in von außen zugänglichen Kavitäten des Bauteils angeordnet sein als auch Teil der nach außen gerichteten Bauteiloberfläche sein.

[0075] Der Gaslokalstrom kann so erzeugt werden, dass der angeströmte Teilbereich in Folge der Anströmung auf eine bestimmte Solltemperatur gebracht wird. Die Solltemperatur kann entweder höher sein als eine Temperatur des Gasgrundstroms oder geringer sein als eine Temperatur des Gasgrundstroms. Entsprechend kann der Teilbereich mittels des Gaslokalstroms so temperiert werden, dass eine Temperatur zumindest der Bauteiloberfläche in diesem Bereich um einen bestimmten Wert höher oder niedriger ist als eine Temperatur der Bauteiloberfläche, die an den beströmten Teilbereich angrenzt. Es ist deshalb bevorzugt, dass das Inertgas des Gaslokalstroms vor dem Austritt aus der Düse auf eine Solltemperatur gekühlt und/oder auf eine Solltemperatur erhitzt wird.

[0076] Vorteilhafterweise können durch einen vorgekühlten Gaslokalstrom besonders temperatursensible

Elemente eines Bauteils während des Verfahrens geschützt werden, indem diese lokal gekühlt werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass die Temperatur des Gasgrundstroms deutlich höher sein kann als die Maximaltemperatur eines temperaturkritischen Elements des Bauteils, was sich vorteilhaft auf die Effizienz auswirken kann und gleichzeitig eine Überhitzung des temperaturkritischen Elements verhindert. Solche gezielt gekühlten Teilbereiche eines Bauteils können z.B. LEDs oder Halbleiterbauteile aufweisen.

[0077] Die Verwendung eines erhitzten Gaslokalstroms kann vorteilhaft sein, um das Ausgasen in dem angeströmten Teilbereich zu beschleunigen. Beispielsweise kann ein stark ausgasender Teilbereich eines Bauteils stärker erwärmt werden als andere Bauteilbereiche, um die Reinigung des gesamten Bauteils zu beschleunigen. Die Verwendung eines erwärmten Gaslokalstroms kann auch vorteilhaft sein, um speziell in einem Teilbereich eine relativ hohe Temperatur zu erzeugen, so dass dort eine chemische Reaktion initiiert wird und die sich bildenden volatilen Verbindungen weggeführt werden können (z.B. Aushärten von Kleber).

[0078] Je nach Ausführungsform des Verfahrens können zwei oder mehr, auch separate bzw. räumliche getrennte, Teilbereiche der Bauteiloberfläche von jeweils einem zugeordneten Gaslokalstrom angeströmt werden. Vorzugsweise können die Gaslokalströme unterschiedlich temperiert sein. Es ist deshalb bevorzugt, dass die Reinigungsvorrichtung zumindest eine steuerbare Lanze, insbesondere zwei oder mehr separat steuerbare Lanzen, zur Erzeugung von jeweils einem Gaslokalstrom aus Spülgas, vorzugsweise Inertgas, im Reinigungsbereich aufweist. Die jeweiligen Lanzen sind vorzugsweise während des Reinigungsverfahrens separat steuerbar. Es ist möglich, dass zwei oder mehr Lanzen zur Reinigung desselben Bauteils vorgesehen sind. Es ist auch möglich, dass die Lanzen unterschiedlichen Bauteilen zugeordnet sind, die in demselben Verfahren gereinigt werden. Auch eine Kombination ist möglich.

[0079] In dem Reinigungsverfahren kann weiterhin vorgesehen sein, dass ein Abgasstrom, der vom Bauteil abgelöste volatile Verbindungen umfasst, nach dem Durchströmen des Reinigungsbereichs einer Analyse unterzogen wird. Vorzugsweise kann durch die Analyse die Gaszusammensetzung des Abgasstroms bestimmt werden. Der Abgasstrom kann während des Reinigungsverfahrens exemplarisch oder kontinuierlich bzw. permanent analysiert werden. Besonders bevorzugt kann die Analyse des Abgasstroms in Echtzeit erfolgen. Weiter bevorzugt können Analyseergebnisse über eine Ausgabeeinheit angezeigt werden, insbesondere in Echtzeit.

[0080] Der Abgasstrom ist definiert als das Spülgas, vorzugsweise Inertgas, das stromabwärts des Reinigungsbereichs (bezogen auf die Hauptströmungsrichtung) in den Gasaustrittsbereich einströmt. Der Abgasstrom bezeichnet also das Inertgas während des Eintritts in den Gasaustrittsbereich. Der Abgasstrom kann, zumindest teilweise, dadurch erhalten werden, dass volatile Verbindungen in Folge der Reinigung des Bauteils in den laminaren Gasgrundstrom eintreten. Somit kann sich während der Umspülung des Bauteils aus dem laminaren Gasgrundstrom und optional dem Gaslokalstrom der Abgasstrom bilden. Je nach Ausführungsform des Verfahrens ist es möglich, dass einige Bereiche des Gasgrundstroms keine volatilen Verbindungen enthalten. Das betrifft insbesondere Strömungsbereiche außerhalb des Reinigungsbereichs und/oder im Reinigungsbereich außenliegende (vom Bauteil entfernt liegende) Strömungsbereiche des Gasgrundstroms. Beispielsweise kann eine Konzentration von im Gasgrundstrom mitgeführten volatilen Verbindungen ausgehend von einem Zentralbereich in Richtung der Außenbereiche des Reinigungsbereichs graduell abnehmen.

[0081] Bevorzugt wird der Abgasstrom erhalten, sobald der Gasgrundstrom den Reinigungsbereich vollständig durchströmt hat bzw. sobald der (außerhalb verlaufende) Gasgrundstrom den Reinigungsbereich bezogen auf die Hauptströmungsrichtung vollständig passiert hat. Bevorzugt kann der gesamte Abgasstrom, der je Zeiteinheit in den Gasaustrittsbereich einströmt, gemeinsam analysiert werden. Je nach Ausführungsform des Verfahrens können dadurch Durchschnittswerte der Gaszusammensetzung des Abgasstroms erhalten werden. Vorteilhafterweise kann dadurch eine Messung eines Reinheitszustands eines Objekts erfolgen, wobei sämtliche Oberflächenbereiche des Objekts berücksichtigt werden (in die Messung einfließen). Dadurch kann besonders bei Objekten mit einer großen oder komplexen Oberfläche vergleichsweise einfach ein zuverlässiges Messergebnis erreicht werden. Alternativ wäre auch eine ortsaufgelöste Analyse möglich, wie später beschrieben wird.

[0082] Durch die Analyse kann zumindest ein Parameter des Abgasstroms bestimmt werden, insbesondere zeitaufgelöst in Bezug auf die Dauer des Reinigungsverfahrens. Ein Parameter ist eine jeweilige Art bzw. ein Typ der im Abgasstrom mitgeführten volatilen Verbindung. Bevorzugt kann eine Elementen-spezifische Auswertung des Abgasstroms in Relation zur Reinigungsdauer erfolgen. Die Reinigungsdauer beschreibt die Dauer des Verfahrens seit dem Beginn der Umströmung des Bauteils mit dem Gasgrundstrom, insbesondere des Bauteils mit einer Solltemperatur.

[0083] Vorzugsweise kann als weiterer Parameter eine jeweilige Quantität der im Abgasstrom mitgeführten volatilen Verbindungen berücksichtigt werden. Bevorzugt können die volatilen Verbindungen im Abgasstrom stofflich charakterisiert werden und mengenmäßig bestimmt werden, z.B. in einem gemeinsamen Schritt, insbesondere in Relation zur Reinigungsdauer.

[0084] Als weiterer Parameter kann eine Temperatur des Abgasstroms erfasst werden, vorzugsweise in Relation zur Reinigungsdauer. Vorteilhafterweise kann über die Temperatur des Abgasstroms, optional auch über die Temperatur der Kammerwände, bestimmt werden, ob das zu reinigende Bauteil eine bestimmte Solltemperatur

erreicht hat. Das ist insbesondere der Fall, sofern die Temperatur des Abgasstroms über eine gewisse Zeit stabil gehalten wird. Das Vorhandensein einer (zeitlich) stabilen Abgasstromtemperatur kann z.B. eine Bedingung sein für den Beginn einer qualitativen und/oder quantitativen Analyse der volatilen Verbindungen im Abgasstrom und/oder kann den Beginn der Reinigungsdauer bzw. der Spülzeit festlegen.

[0085] In dem Verfahren kann weiterhin vorgesehen sein, dass ein Abbruchkriterium zur Beendigung des Verfahrens basierend auf zumindest einem im Abgasstrom analysierten Parameter bestimmt wird. Vorzugsweise kann ein Reinigungsfortschritt des Reinigungsverfahrens ein Abbruchkriterium sein. Bevorzugt kann das Abbruchkriterium eine exponentielle Abnahmerate wenigstens einer volatilen Verbindung im Abgasstrom sein. Vorteilhafterweise kann durch eine Messung einer Abnahmekurve zumindest einer volatilen Verbindung im Abgasstrom bereits während des Reinigungsverfahrens rückgeschlossen werden auf eine (absolute) Reinheit des Objekts.

[0086] Ein Abbruchkriterium (als Sollwert) kann bevorzugt eine bestimmte (höchstzulässige) Konzentration einer definierten volatilen Verbindung im Abgasstrom sein. Hierzu ist es möglich, eine Leitsubstanz zu definieren, welche möglichst einfach zu messen ist und repräsentativ für das Ausgasverhalten eines Objekts ist. Vorzugsweise kann bei Erreichen oder Unterschreiten einer geforderten Konzentration der Leitsubstanz die Reinigung erfolgreich beendet werden. Die entsprechende Messung (Erreichen der geforderten Konzentration) oder der Verlauf der Abnahme kann als Reinheitsnachweis dienen, wobei auf eine Beprobung oder externe Labormessungen am Bauteil verzichtet werden kann.

[0087] Bevorzugt kann ein Istwert des Parameters, der dem Abbruchkriterium zugrunde liegt, während des Verfahrens kontinuierlich bestimmt werden, z.B. eine jeweils aktuelle Konzentration einer bestimmten volatilen Verbindung (als Leitsubstanz). Bevorzugt kann der Istwert der Steuereinheit zugeführt werden. Vorzugsweise kann das Verfahren beim Erreichen des Abbruchkriteriums planmäßig beendet werden, insbesondere mittels der Steuereinheit.

[0088] Vorzugsweise können vor der Reinigung anhand einer Materialprobe die aus einem bestimmten Bauteil austretenden chemischen Verbindungen (VOC) sowie das Ausgasverhalten bei der zu verwendenden Temperatur bestimmt werden. Durch Messungen der jeweiligen Konzentration der ausgasenden VOC zu verschiedenen Zeitpunkten oder aus einer Materialcharakterisierung kann auf die Abnahmerate der VOC des betreffenden Bauteils geschlossen werden.

[0089] Die Analyse des Abgasstroms kann vorzugsweise eine Thermodesorption-Gaschromatographie-Massenspektrometrie (TD-GC-MS) beinhalten. Alternativ oder zusätzlich kann die Analyse auch eine Massenspektroskopie beinhalten. Vorzugsweise kann der Abgasstrom im Verfahren kontinuierlich mittels TD-GC-MS in Echtzeit analysiert werden. Vorzugsweise kann die (mengenmäßige) Abnahmerate von zumindest einer volatilen Verbindung, die im Abgasstrom analysiert wird, in Relation zur Reinigungsdauer das Abbruchkriterium sein, insbesondere das Erreichen einer bestimmten Konzentration der volatilen Verbindung im Abgasstrom. Die betreffende volatile Verbindung kann vorzugsweise bauteilspezifisch bestimmt werden. Es wäre grundsätzlich auch möglich, dass die, insbesondere exponentiellen, Abnahmeraten von mehreren unterschiedlichen volatilen Verbindungen das Abbruchkriterium sind. Dann kann das Verfahren beendet werden, sobald für alle berücksichtigen volatilen Verbindungen eine bestimmte (höchstzulässige) Konzentration erreicht ist. Es wäre grundsätzlich auch möglich, dass eine höchstzulässige Stoffmenge einer volatilen Verbindung im Abgasstrom (als Sollwert) ein Abbruchkriterium ist. Weiterhin kann auch eine andere technische Größe (als Sollwert), die von einer volatilen Verbindung ableitbar ist, ein Abbruchkriterium definieren. Es wäre auch möglich, dass alle volatilen Verbindungen, die aus einem Bauteil während des Reinigungsverfahrens extrahiert wurden, in Summe ein Abbruchkriterium definieren. Beispielsweise kann als Abbruchkriterium vorgesehen sein, dass eine bestimmte Mindestmenge an volatilen Verbindungen aus einem Bauteil extrahiert wurde.

[0090] Vorzugsweise kann das Verfahren, bevorzugt bauteilspezifisch, so adaptiert sein, insbesondere programmiert, sein, dass beim Erreichen des Abbruchkriteriums ein bestimmter gewünschter Reinheitsgrad des Bauteils erreicht ist. Das bedeutet, dass ein Abbruchkriterium vorzugsweise einem bestimmten Reinheitsgrad eines Bauteils zugeordnet ist. Mit anderen Worten kann ein Abbruchkriterium einen bestimmten Reinheitsgrad eines Bauteils repräsentieren.

[0091] Vorteilhafterweise kann das Verfahren so durchgeführt werden, dass in dem Verfahren ein Nachweis eines bestimmten Reinheitszustands eines Objekts erbracht wird.

[0092] Vorteilhafterweise kann mittels der Analyse bereits während des laufenden Verfahrens die Gaszusammensetzung, insbesondere die Gasqualität, bestimmt und auch visuell dargestellt werden. Die Auswertung des Abgasstroms kann qualitativ und quantitativ erfolgen. Insbesondere kann eine stoffliche Menge der vom Objekt abgelösten Substanzen (VOC) sowie deren Zusammensetzung bzw. Chemie angegeben werden. Dadurch können Rückschlüsse gezogen werden auf eine Ausgangsverschmutzung, einen aktuellen Istzustand der Verschmutzung und eine Reinigungsgeschwindigkeit des Bauteils. Insbesondere kann eine zu erwartende Prozesszeit bis zur Beendigung der Reinigung, vorzugsweise bis zum Erreichen eines geforderten Reinheitszustands, ermittelt werden.

[0093] Die direkte permanente Analyse der Gaszusammensetzung bietet die Möglichkeit, ein in situ Abbruchkriterium zu bestimmen. Das hat den Vorteil, dass die Reinigung besonders effizient ablaufen kann, da der

Reinigungsfortschritt in Echtzeit ermittelt wird (Live Diagnostik). Dadurch kann eine Verifikation des Reinigungserfolgs in Echtzeit erfolgen. Beispielsweise kann das Verfahren bauteilspezifisch so normiert sein, dass bei Erreichen des Abbruchkriteriums ein Reinheitszertifikat ausgestellt wird. Das bedeutet, dass als Teil des Verfahrens ein Reinigungserfolg (eines Bauteils) dokumentiert werden kann. Weiterhin kann als Teil des Verfahrens ein Nachweis eines geforderten Reinheitszustands eines Objekts erbracht werden, insbesondere in Bezug auf flüchtige chemische Bestandteile (VOC) des Objekts. Dadurch kann das gereinigte Bauteil (ohne weitere Analyse) freigegeben werden, z.B. zur weiteren Verarbeitung oder Veredelung oder zur Verwendung in Vakuumanwendungen.

[0094] Ein weiterer Vorteil ist, dass das Verfahren gerade so lange läuft, bis eine geforderte Reinheit des Bauteils erreicht ist. Eine Überreinigung des Bauteils ohne signifikanten Zusatznutzen kann vermieden werden. Weiterhin kann während des Verfahrens das Abbruchkriterium oder Reinigungskriterium geändert werden. Sofern beispielsweise eine besonders hohe Reinheit gefordert ist, kann die Spülzeit (Umströmung des Bauteils mit Inertgas) im laufenden Verfahren verlängert werden. Eine Unterbrechung des Verfahrens, z.B. für eine (Zwischen-)Analyse des Objekts, ist auf Grund der Live Diagnostik nicht erforderlich.

[0095] Ein weiterer Vorteil ist, dass das Verfahren vergleichsweise robust gegenüber möglichen Störungen ist. Beispielsweise kann bei einem Stromausfall oder im Schadensfall von Komponenten der Reinigungsvorrichtung, z.B. eine Undichtigkeit der Kammer oder ein Defekt der Heizung, das zu reinigende Objekt weiterhin im Spülgas gelagert werden. Es kann damit trotz einer Unterbrechung des Verfahrens eine (erneute) Verunreinigung des Objekts verhindert werden. Vorteilhafterweise können dadurch eine Überwachung des Verfahrens (auf mögliche Ausfälle) und Schutzmaßnahmen zur Verhinderung von Störungen vergleichsweise einfach realisiert werden.

[0096] Vorzugsweise kann im Vorfeld der eigentlichen Reinigung eine bauteilspezifische Simulation des Reinigungsverfahrens, insbesondere der Gasströmung im Reinigungsbereich und des Abtransports von freien volatilen Verbindungen, mittels einer CFD-Simulation erfolgen. Dadurch kann zumindest die Strömung des Gasgrundstroms bezogen auf ein konkretes Bauteil optimiert werden für eine möglichst effektive Reinigung. Bevorzugt kann das Reinigungsverfahren unter Berücksichtigung der Simulationsergebnisse durchgeführt werden.

[0097] Entsprechend kann die Reinigungsvorrichtung so programmiert werden, insbesondere die Steuereinheit, um einen bauteilspezifisch optimierten Gasgrundstrom, ggf. mit einem bestimmten Profil, zu erzeugen.

[0098] In dem Reinigungsverfahren kann das Spülgas vorzugsweise in Form von Stickstoff bereitgestellt werden, der direkt aus (Umgebungs-)Luft erzeugt wird. Das betrifft vorzugsweise sowohl das Inertgas (als Spülgas) zur Erzeugung des Gasgrundstroms als auch das Inertgas (als Spülgas) zur Erzeugung der jeweiligen Gaslokalströme. Das Spülgas, insbesondere das Inertgas, kann nach Durchströmen der Kammer, vorzugsweise gefiltert, wieder an die Atmosphäre abgegeben werden.

[0099] Zur Bereitstellung von Spülgas, insbesondere Inertgas, das aus Luftstickstoff gewonnen wurde, kann die Reinigungsvorrichtung eine Gasbereitstellungseinheit mit zumindest einem Stickstoffgenerator aufweisen. Der Stickstoffgenerator ist bevorzugt dazu ausgebildet, um aus (Umgebungs-)Luft bzw. atmosphärischer Luft trockenen Stickstoff als Inertgas bzw. Spülgas mit einer Reinheit von zumindest 99,999 % (5.0), bevorzugt 99,9999 % (6.0), bereitzustellen. Vorzugsweise kann die (Umgebungs-)Luft vor der Gewinnung des reinen Stickstoffs mittels einer Filtereinrichtung der Gasbereitstellungseinheit gefiltert werden.

[0100] Die Gasbereitstellungseinheit kann, wie beschrieben, zumindest eine Heizeinrichtung haben, um z.B. den zuvor bereitgestellten reinen Stickstoff auf eine bestimmte Mindesttemperatur zu erwärmen. Dazu kann die Heizeinrichtung z.B. wenigstens einen Wärmetauscher aufweisen. Die Heizeinrichtung bzw. der Wärmetauscher sind vorzugsweise dazu ausgebildet, um dem reinen Stickstoff (als Spülgas) thermische Energie zuzuführen und ihn auf die Mindesttemperatur aktiv zu beheizen. Der erwärmte Stickstoff kann anschließend von der Gasbereitstellungseinheit in die Strömungserzeugungseinheit überführt werden.

[0101] Die Kammer der Reinigungsvorrichtung umfasst, wie beschrieben, einen Eintrittsbereich bzw. Gaseintrittsbereich zur Zuführung des erwärmten Spülgases, vorzugsweise Inertgases, in die Kammer. Der Eintrittsbereich kann zumindest zwei, vorzugsweise eine Vielzahl von, separat steuerbaren Düsen aufweisen, um den laminaren bzw. quasi laminaren Gasgrundstrom im Reinigungsbereich zu erzeugen. Der Gaseintrittsbereich kann durch die Düsen und optional weitere Mittel zur Gaszuführung gebildet sein. Die Düsen sind vorzugsweise Teil der Strömungserzeugungseinheit. Bevorzugt kann eine Vielzahl von separat steuerbaren Düsen zur Ausbildung des Düsenfelds in Form einer Düsenwand oder Stickstoffdüsenwand realisiert sein. Dazu können die Düsen in eine Kammerwand integriert sein.

[0102] Alternativ können die Düsen innenseitig an der Kammerwand angeordnet sein. Beispielsweise können die einzelnen Düsen an einem Düsenträger montiert sein, der innenseitig an der Kammerwand reversibel angeordnet wird.

[0103] Die einzelnen Düsen können grundsätzlich starr bzw. unbeweglich sein bezogen auf die Kammerwand. Dann kann die Erzeugung eines Profils im Gasgrundstrom rein über eine zeitliche und/oder räumliche Steuerung des Gasflusses über die Düsenwand erfolgen. Dadurch kann der Aufbau der Düsenwand vereinfacht werden. Es wäre jedoch auch möglich, dass zumindest einige Düsen (steuerbar) beweglich sind in Bezug auf die Kammerwand und/oder benachbarte Düsen.

[0104] Die Düsenwand kann zur Ausbildung des Düsenfelds vorzugsweise flächig ausgebildet sein. Bevorzugt kann die Düsenwand eine Lochfläche und/oder ein feinporiges Flächengebilde aufweisen. Insbesondere kann die Düsenwand in Form einer Lochfläche, z.B. eine Lochplatte, und/oder in Form einer engmaschigen Gitteranordnung realisiert sein, z.B. ein Drahtgewebe. Entsprechend kann die Düsenwand eine Vielzahl von durchströmbaren Löchern bzw. Poren aufweisen, wobei ein jeweiliges Loch bzw. eine Pore dann eine Düse bildet. Das bedeutet, dass die jeweiligen Düsen der Düsenwand auf mikroskopischer Ebene realisiert sein können. Entsprechend kann über ein jeweiliges Loch bzw. eine Pore der Düsenwand ein Teilstrom des Spülgases in die Kammer eingebracht werden, um im Reinigungsbereich den laminaren Gasgrundstrom zu erzeugen. Der Strömungsquerschnitt der jeweiligen Löcher bzw. Poren der Düsenwand kann unterschiedlich sein.

[0105] Bevorzugt kann die Düsenwand zwei oder mehr Segmente mit jeweils einer Vielzahl von Löchern bzw. Poren (als Düsen) aufweisen, wobei die Durchströmung der jeweiligen Segmente separat steuerbar ist. Beispielsweise kann jedem Querschnittssegment ein separates Segment der Düsenwand als Teil der Ausstromfläche zugeordnet sein, um in dem jeweiligen Querschnittssegment eine bestimmte, auch unterschiedliche, (Segment-)Strömung zu erzeugen. Entsprechend kann auch mittels der zuvor beschriebenen Düsenwand mit mehreren Segmenten ein Gasfluss in die Kammer räumlich, vorzugsweise zumindest bezogen auf einen Strömungsquerschnitt des Reinigungsbereichs ortsaufgelöst, und/oder zeitlich gesteuert werden, insbesondere um zumindest im Reinigungsbereich ein bestimmtes Profil im Gasgrundstrom zu erzeugen.

[0106] Gemäß einer Ausführungform kann der Eintrittsbereich zur Zuführung des erwärmten Spülgases, vorzugsweise des Inertgases, in die Kammer einen Filter aufweisen. Vorzugsweise kann der Eintrittsbereich, auch vollflächig, als Filter ausgebildet sein, wobei das Spülgas in Folge einer Durchströmung des Filters in die Kammer gelangt. Vorzugsweise kann der Eintrittsbereich mittels einer Filterwand realisiert sein. Die Filterwand kann vorzugsweise zwei oder mehr Filterelemente aufweisen. Die jeweiligen Filterelemente können separat steuerbar sein, insbesondere separat durchströmbar. Beispielsweise kann die Filterwand einen oder mehrere HEPA Filter umfassen und/oder als HEPA Filter realisiert sein. Der Filter bzw. die Filterwand ist vorzugsweise Teil der Strömungserzeugungseinheit.

[0107] Vorzugsweise umfasst der Filter bzw. die Filterwand eine Vielzahl von Öffnungen bzw. (Filter-)Poren, wobei eine jeweilige Pore dem Einstrom von Spülgas in die Kammer dient und somit (bei mikroskopischer Betrachtung) die Funktion einer Düse hat. Das bedeutet, dass eine jeweilige Düse grundsätzlich in Form einer (Filter-)Pore realisiert sein kann. Entsprechend kann über eine jeweilige (Filter-)Pore ein Teilstrom des Spülgases in die Kammer eintreten.

[0108] Vorzugsweise kann eine Filterwand die Düsenwand bilden. Das bedeutet, dass der Begriff Düsenwand gemäß der Erfindung auch auf mikroskopischer Ebene zu verstehen ist, d.h. eine Filterwand mit einer Vielzahl von mikroskopischen (Filter-)Öffnungen, die dann die einzelnen Düsen bilden. Deshalb ist unter dem Begriff Düsenwand in der Beschreibung der Erfindung grundsätzlich auch eine Filterwand zu verstehen.

[0109] Vorteilhafterweise kann durch die Filterwand eine Ausströmfläche mit einer besonders gro-ßen Anzahl von mikroskopischen Öffnungen (als Düsen) bereitgestellt werden (bezogen auf die Fläche der Ausströmfläche), wobei eine annähernd laminare Strömung mit einem möglichst geringen Verbrauch an Spülgas erzeugbar ist. Eine Strömungsgeschwindigkeit des so erzeugten laminaren Gasgrundstroms kann im Reinigungsbereich z.B. etwa 2 mm/sec betragen.

[0110] Bevorzugt kann der Eintrittsbereich, insbesondere die Düsenwand ungeachtet der konkreten Ausführungsform, so ausgestaltet sein, dass ein Strömungsquerschnitt des Eintrittsbereichs größer ist als ein Strömungsquerschnitt des Reinigungsbereichs, insbesondere im Wesentlichen gleich groß ist wie ein Strömungsquerschnitt des Reinigungsbereichs. Bevorzugt kann der Eintrittsbereich so ausgestaltet sein, dass der Strömungsquerschnitt des Eintrittsbereichs (auch) im Wesentlichen gleich groß ist wie ein Strömungsquerschnitt des Austrittsbereichs für Spülgas, vorzugsweise Inertgas, aus der Kammer. Mit anderen Worten kann ein Strömungsquerschnitt des gesamten Innenraums der Kammer im Wesentlichen konstant sein. Bevorzugt können der Eintrittsbereich und der Austrittsbereich so konzipiert sein, dass während des Verfahrens ein Einlassvolumen von Inertgas in die Kammer im Wesentlichen gleich ist zu einem Auslassvolumen von Inertgas aus der Kammer. Vorteilhafterweise kann dadurch, insbesondere in Kombination mit den aufeinander abgestimmten Strömungsquerschnitten, besonders zuverlässig eine laminare Durchströmung des Reinigungsbereichs erreicht werden. Es ist allerdings auch möglich, dass ein Strömungsquerschnitt des Eintrittsbereichs und des Austrittsbereichs unterschiedlich sind. Beispielsweise könnte ein Strömungsquerschnitt des Austrittsbereichs etwa ein Drittel der Fläche des Strömungsquerschnitts des Eintrittsbereichs sein.

[0111] Das Inertgas kann, wie beschrieben, vorzugsweise in Form von Teilströmen in die Kammer eingebracht werden, die sich anschließend zu einem gemeinsamen Strom verbinden. Damit zumindest im Reinigungsbereich ein laminarer Gasgrundstrom anliegt, kann der Reinigungsbereich vom stromaufwärts liegenden Gaseintrittsbereich beabstandet sein, z.B. durch einen Zwischenraum. Dieser Zwischen- oder Übergangsraum kann dazu vorgesehen sein, um ausgehend von den Teilströmen eine laminare Strömung im Gasgrundstrom zu etablieren.

[0112] Nach dem Durchströmen des Reinigungsbereichs wird das Inertgas über den Austrittsbereich oder

synonym Gasaustrittsbereich aus dem Innenraum der Kammer abgeführt, wobei der Gasaustrittsbereich vorzugsweise eine Mehrzahl von Austrittsöffnungen hat. Der Gasaustrittsbereich kann durch die Austrittsöffnungen und optional weitere Mittel zur Gasabführung gebildet sein. Die Austrittsöffnungen können ein Feld von Austrittsöffnungen bilden. Beispielsweise kann jeder Düse des Eintrittsbereichs eine Austrittsöffnung zugeordnet sein. Bevorzugt ist der Austrittsbereich so ausgebildet, dass das Inertgas bis zum Erreichen des Austrittsbereichs laminar strömt. Optional kann der Austrittsbereich vom stromabwärts liegenden Ende des Reinigungsbereichs beabstandet sein, z.B. durch einen Zwischenraum.

[0113] Der Austrittsbereich, insbesondere die Austrittsöffnungen, können in einer Kammerwand oder innenseitig an einer Kammerwand angeordnet sein. Bevorzugt ist der Austrittsbereich für Spülgas, vorzugsweise Inertgas, aus der Kammer in einem bewegbaren Verschlusselement realisiert, das eine Kammeröffnung reversibel gasdicht verschließen kann. Das Verschlusselement ist vorzugsweise eine Tür oder ein Portal. Über die verschließbare Kammeröffnung können zu reinigende Objekte in den Innenraum der Kammer eingebracht werden. Das Verschlusselement bzw. der Austrittsbereich liegt vorzugsweise dem Eintrittsbereich gegenüber bezogen auf die Hauptströmungsrichtung. Das über den Austrittsbereich austretende Inertgas kann vor einer Abgabe an die Atmosphäre gefiltert werden.

[0114] Vorteilhafterweise kann die gesamte Reinigungsvorrichtung als ein weitestgehend autark arbeitendes System ausgebildet sein. Insbesondere kann das Inertgas für die Bauteilreinigung durch die Reinigungsvorrichtung selbst permanent gewonnen und auf die Reinigungstemperatur gebracht werden. Somit kann auf zusätzliche externe Inertgasquellen verzichtet werden, da über den Stickstoffgenerator stets eine zur Durchführung des Reinigungsverfahrens erforderliche Menge an Stickstoff als Inertgas bereitgestellt wird. Es wäre optional auch möglich, dass so bereitgestellte Inertgas in einem Gastank der Reinigungsvorrichtung bis zur Verwendung zu speichern. Dadurch ist die Reinigungsvorrichtung an unterschiedlichen Orten flexibel bzw. mobil einsetzbar. Besondere Vorteile ergeben sich, sofern zumindest einige, insbesondere alle, Komponenten der Reinigungsvorrichtung portabel ausgebildet sind. Das bedeutet, dass die gesamte Reinigungsvorrichtung relativ leicht zwischen zwei Betriebsorten transportierbar ist. Beispielsweise kann die Reinigungsvorrichtung modular bzw. als Bausatz aufgebaut sein, wobei die Untereinheiten schnell und einfach de-/montierbar. Beispielsweise können die Gasbereitstellungeinheit, die Steuereinheit und die Analyseeinheit als eine Baugruppe realisiert sein, z.B. in einem Container, die im Betrieb mit der Kammer koppelbar ist. Beispielsweise könnte die Kammer in Form eines Schiffscontainers realisiert sein (z.B. ein 40-Fuß-Container). Es wäre auch möglich, alle Komponenten der Reinigungsvorrichtung gemeinsam in einem (Großraum-)Behälter anzuordnen. Vorteilhafterweise kann die Reinigungsvorrichtung als ein mobiles (nicht ortsfestes) System realisiert sein. Dadurch kann die Reinigungsvorrichtung temporär bei einem Nutzer aufgebaut werden, wobei z.B. der Transport von besonders großen oder sensiblen Bauteilen entfallen kann.

[0115] Dem Austrittsbereich für Spülgas, vorzugsweise Inertgas, insbesondere dem bewegbaren Verschlusselement der Kammeröffnung, kann eine Analyseeinheit zugeordnet sein. Die Analyseeinheit ist vorzugsweise dazu ausgebildet, um den Abgasstrom umfassend die vom Bauteil abgelösten volatilen Verbindungen im Betrieb, vorzugsweise kontinuierlich bzw. permanent, zu analysieren. Je nach Ausführungsform kann die Analyseeinheit zumindest teilweise im Austrittsbereich selbst realisiert sein, z.B. mittels geeigneter Sensoren. Es ist jedoch bevorzugt, dass der über den Austrittsbereich aus der Kammer austretende Abgasstrom der Analyseeinheit zugeführt wird, z.B. mittels Schlauchverbindungen. Grundsätzlich kann das Inertgas, das in eine jeweilige Austrittsöffnung einströmt, der Analyseeinheit separat zugeführt werden. Es wäre deshalb möglich, die Gaszusammensetzung des Abgasstroms in Bezug auf die einzelnen Austrittsöffnungen ortsaufgelöst zu analysieren. Entsprechend können dann optional nur solche Strömungsbereiche des Abgasstroms analysiert werden, die abgelöste volatile Verbindungen enthalten.

[0116] Die Analyse kann jedoch vorzugsweise so erfolgen, dass der gesamte Abgasstrom, d.h. das gesamte Volumen von Inertgas, das in einem Zeitintervall aus der Kammer austritt, gemeinsam analysiert wird (in einer Messung). Die Ermittlung der Gaszusammensetzung kann in beiden Fällen kontinuierlich erfolgen, z.B. in Abständen von höchstens 5 Sekunden, vorzugsweise höchstens 60 Sekunden, bevorzugt höchstens 3600 Sekunden. Die Analyseeinheit kann, wie beschrieben, zumindest ein TD-GC-MS und optional weitere Messeinrichtung beinhalten. Die Analyseeinheit kann als eigenständige Komponente realisiert sein, die mit den übrigen Komponenten der Reinigungsvorrichtung koppelbar ist, oder kann eine Baugruppe mit der Gasbereitstellungseinheit und der Steuereinheit bilden. Es wäre grundsätzlich auch möglich, dass die Analyseeinheit ein Adsorptionsmittel aufweist, um die im Abgasstrom mitgeführten volatilen Verbindungen aufzufangen. Beispielsweise kann die Analyseeinheit ein oder mehrere Adsorptionsröhrchen mit einem Adsorbermaterial aufweisen. Solche Adsorptionsröhrchen können z.B. Poly(2,6-diphenyl-p-phenylenoxid) als polymeres Adsorberharz enthalten. Eine Analyse der Adsorptionsröhrchen kann dann, auch außerhalb der Reinigungsvorrichtung, mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie erfolgen. Eine solche Analyse des Abgasstroms mittels Adsorptionsröhrchen kann alternativ oder zusätzlich, vorzugsweise komplementär, zu einer Analyse des Abgasstroms in Echtzeit erfolgen. Vorteilhafterweise kann durch die längere Sammelzeit der volatilen Verbindungen im Adsorptionsröhrchen die Genauigkeit des Reinheitsnachweises weiter

erhöht werden.

[0117] Der Steuereinheit ist vorzugsweise dazu ausgebildet, um die einzelnen Schritte des Reinigungsverfahrens zu steuern, insbesondere um die Komponenten der Reinigungsvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens mit Steuersignalen zu beaufschlagen. Die Steuereinheit kann als Untereinheiten eine Gassteuerung zur Steuerung der Gasbereitstellungseinheit und eine Anlagensteuerung zur Steuerung der Strömungserzeugungseinheit, der Analyseeinheit, ggf. der Halterung für das Bauteil sowie optional weiterer Komponenten umfassen. Die Steuereinheit kann vorzugsweise eine Rechnereinheit mit einer geeigneten Software umfassen, z.B. eine Anzahl von Mikroprozessoren bzw. Datenprozessoren oder dergleichen, um die Komponenten zur Durchführung der Verfahrensschritte anzusteuern.

[0118] Die Steuereinheit kann dazu ausgebildet sein, um Steuerbefehle selbst zu generieren und um die Komponenten der Reinigungsvorrichtung mit entsprechenden Steuersignalen zu beaufschlagen. Beispielsweise können von einem Bediener über eine Eingabeeinheit verschiedene Parameter in eine Software der Steuereinheit eingepflegt werden, wobei die Steuerbefehle dann unter Berücksichtigung dieser Parameter generiert werden. Dazu können Verfahrensparameter wie u.a. die Ausgestaltung von Profilen im Gasgrundstrom, die Temperatur des Gasgrundstroms, die Ausgestaltung von Gaslokalströmen, ein geeignetes Abbruchkriterium etc. berücksichtigt werden, um nur einige zu nennen. Es ist auch möglich, dass die Steuereinheit mit einer externen Rechnereinheit gekoppelt wird, wobei die Steuerbefehle dann außerhalb der Steuereinheit erzeugt werden, z.B. basierend auf einer Simulation, und der Steuereinheit zugeführt werden. Alternativ oder zusätzlich können fertig erzeugte Steuerbefehle über eine Schnittstelle in die Steuereinheit geladen werden.

[0119] Die Kammer der Reinigungsvorrichtung kann optional druckstabil sein. Beispielsweise kann die Kammer eine Vakuumkammer sein. Allerdings kann die Reinigungsvorrichtung auch drucklos betrieben werden, d.h. mit einem Druck von etwa 1 bar. Die Kammer kann z.B. einen zylinderartigen Innenraum haben. Bei einer zylinderartigen Grundform kann im Bereich der Grund- bzw. Deckfläche der Gaseintrittsbereich bzw. der Gasaustrittsbereich angeordnet sein. Grundsätzlich kann die Kammer auch andere Formen haben, vorzugsweise nach der Art eines Quaders. Der Strömungsquerschnitt des Reinigungsbereichs kann - ungeachtet der Grundform der Kammer - quadratisch, rechteckig, rund, elliptisch etc. sein. Die Kammerwände, insbesondere die den Reinigungsbereich umgebenden Wände, können wärmeisoliert sein. Bevorzugt können die Innenseiten der Kammerwände eine möglichst geringe Rauheit haben. Vorzugsweise sind die Kammerwände aus Edelstahl nahtfrei ausgeführt, um eine Ansammlung von z.B. Chemie, insbesondere VOC, und Keimen zu unterbinden.

[0120] Die Kammer kann vorzugsweise in Form eines Großraumbehälters aus Stahl realisiert sein. Der Innenraum kann vorzugsweise einen rechteckigen, bevorzugt einen quadratischen, Strömungsquerschnitt haben. Der Innenraum kann z.B. eine Länge von zumindest 5 m, vorzugsweise zumindest 3 m, bevorzugt zumindest 2 m, haben. Eine zur Länge orthogonale Breite und/oder Höhe des Innenraums kann z.B. zumindest 2 m, vorzugsweise zumindest 1 m, bevorzugt zumindest 0,5 m, sein. Die vorgenannten Werte sind lediglich Beispiele, wobei der Innenraum bzw. die Kammer auch kleiner oder (erheblich) größer sein kann.

[0121] Die Ausgestaltung des Eintrittsbereichs und/oder des Austrittsbereichs, insbesondere die Düsenwand, kann vorzugsweise an die Größe und/oder Form des Strömungsquerschnitts des Reinigungsbereichs angepasst sein. Es ist bevorzugt, dass die Düsen gleichmäßig über die gesamte Düsenwand verteilt angeordnet sind. Vorzugsweise kann im Wesentlichen eine gesamte Fläche (Kammerwand), die den Innenraum stromaufwärts des Reinigungsbereichs (bezogen auf die Hauptströmungsrichtung) nach außen begrenzt, Düsen aufweisen. Die einzelnen Düsen können, wie beschrieben, auch mittels mikroskopischer Öffnungen in der Düsenwand realisiert sein. Entsprechendes kann für die Austrittsöffnungen der Kammerwand vorgesehen sein, die den Innenraum stromabwärts des Reinigungsbereichs begrenzt.

[0122] Beispielsweise kann eine Düsenwand eine Düsendichte haben von zumindest 1 Düse pro m^2, vorzugsweise zumindest 1 Düse pro 100 cm^2, bevorzugt zumindest 1 Düse pro 10 cm^2, bezogen auf eine Grundfläche der Düsenwand.

[0123] Die Reinigungsvorrichtung kann vorzugsweise eine verstellbare Halterung für das Bauteil haben. Die Halterung kann steuerbar dazu ausgebildet sein, um das Bauteil im Innenraum zu bewegen und/oder um das Bauteil in einer bestimmten Position im Reinigungsbereich zu positionieren, insbesondere während des Verfahrens. Beispielsweise kann die Halterung einen mehrachsigen Gelenkarmroboter umfassen. Die Halterung kann vorzugsweise eine hängende oder stehende Lagerung des Bauteils ermöglichen. Die Halterung ist vorzugsweise so realisiert, dass möglichst wenig Störungen in der laminaren oder quasi laminaren Strömung im Reinigungsbereich erzeugt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Reinigungsvorrichtung mit einer (externen) Halterung für das Bauteil bestückt werden. Beispielsweise kann das Bauteil mittels eines Schleppwagens oder eines fahrerlosen Transportsystems im Reinigungsbereich bereitgestellt werden.

[0124] Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Dabei sind in den verschiedenen Figuren gleiche Komponenten mit identischen Bezugsziffern versehen. Die Figuren sind in der Regel nicht maßstäblich. Es zeigen:

Figur 1 ein Flussdiagramm eines Reinigungsverfahrens gemäß der Erfindung,

Figur 2 eine schematische Schnittdarstellung einer Reinigungsvorrichtung gemäß der Erfindung,

Figur 3 eine schematische Schnittdarstellung der Reinigungsvorrichtung aus Figur 2 während eines Reinigungsverfahrens gemäß der Erfindung,

Figur 4 einen schematischen Ausschnitt aus einem Reinigungsverfahren gemäß der Erfindung,

Figur 5 eine Visualisierung einer simulierten Strömung von Inertgas mittels Pseudo-Stromlinien während eines Reinigungsverfahrens gemäß der Erfindung,

Figuren 6 bis 8 schematische Ausschnitte aus Reinigungsverfahren gemäß der Erfindung.

[0125] In Figur 1 ist ein Flussdiagramm der wesentlichen Schritte eines Reinigungsverfahrens gemäß der Erfindung gezeigt. In der Figurenbeschreibung wird davon ausgegangen, dass ein Inertgas als Spülgas verwendet wird, wobei die Erfindung nicht darauf beschränkt ist. In einem ersten Schritt (I) des Verfahrens wird ein Objekt, insbesondere ein technisches Bauteil, in einem Reinigungsbereich einer gasdicht verschlossenen Kammer bereitgestellt. In einem zweiten Schritt (II), der sich an den ersten Schritt (I) anschließt, wird ein Inertgas als Spülgas bereitgestellt. Vorzugsweise wird im zweiten Schritt (II) das Inertgas in Form von reinem Stickstoff bereitgestellt, der aus Umgebungsluft gewonnen wird. In einem dritten Schritt (III), der sich an den zweiten Schritt (II) anschließt, wird das zuvor bereitgestellte Inertgas auf eine bestimmte Mindesttemperatur erwärmt. In einem vierten Schritt (IV), der sich an den dritten Schritt (III) anschließt, wird ein laminarer Gasgrundstrom aus erwärmtem Inertgas erzeugt, der zumindest den Reinigungsbereich der Kammer in Form einer laminaren Strömung durchströmt. In einem fünften Schritt (V), der sich an den vierten Schritt (IV) anschließt, wird das Objekt derart mit dem laminaren Gasgrundstrom umströmt, dass volatile Verbindungen durch den Gasgrundstrom von einer Objektoberfläche abgelöst werden und in den laminaren Gasgrundstrom eintreten. In einem weiteren, sich an den fünften Schritt (V) anschließenden hier nicht gezeigten Schritt, kann eine Analyse einer Gaszusammensetzung eines Abgasstroms erfolgen, der während des Reinigungsverfahrens erhalten wird.

[0126] In Figur 2 ist rein schematisch eine Reinigungsvorrichtung 1 gemäß der Erfindung in einem Längsschnitt gezeigt. Die Reinigungsvorrichtung 1 ist im hier gezeigten Zustand nicht im Betrieb, sondern könnte gerade für ein bevorstehendes Reinigungsverfahren vorbereite werden. Die Reinigungsvorrichtung 1 umfasst als zentrale Komponenten eine Kammer 4, eine Gasbereitstellungseinheit 5, eine Analyseeinheit 6 und eine Steuereinheit 8. Die Gasbereitstellungseinheit 5, die Analyseeinheit 6 und die Steuereinheit 8 sind hier als eine Baugruppe realisiert. Beispielsweise können diese Komponenten in einem transportablen Container angeordnet sein.

[0127] Die Steuereinheit 8 ist im Betrieb mit den übrigen Komponenten der Reinigungsvorrichtung 1 signal- bzw. schalttechnisch gekoppelt. Insbesondere kann die Steuereinheit 8 im Betrieb alle übrigen Komponenten zur Durchführung eines Reinigungsverfahrens mit Steuersignalen beaufschlagen und kann Signale, insbesondere Messwerte, von anderen Komponenten empfangen und verarbeiten. Der Austausch von Daten D in beide Richtungen ist hier symbolisch mit einem Doppelpfeil gezeigt, wobei ein entsprechender Datenfluss auch zwischen der Steuereinheit 8 und den anderen Komponenten der Reinigungsvorrichtung 1 erfolgen kann (nicht gezeigt), insbesondere der Gasbereitstellungseinheit 5 und der Analyseeinheit 6.

[0128] Die Gasbereitstellungseinheit 5 umfasst eine Filtereinrichtung 52, einen Stickstoffgenerator 51 und eine Heizeinrichtung 50, z.B. einen Wärmetauscher. Mittels der Filtereinrichtung 52 können z.B. Wasser und Sauerstoffanteile der Umgebungsluft vor dem Einbringen in die Kammer 4 auf einen bestimmten Wert reduziert werden. Der Stickstoffgenerator 51 ist dazu ausgebildet, um im Betrieb aus der gefilterten Umgebungsluft Stickstoff mit einer Reinheit von wenigstens 99,9999 % als Inertgas bereitzustellen. Der Stickstoffgenerator 51 kann zusätzlich dazu ausgebildet sein, um die einströmende Luft zu filtern und/oder um den aus der Umgebungsluft gewonnen Stickstoff zu filtern. Im Betrieb kann der reine Stickstoff anschließend durch die Heizeinrichtung 50 geführt und dadurch auf eine bestimmte Mindesttemperatur erhitzt werden. Der erhitzte Stickstoff bildet das Inertgas G (als Spülgas G) für das Reinigungsverfahren und wird im Betrieb einer Strömungserzeugungseinheit 7 zugeführt, was hier mittels eines in Richtung der Kammer 4 weisenden Pfeils symbolisiert ist. Durch den Doppelpfeil wird symbolisiert, dass im Betrieb Inertgas G auch in umgekehrter Richtung von der Kammer 4 in die Analyseeinheit 6 strömen kann, um dort eine Gaszusammensetzung eines Abgasstroms zu analysieren.

[0129] Die Strömungserzeugungseinheit 7 ist in einem Innenraum 4' der Kammer 4 an einer Innenseite 46 einer Kammerwand 4" angeordnet und umfasst eine Düsenwand 70 mit einer Vielzahl von Düsen 71. Über die Düsen 71 kann im Betrieb das saubere Inertgas G in den Innenraum 4' der Kammer 4 einströmen. Entsprechend bildet die Düsenwand 70 mit den Düsen 71 (und ggf. weiteren hier nicht gezeigten Teilen) den Eintrittsbereich 40 bzw. Gaseintrittsbereich 40. Der Innenraum 4' wird hier an einer Seite von der Düsenwand 70 begrenzt. Der Innenraum 4' hat hier beispielhaft eine Länge von 5 Metern und eine Breite sowie Höhe von jeweils 3 Metern (lichtes Maß).

[0130] In einem mittigen Bereich der Kammer 4 ist ein zu reinigendes Objekt 2 bzw. Bauteil 2 auf einer Halterung 9 angeordnet. Das Objekt 2 ist so platziert, dass es von den Innenseiten 46 der Kammerwände

4" beabstandet ist. Das Objekt 2 hat eine von außen zugängliche Kavität 22.

[0131] In einem Bereich der Kammer 4, die dem Gaseintrittsbereich 40 bezogen auf das Bauteil 2 gegenüberliegt, ist ein Austrittsbereich 42 bzw. Gasaustrittsbereich 42 ausgebildet. Der Gasaustrittsbereich 42 ist hier in einer Kammerwand 4" angeordnet und umfasst eine Vielzahl von Austrittsöffnungen 45, über das Inertgas G im Betrieb nach Durchströmen der Kammer 4 aus dieser ausströmen kann.

[0132] Der Austrittsbereich 42 ist in einem bewegbaren Verschlusselement 43 einer Kammeröffnung 44 realisiert ist, z.B. in einer gasdicht verschließbaren Tür oder einem Portal. Vorzugsweise kann über die Kammeröffnung 44 der Innenraum 4' mit Bauteilen 2 bestückt werden, insbesondere auch mit großen und schweren oder unhandlichen Bauteilen 2. Das Verschlusselement 43 kann im Betrieb so verschlossen sein, dass der Innenraum 4' gegenüber der Umgebung gasdicht verschlossen ist. An dem Verschlusselement 43 ist außen ein Abgasstromfilter 48 angeordnet, um das im Betrieb aus der Kammer 4 ausströmende Inertgas G vor einer Abgabe an die Atmosphäre zu filtern. Der Abgasstromfilter 48 ist hier rein schematisch gezeigt und kann auch an einer anderen Position realisiert sein. Der Abgasstromfilter 48 kann dazu ausgebildet sein, um das aus dem Innenraum 4' der Kammer 4 austretende Inertgas G direkt zu filtern und/oder um das Inertgas G nach einer Analyse durch die Analyseeinheit 6 zu filtern. Entsprechend kann das Inertgas G nach dem Durchströmen der Kammer 4 wenigstens teilweise zunächst am Abgasstromfilter 48 vorbeigeleitet und der Analyseeinheit 6 zugeführt werden, wobei anschließend (nach der Analyse) das Inertgas G durch den Abgasstromfilter 48 gefiltert wird.

[0133] In Figur 3 ist die Reinigungsvorrichtung aus Figur 2 während der Durchführung eines Reinigungsverfahrens gemäß der Erfindung gezeigt. Während des Reinigungsverfahrens wird das Inertgas G, das zuvor mittels der Gasbereitstellungseinheit 5 bereitgestellt wurde, in die Strömungserzeugungseinheit 7 überführt und wird dann in Form von mehreren Teilströmen TS, TS' in den Innenraum 4' eingebracht. Jeweils eine Düse 71 erzeugt einen Teilstrom TS, TS'. Der Übersichtlichkeit wegen sind hier die Düsen 71 und die Teilströme TS, TS' nur teilweise mit Bezugszeichen versehen. Das Inertgas G tritt über die jeweiligen Düsen 71 aus der Düsenwand 70 aus und strömt zunächst in einen Zwischenraum 10 der Kammer 4 bzw. des Innenraums 4', der zwischen der Düsenwand 70 und einem Reinigungsbereich 3 der Kammer 4 angeordnet ist. Im Inertgas G können unmittelbar nach dem Verlassen der Düsenwand 70 möglicherweise Turbulenzen wie Verwirbelungen oder Querströmungen auftreten. Entsprechend kann der Zwischenraum 10 dazu beitragen, dass sich eine laminare Strömung LS im Inertgas G ausbildet. Anders als hier gezeigt, kann der Zwischenraum 10 relativ gesehen deutlich kürzer sein.

[0134] Das Inertgas G durchströmt den Zwischenraum 10 gemäß einer Hauptströmungsrichtung SR, die der kürzesten Distanz zwischen der Düsenwand 70 und dem stromabwärts (bezogen auf die Hauptströmungsrichtung SR) liegenden Gasaustrittsbereich 42 entspricht. Das Inertgas G tritt dann in Form eines laminaren Gasgrundstroms GS, d.h. in Form einer laminaren Strömung LS, in den Reinigungsbereich 3 ein. Es wird darauf hingewiesen, dass die Strömung des Inertgases G hier (wie auch in den Figuren 4 und 6 bis 8) der Übersichtlichkeit wegen rein schematisch mittels Pfeilen und nur teilweise gezeigt ist und nicht die reale Strömung während des Reinigungsverfahrens dargestellt ist. Weiterhin kann im Normalfall im Wesentlichen ein gesamter Strömungsquerschnitt des Innenraums 4' gleichmäßig von Inertgas G durchströmt werden.

[0135] Der Reinigungsbereich 3 ist so bemessen, dass das Objekt 2 vollständig darin aufgenommen ist. Der Reinigungsbereich 3 ist hier ein dreidimensionaler Raum ohne feste äußere Begrenzung. Der Reinigungsbereich 3 ist, wie beschrieben, sowohl von der Düsenwand 70 durch einen Zwischenraum 10 als auch vom Gasaustrittsbereich 42 durch einen weiteren Zwischenraum 10' beabstandet. Auch in hier vertikaler Richtung ist der Reinigungsbereich 3 von den Innenseiten 46 der Kammerwände 4" beabstandet und grenzt nicht direkt an diese an. Anders als hier gezeigt, können im Bereich der Kammerwände 4" entlang der Innenseiten 46 möglicherweise geringfügige lokale Verwirbelungen im Inertgas G auftreten. In diesem Fall wird das Inertgas G zumindest in einem gewissen Abstand zu den Kammerwänden 4" eine laminare Strömung LS ausbilden, auch außerhalb des Reinigungsbereichs 3.

[0136] In Figur 3 ist schematisch gezeigt, dass fast im gesamten Reinigungsbereich 3 eine laminare Strömung LS anliegt. Eine Ausnahme bildet hier die Halterung 9 für das Bauteil 2, da es in diesem Bereich geringfügige lokale Verwirbelungen LV im Inertgas G geben kann. Vorzugsweise ist die Halterung 9 so konzipiert, dass möglichst wenig lokale Verwirbelungen LV entstehen und sich stromabwärts davon möglichst schnell wieder eine laminare Strömung LS ausbildet. Je nach Geometrie können sich möglicherweise auch am Bauteil 2 selbst geringfügige lokale Verwirbelungen ergeben, z.B. im Bereich der Kavität 22. Folglich wird im Reinigungsbereich 3 eine möglichst laminare Strömung oder eine quasi laminare Strömung LS erzeugt.

[0137] Das Bauteil 2 wird vom laminaren bzw. quasi laminaren Gasgrundstrom GS allseitig umströmt, wobei volatile Verbindungen VV durch den Gasgrundstrom GS von einer Objektoberfläche 20 abgelöst werden und in den Gasgrundstrom GS eintreten. In Figur 3 ist gezeigt, dass besonders die Bereiche des Gasgrundstroms GS, die in direkte Wechselwirkung mit der Oberfläche 20 treten, die volatilen Verbindungen VV enthalten. Das bedeutet, dass sich zumindest Bereiche des Gasgrundstroms GS in Folge des Durchströmens des Reinigungsbereichs 3 mit volatilen Verbindungen VV anreichen. Das betrifft besonders die Strömungsbereiche, die direkt an der Objektoberfläche 20 entlangströmen. Entsprechend

können andere Bereiche des Gasgrundstroms GS im Reinigungsbereich 3 eine deutlich geringe Konzentration oder ggf. gar keine volatilen Verbindungen VV enthalten, z.B. die Strömungsbereiche, die am äußeren Rand des Reinigungsbereichs 3 verlaufen.

[0138] Nach dem vollständigen Umströmen des Bauteils 2 strömt das Inertgas G als Gasgrundstroms GS in Form einer laminaren Strömung LS aus dem Reinigungsbereich 3 aus, wobei zumindest einige Strömungsbereiche abgelöste volatile Verbindungen VV mitführen. Das aus dem Reinigungsbereich 3 ausgetretene Inertgas G wird als Abgasstrom AS bezeichnet und tritt in Form einer laminaren Strömung LS in den Gasaustrittsbereich 42 ein, um über diesen aus der Kammer 4 weggeführt zu werden. Dem Austrittsbereich 42 ist die Analyseeinheit 6 zugeordnet, um den Abgasstrom AS mit den vom Objekt 2 abgelösten volatilen Verbindungen VV vorzugsweise kontinuierlich zu analysieren. Entsprechend kann der über die Austrittsöffnungen 45 austretende Abgasstrom AS zu einem einzigen Strom vereint werden und der Analyseeinheit 6 zugeführt werden, z.B. mittels hier nicht gezeigter Schlauchverbindungen. Grundsätzlich kann die Analyseeinheit 6 auch räumlich näher zum Gasaustrittsbereich 42 positioniert sein.

[0139] In Figur 4 ist ein schematischer Ausschnitt aus einem Reinigungsverfahren gemäß der Erfindung gezeigt. Auch hier ist die Strömung des Inertgases G im Reinigungsbereich 3 rein schematisch und nur teilweise gezeigt. Die Reinigung des Bauteils 2 kann grundsätzlich so erfolgen, wie es zuvor anhand von Figur 3 beschrieben wurde, wobei zusätzlich zwei Teilbereiche 21, 21' der Bauteiloberfläche 20 mittels jeweils eines Gaslokalstroms GL, GL' aus Inertgas G angeströmt werden. Der erste Teilbereich 21 entspricht hier der gesamten Kavität 22 bzw. der Bauteiloberfläche 20, durch welche die Kavität 22 gebildet ist. Eine steuerbare Lanze 47 bzw. Gas-Sonde wird von außen in die Kavität 22 eingeführt, wobei im Inneren der Kavität 22 ein Gaslokalstrom GL erzeugt wird. Die Oberfläche 20 in diesem Teilbereich 21 wird gezielt mit Inertgas G angeströmt, wobei volatile Verbindungen VV von der die Kavität 22 ausbildenden Oberfläche 20 abgelöst werden und in das Inertgas G eintreten. Die volatilen Verbindungen VV werden durch das aus der Lanze 47 nachströmende Inertgas G aus der Kavität 22 verdrängt bzw. herausgedrückt und treten außerhalb der Kavität 22 in den laminaren bzw. quasi Gasgrundstrom GS ein. Im Bereich der Lanze 47 kann es ggf. zu geringfügigen lokalen Verwirbelungen LV kommen, wobei die Strömung im Reinigungsbereich 3 im Wesentlichen laminar ist.

[0140] Mittels einer zweiten Lanze 47 wird ein zweiter Teilbereich 21' der Bauteiloberfläche 20 von einem Gaslokalstrom GL' angeströmt. Der zweite Teilbereich 21' kann, anders als hier schematisch gezeigt, ein wärmeempfindliches Element aufweisen, z.B. eine LED. Mittels des zweiten Gaslokalstroms GL' kann dieser Teilbereich 21' z.B. gezielt gekühlt werden gegenüber der restlichen Bauteiloberfläche 20. Der zweite Teilbereich 21' bzw. das zu schützende Element kann dazu mit relativ kaltem Inertgas G umspült werden (verglichen mit der Temperatur des Gasgrundstroms GS), wobei das Inertgas G anschließend in den Gasgrundstrom GS einströmt.

[0141] In Figur 5 ist eine simulierte Strömung von Inertgas mittels Pseudo-Stromlinien während eines Reinigungsverfahrens gemäß der Erfindung gezeigt. Die einzelnen Teile der Reinigungsvorrichtung 1 sind hier rein schematisch gezeigt, teilweise auch nur angedeutet und zum Teil gar nicht gezeigt (z.B. die Halterung für das Bauteil 2). Figur 5 zeigt eine Überlagerung einer räumlichen Anordnung von Teilen der Reinigungsvorrichtung 1 mit einer Simulation einer Strömung von Inertgas G in der Kammer 4, um eine mögliche Strömung von Inertgas G in der Kammer 4 zu verdeutlichen. Ausgehend vom Gaseintrittsbereich 40 wird im Innenraum 4' der Kammer 4 ein laminarer Gasgrundstrom GS erzeugt, der die Kammer 4 in Richtung des Gasaustrittsbereichs 42 durchströmt. Der Gasaustrittsbereich 42 hat hier, anders als z.B. in Figur 3, einen kleineren Strömungsquerschnitt als der Gaseintrittsbereich 40.

[0142] Anhand der gezeigten Pseudo-Stromlinien wird erkennbar, dass das Bauteil 2 allseitig von einer laminaren Strömung LS aus Inertgas G umströmt wird. Auch in dem Bereich des Bauteils 2, der in Richtung des Gasaustrittsbereichs 42 weist, liegt zumindest eine im Wesentlichen laminare Strömung LS an. In Folge der Umströmung des Bauteils 2 steigt die Konzentration von volatilen Verbindungen VV im Gasgrundstrom GS an, wobei schließlich der Abgasstrom AS in Form einer laminaren Strömung LS erhalten wird.

[0143] Das Bauteil 2 hat einen hier nicht näher gezeigten Hohlraum mit mehreren Öffnungen zum Innenraum 4', wobei über eine erste Eintrittsöffnung 23 eine Lanze 47 in den Hohlraum hineinragt. Mittels der Lanze 47 wird im Hohlraum ein Gaslokalstrom aus Inertgas G erzeugt, um das Bauteil 2 quasi von innen heraus von volatilen Verbindungen VV zu reinigen. Das Inertgas G strömt über zwei Austrittsöffnungen 24 in Form von zwei Hohlraumteilströmen HT, HT' wieder aus dem Hohlraum des Bauteils 2 aus. Der Hohlraumteilstrom HT', der aus einer hier vertikalen Oberfläche des Bauteils 2 austritt, ist (als Überlagerung der Simulation) teilweise nachkonturiert, um den Strömungsverlauf zu verdeutlichen. Die Hohlraumteilströme HT, HT' treten in einem Bereich stromabwärts der Austrittsöffnungen 24 in das laminar strömende Inertgas G des Abgasstroms AS ein. Es ist erkennbar, dass sich die Hohlraumteilströme HT, HT' im Wesentlichen turbulenzfrei mit dem (restlichen) Gasgrundstrom GS bzw. mit dem Abgasstrom AS verbinden. Es ist erkennbar, dass die beiden Hohlraumteilströme HT, HT' gemeinsam mit dem übrigen Abgasstrom AS bzw. als Teil des Abgasstroms AS die Kammer 4 in Form einer laminaren Strömung LS durchströmen, wobei der gesamte Abgasstrom AS in den Gasaustrittsbereich 42 eintritt, um aus der Kammer 4 abgeführt zu werden. Der Bereich, in dem die beiden (früheren) Hohlraumteilströme HT, HT' in den Gasaustrittsbereich 42 eintreten, ist

hier optisch anders dargestellt, als die übrigen Bereiche des Gasaustrittsbereichs 42. Beispielsweise könnte der in diesem Bereich auftreffende Abgasstrom AS eine andere Konzentration oder Zusammensetzung der volatilen Verbindungen VV haben verglichen mit den übrigen Bereichen des auftreffenden Abgasstroms AS.

[0144] In Figur 6 ist rein schematisch ein Ausschnitt aus einem Reinigungsverfahren gemäß der Erfindung gezeigt, wobei beispielhaft eine zeitliche Veränderung des Gasflusses in die Kammer der Reinigungsvorrichtung erfolgt. Dazu kann das Reinigungsverfahren zunächst mit Standardparametern gestartet werden, z.B. ein Druck des Gasgrundstroms GS von etwa 1 bar. Dann kann die Strömungserzeugungseinheit 7 so gesteuert werden, dass in einem ersten Zeitintervall (z.B. 5 Minuten) das Inertgas G über alle Düsen 71-79 mit einem (demselben) relativ hohen ersten Druck p1 in die Kammer einströmt (z.B. 2 bar). Die Düsen 71-79 sind also parallelgeschaltet. Dadurch bildet sich im Gasgrundstrom GS im Reinigungsbereich 3 eine erste Wellenfront WF1 einer (Gas-)Welle und damit ein Profil PF im Gasgrundstrom GS. Die Wellenfront WF1 kann eine höhere Geschwindigkeit haben, als die stromabwärts gelegenen Bereiche des Gasgrundstroms GS. Die Wellenfront WF1 verläuft annähernd orthogonal zur Hauptströmungsrichtung SR, wobei sich die Wellenfront WF1 gemäß der Hauptströmungsrichtung SR im Reinigungsbereich 3 fortpflanzt. Dasselbe gilt für die nachfolgenden Wellenfronten WF2 und WF3. Die Länge der jeweiligen Pfeile symbolisiert in Figur 6 den Druck p1, p2, p3 des über die Düsen 71-79 ausströmenden Inertgases G und nicht zwangsläufig die Ausgestaltung der jeweiligen Welle. Es wird darauf hingewiesen, dass die Düsen 71-79 in den Figuren 6 und 7 (anders als in Figur 3) zu dem Zweck unterschiedliche Bezugszeichen haben, um die einzelnen Düsen 71-79 besser voneinander differenzieren zu können.

[0145] In einem zweiten Zeitintervall (z.B. 5 Minuten) kann das Inertgas G über alle Düsen 71-79 mit einem (demselben) relativ niedrigen zweiten Druck p2 in die Kammer einströmen (z.B. 0,5 bar). Durch den relativ geringen Druck im zweiten Zeitintervall wird eine zweite Wellenfront WF2 (als Profil PF) im Gasgrundstrom GS erzeugt, wobei die zweite Wellenfront WF2 langsamer läuft als die erste Wellenfront WF1. Das zweite Zeitintervall kann sich direkt an das erste anschließen, wovon nachfolgend ausgegangen wird.

[0146] Es ist jedoch grundsätzlich möglich, auch in Bezug auf andere Ausführungsbeispiele, dass zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zeitintervallen, insbesondere zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellen im Gasgrundstrom GS, ein Zwischenschritt vorgesehen ist, wobei das Verfahren z.B. mit Standardparametern betrieben wird.

[0147] In einem dritten Zeitintervall, das sich hier unmittelbar an das zweite Zeitintervall anschließt, wird die Strömungserzeugungseinheit 7 so gesteuert, dass das Inertgas G über die Düsen 71-79 mit einem (jeweils demselben) relativ hohen Druck p3 in die Kammer einströmt (z.B. 2 bar für 5 Minuten). Dadurch wird eine dritte Welle mit einer dritten Wellenfront WF3 (als Profil) im Gasgrundstrom GS erzeugt, die der zweiten Wellenfront WF2 nachläuft und eine höhere Fortpflanzungsgeschwindigkeit hat. Es wird darauf hingewiesen, dass die genannten Parameter rein beispielhaft sind und vorzugsweise bauteilspezifisch angepasst werden, wobei derartige Druckwechsel mehrfach hintereinander in demselben Verfahren erfolgen können.

[0148] In Figur 7 ist rein schematisch ein Ausschnitt aus einem Reinigungsverfahren gemäß der Erfindung gezeigt, wobei hier eine zeitliche und eine räumliche Veränderung des Gasstroms über die Düsen 71-79 erfolgt. Dazu kann die Strömungserzeugungseinheit 7, z.B. ausgehend von Standardparametern, die jeweiligen Düsen 71-79 separat steuern, um unterschiedliche Teilströme zu erzeugen. Beispielsweise kann eine erste Düse 71 in einem definierten Zeitintervall das Inertgas G mit einem relativ hohen Druck p1 (z.B. 2 bar) abgeben, wobei eine benachbarte zweite Düse 72 in demselben Zeitintervall das Inertgas G mit einem relativ geringen Druck p2 (z.B. 0,5 bar) abgibt. Entsprechend kann die Strömungserzeugungseinheit 7 so gesteuert werden, dass jeweils benachbarte Düsen 71-79 das Inertgas G mit unterschiedlichen Drücken abgeben. Es wäre zusätzlich auch möglich, die einzelnen Düsen 71-79 zeitlich versetzt zu steuern, um das Inertgas G mit unterschiedlichen Drücken abzugeben.

[0149] Durch die Strömungserzeugungseinheit 7 wird eine Welle im laminaren Gasgrundstrom GS mit einer mäandrierenden Wellenfront WF1 (als Profil) erzeugt, wobei die Wellenfront WF1 den Reinigungsbereich 3 gemäß der Hauptströmungsrichtung SR durchströmt.

[0150] Zur Erzeugung einer nachfolgenden zweiten Welle erfolgt eine zwischen den jeweiligen Düsen 71-79 zeitlich versetzte Veränderung des Gasflusses, wobei der Druck p3 des einströmenden Inertgases in diesem Fall bei allen Düsen 71-79 gleich ist. Der Druck p3 kann vorzugsweise höher sein als der Druck im Gasgrundstrom GS stromabwärts der so erzeugten Wellenfront WF2. Die Wellenfront WF2 ist um einen bestimmten Winkel gegenüber der Hauptströmungsrichtung SR geneigt bzw. verkippt. Dadurch kann erreicht werden, dass das Inertgas G in die Kavität 22 zumindest teilweise eintauchen kann.

[0151] In Figur 8 ist rein schematisch ein Ausschnitt aus einem Reinigungsverfahren gemäß der Erfindung gezeigt. In dem Verfahren strömt zunächst das Inertgas G, z. B gemäß Standardparametern, in Form des Gasgrundstroms GS in der Hauptströmungsrichtung SR durch den Reinigungsbereich 3. In dem Verfahren kann dann mittels der Strömungserzeugungseinheit eine (Gas-)Welle mit einer Wellenfront WF1 erzeugt werden, wobei sich die Wellenfront WF1 schräg zur Hauptströmungsrichtung SR im Reinigungsbereich 3 ausbreitet. Eine (Ausbreitungs-)Richtung oder Strömungsrichtung SR' der Wellenfront WF1 bildet einen bestimmten Winkel

α zur Hauptströmungsrichtung SR des Gasgrundstroms GS. Das bedeutet, dass eine Strömungsrichtung SR' des Gasgrundstroms GS während des Reinigungsverfahrens wenigstens vorübergehend geändert werden kann und sich von der Hauptströmungsrichtung SR unterscheiden kann.

[0152] Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorhergehend detailliert beschriebenen Reinigungsverfahren und der Reinigungsvorrichtung lediglich um Ausführungsbeispiele handelt, welche vom Fachmann in verschiedenster Weise modifiziert werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. So sind beispielsweise die in den jeweiligen Ausführungsbeispielen beschriebenen Profile im Gasgrundstrom beliebig kombinierbar. Das Merkmal eines laminaren Gasgrundstroms bzw. einer laminaren Strömung ist im Kontext der Erfindung, auch in Bezug auf Weiterbildungen des Verfahrens und der Reinigungsvorrichtung, so zu verstehen, dass zumindest eine möglichst laminare, insbesondere eine quasi laminare, Strömung erzeugt wird. Weiterhin schließt die Verwendung der unbestimmten Artikel "ein" bzw. "eine" nicht aus, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können.

Bezugszeichenliste

[0153]

1 Reinigungsvorrichtung
2 Objekt / Bauteil
3 Reinigungsbereich
4 Kammer
4' Innenraum
4" Kammerwand
5 Gasbereitstellungseinheit
6 Analyseeinheit
7 Strömungserzeugungseinheit
8 Steuereinheit
9 Halterung
10, 10' Zwischenraum
20 Objektoberfläche / Bauteiloberfläche
21, 21' Teilbereich
22 Kavität
23 Eintrittsöffnung
24 Austrittsöffnung
40 Eintrittsbereich / Gaseintrittsbereich
42 Austrittsbereich / Gasaustrittsbereich
43 Verschlusselement
44 Kammeröffnung
45 Austrittsöffnung
46 Innenseite Kammerwand
47 Lanze
48 Abgasstromfilter
50 Heizeinrichtung
51 Stickstoffgenerator
52 Filtereinrichtung
70 Düsenwand
71 - 79 Düsen
α Winkel
AS Abgasstrom
D Daten
G Spülgas / Inertgas
GS Gasgrundstrom
GL, GL' Gaslokalstrom
HT, HT' Hohlraumteilstrom
LS Laminare Strömung / quasi laminare Strömung
LV Lokale Verwirbelung
p1, p2, p3 Druck
PF Profil
SR Hauptströmungsrichtung
SR' Strömungsrichtung
TS, TS' Teilstrom
VV Volatile Verbindung
WF1 - WF3 Wellenfront
I - V Verfahrensschritte

Patentansprüche

1. Verfahren zur Reinigung eines Objekts (2) mit den folgenden Schritten:

   - Bereitstellen (I) eines Objekts (2) in einem Reinigungsbereich (3) einer gasdicht verschlossenen Kammer (4),
   - Bereitstellen (II) und Erwärmen (III) eines Spülgases (G) auf eine bestimmte Mindesttemperatur,
   - Erzeugen (IV) eines laminaren Gasgrundstroms (GS) aus erwärmtem Spülgas (G), der zumindest den Reinigungsbereich (3) der Kammer (4) in Form einer laminaren Strömung (LS) durchströmt, und
   - Umströmen (V) des Objekts (2) mit dem laminaren Gasgrundstrom (GS) derart, dass volatile Verbindungen (VV) durch den Gasgrundstrom (GS) von einer Objektoberfläche (20) abgelöst werden und in den laminaren Gasgrundstrom (GS) eintreten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Objekt (2) so umströmt wird, dass volatile Verbindungen (VV), die durch Ausgasung aus dem Objekt (2) erhalten werden, von der Objektoberfläche (20) abgelöst werden.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Spülgas (G) zum Einbringen in die Kammer (4) auf eine Mindesttemperatur von wenigstens 60 °C, vorzugsweise wenigstens 70 °C, bevorzugt wenigstens 80 °C, besonders bevorzugt wenigstens 90 °C, insbesondere 100 °C oder mehr, erwärmt wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,

wobei das Spülgas (G) in Form von zwei oder mehr Teilströmen (TS, TS‘) in die Kammer (4) eingebracht wird, um im Reinigungsbereich (3) den laminaren Gasgrundstrom (GS) zu erzeugen.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei ein Gasfluss in die Kammer (4) räumlich, vorzugsweise zumindest bezogen auf einen Strömungsquerschnitt des Reinigungsbereichs (3) ortsaufgelöst, und/oder zeitlich gesteuert wird, insbesondere um im Reinigungsbereich (3) ein bestimmtes Profil (PF) im Gasgrundstrom (GS) zu erzeugen.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei ein Druck (p1, p2, p3) und/oder ein Volumenstrom von in die Kammer (4) eingebrachtem Spülgas (G) zumindest einmalig geändert wird, wobei vorzugsweise wenigstens eine wellenartige Druckschwankung im Gasgrundstrom (GS) erzeugt wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei ein bestimmter Teilbereich (21, 21’) der Objektoberfläche (20) von einem Gaslokalstrom (GL, GL’) aus Spülgas (G) angeströmt wird, welcher Gaslokalstrom (GL, GL‘) separat gegenüber dem Gasgrundstrom (GS) erzeugt wird, wobei vorzugsweise der Gaslokalstrom (GL, GL‘) eine gegenüber dem Gasgrundstrom (GS) unterschiedliche Strömungsrichtung hat.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Gaslokalstrom (GL, GL’) so erzeugt wird, dass der angeströmte Teilbereich (21, 21’) auf eine bestimmte Solltemperatur gebracht wird, wobei die Solltemperatur höher ist als eine Temperatur des Gasgrundstroms (GS) oder wobei die Solltemperatur geringer ist als eine Temperatur des Gasgrundstroms (GS),
und/oder
wobei in dem Verfahren zwei oder mehr Teilbereiche (21, 21’) der Objektoberfläche (20) von jeweils einem zugeordneten Gaslokalstrom (GL, GL‘) angeströmt werden, wobei vorzugsweise die Gaslokalströme (GL, GL‘) unterschiedlich temperiert sind.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei ein Abgasstrom (AS) umfassend vom Objekt (2) abgelöste volatile Verbindungen (VV), vorzugsweise kontinuierlich, einer Analyse unterzogen wird, wobei zumindest einer der folgenden Parameter, insbesondere zeitaufgelöst, bestimmt wird:

- eine jeweilige Art der im Abgasstrom (AS) mitgeführten volatilen Verbindung (VV),
- eine Quantität der jeweiligen im Abgasstrom (AS) mitgeführten volatilen Verbindung (VV),
- eine Temperatur des Abgasstroms (AS).

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei ein Abbruchkriterium zur Beendigung des Verfahrens basierend auf zumindest einem im Abgasstrom (AS) analysierten Parameter bestimmt wird, vorzugsweise eine exponentielle Abnahmerate wenigstens einer volatilen Verbindung (VV) im Abgasstrom (AS),
und/oder
wobei die Analyse des Abgasstroms (AS) in Echtzeit erfolgt,
und/oder
wobei das Verfahren, vorzugsweise objektspezifisch, so adaptiert ist, dass bei Erreichen des Abbruchkriteriums ein bestimmter Reinheitsgrad des Objekts (2) erreicht ist, und/oder
wobei in dem Verfahren ein Nachweis eines bestimmten Reinheitszustands des Objekts (2) erbracht wird.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Spülgas (G) in Form von einem Inertgas (G) bereitgestellt wird,
und/oder
wobei das Spülgas (G) in Form von Stickstoff bereitgestellt wird, der aus Luft erzeugt wird und wobei das Spülgas (G) nach Durchströmen der Kammer (4), vorzugsweise gefiltert, an die Atmosphäre abgegeben wird.

12. Reinigungsvorrichtung (1) zur Reinigung eines Objekts (2) mit den folgenden Komponenten, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche:

- eine gasdicht verschließbare Kammer (4) mit einem Reinigungsbereich (3) für das Objekt (2),
- eine Gasbereitstellungseinheit (5) mit einer Heizeinrichtung (50) zum Bereitstellen und Erwärmen eines Spülgases (G) auf eine bestimmte Mindesttemperatur,
- eine Strömungserzeugungseinheit (7) zur Erzeugung eines laminaren Gasgrundstroms (GS) aus erwärmtem Spülgas (G) derart, dass der Gasgrundstrom (GS) zumindest den Reinigungsbereich (3) der Kammer (4) in Form einer laminaren Strömung (LS) durchströmt und das Objekt (2) so umströmt wird, dass volatile Verbindungen (VV) durch den Gasgrundstrom (GS) von einer Objektoberfläche (20) abgelöst werden und in den laminaren Gasgrundstrom (GS) eintreten, und
- vorzugsweise eine Steuereinheit (8) zur Steuerung der Komponenten der Reinigungsvorrichtung (1).

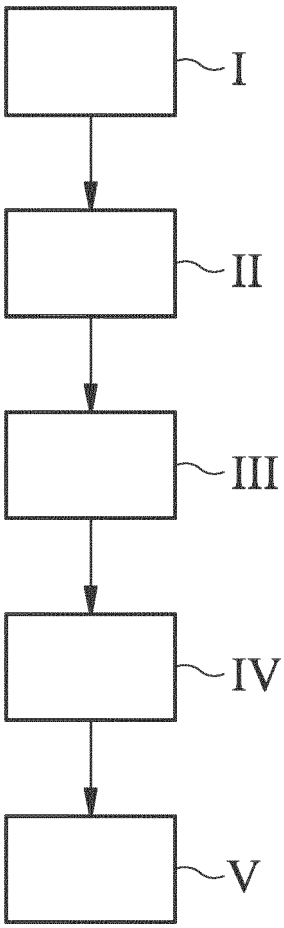
13. Reinigungsvorrichtung nach Anspruch 12, wobei die Kammer (4) einen Eintrittsbereich (40) für Spülgas (G) hat, welcher Eintrittsbereich (40) zumindest zwei, vorzugsweise eine Mehrzahl, von separat steuerbaren Düsen (71-79) aufweist, um den lami-

naren Gasgrundstrom (GS) zu erzeugen,
und/oder
wobei die Reinigungsvorrichtung (1) zumindest eine steuerbare Lanze (47) zur Erzeugung eines Gaslokalstroms (GL, GL') aus Spülgas (G) im Reinigungsbereich (3) hat,
und/oder
wobei ein Strömungsquerschnitt des Eintrittsbereichs (40) größer oder gleich ist zu einem Strömungsquerschnitt des Reinigungsbereichs (3), vorzugsweise gleich zu einem Strömungsquerschnitt eines Austrittsbereichs (42) für Spülgas (G) aus der Kammer (4).

14. Reinigungsvorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, wobei ein Austrittsbereich (42) für Spülgas (G) aus der Kammer (4) in einem bewegbaren Verschlusselement (43) einer Kammeröffnung (44) realisiert ist,
und/oder
wobei dem Austrittsbereich (42) für Spülgas (G), insbesondere einem bewegbaren Verschlusselement (43) einer Kammeröffnung (44), eine Analyseeinheit (6) zugeordnet ist, um einen Abgasstrom (AS) umfassend vom Objekt (2) abgelöste volatile Verbindungen (VV) im Betrieb, vorzugsweise kontinuierlich, zu analysieren.

15. Reinigungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei die Gasbereitstellungseinheit (5) einen Stickstoffgenerator (51) zur Bereitstellung des Spülgases (G) aufweist,
und/oder
wobei zumindest einige Komponenten der Reinigungsvorrichtung (1) portabel sind.

FIG 1



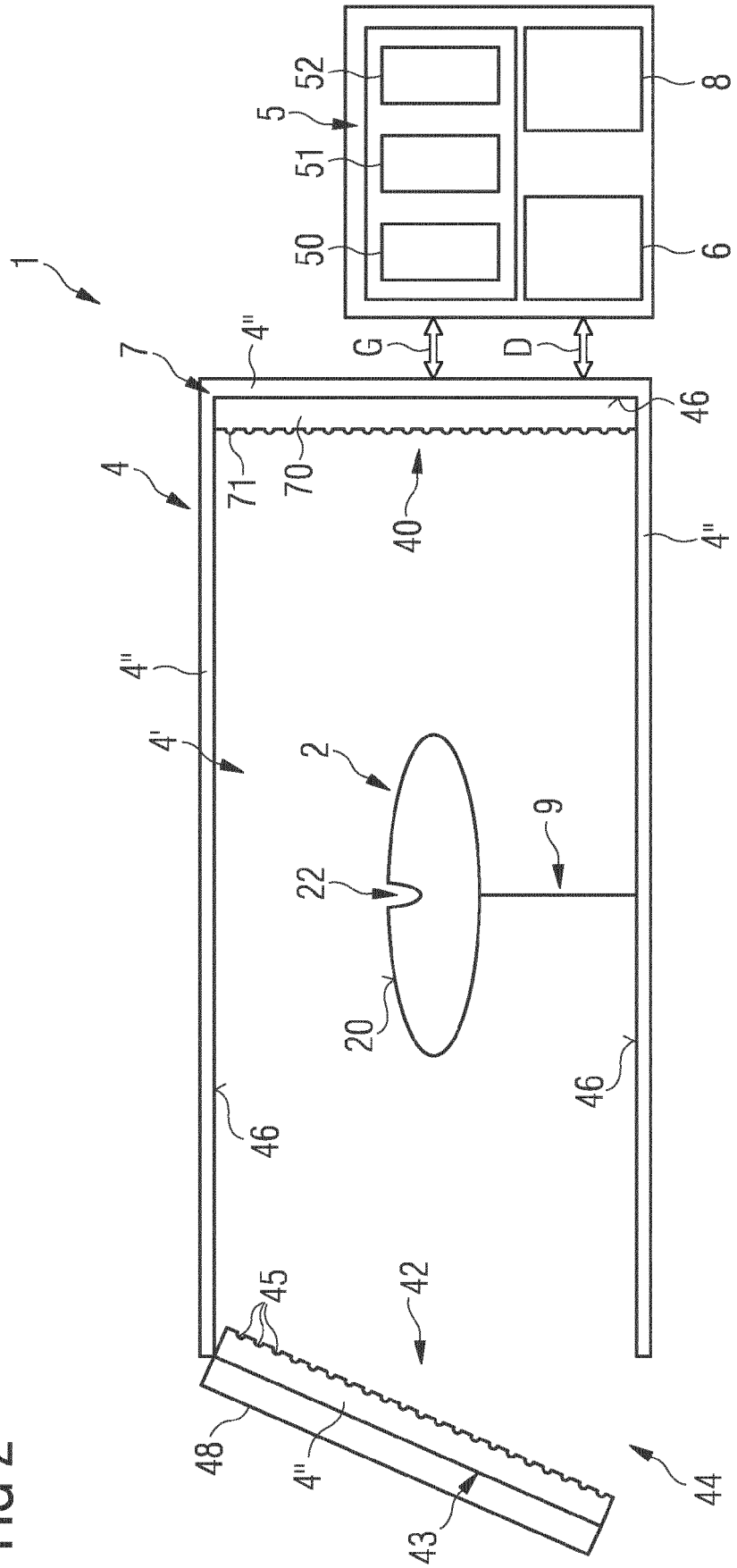


FIG 2

FIG 3

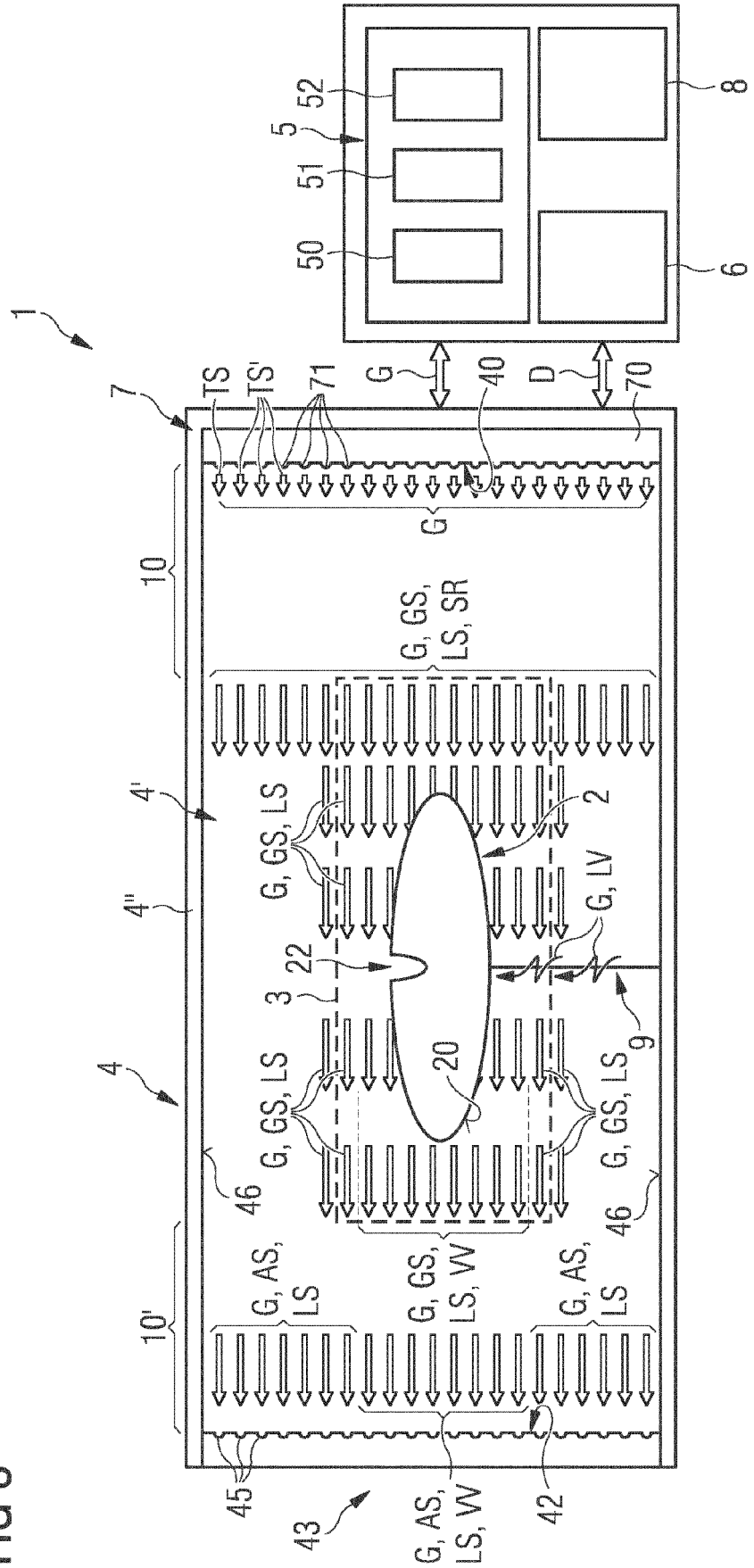
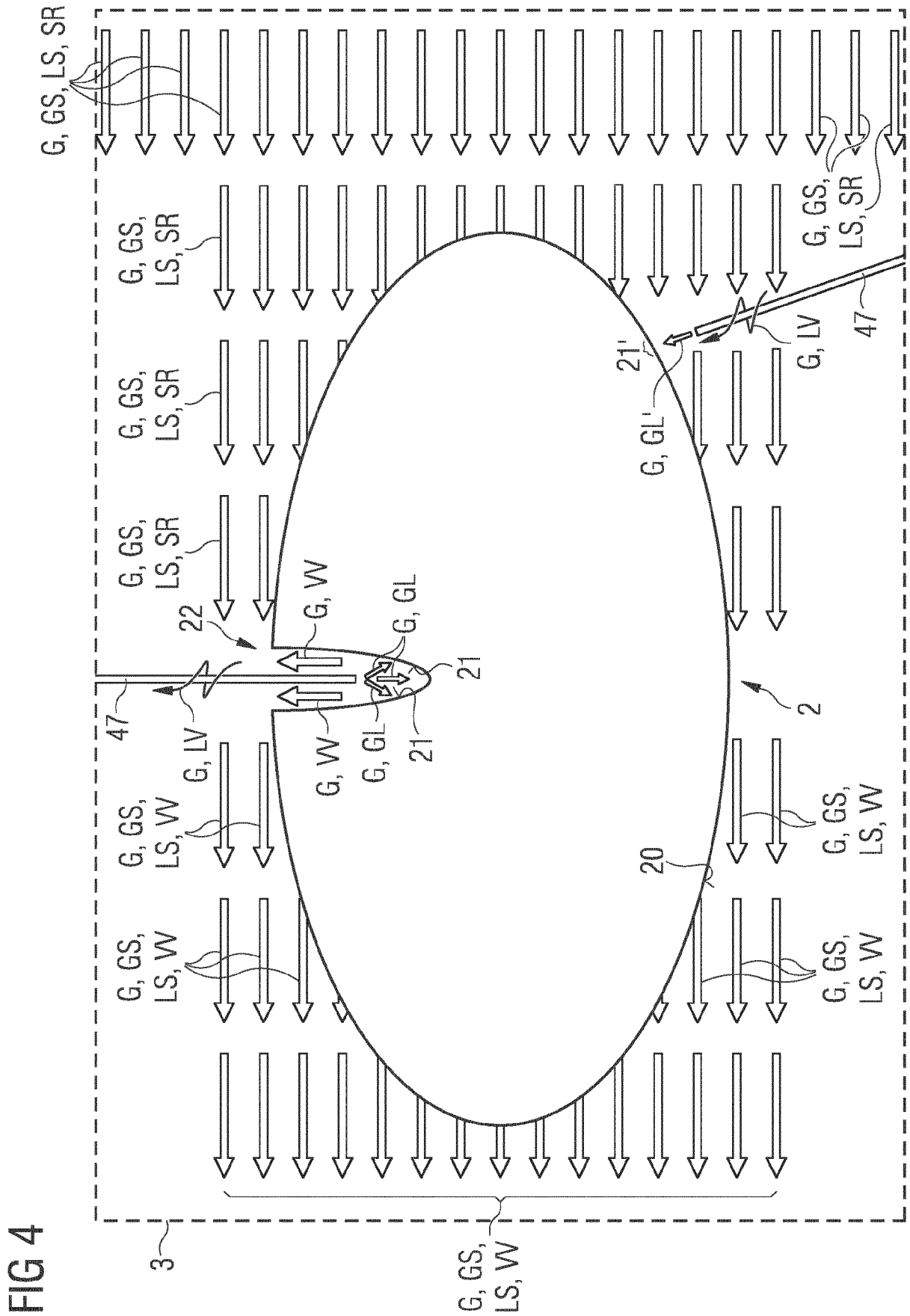

1
5
52
51
50
8
6
7
TS
TS'
71
G
40
D
70
10
G, GS, LS, SR
4'
4"
G, GS, LS
2
G, LV
22
3
9
4
20
46
10'
G, AS, LS
G, GS, LS, VW
45
43
42

FIG 4


G, GS, LS, SR
G, GS, LS, SR
G, GS, LS, SR
G, GS, LS, SR
G, GS, LS, SR
G, GS, LS, SR
21'
G, GL'
G, LV
47
22
G, VV
G, GL
21
47
G, LV
G, VV
G, GL
21
2
G, GS, LS, W
G, GS, LS, W
20
G, GS, LS, W
G, GS, LS, W
3
G, GS, LS, W

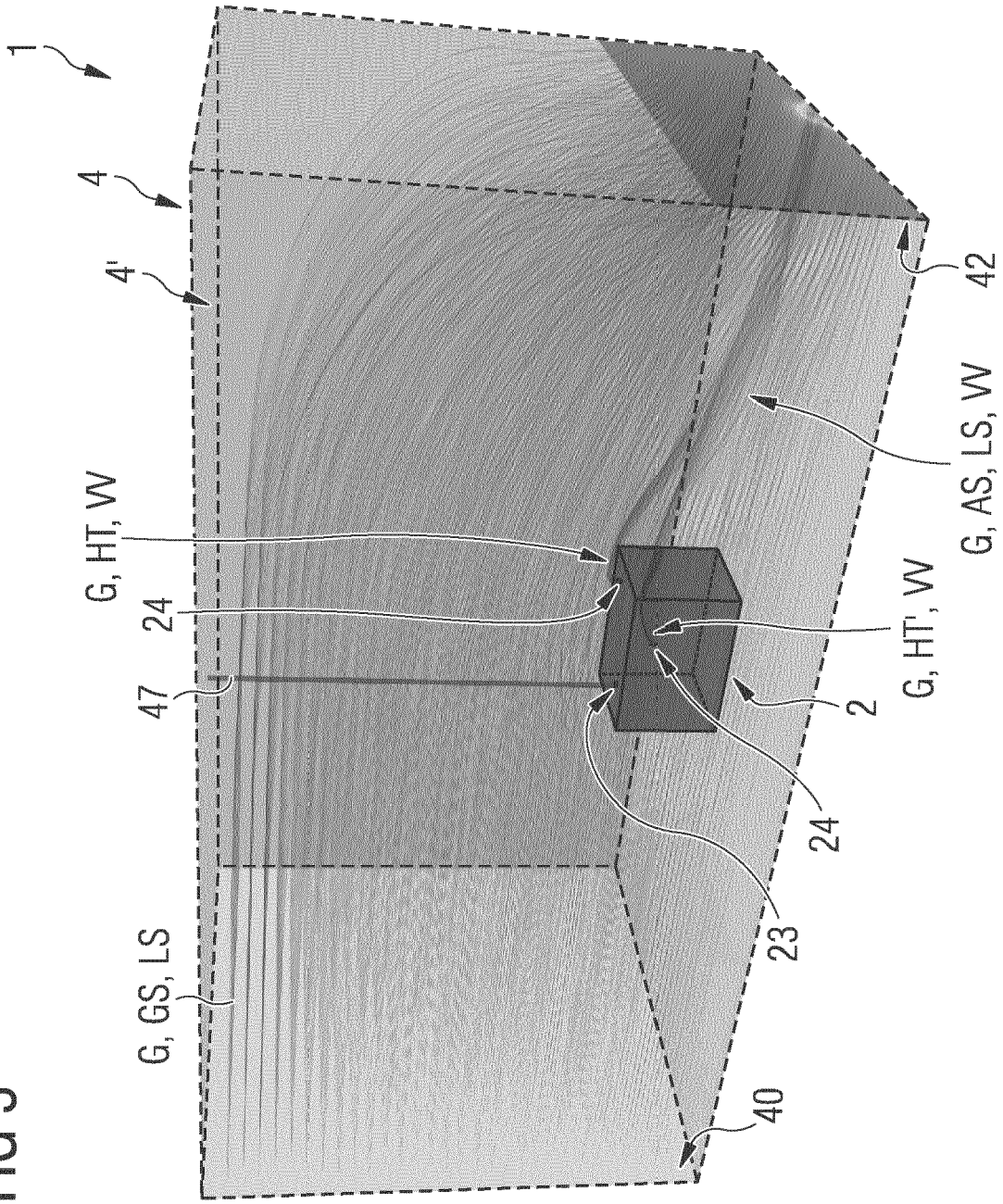


FIG 5

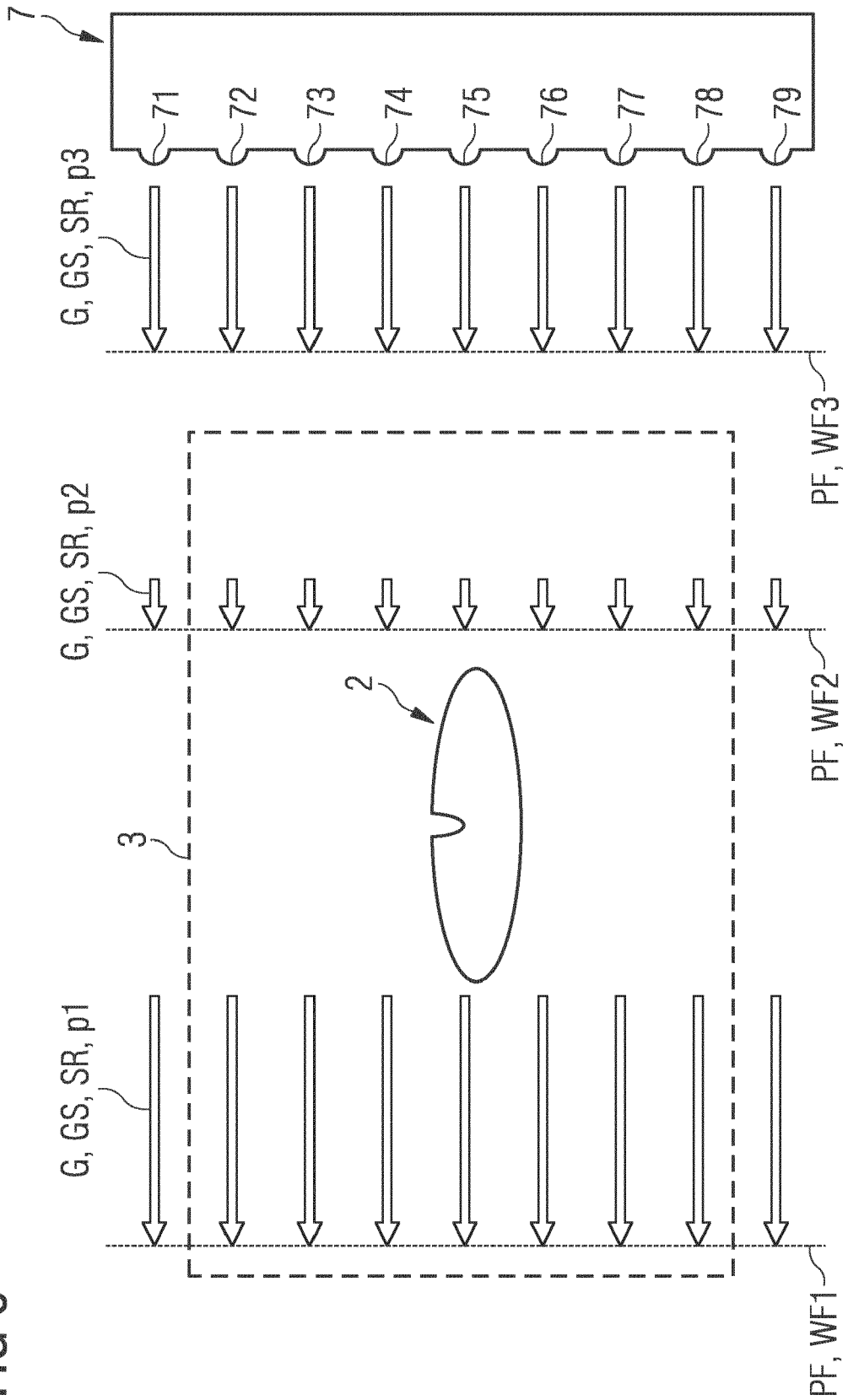
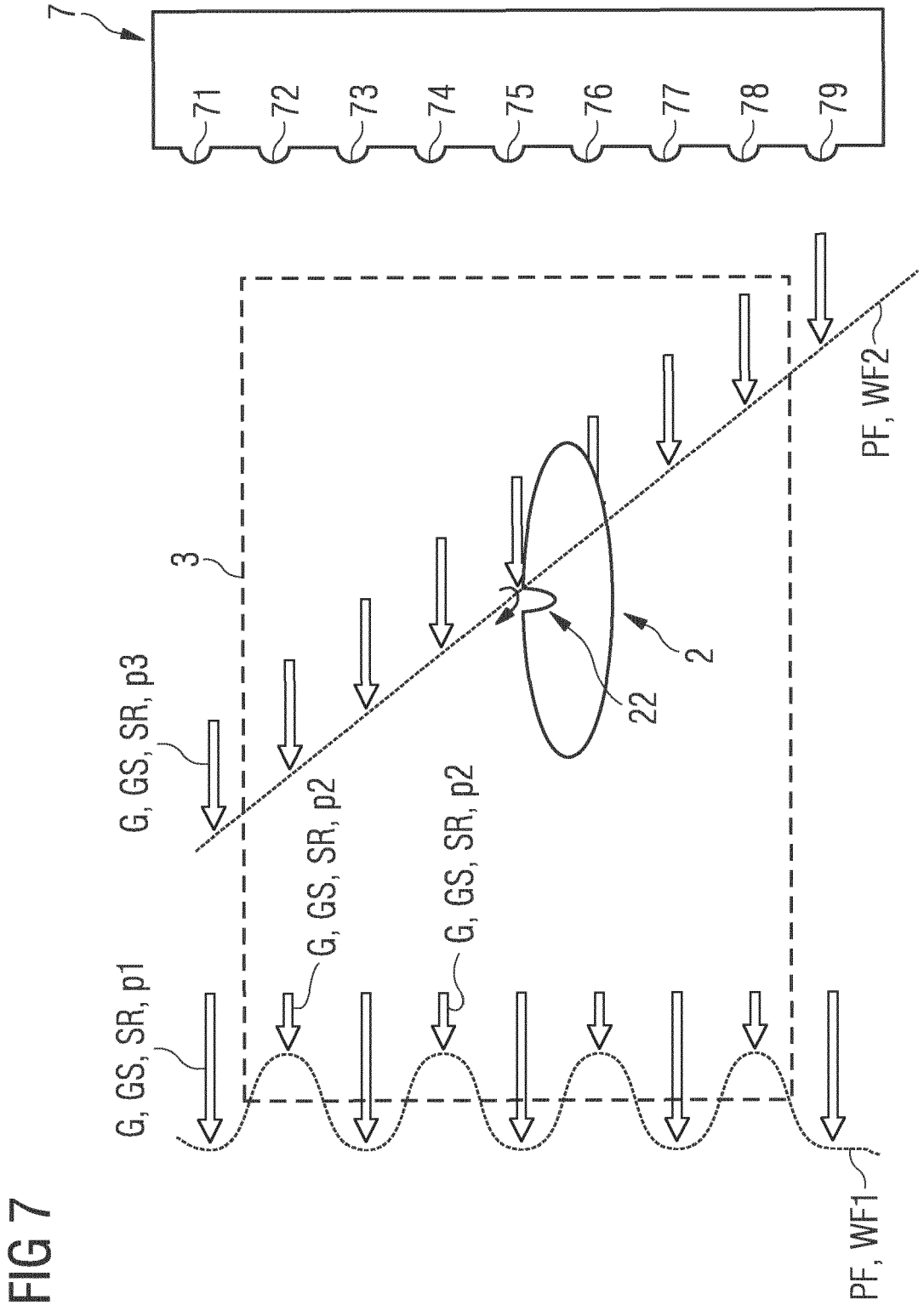

7
71
72
73
74
75
76
77
78
79
G, GS, SR, p3
PF, WF3
G, GS, SR, p2
PF, WF2
2
3
G, GS, SR, p1
PF, WF1

FIG 6

FIG 7


7
71
72
73
74
75
76
77
78
79
3
G, GS, SR, p3
G, GS, SR, p2
G, GS, SR, p2
G, GS, SR, p1
22
2
PF, WF2
PF, WF1

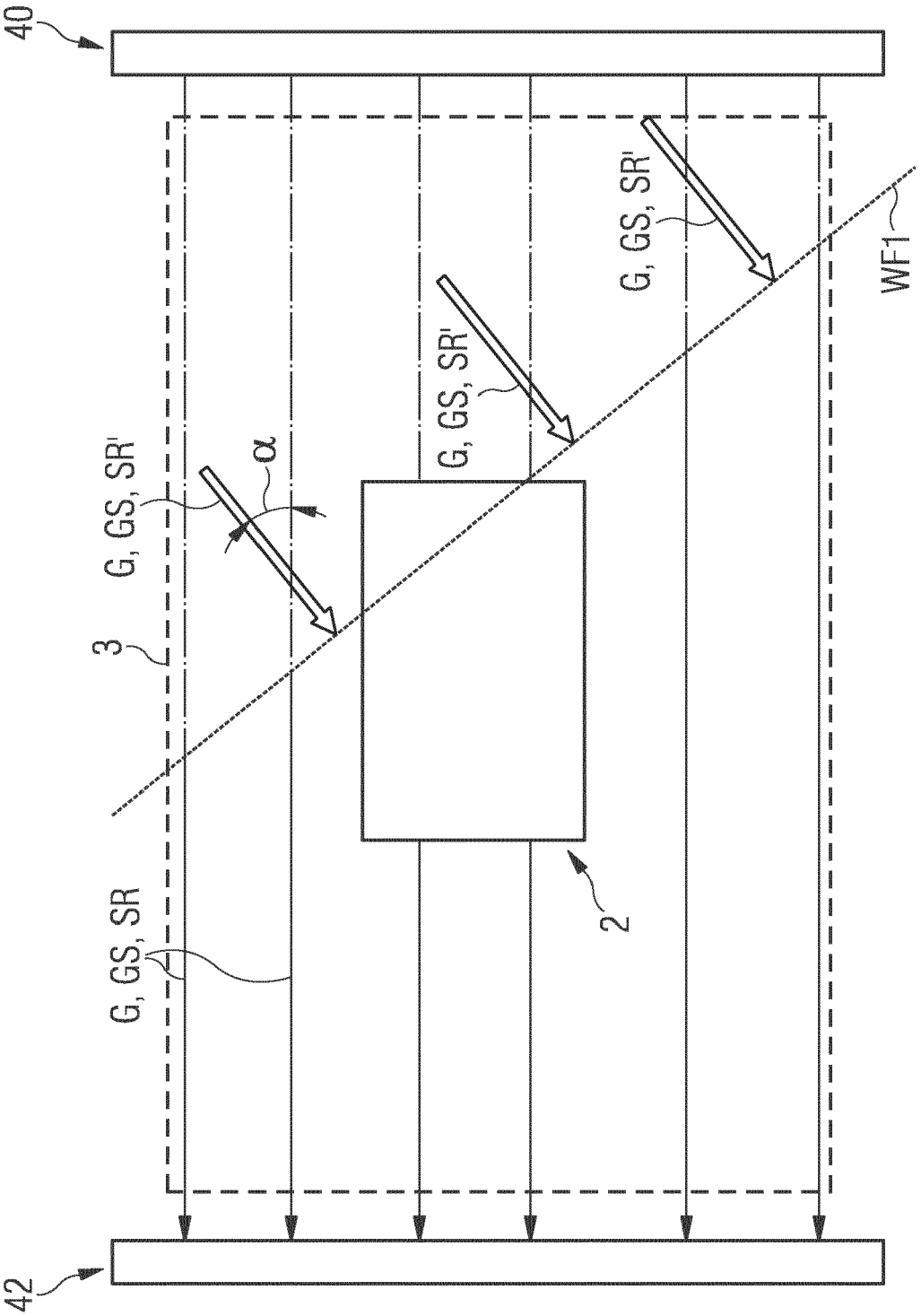


FIG 8

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 23 18 4091

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2021/159096 A1 (SAKAI TOSHIMITSU [JP] ET AL) 27. Mai 2021 (2021-05-27)	1-3, 9-12,14, 15	INV. B08B5/00
Y	* Absatz [0001] - Absatz [0005] * * Absatz [0071] - Absatz [0090] * * Absatz [0099] - Absatz [0128] * * Abbildungen 2, 3, 6, 7 *	4-8,13	ADD. B08B5/02
X	US 2020/006050 A1 (HOUNG WEI-HUA [TW]) 2. Januar 2020 (2020-01-02) * Absatz [0017] * * Absatz [0025] - Absatz [0041] * * Absatz [0046] - Absatz [0051] * * Abbildungen 2, 3 *	1-3, 9-12,14	
Y	WO 94/23854 A1 (CAULDRON LP [US]; ENGELSBERG AUDREY C [US]) 27. Oktober 1994 (1994-10-27) * Seite 9, Zeile 15 - Seite 10, Zeile 23 * * Seite 13, Zeile 1 - Zeile 29 * * Seite 23, Zeile 20 - Seite 27, Zeile 9 * * Seite 39, Zeile 23 - Seite 40, Zeile 23 * * Abbildungen 34, 35 *	7,8	
Y	US 6 472 326 B1 (HOLBROOK ALLISON [US] ET AL) 29. Oktober 2002 (2002-10-29) * Spalte 2, Zeile 12 - Zeile 63 * * Spalte 1, Zeile 10 - Zeile 36 * * Abbildungen 2A, 2B *	4-6,13	
A	WO 2007/047095 A2 (BOC GROUP INC [US]) 26. April 2007 (2007-04-26) * Absatz [0001] - Absatz [0005] * * Absatz [0009] * * Absatz [0019] *	9,10,14	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)

B08B
H01L

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag	12. Dezember 2023	Wiedenhöft, Lisa

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 23 18 4091

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

12-12-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2021159096 A1	27-05-2021	CN 112838027 A	25-05-2021
		JP 7355615 B2	03-10-2023
		JP 2021086843 A	03-06-2021
		KR 20210064060 A	02-06-2021
		TW 202135133 A	16-09-2021
		US 2021159096 A1	27-05-2021
US 2020006050 A1	02-01-2020	TW 202006877 A	01-02-2020
		US 2020006050 A1	02-01-2020
		US 2021111016 A1	15-04-2021
WO 9423854 A1	27-10-1994	AT E186859 T1	15-12-1999
		AU 684772 B2	08-01-1998
		BR 9405973 A	12-12-1995
		CA 2160255 A1	27-10-1994
		CN 1125917 A	03-07-1996
		EP 0693978 A1	31-01-1996
		FI 954837 A	11-10-1995
		JP 2820534 B2	05-11-1998
		JP H08509652 A	15-10-1996
		LV 11288 B	20-12-1996
		RU 2136467 C1	10-09-1999
		SG 41949 A1	15-08-1997
		TW 252211 B	21-07-1995
		WO 9423854 A1	27-10-1994
US 6472326 B1	29-10-2002	KEINE	
WO 2007047095 A2	26-04-2007	TW 200721246 A	01-06-2007
		US 2007079849 A1	12-04-2007
		WO 2007047095 A2	26-04-2007

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82