



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
30.11.2022 Patentblatt 2022/48

(21) Anmeldenummer: **22173665.5**

(22) Anmeldetag: **17.05.2022**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B08B 3/02 (2006.01) **B08B 7/00** (2006.01)
B08B 15/02 (2006.01) **B24C 1/00** (2006.01)
B08B 9/00 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B08B 3/02; B08B 7/0021; B08B 7/0042;
B08B 7/005; B08B 7/0092; B08B 15/026;
B24C 1/003; B08B 7/0035; B08B 9/00

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(30) Priorität: **28.05.2021 DE 102021113926**

(71) Anmelder: **OHB System AG**
28359 Bremen (DE)

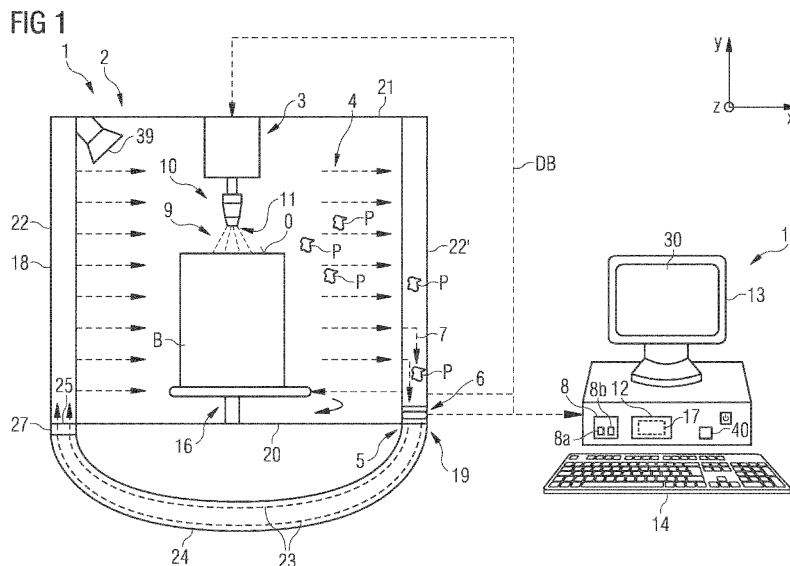
(72) Erfinder: **Müller, Axel**
83624 Otterfing (DE)

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

(54) **VERFAHREN ZUR REINIGUNG UND REINHEITSKONTROLLE**

(57) Es wird ein Verfahren zur Reinigung und Reinheitskontrolle von zu reinigenden Objekten (B) in einem Reinraum (2), beschrieben, wobei das Verfahren zumindest die folgenden Schritte umfasst: Bereitstellung eines zu reinigenden und zu untersuchenden Objekts (B) in einem Reinraum (2), Durchleitung eines gerichteten quasi-laminaren Fluidstroms (4) durch den Reinraum (2), um lose Verschmutzungspartikel (P) zu einem Reinraumfluidausgang (5) zu befördern, Abtragung von Verschmutzungspartikeln (P) von dem zu reinigenden Objekt (B) in dem Reinraum (2) mittels eines Reinigungsgeräts (3), Ermitteln von am Reinraumfluidausgang (5) ankomen-

den Verschmutzungspartikeln (P) und Erfassen zumindest eines Partikelbelastungsprofils (36, 37) in Abhängigkeit von der Zeit (t), Auswertung des zumindest einen Partikelbelastungsprofils (36, 37) mittels einer Auswerteeinheit (8) zur Ermittlung von Ergebniswerten betreffend einen Reinigungserfolg (E) und optional Protokollierung des zumindest einen Partikelbelastungsprofils (36, 37) und/oder der Ergebniswerte. Zudem wird eine Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung (1) zur Reinigung und Reinheitskontrolle von Objekten (B) beschrieben.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reinigung und Reinheitskontrolle von zu reinigenden Objekten in einem Reinraum, wobei ein zu reinigendes und zu untersuchendes Objekt in einem Reinraum bereitgestellt wird, Verschmutzungspartikel von dem zu reinigenden Objekt in dem Reinraum mittels eines Reinigungsgeräts abgetragen und diese mittels eines Partikelzählers gezählt werden. Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung zur Reinigung und Reinheitskontrolle von Objekten.

[0002] Bei vielen Projekten, beispielsweise bei Raumfahrtprojekten und im Besonderen bei optischen Kommunikationen bzw. bei optischen Nutzlasten, bei welchen die Übertragung von Daten beispielsweise mit Hilfe von Licht erfolgt, ist die Reinheit eines zu verwendenden Objekts von großer Bedeutung. Dabei können schon kleinste Partikel (diese können im Bereich von wenigen μm liegen) auf einer kontaminationskritischen z.B. optischen Oberfläche eines Objekts die Transmission von beispielsweise Licht oder Wärme verändern. Die Partikel können so bspw. ein Streulicht auf Optiken und Grenzflächen verursachen oder die Funktion von optischen und mechanischen, elektrischen und elektronischen Sensoren und Mechanismen blockieren.

[0003] Einen weiteren Aspekt, bei dem die Reinheit eine wichtige Rolle spielt, stellen Rückstände bzw. Partikel dar, die aufgrund ihrer toxischen Eigenschaften zu entfernen sind. Dies könnten bspw. Asbestrückstände, Brandrückstände, Aerosole oder Kampfstoffe sein, die sich auf Gegenständen niedergelegt haben.

[0004] Auch bei der zuvor erwähnten Raumfahrt kann die Reinheit verschiedenster Objekte aus anderen Gründen von großer Bedeutung sein. Bei einer Mondexkursion bspw. können Raumfahrtanzüge oder Untersuchungsgegenstände bei einer Außenmission von Mondstaub benetzt werden. Infolge der ungefilterten Strahlung auf dem Mond laden sich die zwischen 0,5 und 10 μm kleinen Partikel des Mondstaubs elektrostatisch auf. Dadurch kann der Mondstaub leicht an allen Objekten anhaften und kann so z.B. Schleusen passieren und in eine Basiseinheit gelangen. Da der Mond zudem keine Atmosphäre wie auf der Erde aufweist, sind die lunaren Staubkörner sehr scharfkantig. Durch die geringe Schwerkraft des Mondes können sich die scharfkantigen Staubpartikel lange in der Schwebe halten, wodurch die Partikel leicht eingeatmet werden und tief in die Atemwege und die Lunge sowie in die Augen eindringen können, wo sie sowohl akute als auch chronische Schäden anrichten können, z.B. in Form von Zell- und DNA-Schäden. Bei einem Aufbau von bewohnbaren Stationen auf dem Mond wäre daher in Reinigungsschleusen sicherzustellen, dass nach Außenexkursionen überprüfbar möglichst keine Staubpartikel von außen nach innen in die Stationen gelangen, wobei ggf. erst nach einer Überprüfung eine Schleusenfreigabe erfolgen könnte.

[0005] Um ein Objekt zu reinigen, werden häufig sogenannte Spülkabinette oder "rinsing cabinets" eingesetzt. Dabei wird ein zu reinigendes Bauteil in ein Spülkabinett eingebracht und mit einem flüssigen Spülmedium, z.B. Alkohol oder Wasser abgespritzt. Aufgrund der Größe der üblichen Kabinette sind diese Verfahren aber nur begrenzt umsetzbar, nämlich nur bei relativ kleinen Objekten. Zudem können nur Objekte gereinigt werden, die nicht sensitiv gegenüber dem verwendeten flüssigen Spülmedium, z.B. Wasser oder Alkohol sind.

[0006] Eine weitere gängige Reinigungs-Methode ist die Reinigung mittels eines Gasstrahls, z.B. Druckluft oder Stickstoff. Der Nachteil hierbei ist aber, dass durch den Gasstrahl meist nur eine gewisse Klasse an Partikeln entfernt wird, die insbesondere über die Größe, die Oberfläche und die Hafteigenschaften der Partikel definiert ist. Weiterhin kann die Reinigung mittels eines Gasstrahls den Effekt haben, dass Teilchen bzw. Partikel über die Oberfläche gerollt werden, was häufig unerwünscht ist. Unter Umständen können über den Gasstrahl sogar Partikel vom zu reinigenden Objekt selbst abgelöst werden.

[0007] Ein weiterer Nachteil der oben genannten Reinigungs-Methoden ist zudem, dass es sehr aufwändig und kompliziert ist nachzuweisen, ob eine ausreichende Reinigung eines Objekts stattgefunden hat. Dazu sind in der Regel zeitaufwändige weitere Kontrollen nötig, die extra durchgeführt werden, um eine entsprechende Reinheit nachweisen zu können. Üblicherweise erfolgt ein solcher Nachweis lokal an einer besonderen Prüfstelle, teilweise unter Einsatz einer Probenahme, was wiederum das Risiko einer chemischen Kontamination birgt.

[0008] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Alternative zu schaffen, welche die zuvor genannte Problematik adressiert.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Reinigung und Reinheitskontrolle nach Anspruch 1 sowie eine Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung nach Patentanspruch 9 gelöst.

[0010] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Reinigung und Reinheitskontrolle von zu reinigenden Objekten bzw. Bauteilen in einem Reinraum umfasst zumindest die folgenden Schritte:

Zunächst erfolgt eine Bereitstellung eines zu reinigenden und zu untersuchenden Objekts in einem Reinraum. Bereitstellung heißt, dass sich das Objekt bereits vor dem Verfahren im Reinraum befinden kann oder zu Beginn darin platziert wird. Bei größeren Objekten kann ggf. der Reinraum auch um das Objekt herum aufgebaut werden, insbesondere mit mobilen Raumkomponenten. Im Allgemeinen und im Folgenden kann es sich dabei um ein Objekt beliebiger Art handeln. So kann es beispielsweise eine Probe, ein Reinstoff oder ein Stoffgemisch sein, oder ein integriertes oder vollintegriertes oder beschichtetes Bauteil bzw. eine Baugruppe oder eine andere derartige Komponente, um nur einige Möglichkeiten zu nennen. Wesentlich ist nur, dass es unter Reinraumbedingungen gereinigt werden soll. Vorzugsweise hat

es hierfür schon einige einfachere Vorreinigungsstufen durchlaufen. Erforderlichenfalls kann dem erfindungsgemäßen Verfahren auch eine Grobreinigung vorangestellt sein.

[0011] Als "Reinraum" wird dabei ein Raum bezeichnet, der eine extrem geringe Konzentration luftgetragener Teilchen aufweist. Als luftgetragene bzw. frei flugfähige Teilchen werden Partikel und Stoffe angesehen, die in der Luft schweben. Ein Reinraum im Sinne der Erfindung weist insbesondere eine Atmosphäre bzw. Umgebung auf, die dadurch gekennzeichnet ist, dass eine Konzentration luftgetragener Teilchen bzw. eine Kontamination signifikant geringer ist, als eine zu erreichende Reinheitsklasse eines Bauteils. Ein Reinraum gemäß der Erfindung ist insbesondere ein ausreichend reiner Raum und/oder ein ausreichend sauberer Raum, um ein bestimmtes Reinigungsergebnis bei einem Objekt zu erreichen. Besonders bevorzugt kann ein Reinraum ein Raum sein, der signifikant sauberer ist, als ein zu erreichendes Reinigungsergebnis eines Objekts. Typischerweise umfasst ein Reinraum eine bestimmte Luftführung, die möglichst wenig Kontaminationen bzw. Partikel enthält und solche auch vom Objekt weg befördern kann. Rein beispielhaft sei auf die Normreihe DIN EN ISO 14644 für Reinräume verwiesen, da die Erfindung unter anderem in solchen Reinräumen anwendbar ist und wobei diese Norm dann durch die Erfindung eingehalten werden kann. Allerdings ist die Erfindung nicht auf derartige Reinräume beschränkt und kann auch in anderen Reinräumen außerhalb dieser Normreihe verwendet werden, insbesondere in einem Reinraum, der zumindest eines der vorgenannten Kriterien erfüllt.

[0012] Erfindungsgemäß wird ein "global" gerichteter quasi-laminarer Fluidstrom, insbesondere ein Luftstrom, durch den Reinraum, in welchem das Objekt bereitgestellt wird, durchgeleitet, um lose bzw. frei flugfähige, also z.B. abgetragene Verschmutzungspartikel zu einem Reinraumfluidausgang zu befördern. In der Beschreibung der Erfindung wird, ohne eine Beschränkung darauf, davon ausgegangen, dass es sich bei dem Fluid um (gefilterte) Raumluft handelt. Entsprechend werden ein Reinraumfluideingang bzw. -ausgang nachfolgend als Reinraumlufteingang bzw. -ausgang bezeichnet. Grundsätzlich könnte es sich bei dem Fluid jedoch auch um ein spezielles reines Gas oder ein Gasgemisch handeln.

[0013] Es wird angestrebt, eine laminare Strömung im Reinraumbereich zu erreichen bzw. zu erhalten. Aufgrund der Umgebungsbedingungen ist eine hundertprozentige laminare Strömung in der Realität jedoch meist nicht realisierbar, da es beispielsweise zu Verwirbelungen an Hindernissen wie Laborgeräten oder Ähnlichem kommen kann. Daher wird hier der gerichtete Fluidstrom bzw. Luftstrom im Reinraumbereich auch nur als "quasi-laminarer" Luftstrom bezeichnet, wobei es sich hierbei um einen möglichst turbulenzarmen Luftstrom handeln soll. Unter "Turbulenzen" sind Massenbewegungen der Luft bzw. von Partikeln in der Luft entgegen der Strömungsrichtung zu verstehen. Eine angestrebte Zielstellung lautet daher im Idealfall, ein turbulenzfreies Strömungsfeld mit einer niedrigen Reynoldszahl zu erreichen. "Global" bedeutet hierbei, dass der Luftstrom vorzugsweise durch den gesamten Reinraumbereich geleitet wird, z. B. von einem Reinraumlufteingang zu einem Reinraumluftausgang. Durch den quasi-laminaren Luftstrom können eine Partikelkonzentration in der Luft und damit Partikelablagerungen, bspw. Ablagerungen von Verschmutzungspartikeln auf einem Untersuchungsobjekt, reduziert werden.

[0014] Ein weiterer Schritt ist eine Abtragung von Verschmutzungspartikeln von dem zu reinigendem Objekt in dem Reinraum mittels eines Reinigungsgeräts, welches später noch näher erläutert wird. Durch die Abtragung der Verschmutzungspartikel liegen diese nicht mehr auf dem Objekt auf, sondern werden in eine Art Schwebzustand gebracht, wodurch sie von dem quasi-laminaren Luftstrom aufgenommen und zu einem Reinraumluftausgang getragen werden, durch den sie dann mit dem Abluft- bzw. Abgasstrom durch den Reinraumluftausgang aus dem Reinraum hinaus befördert werden.

[0015] Die Reinigung eines Objekts erfolgt dabei in der Regel vorzugsweise unter Durchführung von mehreren Reinigungsschritten bzw. Reinigungszyklen, um sicherzustellen, dass alle Oberflächen eines Objekts gereinigt worden sind. Bevorzugt können mehrere Reinigungszyklen so durchgeführt werden, dass die Verschmutzungspartikel tatsächlich, insbesondere physisch, von dem Objekt entfernt werden. In jedem Reinigungsschritt sind dabei eine Position des Reinigungsgeräts (bevorzugt eine Position eines Austrittsorts, aus dem ein Reinigungsmedium aus dem Reinigungsgerät austritt) sowie ein oder mehrere Winkel, mit denen ein Objekt abgestrahlt wird, vorzugsweise festgelegt. Zudem können über eingestellte unterschiedliche Strahlwinkel, welche mehrfach über eine gleiche Stelle verfahren (vergleichbar mit dem Prinzip einer Autowaschanlage), so auch Halbkavitäten und Kavitäten in einem Objekt gereinigt werden. Beispielsweise kann darüber eine Quantität an Verschmutzungspartikeln an derselben Stelle stufenweise reduziert bzw. verdünnt werden.

[0016] Während einer Reinigung erfolgt ein Ermitteln von insbesondere von dem Objekt abgetragenen, am Reinraumluftausgang im Abluft- bzw. Abgasstrom mitgeführten Verschmutzungspartikeln. Unter "Ermitteln der Verschmutzungspartikel" ist dabei eine Messung zu verstehen, mit der ein für die Anzahl der Verschmutzungspartikel repräsentativer Wert gemessen wird. Vorzugsweise wird die Anzahl der Verschmutzungspartikel direkt, zum Beispiel mittels eines Partikelzählers, gezählt, weshalb im Folgenden auch, sofern nicht anders erwähnt ohne Beschränkung der Allgemeinheit, als Synonym für ermittelte Verschmutzungspartikel von gezählten oder erfassten Verschmutzungspartikeln die Rede ist.

[0017] Erfindungsgemäß wird mit Hilfe der ermittelten Verschmutzungspartikel zumindest ein Partikelbelastungsprofil in Abhängigkeit von der Zeit erfasst und z. B. über die Zeit aufgetragen bzw. vorzugsweise graphisch dargestellt.

[0018] Erfindungsgemäß erfolgt zudem eine Auswertung des zumindest einen Partikelbelastungsprofils mittels einer Auswerteeinheit zur Ermittlung von Ergebniswerten betreffend einen Reinigungserfolg, also den Fortschritt bzw. Ablauf der Reinigung und die aktuelle Reinheit des gereinigten Objekts.

[0019] Mittels des Partikelbelastungsprofils lässt sich somit leicht feststellen, wie sich die Verschmutzungspartikelkonzentration im Reinraum bzw. auf dem gereinigten Bauteil verhält. Insbesondere kann also (zumindest indirekt) festgestellt werden, wie viele Verschmutzungspartikel von dem zu reinigenden Objekt in einer bestimmten Zeit abgetragen worden sind. Unter Nutzung des Partikelbelastungsprofils kann dabei auch entschieden werden, insbesondere während

des laufenden erfindungsgemäßen Verfahrens, ob noch weitere Reinigungsschritte folgen sollen oder ob das Objekt als ausreichend gereinigt gilt. Dazu erfolgt die Abtragung von Verschmutzungspartikeln vom Objekt mittels des Reinigungsgeräts vorzugsweise derart, insbesondere so wirksam, dass anhand der abgereinigten Partikel eine Sauberkeit bzw. ein Reinigungszustand des Objekts bestimmbar ist. Bevorzugt erfolgt die Abtragung so, dass durch das Abtragsverfahren selbst keine Signatur in einem Partikelzähler bzw. Detektor verursacht wird.

[0020] Die "Ergebniswerte" stellen dabei Werte dar, die für einen Reinigungserfolg charakteristisch sind. Es kann sich dabei um Werte von vorgegebenen Parametern handeln, mit denen vorab ein "Reinigungserfolg" definiert wurde. Ein Ergebniswert kann bspw. eine Anzahl an erfassten Verschmutzungspartikeln pro Zeit, eine Gesamtzahl an erfassten Verschmutzungspartikeln während eines kompletten letzten Reinigungsschrittes (d. h. des letzten Durchlaufs bei einer iterativen Reinigung mit mehreren Reinigungsschritten), ein bestimmter Gradient der erfassten Verschmutzungspartikel pro Zeit oder ein Wert eines anderen Parameters sein, welcher Informationen über den noch verbleibenden Verschmutzungsgrad enthalten kann. Ein Ergebniswert könnte auch so definiert sein, dass eine bestimmte Partikelgröße im Partikelbelastungsprofil ausgeschlossen ist, d.h. dass im Partikelbelastungsprofil keine Partikel (mehr) auftreten, deren Größe z.B. mehr als 10 μm beträgt.

[0021] Der Reinigungserfolg bzw. ab welchem Ergebniswert von einem Reinigungserfolg ausgegangen wird, unterscheidet sich dabei je nach Branche, für die eine Reinigung und Reinheitskontrolle durchgeführt wird, und dem zu reinigenden Objekt. Zur Festlegung des Reinigungserfolgs können - je nach Anwendungszweck unterschiedlich große - "Killerpartikel" definiert werden, d.h. Partikel, die beim Überschreiten einer kritischen Größe Fehlfunktionen bzw. einen Ausfall eines Systems verursachen. In der Automobilbranche beispielsweise sind "Killerpartikel" häufig definiert als Partikel, die größer als 50 μm sind. In der Luft- und Raumfahrt sind "Killerpartikel" häufig als Partikel mit einer Größe von mehr als 10 μm definiert. Im Bereich der Elektronik können "Killerpartikel" z.B. Partikel mit einer Größe von mehr als 1 μm sein, wobei im Bereich der Halbleitertechnologie eine Größe von "Killerpartikeln" im Nanometerbereich liegen kann. Entsprechend kann ein Reinigungserfolg zumindest mittelbar darüber definiert sein, dass im Partikelbelastungsprofil, insbesondere für eine bestimmte Zeitspanne bzw. dauerhaft, keine "Killerpartikel" auftreten.

[0022] Optional kann auch eine Protokollierung, d. h. eine Speicherung gemäß einem definierten Protokoll, des zumindest einen Partikelbelastungsprofils und/oder der Ergebniswerte erfolgen. Somit kann auch noch zu einem späteren Zeitpunkt der Reinigungserfolg zu jedem Reinigungsschritt verfolgt und nachvollzogen werden. Damit eignet sich das Verfahren zur Reinigung und Reinheitskontrolle auch zur Qualitätskontrolle von Objekten, z.B. beim Wareneingang, um spezifizierte Werte einer Oberflächensauberkeit zu protokollieren.

[0023] Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die zeitliche Abfolge und Reihenfolge der oben genannten Verfahrensschritte zur Reinigung und Reinheitskontrolle von zu reinigenden Objekten in einem Reinraum variieren und an das jeweilige Verfahren individuell angepasst werden können. So kann beispielsweise auch der global gerichtete laminare Luftstrom den Reinraum bereits durchströmen, wenn ein zu untersuchendes Objekt im Reinraum platziert wird.

[0024] Die entsprechende erfindungsgemäße Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung zur Reinigung und Reinheitskontrolle von Objekten umfasst zumindest die im Folgenden beschriebenen Komponenten: Zunächst wird ein Reinraum zur Bereitstellung des zu reinigenden und zu untersuchenden Objekts benötigt, wobei der Reinraum einen Reinraumfluidausgang, insbesondere einen Reinraumluftausgang, für einen Abluft- bzw. Abgasstrom aus dem Reinraum aufweist.

[0025] Zudem umfasst die Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung eine Beströmungsvorrichtung, welche einen global gerichteten quasi-laminaren Fluidstrom, insbesondere einen gerichteten quasi-laminaren Luftstrom, im Reinraum erzeugt, um lose Verschmutzungspartikel zu dem Reinraumluftausgang, durch welchen dann der Abluft- bzw. Abgasstrom abfließen kann, zu befördern.

[0026] Vorzugsweise kann mittels der Beströmungsvorrichtung ein Luftstrom dabei auf einer Seite des Reinraums eingeblasen werden (bevorzugt durch einen Reinraumlufteingang) und auf einer gegenüberliegenden Seite des Reinraums abgesaugt (bevorzugt durch den Reinraumluftausgang) werden, um so die quasi-laminare Strömung im Reinraum zu erzeugen. Eine weitere Komponente stellt ein Reinigungsgerät zum Abtragen von Verschmutzungspartikeln von einem zu reinigenden Objekt dar. Das Reinigungsgerät kann dabei unterschiedlich ausgebildet sein.

[0027] Zudem umfasst die Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung eine Detektionseinrichtung, zur Erfassung eines Partikelbelastungsprofils in Abhängigkeit von der Zeit. Das heißt, dass hierbei zum einen die im Abluft- bzw. Abgasstrom befindlichen Verschmutzungspartikel ermittelt bzw. erfasst werden und zum anderen die Zeit, zu der sie ermittelt bzw. erfasst worden sind. Die Detektionseinrichtung umfasst vorzugsweise einen Partikelzähler, wobei der Partikelzähler bevorzugt im oder am Abluft- bzw. Abgasstrom des Reinraums positioniert sein kann.

[0028] Zur Auswertung des Partikelbelastungsprofils und zur Ermittlung von Ergebniswerten betreffend einen Reini-

gungserfolg weist die Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung erfindungsgemäß eine Auswerteeinheit auf.

[0029] Optional umfasst die Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung eine Protokolliereinheit zur Speicherung des Partikelbelastungsprofils und/oder der Ergebniswerte. Dabei werden die gezählten Verschmutzungspartikel beispielsweise in einem Bericht erfasst und dokumentiert, wodurch die Datenerhebung stets sehr transparent und nachvollziehbar gestaltet ist.

[0030] Mittels der Reinigungs- und Kontrollvorrichtung können also schnell und einfach unerwünschte Verschmutzungspartikel von einem Objekt abgetragen bzw. entfernt werden. Zeitgleich kann dabei die Reinheit des zu reinigenden Objekts bzw. des gereinigten Objekts bei jedem Reinigungsschritt kontrolliert werden.

[0031] Ein Großteil der zuvor genannten Komponenten der Auswerteeinheit, z. B. einer Analyseeinheit etc., können ganz oder teilweise in Form von Softwaremodulen in einem Prozessor einer geeignet aufgebauten Steuereinrichtung einer Reinigungs- und Kontrollvorrichtung realisiert werden. Eine weitgehend softwaremäßige Realisierung hat den Vorteil, dass Steuereinrichtungen jederzeit auf einfache Weise durch ein Software-Update aktualisiert werden können. Insofern wird die Aufgabe auch durch ein entsprechendes Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm gelöst, welches direkt in eine Speichereinrichtung einer Steuereinrichtung einer Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung, insbesondere einer Auswerteeinheit, ladbar ist, mit Programmabschnitten, um alle Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen, wenn das Programm in der Steuereinrichtung ausgeführt wird. Ein solches Computerprogrammprodukt kann neben dem Computerprogramm gegebenenfalls zusätzliche Bestandteile wie z. B. eine Dokumentation und/oder zusätzliche Komponenten, auch Hardware-Komponenten, wie z.B. Hardware-Schlüssel (Dongles etc.) zur Nutzung der Software, umfassen.

[0032] Zum Transport zur Steuereinrichtung und/oder zur Speicherung an oder in der Steuereinrichtung kann ein computerlesbares Medium, beispielsweise ein Memorystick, eine Festplatte oder ein sonstiger transportabler oder fest eingebauter Datenträger dienen, auf welchem die von einer Rechneinheit der Steuereinrichtung einlesbaren und ausführbaren Programmabschnitte des Computerprogramms gespeichert sind. Die Rechneinheit kann z. B. hierzu einen oder mehrere zusammenarbeitende Mikroprozessoren oder dergleichen aufweisen.

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

[0034] Bei einer entsprechenden Reinigung und Reinheitskontrolle eines zu reinigenden Objekts bzw. eines Bauteils werden die mittels des Partikelzählers erfassten Verschmutzungspartikel vorzugsweise auch partikelgrößenaufgelöst erfasst, also beispielsweise als Funktion von Zeitschritten und Größenkanälen. D. h. die Verschmutzungspartikel werden für jeden Reinigungsschritt nicht nur in Abhängigkeit von der Zeit, sondern auch in Abhängigkeit von ihrer Größe erfasst. So kann beispielsweise erfasst werden, wie viele Verschmutzungspartikel der Größe bis $0,3\ \mu\text{m}$, bis $0,5\ \mu\text{m}$, ... usw. oder bis $25,0\ \mu\text{m}$ gezählt wurden. Die Größenkanäle selbst bzw. die Schrittweiten zwischen den Partikelgrößen können dabei individuell in Abhängigkeit von dem Objekt und der Branche, für welche eine Reinigung durchgeführt wird, gewählt werden.

[0035] Die partikelgrößenaufgelöste Erfassung der Verschmutzungspartikel kann hinsichtlich verschiedener Kriterien ausgewertet werden.

[0036] So repräsentiert z. B. die Größenverteilung der abgetragenen Verschmutzungspartikel im Allgemeinen eine Art e-Funktion, insbesondere einen näherungsweise exponentiellen Verlauf. Das heißt, es wird eine sehr große Anzahl von sehr kleinen Verschmutzungspartikeln erfasst und mit zunehmender Partikelgröße wird die Anzahl der erfassten Verschmutzungspartikel immer geringer. Zeigt sich also z. B. nach mehreren Reinigungsschritten eine saturierende Partikelmessung (d. h., wenn bspw. bei jedem Reinigungsschritt immer eine selbe Anzahl an Verschmutzungspartikeln abgetragen wird und die Größenverteilung der abgetragenen Verschmutzungspartikel keine angenäherte e-Funktion darstellt), kann dies ein Signal dafür sein, dass Partikel des Objekts selbst abgetragen werden. Beispielsweise kann es bei der Reinigung von Objekten aus gesintertem Material mittels einer abrasiven Reinigung zu einer Ablösung von Granulat kommen, was zu einem konstanten Abreinigungsverlauf führen kann, wobei z.B. überwiegend gleichgroße Partikel abgetragen werden.

[0037] Es kann aber auch ein Zeichen für eine fehlerhafte Vorreinigung eines Objekts sein, wobei es in der Folge dazu kommen kann, dass in dem beschriebenen Verfahren zur Reinigung und Reinheitskontrolle zunächst (noch) nicht entfernte Verunreinigungsschichten vom Objekt abgetragen werden, so dass die Größenverteilung ggf. erst zu einem späteren Zeitpunkt einen angenäherten exponentiellen Verlauf hat. In beiden Fällen ist die Reinigung abubrechen und eventuelle Vortests sind durchzuführen. Ein Vortest könnte z.B. darin bestehen, dass gezielt eine lokale Reinigung einer definierten Stelle (Spot) des Objekts erfolgt, wobei der zeitliche Verlauf des Reinigungsergebnisses zeitlich erfasst wird. Zusätzlich könnte dieselbe Stelle mit weiteren Verfahren, z.B. mittels Mikroskopie, näher analysiert werden, beispielsweise während und/oder nach der lokalen Reinigung.

[0038] Die Auswertung des Partikelbelastungsprofils kann also somit nicht nur zur Ermittlung von Ergebniswerten

dienen, sondern auch als Kontrolle, dass ein Objekt durch eine Reinigung nicht beschädigt wird oder aber, ob bestimmte Einstellparameter, wie beispielsweise ein Strahlwinkel, eine Strahlstärke des Reinigungsgeräts, etc. korrekt eingestellt sind.

[0039] Vorzugsweise wird die Reinigung eines Objekts bei einer Erreichung eines festgelegten Abbruchkriteriums gestoppt bzw. abgebrochen.

[0040] Ein bevorzugtes Abbruchkriterium kann natürlich die Erreichung des gewünschten Reinigungserfolgs sein. Insbesondere kann ein Abbruchkriterium sein, dass ein bestimmter Ergebniswert im Partikelbelastungsprofil ermittelt bzw. festgestellt wird.

[0041] Ein Abbruchkriterium, welches mit dem Eintritt eines gewünschten Reinigungserfolgs zusammenhängt, kann wie schon beschrieben z. B. sein, dass keine Verschmutzungspartikel einer bestimmten maximalen Größenordnung ("Killerpartikel") mehr erfasst werden (im Partikelbelastungsprofil), beispielsweise, dass kein erfasster Verschmutzungspartikel mehr größer als 10 μm sein sollte. Dieses Ergebnis kann aus den erfassten Daten als Reinheitsnachweis ausgestellt werden, z.B. zu Dokumentationszwecken.

[0042] Ein weiteres Abbruchkriterium, welches mit dem Eintritt eines gewünschten Reinigungserfolgs zusammenhängt, kann z. B. sein, dass nach einem Reinigungsschritt ermittelt wird, ob eine bestimmte Konzentration an Verschmutzungspartikeln auf einer Objektoberfläche erreicht und/oder unterschritten ist. Beispielsweise könnte ein bestimmter Grenzwert an Partikeln, insbesondere "Killerpartikeln", pro Flächeneinheit des Objekts vorgegeben sein, wobei im Verfahren (indirekt) die Objektoberfläche hinsichtlich der Partikelkonzentration kontinuierlich überwacht wird. Dazu kann vorzugsweise die Anzahl an Verschmutzungspartikeln, die in einem jeweiligen Reinigungsschritt abgereinigt wurden, und/oder die Summe der Verschmutzungspartikel, die in bereits durchgeführten Reinigungsschritten abgereinigt wurden, aufgetrennt nach unterschiedlichen Größenklassen bestimmt und/oder dargestellt werden.

[0043] Vorzugsweise kann sich das Verfahren die Tatsache zu Nutze machen, dass eine Korrelation zwischen dem Partikelbelastungsprofil eines Reinigungsschritts und einer Verschmutzungspartikelkonzentration auf einem Objekt besteht. Insbesondere kann das Partikelbelastungsprofil in Korrelation mit einem noch verbleibenden Verschmutzungsgrad eines Objekts stehen. Beispielsweise könnte ein Abbruchkriterium sein, dass kein Partikel mit einem Durchmesser einer bestimmten Größe, z.B. größer als 25 μm , mehr auf einem Objekt vorhanden ist. Vorzugsweise kann in dem Verfahren ein solcher Nachweis (indirekt) darüber erbracht werden, dass ein zugeordneter Größenkanal im Partikelbelastungsprofil leer bleibt (am Ende eines Reinigungsschritts). Bevorzugt kann ein Abbruchkriterium dann sein, dass auf einer definierten Fläche des Objekts und/oder auf der gesamten Objektoberfläche kein (durch die Reinigung ablösbarer) Partikel einer bestimmten Größe mehr vorhanden ist. Diese Art der Reinigung kann deshalb auch als "Reinigung gegen Null" bezeichnet werden.

[0044] Vorteilhafterweise kann in demselben Verfahren eine Reinigung eines Objekts erfolgen und auch ein Nachweis über eine gewünschte bzw. bestimmte Reinigung generiert werden. Insbesondere kann über ein geeignetes Abbruchkriterium eine (indirekte) Verifikation einer ausreichend gründlichen Reinigung (als Reinigungserfolg) erzeugt werden. Weiter vorteilhaft kann bei einer "Reinigung gegen Null" in Bezug auf einen bestimmten Größenkanal mittels einer rückwärts gerichteten Extrapolation eine Konzentration der betreffenden Partikel auf einem Objekt für die vorherigen Reinigungsschritte bestimmt werden, insbesondere auch eine Ausgangsver Verschmutzung des Objekts mit Partikeln dieser Größe.

[0045] Weiterhin könnte in dem Verfahren ein Abgleich zwischen einem Partikelbelastungsprofil eines bestimmten Reinigungsschritts (als Istwert) und einem dem Reinigungsschritt zugeordneten "Soll-Partikelbelastungsprofil" (als Sollwert) erfolgen, z.B. nach jedem Reinigungsschritt. Beispielsweise könnten derartige "Soll-Partikelbelastungsprofile" objektspezifisch und für eine Anzahl von Reinigungszyklen in Vortests ermittelt werden. Vorzugsweise kann dann auf Grundlage eines Partikelbelastungsprofils eines bestimmten Reinigungszyklus und einem Abgleich mit einem zugeordneten Sollwert eine verbleibende Verschmutzung auf einem Objekt zumindest näherungsweise bestimmt werden (als Ergebniswert und/oder Abbruchkriterium).

[0046] Vorzugsweise kann eine zuvor beschrieben (indirekte) Bestimmung einer Sauberkeit des Objekts durch Verfahren zur direkten Ermittlung einer Objektsauberkeit ergänzt, insbesondere validiert, werden. Beispielsweise können auf einem zu reinigenden Objekt Prüfflächen ("witness plates") angeordnet sein, die nach einer Anzahl von Reinigungsschritten auf Restschmutz hin bewertet werden, z.B. mittels spülenden oder mikroskopischen Verfahren. Als weiteres (direktes) Nachweisverfahren könnte z.B. das Streulichtverhalten von auf die Objektoberfläche auftreffenden Laserstrahlen genutzt werden. Weiterhin könnte eine Objektoberfläche bzw. zumindest einige Teile, wie z.B. eine Kluft im Bauteil, abgesaugt werden, wobei dann ein abgesaugtes Medium auf Verschmutzungspartikel hin untersucht wird.

[0047] In Ausnahmefällen kann es auch sein, dass aus irgendwelchen Gründen der eigentlich gewünschte Reinigungserfolg nicht erreicht wird. Für diese Fälle kann vorzugsweise zusätzlich auch als ein weiteres Abbruchkriterium die Durchführung einer bestimmten maximalen Anzahl an Reinigungsschritten vorgesehen sein.

[0048] Ebenso kann aber auch das Erreichen einer Anzahl von Reinigungsschritten als Abbruchkriterium verwendet werden, wenn aufgrund der Erfahrung bekannt ist, dass für das jeweilige Objekt mit einer jeweils verwendeten Reinigungsmethode nach dieser Anzahl von Reinigungsschritten mit einer ausreichenden Sicherheit das gewünschte Reinigungs-

ergebnis erreicht wird.

[0049] Die Anzahl der Reinigungsschritte kann in den jeweiligen Fällen vorzugsweise basierend auf Erfahrungswerten eingestellt werden.

[0050] Um zu bewerten, ob ein Reinigungserfolg eingetreten ist, werden die von der Auswertereinheit ermittelten Ergebniswerte benötigt. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird hierbei eine "lokale" (d. h. orts aufgelöste) Auswertung, z. B. mittels einer "Lokalreinigungs-Auswertereinheit", und eine "globale" (d. h. über alle Orte auf der Objektoberfläche integrierte bzw. aufsummierte) Auswertung, z. B. mittels einer "Globalreinigungs-Auswertereinheit", durchgeführt. Die Begriffe "lokal" und "global" beziehen sich dabei jedoch nicht auf die Orte, an denen die Auswertereinheiten angeordnet sind, sondern auf deren Funktion, d. h. ob sie für die lokale bzw. orts aufgelöste Auswertung dienen oder für eine globale bzw. integrierende Auswertung.

[0051] Besonders bevorzugt handelt es sich bei dem Verfahren um ein "scannendes" Reinigungsverfahren. Das bedeutet, dass ein Objekt im durchströmten Raum abgerastert oder flächig gereinigt wird, wobei der Reinigungserfolg in Echtzeit (live) dargestellt wird, so dass eine örtliche Zuordnung von abgetragenen Partikeln bzw. von einer Kontamination in Bezug auf die Objektoberfläche möglich ist. Hieraus entsteht z.B. die Möglichkeit eine Art "Reinheitstomographie" des Objekts zu betreiben. Vorteilhafterweise kann z.B. nach einem Durchlauf bzw. einem Reinigungsschritt bestimmten Teilen der Objektoberfläche bzw. einzelnen Objektpunkten ein Ausgangsvermüllwert zugeordnet werden. Weiter vorteilhaft kann mittels einer Tomographischen Reinigung eine Ursachenerforschung von Kontaminationsquellen und auch eine Bewertung von unterschiedlichen Reinigungsverfahren erfasst und/oder dokumentiert werden. Beispielsweise kann im Rahmen einer Qualitätssicherung geprüft werden, ob eine bestimmte Stelle bzw. Fläche eines Objekts einen gewissen Grad an Verunreinigung hat, z.B. eine maximal zulässige Verschmutzungspartikelkonzentration.

[0052] Vorzugsweise kann mittels des Reinigungsverfahrens eine gezielte Reinigung von bestimmten Flächen oder Abschnitten eines Objekts erfolgen, was vorteilhaft im Hinblick auf Bauteile mit unterschiedlichen Reinheitsansprüchen und/oder hinsichtlich einer Funktionalität von Bauteilen sein kann. Es kann z.B. erforderlich sein, dass bestimmte (Grenz-)Flächen eines Objekts nicht gereinigt werden sollen, insbesondere nicht mit einem Reinigungsstrahl beaufschlagt werden, beispielsweise um eine unkontrollierte Verteilung einer Kontamination wie z.B. Schmiermittel zu vermeiden oder um besonders empfindliche Bauteilbereiche wie beschichtete Spiegel, Detektoreinheiten aber auch optische Spaltmaße zu schützen. Es wäre auch möglich, dass nur bestimmte Flächen gezielt gereinigt werden sollen, um diese z.B. für nachfolgende Arbeitsschritte wie Kleben oder Beschichten vorzubereiten. In diesem Fall sind die angrenzenden Flächen ohne Bedeutung, wobei durch die gezielte Reinigung verhindert werden kann, dass eine möglicherweise auf den angrenzenden Flächen vorhandene Kontamination unkontrolliert umverteilt wird.

[0053] Die Globalreinigungs-Auswertereinheit erfasst dementsprechend eine Abreinigung von Verunreinigungen auf der gesamten zu reinigenden Oberfläche des Objekts. Bei dieser Form der Auswertung werden die ermittelten, z. B. mittels des Partikelzählers gezählten, Verschmutzungspartikel über alle Orte auf der Objektoberfläche aufsummiert bzw. integriert. Hierbei werden die Verschmutzungspartikel, vorzugsweise in Abhängigkeit von ihrer Größe bzw. nach Größen oder Größenklassen getrennt, aufsummiert. Beispielsweise werden alle erfassten Verschmutzungspartikel bis zu einer Größe von $0,3 \mu\text{m}$ aufsummiert, zugleich werden alle Verschmutzungspartikel, die größer als $0,3 \mu\text{m}$ und kleiner gleich $0,5 \mu\text{m}$ sind, aufsummiert usw. Dies erfolgt bevorzugt für jeden einzelnen Reinigungsschritt bzw. Reinigungsdurchlauf.

[0054] Die Lokalreinigungs-Auswertereinheit erfasst bzw. bestimmt hingegen bevorzugt mittels einer geeigneten Koordinatenbestimmungseinheit eine Abreinigung (orts aufgelöste Reinigungsauswertung) von Verunreinigungen auf einem zu reinigenden Objekt in einem jeweils aktuell gereinigten lokalen Bereich. D. h. es wird angegeben, wie viele Verschmutzungspartikel auf einer bestimmten Fläche an einem bestimmten Ort auf einem gereinigten Objekt sind bzw. von dieser abgetragen worden sind.

[0055] Die Koordinatenbestimmungseinheit ermittelt bzw. bestimmt dabei vorzugsweise die aktuell zu reinigende Stelle bzw. den "aktuellen Reinigungsort" des im Reinraum befindlichen Objekts. Ein aktueller Reinigungsort beschreibt dabei den Auftreffpunkt des Reinigungsstrahls auf das zu reinigende Objekt. Durch die Ortsbestimmung der aktuell gereinigten Stelle bzw. aktuell gereinigten Oberfläche eines Objekts und die Zählung der Verschmutzungspartikel können unter Berücksichtigung der Strömungsgeschwindigkeit der quasi-laminaren Strömung (zur Bestimmung der Zeitverzögerung zwischen Abtragung der Verschmutzungspartikel und dem Zählen dieser abgetragenen Verschmutzungspartikel am Reinraumluftausgang) die lokalen Verunreinigungen auf einem zu reinigenden Objekt bzw. einem gereinigten Objekt bestimmt (worunter auch eine ausreichende gute Schätzung zu verstehen ist) werden.

[0056] Weist die quasi-laminare Strömung im Reinraum z. B. (wie bevorzugt) eine Strömungsgeschwindigkeit von ca. $0,4 \text{ m/s}$ auf, würde ein Verschmutzungspartikel, der von einem Objekt abgetragen wurde und ca. 2 m bis zu einem Reinraumluftausgang mittels der laminaren Strömung getragen wird, hierfür ca. 5 Sek. benötigen. Es muss also nur diese Zeitspanne als Offset zwischen dem Zeitpunkt des Abreinigens der Verschmutzungspartikel von einem bestimmten Reinigungsort und dem Zeitpunkt der Bestimmung der Verschmutzungspartikelanzahl berücksichtigt werden, um so festzustellen, von welchem Reinigungsort auf dem Objekt wie viel Verschmutzungspartikel stammen. Für ein besonders aussagekräftiges bzw. genaues Resultat kann vorzugsweise ein gepulster Reinigungsstrahl verwendet werden. Zur

Bestimmung eines geeigneten zeitlichen Offsetwerts zwischen Reinigungsprozess und Messwerterfassung oder zur sonstigen Zuordnung der Messzeiten zu den jeweiligen Reinigungsorten auf dem zu reinigenden Objekt werden später noch Beispiele gegeben.

[0057] Die Koordinatenbestimmungseinheit kann unterschiedlich ausgebildet sein. Die Koordinatenbestimmungseinheit kann dabei getrennt von der Steuereinrichtung ausgebildet sein. Die Koordinatenbestimmungseinheit kann vorzugsweise aber auch ein Teil der Steuereinrichtung sein bzw. in dieser integriert sein.

[0058] Um einen aktuellen Reinigungsort auf dem Objekt zu bestimmen, werden die Koordinaten des Reinigungsstrahls sowie die Koordinaten des zu reinigenden Objekts in Relation gestellt. Dazu können die Geometriedaten des Objekts bzw. des zu reinigenden Objekts (beispielsweise durch Kameraaufnahmen) hinzugenommen werden und/oder es kann ein Verfahrensweg des Reinigungsstrahls mit genutzt werden.

[0059] Vorzugsweise werden zur lokalen Auswertung des aktuellen Reinigungsorts auf einem aktuell gereinigten Objekt Raumkoordinaten einer aktuellen Objektposition des zu reinigenden Objekts, Geometriedaten der Oberfläche des Objekts und Raumkoordinaten einer aktuellen Geräteposition des Reinigungsgeräts verwendet. Mithilfe dieser Daten kann der Auftreffpunkt des Reinigungsstrahls des Reinigungsgeräts bzw. der aktuelle Reinigungsort ermittelt werden.

[0060] Bei einem Ausführungsbeispiel des Verfahrens zur Reinigung und Reinheitskontrolle eines zu reinigenden Objekts wird vorzugsweise mittels einer Steuereinrichtung das Reinigungsgerät automatisch gesteuert. Hierdurch kann beispielsweise eine zu reinigende Stelle eines Objekts genau angesteuert bzw. anvisiert werden, wobei die Position bzw. die aktuellen Koordinaten des Reinigungsgeräts mittels der Koordinatenbestimmungseinheit bestimmt werden können. Die Koordinaten können dann, vorzugsweise von der Steuereinrichtung, an die Lokalreinigungs-Auswerteeinheit übersendet werden, die die Daten entsprechend auswertet.

[0061] Zur Bestimmung der benötigten Geometriedaten des Objekts kann die Koordinatenbestimmungseinheit beispielsweise ein Koordinatenmessgerät umfassen, das z. B. über Röntgenstrahlung, Lasertracker und/oder taktile Sensoren eine Geometrie bzw. Oberfläche des Objekts abtastet und so entsprechende Koordinaten erfasst, und/oder eine oder mehrere Kameras oder andere optische Messsysteme, welche die Geometrie bzw. die Oberflächen eines Objekts im Reinraum erfassen können.

[0062] Vorzugsweise kann das Objekt zudem während der Reinigung im Reinraum mittels eines Manipulators gelagert werden. Ein Manipulator beschreibt dabei eine Vorrichtung zur Halterung und/oder zum Bewegen von Objekten im Reinraum. Der Manipulator wird dabei bevorzugt mittels der oben genannten Steuereinrichtung, vorzugsweise in Korrelation zur Steuerung des Reinigungsgeräts, automatisch gesteuert. So können beispielsweise in Abhängigkeit von der aktuellen Reinigung mittels des Reinigungsgeräts die Drehrichtung, Drehgeschwindigkeit etc. des Manipulators eingestellt werden. Dadurch können alle Punkte der zu reinigenden Oberfläche des Objekts gemäß einer vordefinierten Trajektorie abgefahren werden.

[0063] Der Manipulator kann dabei auf unterschiedliche Weise ausgebildet sein. Bevorzugt ist der Manipulator als ein Roboter ausgebildet, besonders bevorzugt als ein Drehteller. Ein Manipulator kann vorzugsweise dazu ausgebildet sein, um Objekte unterschiedlicher Größe während der Reinigung zu lagern, z.B. Objekte im Zentimeterbereich bis hin zu dreidimensionalen Strukturen mit einem Rauminhalt von mehreren Kubikmetern. Je nach Objekt kann es auch erforderlich sein, dass ein Reinigungsgerät, insbesondere ein daraus austretender Reinigungsstrahl, zur Reinigung manuell durch einen Operator gegenüber dem Objekt bewegt wird. Alternativ oder zusätzlich kann auch das Objekt zur Reinigung manuell gegenüber einem (ortsfesten) Reinigungsgerät bewegt werden, z.B. eine ortsfeste Reinigungsdüse.

[0064] Sofern das Objekt bei einer manuellen Reinigung durch eine Person bzw. einen Operator händisch oder mittels einer Zange oder Ähnlichem gehalten und entsprechend gedreht bzw. ausgerichtet wird, kann ebenfalls eine Bestimmung des aktuellen Reinigungsortes möglich sein, beispielsweise mithilfe eines Kamerasystems oder dergleichen. Dabei könnten beispielsweise auch optische Marker auf der Zange angebracht sein, die mittels der Koordinatenbestimmungseinheit ausgelesen werden können. Somit könnte auch bei einer manuellen Führung des Objekts dessen aktuelle Position indirekt bestimmt werden.

[0065] Die lokale Auswertung kann also unter anderem erfolgen, indem die Koordinatenbestimmungseinheit die Koordinaten einer aktuellen Geräteposition des Reinigungsgeräts und/oder die aktuellen Koordinaten eines Manipulators oder die einer manuellen Führung des Objekts erfasst. Beispielsweise könnte es bei sehr großen Objekten der Fall sein, dass das Objekt selbst im Reinraum während des Verfahrens nicht bewegt wird, wobei dann mittels der Koordinatenbestimmungseinheit nur die Koordinaten einer aktuellen Geräteposition des Reinigungsgeräts erfasst werden, wobei die Koordination des (statischen) Objekts bekannt sind und zur lokalen Auswertung verwendet werden.

[0066] Sämtliche Daten, beispielsweise die Steuerdaten für das Reinigungsgerät, die Steuerdaten für den Manipulator, die Geometriedaten des Objekts können innerhalb der Koordinatenbestimmungseinheit in geeigneter Weise kombiniert werden, um jeweils den aktuellen Reinigungsort auf dem Objekt zu bestimmen.

[0067] Eine bevorzugte Variante, die Zeit der Messung von Verschmutzungspartikeln dem jeweiligen Reinigungsort zuzuordnen, von dem die Verschmutzungspartikel abgereinigt wurden, und gegebenenfalls der Ermittlung eines geeigneten Offsetwerts zwischen Reinigungsprozess und Messwerterfassung, besteht in der Synchronisierung (bzw. Zuordnung) einer zeitlichen Reinigungsabfolge und einer Auswertung eines zuvor erfassten Partikelbelastungsprofils. Hierzu

werden vorzugsweise ein objektspezifisches Dekontaminationsereignismuster und ein aktuelles Dekontaminationsereignismuster erstellt und einander zugeordnet.

[0068] Dabei kann zunächst ein Objekt, bevorzugt ein Prüfnorm (d.h. ein Norm-Objekt, welches einem als Norm vorgegebenen Muster des später zu reinigenden und zu überprüfenden Objekts entspricht), in dem Reinraum der Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung bereitgestellt und gereinigt werden. Das Bauteil weist dabei eine bekannte Oberflächenstruktur bzw. ein bekanntes Oberflächenmuster, beispielsweise in Form von diversen Bohrlöchern unterschiedlicher Größen und Ausführungen (z. B. Gewindebohrungen, Durchgangsbohrungen), Hinterschneidungen etc., auf. Die durch die Reinigung abgetragenen und am Reinraumluftausgang ankommenden Verschmutzungspartikel werden mittels des Partikelzählers erfasst. Auf Basis der erfassten Verschmutzungspartikel kann mittels der Detektionseinrichtung und der Auswerteeinheit ein objektspezifisches Dekontaminationsereignismuster für dieses (Norm-)Objekt in Abhängigkeit von der Zeit erstellt werden. Aufgrund der bekannten Geometrie des Objekts können so bestimmte "Ereignisse" des objektspezifischen Dekontaminationsereignismusters, wie beispielsweise Messspitzen bei den erfassten Verschmutzungspartikeln, einem spezifischen Ort auf dem Bauteil zugeordnet werden. Z. B. könnten zwei hintereinander folgende Erhöhungen in der Verschmutzungspartikelanzahl auf zwei nebeneinanderliegende Bohrlöcher des Bauteilerignismusters verweisen. Hierdurch ist es möglich festzustellen, welcher Reinigungsort wann gereinigt worden ist und wie viele Verschmutzungspartikel an diesem Ort abgetragen worden sind. Es kann vorteilhaft sein, wenn das Norm-Objekt mittels einer gepulsten Reinigung gereinigt wird, um die Zuordnung von "Ereignissen" zeitlich aufzufächern. Beispielsweise könnte die Reinigung mittels eines gepulsten Reinigungsstrahls erfolgen, wobei auch eine Kombination von gepulstem Betrieb und Dauerbetrieb möglich ist.

[0069] Um ein "normiertes" objektspezifisches Dekontaminationsereignismuster zu erstellen, können auch vorzugsweise mehrere Objekte, welche die gleiche Geometrie aufweisen, in verschiedenen Reinigungsdurchläufen gereinigt werden. Anhand der erfassten Verschmutzungspartikel wird für diese Bauteile ein gemeinsames objektspezifisches Dekontaminationsereignismuster erstellt bzw. ein Mittel aus den einzelnen objektspezifischen Dekontaminationsereignismustern gebildet. Somit können eventuelle Messungenauigkeiten, Messausreißer etc. ausgeglichen werden.

[0070] Wird nun erneut ein Bauteil mit der gleichen Geometrie gereinigt, so kann wieder mittels der Detektionseinrichtung ein aktuelles Dekontaminationsereignismuster in Abhängigkeit von der Zeit erstellt werden. Das aktuelle Dekontaminationsereignismuster kann daraufhin mit dem (ggf. "normierten") objektspezifischen Dekontaminationsereignismuster verglichen bzw. diesem zugeordnet werden. Durch diese Zuordnung kann schnell festgestellt werden, wann wo welche Verschmutzungspartikel auf dem aktuell gereinigten Bauteil abgetragen worden sind.

[0071] In Abhängigkeit von der Beschaffenheit eines zu reinigenden Objekts, dem zu erzielenden Reinigungserfolg etc. kann eine Reinigung mittels des Reinigungsgeräts, wie bereits kurz erläutert, auf unterschiedliche Weise erfolgen.

[0072] Vorzugsweise wird bei einer Reinigung des Objekts eine aktuell zu reinigende Stelle des Objekts mit einem CO₂-Schneestrahle, austretend aus dem Reinigungsgerät, beaufschlagt. Dabei werden mittels Druckluft CO₂-Schneekristalle beschleunigt, welche mit großer kinetischer Energie auf Oberflächen des zu reinigenden Objekts treffen und die Verschmutzungspartikel durch den Impulsübertrag wegstoßen. Alternativ oder zusätzlich können Verschmutzungspartikel in Folge einer Umwandlung von CO₂-Schneekristallen in einen gasförmigen Zustand von einer Objektoberfläche abgelöst werden, insbesondere über Thermoschock. Die Verschmutzungspartikel werden also in eine Art Schwebzustand gebracht. Da der CO₂-Schnee bei Raumbedingungen nicht stabil ist, bleiben zum einen auf der Oberfläche des gereinigten Objekts keine CO₂-Partikel haften und zum anderen werden keine CO₂-Partikel zu einem Reinraumausgang fortgetragen, so dass sie bei einer Partikelzählung nicht miterfasst werden.

[0073] Besondere Vorteile können sich daraus ergeben, dass eine Größe der einzelnen CO₂-Flocken eingestellt werden kann, beispielsweise ein Durchmesser von nur wenigen Mikrometern, wobei eine sehr präzise Reinigung von bestimmten Oberflächenteilen eines Objekts möglich ist. Da ein CO₂-Strahl üblicherweise keinen echten (physischen) Kontakt zum Objekt hat, kann eine vergleichsweise schonende Reinigung des Objekts erfolgen.

[0074] Vorteilhafterweise lassen sich mittels einer CO₂-Reinigung auch ansonsten nur schwer zu reinigende Oberflächen reinigen, z.B. integrierte Kabelbäume auf einer Hardware, beschichtete Oberflächen, schwarze absorbierende Flächen, elektronische Bauteile und bestückte Platinen. Die CO₂-Reinigung kann auch zur Sterilisation von Bauteilen, Werkzeug und Transport- bzw. Lagerbehältnissen genutzt werden, insbesondere zur Reinigung von strukturierten Oberflächen wie Glas oder Kohlefaser oder für eine großflächige Strahlreinigung. Besonders vorteilhaft können mittels einer CO₂-Reinigung auch Textilien, insbesondere textile Oberflächen im Allgemeinen, gereinigt werden. In dem beschriebenen Verfahren ist es durch den geführten CO₂-Strahl möglich, besonders sensitive Oberflächen eines Objekts vor dem CO₂-Strahl zu schützen, ggf. durch zusätzliche Beaufschlagung mit einem Inertgas.

[0075] Die Reinigung des Objekts mit einem CO₂-Schneestrahle in Kombination mit der beschriebenen Auswertung eines zugehörigen Partikelbelastungsprofils kann mit Vorteil für eine finale Reinigung eines Objekts eingesetzt werden, da das Verfahren eine Verifikation des Reinigungserfolgs beinhaltet. Allerdings kann das beschriebene Verfahren auch zur Vorbehandlung eines Objekts dienen, z.B. zur Vorbereitung von weiteren Prozessen wie Kleben, Lackieren, Schweißen oder einer Oberflächenveredelung.

[0076] Um eine zu reinigende Stelle eines Objekts mittels eines Reinigungsstrahls des Reinigungsgeräts der Reini-

gungs- und Reinheitskontrollvorrichtung zu erreichen, weist das Reinigungsgerät bevorzugt eine Düsenanordnung umfassend zumindest eine Düse auf. Dies eignet sich vor allem bei einer Reinigung mittels eines CO₂-Schneestrahls. Dabei weist die zumindest eine Düse bevorzugt einen Strahlspot von maximal 5 mm², besonders bevorzugt von maximal 3,5 mm² und ganz besonders bevorzugt von maximal 2 mm² auf.

[0077] Bevorzugt ist die Düsenanordnung des Reinigungsgeräts im Abstand von maximal 20 cm, besonders bevorzugt maximal 15 cm und ganz besonders bevorzugt maximal 10 cm von einer zu reinigenden Oberfläche eines Objekts angeordnet, um so einen bestmöglichen Reinigungserfolg zu erzielen.

[0078] Des Weiteren umfasst die Düsenanordnung zudem oder stattdessen eine Düsenreihe, bei der mehrere Düsen nebeneinander angeordnet sind, bevorzugt maximal 36 Düsen nebeneinander, besonders bevorzugt maximal 30 Düsen und ganz besonders bevorzugt maximal 25 Düsen. Je nach Anzahl der Düsen kann so die Größe eines abgestrahlten Bereichs (bei gleichbleibender Position der Düse) auf einem zu reinigenden Objekt angepasst werden.

[0079] Anstelle eines CO₂-Schneestrahls oder zusätzlich kann eine aktuell zu reinigende Stelle des Objekts mit einer anderen, vorzugsweise punktförmigen, Strahlungsquelle, wie beispielsweise einem Laserstrahl oder Infrarotstrahl, ausstrahlend aus dem Reinigungsgerät, beaufschlagt werden. Es wäre grundsätzlich auch möglich, den CO₂-Schneestrahls so einzustellen, dass darüber ein im Wesentlichen punktförmiger Bereich eines Objekts abgestrahlt wird.

[0080] Bei einer Reinigung mittels eines Laserstrahls kann der Laser beispielsweise durch Auswahl einer Linse mit einer entsprechenden Brennweite in Abhängigkeit von einem zu reinigenden Objekt eingestellt werden. Durch diese Art der Reinigung können bspw. an der Reinigungsstelle des Objekts u. a. auch chemische Verunreinigungen verdampfen, z.B. Schmierstoffe als Kohlenwasserstofffilme oder andere Fertigungsrückstände. Besonders bevorzugt können auch (verdampfte) chemische Verunreinigungen in dem Verfahren erfasst und mittels einer Auswerteeinheit ausgewertet werden, insbesondere so, dass eine örtliche Zuordnung von chemischen Verunreinigungen in Bezug auf die Objektoberfläche möglich ist.

[0081] Somit können mittels des Verfahrens, insbesondere über zumindest einen CO₂-Schneestrahls und/oder einen Laserstrahl, vorteilhafterweise neben physikalischen Verunreinigungen auch chemische sowie mikrobiologische Verunreinigungen auf einem zu reinigenden Objekt entfernt werden. Beispielsweise könnte eine chemische Verunreinigung direkt mittels Wärme zersetzt werden zur Entfernung. Es wäre auch möglich, dass eine chemische Verunreinigung in einem ersten Schritt nur angelöst wird, z.B. sofern sich auf der Objektoberfläche eine Verunreinigung mit mehreren Schichten befindet, könnte im ersten Schritt eine außenliegende Schicht angelöst werden, wobei in einem nachfolgenden Reinigungsschritt die angelösten Verschmutzungspartikel dieser Schicht vom Objekt entfernt werden. Erforderlichenfalls kann dieses Vorgehen für weitere auf dem Objekt befindliche Verunreinigungsschichten wiederholt werden.

[0082] Mit dem Verfahren lässt sich auch ein flächiges Abreinigung von chemischen Verunreinigung erfassen. Beispielsweise könnte eine größere Objektoberfläche von einer Chemikalie, wie z.B. einem Desinfektionsmittel gereinigt werden, wobei dann eine etwas gröber skalierte "Reinheitstomographie" anstatt einzelner Partikel möglich ist.

[0083] Alternativ oder zusätzlich kann ein Objekt zur Entfernung von physikalischen, chemischen und/oder mikrobiologischen Verunreinigungen von der Oberfläche mit überkritischem Kohlenstoffdioxid beaufschlagt werden, insbesondere über das Reinigungsgerät. Da CO₂ in einem superkritischen Zustand eine chemische Löslichkeit für organische Verbindungen hat, können in dem Reinigungsverfahren (bei geeigneten Parametern) auch chemische und/oder mikrobiologische Verunreinigung entfernt werden. Vorteilhafterweise treten diese abgelösten Verunreinigungen in den Gasstrom im Reinraum ein und können mittels des beschriebenen Verfahrens, insbesondere ortsaufgelöst, erfasst werden. Bevorzugt kann das Verfahren zur Reinigung und Reinheitskontrolle zur Ermittlung von Verunreinigungen, insbesondere von chemischen und/oder mikrobiologischen Verunreinigung, eine Analyse von Spurengasen beinhalten, wobei vorzugsweise die Detektionseinrichtung eine entsprechende Spurengas-Analytik aufweist.

[0084] Die Verschmutzungspartikel auf einem zu reinigenden Bauteil werden also vorzugsweise durch die Beaufschlagung mit einem Reinigungsstrahl vom Bauteil gelöst, in Schwebelage gebracht und können so mittels des quasilaminaren Luftstroms zum Reinraumausgang befördert werden. Aufgrund der Beschaffenheit des Reinigungsstrahls (CO₂-Schneestrahls, Strahlungsquelle), werden etwaige Partikel des Reinigungsstrahls bzw. Partikel des überkritischen CO₂ nicht zum Reinraumausgang befördert und werden so durch den Partikelzähler nicht miterfasst. Es werden also nur die tatsächlichen Verschmutzungspartikel erfasst.

[0085] Zur Erfassung eines Partikelbelastungsprofils in Abhängigkeit von der Zeit umfasst die Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung, wie bereits beschrieben, eine Detektionseinrichtung. Vorzugsweise umfasst die Detektionseinrichtung dazu zumindest einen Partikelzähler bzw. Detektor. Der Partikelzähler kann zumindest jeweils einen, vorzugsweise jeweils zwei oder mehr, Partikeldetektoren und/oder Partikelsensoren umfassen. Bevorzugt können die einzelnen Detektoren bzw. Sensoren zur Ausbildung des Partikelzählers zusammenwirken, insbesondere so, dass die Messwerte der einzelnen Detektoren und/oder Sensoren zu einem kombinierten (Gesamt-)Messwert zusammengefasst werden, auf dessen Grundlage die Verschmutzungspartikel ermittelt werden. Beispielsweise können mehrere Partikeldetektoren in einem Array (Array Detektor) oder einem Grid angeordnet werden und darüber einen Partikelzähler bilden. Das Zusammenfassen einer Mehrzahl von Partikeldetektoren und/oder Partikelsensoren ist z.B. vorteilhaft bei der Reinigung von großflächigen Objekten.

[0086] Alternativ oder zusätzlich kann ein Partikelzähler ein Massenspektrometer und/oder einen Gaschromatographen aufweisen. Weiterhin kann der Partikelzähler alternativ oder ergänzend ein Streulichtverfahren zur Ermittlung von Verschmutzungspartikeln nutzen. Die Auswahl des geeigneten Partikelzählers erfolgt dabei unter anderem in Abhängigkeit von der Art der zu erfassenden Verschmutzungspartikel und der Reinigungsart (Laser, CO₂-Strahl, etc.), mit welcher die Verschmutzungspartikel abgetragen worden sind. Ungeachtet der genauen Ausgestaltung eines Partikelzählers ist dieser vorzugsweise so ausgebildet, dass ein (Gesamt-)Messwert bereitgestellt wird, in den ggf. (Teil-)Messwerte von Unterkomponenten des Partikelzählers einfließen, wobei auf Grundlage des (Gesamt-)Messwerts die Verschmutzungspartikel ermittelt werden können.

[0087] Wie eingangs erwähnt, eignet sich das erfindungsgemäße Verfahren zur Reinigung und Reinheitskontrolle von zu reinigenden Objekten für vielerlei Objekte mit unterschiedlichen Ausmaßen bzw. kann in verschiedenen Branchen (Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt etc.) seine Anwendung finden. Die Größe eines zu reinigenden Objekts kann dabei sehr variieren. Um ein entsprechendes Objekt im Reinraum mittels eines zuvor beschriebenen Reinigungsgeräts komfortabel zu reinigen, weist der Reinraum eine Grundfläche von bevorzugt mindestens 0,25 m², besonders bevorzugt mindestens 1 m² und ganz besonders bevorzugt mindestens 9 m² auf. Allerdings ist die Erfindung nicht darauf beschränkt und kann gleichermaßen gewinnbringend auch in deutlich größeren Reinräumen Anwendung finden, wobei eine Grundfläche z.B. 1400 m² oder mehr sein kann, um z. B. große Raketenhalbschalen zu behandeln. Somit können auch relativ große Objekte komfortabel im Reinraum gereinigt werden.

[0088] Bei Bedarf kann die Reinigungs- und Kontrollvorrichtung auch einer Systemkontrolle unterzogen werden. Solch eine Systemkontrolle kann beispielsweise nach einer Einrichtung einer Reinigungs- und Kontrollvorrichtung erfolgen, um diese zu verifizieren. Sie kann aber beispielsweise auch nach einer gewissen Zeit, z. B. alle zwei Jahre oder nach einem Ablauf einer gewissen Anzahl an Reinigungsdurchläufen, wiederholt werden, um die Systemgenauigkeit zu überprüfen. Solch eine Kontrolle kann z. B. auch nach Bedarf durchgeführt werden, bspw. wenn es im Reinraum zu Veränderungen kommt, zum Beispiel, weil Komponenten, wie ein Drehteller des Reinigungsgeräts, ausgetauscht worden sind. Solch eine Kontrolle wird bevorzugt durch Untersuchungen an verschiedenen Oberflächen des gereinigten Objekts durchgeführt.

[0089] Vorzugsweise erfolgt eine Systemkontrolle mittels Koinzidenzmessungen, in denen die Reinheit eines mittels der Reinigungs- und Kontrollvorrichtung bereits gereinigten Objekts noch einmal auf andere Weise festgestellt bzw. verifiziert wird. Hierbei gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, um bspw. die ermittelte Reinheit eines Objekts nachzuweisen:

Vorzugsweise kann eine Koinzidenzmessung mittels einer direkten Messung der Verschmutzungspartikel auf dem gereinigten Objekt mit Hilfe eines Partikelstempels durchgeführt werden. Dies kann beispielsweise durch das Aufbringen eines Klebebands auf einer Oberfläche des gereinigten Objekts erfolgen, wobei das Klebeband nach Abzug von der Oberfläche des Objekts mikroskopisch auf am Klebeband anhaftende Verschmutzungspartikel untersucht wird.

[0090] Alternativ oder zusätzlich kann eine Koinzidenzmessung vorzugsweise auch mittels eines Nachweis-Objekts auf einer Hardware erfolgen. Dazu kann eine Referenzoberfläche während einer Reinigung auf der Oberfläche eines Objekts befestigt werden. Nach den einzelnen Reinigungsschritten kann über die Referenzoberfläche sowohl eine Umverteilung von Partikeln als auch eine Abnahme von Partikeln auf das gesamte Objekt bezogen erfasst werden. Die Referenzoberfläche wird hierbei nicht mitgereinigt. Das Nachweis-Objekt bzw. die Referenzoberfläche kann dabei beispielsweise eine einfache Glasplatte umfassen. Vorzugsweise ist das Nachweis-Objekt aber aus dem Material gefertigt, aus dem auch das zu reinigende Objekt gefertigt ist.

[0091] Bei einer weiteren bevorzugten Koinzidenzmessung wird das gereinigte Objekt wie bisher üblich in einem Spülkabinett angeordnet. Danach wird beispielsweise mittels Wasser oder Alkohol das Bauteil abgespritzt. Das Wasser bzw. der Alkohol wird anschließend mittels entsprechender Filter auf etwaige Verschmutzungspartikel untersucht.

[0092] 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 grob schematisch:

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung,

Figur 2 eine Anzeige auf einem Display eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung aus Figur 1,

Figur 3 ein Messdiagramm, das eine mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Figur 1 erfasste Abklingkurve für Verschmutzungspartikel pro Reinigungsschritt sowie einen Ergebniswert für einen Reinigungserfolg zeigt,

Figur 4 ein Flussdiagramm für ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 5 ein Flussdiagramm für ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0093] Figur 1 zeigt einen Reinraum 2 einer Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung 1, in dem ein zu reinigendes Objekt B, hier konkret ein Bauteil B, welches getestet wird, angeordnet ist. Oberhalb des Bauteils B ist hier an einer Decke 21 des Reinraums 2 ein Reinigungsgerät 3 positioniert. Das Reinigungsgerät 3 weist dabei eine Düse 10 auf, aus der aus einem Austrittsort 11 ein CO₂-Schneestrah 9 austritt und eine passend positionierte Oberfläche O des Bauteils B trifft und abstrahlt.

[0094] Trifft der CO₂-Schneestrah 9 die Oberfläche O des Bauteils B, so werden etwaige Verschmutzungspartikel P von der abgestrahlten Oberfläche O abgelöst bzw. abgetragen.

[0095] Das Bauteil B ist dabei auf einem Manipulator 16, hier einem Drehteller 16, gelagert.

[0096] Der Drehteller 16 sowie das Reinigungsgerät 3 sind über einen Datenbus DB elektronisch mit einer Steuereinrichtung 12 gekoppelt, welche hier in einer Recheneinheit 15 angeordnet ist. Die Steuereinrichtung 12 steuert das Reinigungsgerät 3 sowie in Koordination dazu auch den Drehteller 16. Somit kann genau gesteuert werden, welchen Bereich das Reinigungsgerät 3 mit seiner Düse 10 anfahren bzw. mit dem CO₂-Schneestrah 9 abstrahlen und wie schnell und in welcher Richtung der Drehteller 16 entsprechend rotieren soll.

[0097] Der Drehteller 16 ist hier nur ein Beispiel, um ein Bauteil B zu lagern bzw. zu positionieren. Das Bauteil B könnte z. B. auch mittels eines Roboters positioniert werden oder auf einem Hubtisch o.Ä. gelagert werden. Durch den Manipulator 16 kann so eine Relativbewegung zwischen Objekt B und dem Austrittsort 11 des Reinigungsgeräts 3, aus welchem Austrittsort 11 der Reinigungsstrahl 9 austritt, realisiert werden.

[0098] Im Reinraum 2 ist hier an bzw. in einer Seitenwand 22 eine Beströmungsvorrichtung 18 angeordnet. Die Beströmungsvorrichtung 18 erzeugt bzw. bläst einen quasi-laminaren Fluidstrom 4, hier einen Luftstrom 4, welcher das zu reinigende Bauteil B permanent umgibt. Der quasi-laminare Luftstrom 4 strömt hier horizontal von der Seitenwand 22, in der die Beströmungsvorrichtung 18 angeordnet ist, zu einer ihr gegenüberliegenden Seitenwand 22'. Der quasi-laminare Luftstrom 4 könnte aber je nach Anordnung der Beströmungsvorrichtung 18 auch vertikal beispielsweise von einer Decke 21 des Reinraums 2 ausgehend zu einem Boden 20 des Reinraums 2 strömen.

[0099] Die durch das Reinigungsgerät 3 abgetragenen Verschmutzungspartikel P werden von dem quasi-laminaren Luftstrom 4 aufgenommen und in einem Abgasstrom 7 zu einem Reinraumfluidausgang 5, hier ein Reinraumluftausgang 5 befördert. Die wiederum am Reinraumluftausgang 5 austretende Luft 23 wird über Fluidkanäle 24, hier Umluftkanäle 24, durch einen Reinraumfluideingang 25, hier einen Reinraumlufteingang 25, des Reinraums 2 der Beströmungsvorrichtung 18 zurückgeführt. Am Reinraumlufteingang 25 befindet sich dazu ein Partikelfilter 27, welcher die enthaltenen Verschmutzungspartikel P aus dem Fluid 23, hier der Luft 23, herausfiltert. Es könnten aber auch noch weitere Filter, wie beispielsweise ein molekularer Filter oder aber auch ein Aktivkohlefilter, verwendet werden, um die in den Reinraum 2 eintretende Luft 23 zu filtern.

[0100] In bzw. an dem Reinraumluftausgang 5 befindet sich hier eine Detektionseinrichtung 19 mit einem Partikelzähler 6. Der Partikelzähler 6 zählt die am Reinraumluftausgang 5 ankommenden Verschmutzungspartikel P. Die Detektionseinrichtung 19 ist hier ebenfalls elektronisch mit der Recheneinheit 15 verbunden.

[0101] Die Detektionseinrichtung 19 erstellt mittels der vom Partikelzähler 6 erfassten Anzahl von Verschmutzungspartikeln P ein Partikelbelastungsprofil 36, 37 in Abhängigkeit von der Zeit. Diese Partikelbelastungsprofile 36, 37 können dann in einem Display 30 einer Anzeigeeinheit 13 der Recheneinheit 15 ausgegeben bzw. angezeigt werden.

[0102] Figur 2 zeigt dazu ein Ausführungsbeispiel einer Anzeige auf dem Display 30 der Anzeigeeinheit 13.

[0103] Hierbei ist in der Anzeige 30 links unten ein Partikelbelastungsprofil 36 in Form von drei Messdiagrammen 36', 36'', 36''' zu erkennen. Die Messdiagramme 36', 36'', 36''' zeigen hierbei die Verschmutzungspartikel P, die mittels des Partikelzählers 6 zu einem Zeitpunkt t erfasst worden sind, wobei auf der x-Achse die Zeit t aufgetragen ist und auf der y-Achse die Anzahl der erfassten Verschmutzungspartikel P. Die Messdiagramme 36', 36'', 36''' zeigen jeweils auszugsweise ein Messintervall, das z.B. einem bestimmten Reinigungszyklus zugeordnet ist. Jedes Messdiagramm 36', 36'', 36''' zeigt dabei zwei Graphen, die jeweils einem Größenkanal k der Verschmutzungspartikel P zugeordnet werden können.

[0104] Das oberste Messdiagramm 36' zeigt dabei zum einen einen Graphen G03 an, der die Verschmutzungspartikel P mit einer Größe von bis zu 0,3 µm in Abhängigkeit von der Zeit t zeigt, und einen weiteren Graphen G05, der die Verschmutzungspartikel P in Abhängigkeit von der Zeit t zeigt, die größer als 0,3 µm und kleiner gleich 0,5 µm sind.

[0105] Im mittleren Messdiagramm 36'' werden hingegen die Verschmutzungspartikel P, die größer als 0,5 µm und kleiner gleich 1 µm sind, zu einem Zeitpunkt t in einem Graphen G1 angezeigt und die Verschmutzungspartikel P, die größer als 1 µm und kleiner gleich 5 µm sind, zu einem Zeitpunkt t in einem weiteren Graphen G5.

[0106] Im untersten Messdiagramm 36''' werden hingegen die Verschmutzungspartikel P, die größer als 5 µm und kleiner gleich 10 µm sind, zu einem Zeitpunkt t in einem Graphen G10 angezeigt und die Verschmutzungspartikel P, die größer als 10 µm und kleiner gleich 25 µm sind, zu einem Zeitpunkt t in einem Graphen G25. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die einzelnen Graphen in der schematischen Darstellung in Figur 2, in der nur Ausschnitte eines Messintervalls gezeigt sind, keinen annähernd exponentiellen Verlauf haben. Bei einem realen Messdiagramm 36', 36'', 36''' hätten die einzelnen Graphen, wie schon beschrieben, insbesondere bezogen auf ein vollständiges Messintervall bzw. einen gesamten Reinigungszyklus, typischerweise einen näherungsweise exponentiellen Verlauf.

[0107] Die drei Messdiagramme 36', 36", 36''' zeigen weitestgehend, dass die Anzahl der Verschmutzungspartikel P desto größer ist, je kleiner die Verschmutzungspartikelgröße ist. Die Anzahl der Verschmutzungspartikel P nimmt jedoch im Laufe der Zeit t ab, d. h. im Laufe eines Reinigungsschritts. Der besseren Darstellbarkeit wegen sind in den Messdiagrammen 36', 36", 36''' jeweils nur Ausschnitte aus den Reinigungszyklen gezeigt, so dass in einigen Fällen die Anzahl der Verschmutzungspartikel P über die Zeit stagniert, wobei der Rückgang der Verschmutzungspartikel P hier noch nicht sichtbar ist.

[0108] Bei den Messdiagrammen 36", 36''' ist im Zeitraum t0 bis t4 bzw. t2 die Anzahl der jeweils größeren Partikel höher, als die Anzahl der jeweils kleineren Partikel. Grundsätzlich besteht bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Reinigung und Reinheitskontrolle eine Kontaminationsverteilung, die kleinere Partikel wahrscheinlicher macht als größere Partikel.

[0109] Allerdings verläuft bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Abreinigung von größeren Partikeln üblicherweise effektiver als die Abreinigung der (relativ) kleineren Partikel. Entsprechend werden regelmäßig zunächst die (relativ) größeren Partikel abgereinigt, wobei dann (im Laufe desselben Reinigungszyklus oder in aufeinanderfolgenden Zyklen) die Größe der abgereinigten Partikel sukzessive abnimmt. Weiterhin können relativ kleine Partikel z.B. in Kavitäten bzw. Hinterschneidungen des Objekts "feststecken" und dadurch vorübergehend zurückgehalten werden. Je nach Größe der Partikel kann es mehrere Reinigungszyklen dauern, bis auch sehr kleine Partikel, z.B. in der Größe bis 0,3 μm , einen Wert von null erreichen bzw. sich diesem zumindest annähern.

[0110] Ein von der üblichen Kontaminationsverteilung abweichendes Messdiagramm kann sich auch daraus ergeben, dass ein selektiver Verunreinigungsprozess vorliegt, so dass bei der Reinigung eines Objekts eine gewisse Größenklasse von Partikeln quantitativ bevorzugt ist, z.B. Rückstände in Folge von Sandstrahlen, Flexen, Schleifen etc. Zu beachten ist weiterhin, dass ggf. durchgeführte Vorreinigungsverfahren üblicherweise selektiv im Hinblick auf die Größe der abgereinigten Partikel sind, so dass ein bestimmtes Muster an Restschmutz auf einem Objekt verbleibt.

[0111] Da die Messdiagramme 36', 36", 36''' die Verschmutzungspartikel P zu einem Zeitpunkt t anzeigen, ändern sich die Messwerte und Graphen mit Ablauf des jeweiligen Reinigungsschritts bzw. des jeweiligen Reinigungszyklus.

[0112] Eine weitere Möglichkeit, ein Partikelbelastungsprofil 37 darzustellen, wird mittels eines Messdiagramms 37 in der Anzeige des Displays 30 unten mittig gezeigt. Hierbei werden in einer oberen Spalte 37' die verschiedenen Größenkanäle k der Verschmutzungspartikel P angegeben. Diese beginnen bei einem Wert von 0,3 μm und enden ebenfalls bei einem Wert von 25,0 μm . In der darunterliegenden Spalte 37'' sind die aktuell erfassten Verschmutzungspartikel P zugehörig zu jedem Größenkanal k aufgelistet.

[0113] Hierbei wurden 173 Verschmutzungspartikel P erfasst, welche eine Größe von maximal 0,3 μm aufweisen. Die restlichen erfassten Verschmutzungspartikel P je Größenkanal k liegen hier bei einer Größenordnung zwischen 0 und 19 Verschmutzungspartikeln P.

[0114] Mittels einer Auswerteeinheit 8, welche hier ebenfalls in der Recheneinheit 15 (siehe Figur 1) angeordnet ist, können die zuvor beschriebenen Partikelbelastungsprofile 36, 37 ausgewertet werden.

[0115] Dabei weist die Auswerteeinheit 8 eine Lokalreinigungs-Auswerteeinheit 8a und eine Globalreinigungs-Auswerteeinheit 8b auf.

[0116] Die Lokalreinigungs-Auswerteeinheit 8a erfasst dabei lokale (orts aufgelöste) Verunreinigungen auf dem zu reinigenden Bauteil B im Reinraum 2. Um diese zu erfassen, weist die Reinigungs- und Kontrollvorrichtung 1 eine Koordinatenbestimmungseinheit 17 auf. Die Koordinatenbestimmungseinheit 17 ist hier elektronisch mit einer Steuerung der Düse 10 und einer Steuerung des Drehtellers 16 verbunden und nimmt deren aktuelle Raumkoordinaten x, y, z auf. Zudem kennt die Steuerung, z.B. die Steuereinrichtung 12, die geometrischen Daten des Bauteils B, des Manipulators 16 und des Reinigungsgeräts 3 bzw. dessen Austrittsorts 11. Die geometrischen Daten sind in einem Speicher (hier nicht dargestellt) in der Recheneinheit 15 hinterlegt. Die aufgenommenen Raumkoordinaten x, y, z übermittelt die Koordinatenbestimmungseinheit 17 an die Lokalreinigungs-Auswerteeinheit 8a.

[0117] Die Koordinatenbestimmungseinheit 17 ist hier ein Teil der Steuereinrichtung 12 und ist somit auch in der Recheneinheit 15 in Form eines Softwaremoduls in der Recheneinheit 15 realisiert. Unter Nutzung der erfassten Raumkoordinaten x, y, z des Drehtellers 16 und der Düse 10 sowie deren bekannten geometrischen Daten kann so der aktuelle Reinigungsort des Bauteils B bestimmt werden. In Verbindung mit einem erfassten Partikelbelastungsprofil 36, 37 lassen sich so die lokalen Verunreinigungen auf dem Bauteil B ermitteln und darstellen.

[0118] Auch mittels einer Kamera 39, welche hier im Reinraum 2 angebracht ist, können Informationen bzw. Daten über die Geometrie des zu reinigenden Bauteils 2 auf dem Drehteller 16 aufgenommen werden. Diese Daten können dann ebenfalls dazu dienen, den aktuellen Reinigungsort, welcher dem Auftreffort des Reinigungsstrahls 9 bzw. CO₂-Schneestrahls 9 auf dem Bauteil B entspricht, und die entsprechenden Koordinaten zu ermitteln.

[0119] Figur 4 zeigt ein Flussdiagramm für ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens, welches mit einer Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung 1, wie sie in Figur 1 beschrieben worden ist, durchgeführt werden kann.

[0120] Hierzu wird zunächst in einem ersten Verfahrensschritt I das zu reinigende und zu untersuchende Bauteil B im Reinraum 2 mit der quasi-laminaren Strömung 4 platziert.

[0121] In einem nächsten Schritt II wird eine Monitoring-Software gestartet, die die folgende Reinigung überwacht und entsprechende Daten speichert und mittels der Protokolliereinheit 40 protokolliert.

[0122] Im Block III erfolgt dann der eigentliche Reinigungsprozess, um das Bauteil B zu reinigen. Dieser Reinigungsprozess kann bevorzugt, wie hier dargestellt, ein iterativer Prozess sein, der mehrere Schritte bzw. Reinigungsschritte umfassen kann, die bei Bedarf wiederholt werden.

[0123] Dazu wird in Schritt Iila das Bauteil B mit einem Reinigungsstrahl des Reinigungsgeräts 3 beaufschlagt und der Drehteller 16, auf welchem das Bauteil B angeordnet ist, beginnt sich koordiniert zur Bewegung der Düse 10 des Reinigungsgeräts 3 zu drehen. Dadurch können alle Punkte der zu reinigenden Oberfläche des Objekts gemäß einer vordefinierten Trajektorie abgefahren werden. Es wäre auch möglich, dass der Reinigungsstrahl in vorbestimmter Weise über die Oberfläche eines statischen Objekts B geführt wird.

[0124] Daraufhin und/oder parallel zur Reinigung erfolgt in einem Verfahrensschritt IIIb die lokale Auswertung des Reinigungserfolgs mittels der Lokalreinigungs-Auswerteeinheit 8a.

[0125] Abhängig vom Ergebnis der lokalen Auswertung kann ein Rücksprung erfolgen (siehe Abzweig N), um den Reinigungsschritt Iila zu wiederholen. Wenn beispielsweise noch eine sehr hohe Kontamination an Verschmutzungspartikeln vorliegt, können (optional) im Schritt IIId entsprechend geeignete weitere Vorversuche durchgeführt werden, bevor der Reinigungsschritt Iila wiederholt wird. Diese können zur Bestimmung von exakten Einstellparametern dienen, wie beispielsweise Parameter des Reinigungsstrahls, ein Abstand zwischen der Düse und der Objektoberfläche, ein Auftreffwinkel des Reinigungsstrahls auf dem Objekt, eine Verwendung eines gepulsten Reinigungsstrahls etc. oder, um eine gezielte Reinigung beispielsweise einer gezielten Stelle des Bauteils zu starten. Ein Vorversuch kann für ein bestimmtes Objekt durchgeführt werden, wobei insbesondere eine Geometrie und/oder ein Material des Objekts berücksichtigt werden, um z.B. die Parameter des Reinigungsstrahls zu optimieren und/oder um eine Strahlführung zu optimieren, so dass eine Umverteilung von Schmutzpartikeln minimiert wird. Die so bestimmten Einstellparameter können dann im erneuten Reinigungsschritt Iila verwendet werden.

[0126] Konnte eine ausreichende lokale Reinigung auf der Oberfläche des Bauteils festgestellt werden (siehe Abzweig Y), so erfolgt in einem Schritt IIId noch eine globale Auswertung der Reinigung mittels der Globalreinigungs-Auswerteeinheit 8b. Sofern dies gewünscht ist, kann mit diesem Verfahrensschritt IIId auch schon früher begonnen werden, beispielsweise während der Reinigung, um zumindest Teilergebnisse, bestimmte Diagramme etc. zu erhalten.

[0127] Im Gegensatz zur oben beschriebenen Lokalreinigungs-Auswerteeinheit 8a bestimmt die Globalreinigungs-Auswerteeinheit 8b die Verunreinigungen auf dem gesamten Bauteil B bzw. des gesamten Reinraums 2. Dazu werden mittels des Partikelzählers 6 die in Abhängigkeit von der Zeit t erfassten Verschmutzungspartikel P je nach Größenkanal k aufsummiert. In der Anzeige 30 sind dazu zwei Beispiele angegeben, welche eine Auswertung der zuvor beschriebenen Partikelbelastungsprofile 36, 37 zeigen.

[0128] In der Mitte der Anzeige 30 (siehe Figur 2) ist dazu ein Balkendiagramm 35 angezeigt. Entlang der x-Achse sind die Größenkanäle k der erfassten Verschmutzungspartikel P aufgetragen. Entlang der Y-Achse ist die Summe der erfassten Verschmutzungspartikel P aufgetragen. Jeder Balken gibt also die Summe der erfassten Verschmutzungspartikel ΣP zu einem aktuellen Zeitpunkt pro Größenkanal k an. Die Größenkanäle k entsprechen dabei den bereits beschriebenen Größenkanälen k der Partikelbelastungsprofile 36, 37. Auch hier ist zu erkennen, dass die Summe der Verschmutzungspartikel ΣP (hier ca. 3300 Partikel) für Verschmutzungspartikel P, die eine Größe von bis zu $0,3 \mu\text{m}$ aufweisen, die Summe der Verschmutzungspartikel P, die eine größere Partikelgröße aufweisen, stark übersteigt. Wählt ein Benutzer bspw. durch Anklicken das Diagramm 35 bzw. einzelne Balken aus, so können bei Bedarf auch die zugehörigen Zeitverläufe (hier nicht dargestellt) in der Anzeige 30 angezeigt werden.

[0129] Ganz rechts in der Mitte der Anzeige 30 ist ein weiteres Diagramm 34 zu erkennen, welches eine Auswertung eines Partikelbelastungsprofils 36, 37 zeigt, das mittels einer Globalreinigungs-Auswerteeinheit 8b erfasst ist. In diesem Diagramm 34 wird der Reinigungsstatus bzw. Reinigungserfolg pro Reinigungsschritt Rn angezeigt. Auf der x-Achse sind dazu die einzelnen Reinigungsschritte Rn aufgetragen und auf der y-Achse die Verschmutzungspartikel P, was hier einer Restverschmutzung auf dem Objekt entspricht. Der Reinheitszustand des Objekts könnte hier z.B. in der Einheit parts per million (ppm) angegeben sein, was eine in der Raumfahrt gebräuchliche Einheit ist. Diese Einheit besagt, wie viele Staubpartikel einer bestimmten Größe pro Quadratmeter der Objektoberfläche vorhanden sind. Beispielsweise ist bei einem Richtwert von 300 ppm davon auszugehen, dass keine sichtbaren Partikel mehr vorhanden sind.

[0130] Im Diagramm 34 sind Vierecke angeordnet, welche eine gewichtete Summe S1, S2, S3 der erfassten Verschmutzungspartikel P darstellen. Dabei wurden die Verschmutzungspartikel über alle Größen und die gesamte Reinigungszeit eines Reinigungsschritts aufsummiert. Optional könnten die aufsummierten Verschmutzungspartikel jeweils mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert werden. Die gewichteten Summe S1, S2, S3 repräsentieren bzw. ergeben sich aus der im jeweiligen Reinigungsschritt abgereinigten Fläche. Zudem sind in Form von Strichen die zuvor eingestellten Werte, ab denen ein Reinigungserfolg E eintritt, dargestellt. Der Parameter E stellt hier das geforderte Sauberheitskriterium als das Abbruchkriterium für die erfolgreiche Reinigung dar.

[0131] Die gewichteten Summen S1, S2, S3 liegen dabei für die drei durchgeführten Reinigungsschritte R1, R2, R3 oberhalb des Werts für einen Reinigungserfolg E. Es ist jedoch zu erkennen, dass die Summe der erfassten Verschmut-

zungspartikel P mit jedem Reinigungsschritt R_n abnimmt und sich die Werte entsprechend einem Reinigungserfolg E annähern. Der Reinigungserfolg E kann zuvor in Abhängigkeit von dem Bauteil B, der Branche, in welcher getestet wird, und etwaigen Vortests eingestellt werden. Sofern optional Gewichtungsfaktoren vorgesehen sind, mit denen die Verschmutzungspartikel P der jeweiligen Größenbereiche aufsummiert werden, können diese zuvor spezifisch, z.B. objekt-

spezifisch, eingestellt werden.
[0132] Es ist auch möglich, dass ein Reinigungserfolg E in einem laufenden Verfahren geändert bzw. neu bestimmt wird. Beispielsweise kann nach zumindest einem, bevorzugt zwei oder mehr, Reinigungszyklen eine Abklingkurve basierend auf Messwerten von bereits durchgeführten Reinigungsschritten ermittelt werden. Vorzugsweise kann auf Grundlage der Abklingkurve bestimmt werden, wie viele Verschmutzungspartikel pro (noch durchzuführendem) Reinigungszyklus abgereinigt werden. Darüber sind die Kosten und die Zeit für einen bestimmten Reinigungserfolg E abschätzbar. Dies wird später anhand von Figur 3 noch beschrieben.

[0133] Da eine Partikelkontamination, d.h. die Anzahl an abgereinigten Partikeln in Relation zur Anzahl der Reinigungszyklen, häufig einen angenäherten exponentiellen Verlauf hat, kann sich eine Abklingkurve ab einem bestimmten Reinigungszyklus deutlich abflachen. Beispielsweise kann eine Steigung der Abklingkurve nach einer Anzahl von Reinigungszyklen so gering sein, dass der Reinigungserfolg E, der mit einem weiteren Reinigungszyklus erzielbar wäre, gegenüber dem damit verbundenen Aufwand wirtschaftlich nicht mehr vertretbar ist.

[0134] Beispielsweise kann vor Beginn des Reinigungsverfahrens ein Reinigungserfolg E bei einem komplexen Objekt, wie ein Bauteil mit einem darauf befindlichen Kabelbaum, dadurch definiert sein, dass keine Partikel mit einem Durchmesser größer als 10 µm mehr abgetragen werden. Dann kann im laufenden Reinigungsverfahren, wie zuvor beschrieben, eine Abklingkurve bestimmt werden, wobei dann eine Steigung der Abklingkurve, z.B. kurz vor dem Erreichen des Reinigungserfolgs E, ein Kriterium dafür sein, ob der ursprüngliche Reinigungserfolg E beibehalten wird, oder ob der Reinigungserfolg E, vorzugsweise im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse, neu bestimmt wird, z. B. weil eine weitere Reinigung mit zu großem Aufwand verbunden ist. Entsprechend kann in einem laufenden Verfahren ein Reinigungserfolg E modifiziert werden, vorzugsweise auf Grundlage einer ermittelten Abklingkurve, insbesondere unter Berücksichtigung einer Steigung der Abklingkurve.

[0135] Ein Reinigungserfolg E kann - je nach Branche - z.B. einem Wert von 300 ppm entsprechen, wobei ein Objekt bei einem solchen Wert als "sichtbar sauber" bezeichnet werden könnte. Allerdings können auch deutlich strengere Anforderungen an einen Reinigungserfolg E gestellt sein, z.B. ein Wert von 120 ppm (entspricht einem Objekt, das "sichtbar sauber" ist unter Verwendung von Vergrößerungsglas und Weißlicht), ein Wert von 30 ppm (z.B. bei optischen Systemen) oder die Anforderung, dass keine Partikel größer als 10 µm (Durchmesser) mehr im Partikelbelastungsprofil vorhanden sind und/oder keine Partikel einer bestimmten Größe (z.B. größer als 10 µm) mehr abgelöst werden von einem Objekt durch die Reinigung.

[0136] Je nach Objekt kann die Definition des Reinigungserfolgs E über ein Ausschlusskriterium (z.B. keine Partikel einer bestimmten Größe) bevorzugt sein, da bei komplexen Oberflächen bzw. Komponenten, wie z.B. Kabelbäume, die tatsächliche Oberflächentopographie hinsichtlich der Bezugsfläche (1 m²) für die Angabe eines ppm-Werts sehr groß werden kann (z.B. bei einer Auflösung im µm Bereich), so dass die Bestimmung der Größenverteilung der noch abgetragenen Partikel eine höhere Aussagekraft für eine technische Bewertung haben kann.

[0137] Aus dem Diagramm 34 ist also ersichtlich, dass eine effektive Reinigung des Objekts erfolgt ist, wobei der vorbestimmte Reinigungserfolg E in den Reinigungsschritten R1 bis R3 noch nicht eingetreten ist. In dem hier gezeigten Fall kann anhand der bereits erfolgten Reinigungsschritte (R1 bis R3) und des bekannten Zeitaufwands eine (Zwischen-)Entscheidung getroffen werden, insbesondere eine Kosten-Nutzen-Analyse, so dass die Reinigung des Objekts ggf. schon vor dem Erreichen des vorbestimmten Reinigungserfolgs E unterbrochen wird. Die Entscheidung darüber kann vorzugsweise durch die Steuereinrichtung getroffen werden. Weiterhin könnte in der Steuereinrichtung ein "minimaler" Reinigungserfolg hinterlegt sein, der im Verfahren unbedingt erreicht werden muss, wobei nach Erreichen dieses Werts die Entscheidung über die Fortsetzung der Reinigung auf Basis einer Kosten-Nutzen-Analyse erfolgt, z.B. unter Berücksichtigung einer Abklingkurve.

[0138] Sofern der eingestellte Reinigungserfolg E erreicht werden soll, dann würde, wie in Figur 4 ersichtlich, ein Rücksprung (siehe Abzweig N hinter Schritt IIIc) in der iterativen Schleife erfolgen, um einen weiteren Reinigungsschritt Iila durchzuführen, wobei dann gegebenenfalls wieder zunächst die lokale Überprüfung (Schritt IIlb) erfolgen kann.

[0139] Die Anzeige 30 ist vorzugsweise frei konfigurierbar und so könnten beispielsweise auch weitere oder alternative Graphen, Eingabefelder etc. angezeigt werden.

[0140] So könnte bspw. auch das Diagramm aus Figur 3 von Interesse für die Ermittlung eines Reinigungserfolgs E sein. Hier wird die Abklingkurve A für die erfassten Verschmutzungspartikel P in Abhängigkeit von den bisher durchgeführten Reinigungsschritten R_n gezeigt.

[0141] Entlang der y-Achse ist dabei die Kontamination an Verschmutzungspartikeln (PAC) in ppm angegeben. Die Abklingkurve A zeigt hier die mit Hilfe der Messungen ermittelte Anzahl der Verschmutzungspartikel von bereits gereinigten Flächen des Bauteils an. Dabei werden jedoch nur Verschmutzungspartikel P in Betracht gezogen, die größer (Durchmesser) als 5 µm sind. Entlang der x-Achse sind die einzelnen Reinigungsschritte R_n aufgetragen. Des Weiteren

ist graphisch auch der Wert, ab dem von einem Reinigungserfolg E ausgegangen wird, eingezeichnet. Dies entspricht hierbei ca. einer Kontamination an Verschmutzungspartikeln von 50 ppm.

[0142] Mittels der untenstehenden Formel kann die Partikelkontamination für die Abklingkurven in ppm (parts per million) des zu reinigenden Bauteils B ermittelt werden.

$$\text{PAC [ppm]} = (k_1[p_1/m^3] \pi r_1^2 + k_2[p_2/m^3] \pi r_2^2 + k_3[p_3/m^3] \pi r_3^2 \dots) \cdot 10^{-6}$$

[0143] Dabei werden für jeden Größenkanal k_1 , k_2 , k_3 die aufsummierten Verschmutzungspartikel p_1 , p_2 , p_3 pro Kubikmeter m^3 mit einer entsprechenden Kreisfläche πr_1^2 , πr_2^2 , πr_3^2 multipliziert. Der Radius der Kreisfläche entspricht hierbei der Hälfte der Größe eines maximalen Verschmutzungspartikels p je Größenkanal k . Bei einem Größenkanal k_1 von 0 bis 0,3 μm liegt der Radius r_1 also bei einer Größe von 0,15 μm .

[0144] Die entsprechenden Ergebnisse für jeden Größenkanal k_1 , k_2 , k_3 werden aufsummiert und ergeben die Partikelkontamination in ppm auf einem zu reinigenden Bauteil B für die bis dahin durchgeführten Reinigungsschritte. Diese Partikelkontamination in ppm ist ein Maß eines Bedeckungsgrads des Objekts mit Partikeln bzw. entspricht also einem "Obscuration Faktor", der ein Maß für eine theoretisch mit Partikeln bedeckte zusammenhängende Fläche bezogen auf eine Fläche von 1 m^2 eines Objekts darstellt. Der Vorteil dieser Partikelkontaminations-Ausgabe ist, dass diese relativ ist und somit unabhängig von der Größenverteilung der Verschmutzungspartikel und unabhängig von der Form der Partikelverschmutzung. Im Übrigen ist die Ausgabe eines Obscuration Faktors wünschenswert, da es sich dabei um einen etablierten Standard zur Klassifizierung von Kontaminationen handelt, auf den insbesondere im Bereich Qualitätssicherung und Funktionalitätssimulationen regelmäßig zurückgegriffen wird. Dadurch ist die oben beschriebene Partikelkontamination auch leicht vergleichbar mit anderen Partikelkontaminationen, bspw. in anderen Reinräumen, in denen eine ähnliche Reinigung etc. durchgeführt wird.

[0145] Es ist zu erkennen, dass die Abklingkurve A in Figur 3 und der zuvor eingestellte Wert für einen Reinigungserfolg E sich bei dem vierten Reinigungsschritt R4 überschneiden. Das heißt, dass hier nach dem vierten Reinigungsschritt R4 ein Reinigungserfolg E für das Bauteil B erzielt und auch dokumentiert worden ist.

[0146] Anders als in Figur 3 gezeigt, kann eine Abklingkurve zumindest teilweise auch extrapoliert werden. Beispielsweise kann auf Grundlage der Messwerte von zwei bereits durchgeführten Reinigungszyklen der weitere Verlauf einer Abklingkurve, d.h. die Partikelkontamination für jeden weiteren Reinigungszyklus, näherungsweise (voraus-)berechnet werden. Dazu können (anders als in Figur 3) auch die Verschmutzungspartikel bestimmter oder aller Größenkanäle aufsummiert werden und in die beschriebene Formel eingesetzt werden. Bei der Extrapolation ist von einem näherungsweise exponentiellen Verlauf der Abklingkurve auszugehen, da in jedem Reinigungsschritt in etwa dieselbe prozentuale Reduktion von Verschmutzungspartikeln auf dem Objekt erfolgt. Folglich ist das Partikelbelastungsprofil eines durchzuführenden Reinigungsschritts maßgeblich von der noch auf dem Objekt verbliebenen Verschmutzungspartikelkonzentration (Restverschmutzung) abhängig, was einen angenäherten exponentiellen Verlauf bedingt. Vorteilhafterweise kann eine Vorausberechnung einer Abklingkurve für eine Planung des Reinigungsverfahrens im Hinblick auf eine Kosten-Nutzen-Analyse genutzt werden.

[0147] Wurde ein Reinigungserfolg erzielt, so kann es in einem weiteren Verfahrensschritt IV (siehe wieder Figur 4, nun Abzweig Y hinter Schritt IIIc) zu einer abschließenden Berichterstellung kommen. Hierbei können sämtliche erfasste Daten in der Protokolliereinrichtung 40 protokolliert werden.

[0148] In der Anzeige 30 (siehe Figur 2) sind außerdem noch weitere Diagramme und Eingabefelder zu erkennen. In einem Abschnitt 31 links oben in der Anzeige 30 wird hier zum einen der aktuelle Reinigungsschritt 31' angezeigt. In diesem Fall handelt es sich um den dritten Reinigungsschritt. Zum anderen wird die im aktuellen Reinigungsschritt schon angewendete Zeit 31" in Sekunden angegeben (hier 20 Sek). Zudem wird sowohl die Zeit 31''' angegeben, die für die dem aktuellen Reinigungsschritt R_n vorhergehenden Reinigungsschritte benötigt wurde, als auch die Gesamtzeit 31''', die für die bisherige gesamte Reinigung benötigt wurde (hier 42 Sek).

[0149] In der Mitte oben in der Anzeige 30 ist ein Schaubild 32, das symbolisiert, ob ein vordefinierter Reinigungserfolg E eingetreten ist oder nicht. In diesem Fall symbolisiert das Schaubild 32, dass noch kein Reinigungserfolg E eingetreten ist.

[0150] Rechts neben diesem Schaubild 32, können hier in einer Maske 33 die Projektdaten wie Name, Datum etc. eingegeben werden.

[0151] Rechts unten in der Anzeige des Displays 30 befinden sich in einer Auswahleinheit 38 mehrere Auswahlbuttons 38', 38'', 38'''. Zum einen kann hier das Programm beendet 38' werden, mit einem weiteren Button 38'' kann eine neue Reinigung gestartet werden, mit dem Button 38''' ganz rechts außen können die bisher aufgenommenen Daten gespeichert und beispielsweise mit einer Protokolliereinheit 40 protokolliert werden. Diese Protokolliereinheit 40 ist hier ebenfalls in der Recheneinheit 15 angeordnet.

[0152] Mittels einer Eingabeeinheit 14, die hier auch mit der Recheneinheit 15 verbunden ist, können so beispielsweise die oben genannten Buttons 38', 38'', 38''' ausgewählt werden und die Gewichtung oder entsprechende Projektdaten

etc. eingegeben werden.

[0153] Wie oben erwähnt können auch gezielte Vorversuche oder Testmessungen durchgeführt werden, bevor das eigentlich zu reinigende Bauteil gereinigt wird.

[0154] Dazu zeigt Figur 5 Unterschritte, die nach einem Starten der Software der Reinigungs- und Kontrollvorrichtung in Schritt II durchgeführt werden können.

[0155] Zunächst erfolgt eine Leermessung in Schritt Ili. Das heißt, es befindet sich kein Bauteil B oder dergleichen im Reinraum 2. Die laminare Strömung 4 ist eingeschaltet und die Verschmutzungspartikel P im Reinraum 2 werden mit dem Partikelzähler 6 erfasst. So kann eine aktuelle Verschmutzung bzw. Reinheit des Reinraums 2 festgestellt werden, d.h. es kann ein Umgebungsstatus erfasst werden. Daraufhin kann in einem weiteren Schritt Ilii ein Bauteil mit einer bekannten Geometrie, beispielsweise in Form einer Prüfnormalen, in den Reinraum 2 eingebracht werden. Danach kann eine Reinigung gestartet und die abgetragenen Verschmutzungspartikel P können erfasst werden. Unter Nutzung der ermittelten Verschmutzungspartikel kann dann - wie bereits oben beschrieben - ein "objektspezifisches Dekontaminationsereignismuster" erstellt werden. Hierbei werden, vorzugsweise graphisch, die erfassten Verschmutzungspartikel in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt.

[0156] Aufgrund der bekannten Geometrie der Prüfnormalen können beispielsweise bestimmte Anstiege in der Anzahl der erfassten Verschmutzungspartikel einem Reinigungsort auf der Prüfnormalen zugeordnet werden.

[0157] Daraufhin kann in einem Schritt Iliii erneut ein Bauteil, welches dieselbe Geometrie wie das Bauteil zuvor aufweist, einem Reinigungsprozess unterzogen werden und die abgetragenen Verschmutzungspartikel P werden erfasst. Mittels der erfassten Verschmutzungspartikel kann auch hierfür ein aktuelles Dekontaminationsereignismuster erstellt werden. Hierbei werden wieder, vorzugsweise graphisch, die erfassten Verschmutzungspartikel in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt.

[0158] Das aktuelle Dekontaminationsereignismuster kann dann in einem weiteren Schritt Iliiii mit dem zuvor ermittelten objektspezifischen Dekontaminationsereignismuster verglichen werden. Hierdurch kann schnell festgestellt werden, zu welcher Zeit und an welchem Ort des Bauteils wie viele Verschmutzungspartikel auf dem aktuell gereinigten Bauteil abgetragen worden sind. Diese gewonnenen Messdaten bzw. Erkenntnisse können dann beispielsweise für eine genauere Einstellung der Reinigungsschritte oder einer genaueren Auswertung der Messergebnisse von Nutzen sein. Beispielsweise können die Messdaten im Rahmen einer Qualitätssicherung eingesetzt werden, indem bei zugekauften Bauteilen Qualitätsabweichungen von einem Standard erfasst werden. Weiterhin kann auf Grundlage der Messwerte eine Kosten-Nutzen-Analyse hinsichtlich des zu erwartenden Reinigungsaufwands eines bestimmten Bauteils erstellt werden. Auch kann anhand der Messwerte ein Reinigungsverfahren so eingestellt werden, dass ein Objekt nach erfolgter Reinigung für besonders kontaminationskritische Anwendungen, z.B. OP-Säle, freigegeben ist, d.h. besondere Anforderungen an die Sauberkeit zuverlässig erfüllt.

[0159] Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorhergehend detailliert beschriebenen Vorrichtungen lediglich um Ausführungsbeispiele handelt, welche vom Fachmann in verschiedenster Weise modifiziert werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Weiterhin schließt die Verwendung der unbestimmten Artikel "ein" bzw. "eine" nicht aus, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können. Ebenso schließen die Begriffe "Einheit" und "Modul" nicht aus, dass diese auch aus mehreren, gegebenenfalls auch räumlich getrennten, Untereinheiten bestehen.

Bezugszeichenliste

[0160]

- 1 Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung
- 2 Reinraum
- 3 Reinigungsgerät
- 4 quasi-laminarer Fluidstrom / quasi-laminarer Luftstrom
- 5 Reinraumfluidausgang / Reinraumluftausgang
- 6 Partikelzähler
- 7 Abgasstrom
- 8 Auswerteeinheit
- 8a Lokalreinigungs-Auswerteeinheit
- 8b Globalreinigungs-Auswerteeinheit
- 9 CO₂-Schneestrahler
- 10 Düse
- 11 Austrittsort Reinigungsgerät
- 12 Steuereinrichtung
- 13 Anzeigeeinheit

	14 Eingabeeinheit
	15 Recheneinheit
	16 Manipulator/ Drehteller
	17 Koordinatenbestimmungseinheit
5	18 Beströmungsvorrichtung
	19 Detektionseinrichtung
	20 Boden
	21 Decke
	22, 22' Seitenwände
10	23 Fluid / Luft
	24 Fluidkanäle / Umluftkanäle
	25 Reinraumfluideingang / Reinraumlufteingang
	27 Partikelfilter
	30 Anzeige
15	31 Abschnitt
	31' aktueller Reinigungsschritt
	31'' aktuelle Zeit
	31''' Zeit für den letzten Reinigungsschritt
	31'''' Gesamtzeit
20	32 Schaubild
	33 Maske
	34 Diagramm
	35 Balkendiagramm
	36, 37 Partikelbelastungsprofil
25	36', 36'', 36''' Messdiagrammen
	37', 37'' Spalten
	38 Auswahleinheit
	38', 38'', 38''' Auswahlbuttons
	39 Kamera
30	40 Protokolliereinheit
	A Abklingkurve
	B Objekt/ Bauteil
	k Größenkanal
35	DB Datenbus
	E Reinigungserfolg
	O Oberfläche
	P Verschmutzungspartikel
	Rn Reinigungsschritt
40	R1, R2, R3 Reinigungsschritte
	S1, S2, S3 gewichtete Summe
	t Zeit
	x, y, z Raumkoordinaten
45	G 03 - G 25 Graphen
	ΣP Summe der erfassten Verschmutzungspartikel
	I- IV; Ili - Iliiii; IIIa- IIIId Verfahrensschritte

50

Patentansprüche

1. Verfahren zur Reinigung und Reinheitskontrolle von zu reinigenden Objekten (B) in einem Reinraum (2), umfassend zumindest die folgenden Schritte:
- Bereitstellung eines zu reinigenden und zu untersuchenden Objekts (B) in einem Reinraum (2),
 - Durchleitung eines gerichteten quasi-laminaren Fluidstroms (4) durch den Reinraum (2), um lose Verschmutzungspartikel (P) zu einem Reinraumfluidausgang (5) zu befördern,

- Abtragung von Verschmutzungspartikeln (P) von dem zu reinigenden Objekt (B) in dem Reinraum (2) mittels eines Reinigungsgeräts (3),
- Ermitteln von am Reinraumfluidausgang (5) ankommenden Verschmutzungspartikeln (P) und Erfassen zumindest eines Partikelbelastungsprofils (36, 37) in Abhängigkeit von der Zeit (t),
- Auswertung des zumindest einen Partikelbelastungsprofils (36, 37) mittels einer Auswerteeinheit (8) zur Ermittlung von Ergebniswerten betreffend einen Reinigungserfolg (E),
- optional Protokollierung des zumindest einen Partikelbelastungsprofils (36, 37) und/oder der Ergebniswerte.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Verschmutzungspartikel (P) partikelgrößenaufgelöst erfasst werden.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine lokale Auswertung, bei der eine Abreinigung von Verunreinigungen auf einem zu reinigenden Objekt (B) in einem lokalen Bereich erfasst wird, und eine globale Auswertung, bei der eine Abreinigung von Verunreinigungen auf dem gesamten zu reinigenden Objekt (B) erfasst wird, durchgeführt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei zur globalen Auswertung zumindest pro Größenkanal (K) die mittels eines Partikelzählers (6) gezählten Verschmutzungspartikel (P) aufsummiert werden.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei zur lokalen Auswertung eines aktuellen Reinigungsorts auf einem aktuell gereinigten Objekt Raumkoordinaten (x, y, z) einer aktuellen Objektposition des zu reinigenden Objekts (B) und einer aktuellen Geräteposition (11) des Reinigungsgeräts (3) verwendet werden.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei zur Synchronisierung einer zeitlichen Reinigungsabfolge und/oder einer Auswertung des Partikelbelastungsprofils (36, 37) ein objektspezifisches Dekontaminationsereignismuster und ein aktuelles Dekontaminationsereignismuster erstellt und einander zugeordnet werden.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Reinigungsgerät (3) mittels einer Steuereinrichtung (12) automatisch gesteuert wird und/oder wobei das Reinigungsgerät (3) manuell gesteuert wird und/oder wobei das Objekt (B) im Reinraum (2) mittels eines Manipulators (16) gelagert wird, welcher mittels der Steuereinrichtung (12) automatisch gesteuert wird und/oder wobei das Objekt (B) im Reinraum (2) manuell gelagert wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei zur Reinigung eines Objekts (B) eine aktuell zu reinigende Stelle des Objekts (B) mit einem CO₂-Schneestrahler (9) und/oder mit überkritischem CO₂ und/oder mit einer Strahlungsquelle beaufschlagt wird.

9. Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung (1) zur Reinigung und Reinheitskontrolle von Objekten (B), zumindest umfassend:

- einen Reinraum (2) zur Bereitstellung des zu reinigenden und zu untersuchenden Objekts (B), wobei der Reinraum (2) einen Reinraumfluidausgang (5) aufweist,
- eine Beströmungsvorrichtung (18), welche einen gerichteten quasi-laminaren Fluidstrom (4) im Reinraum (2) erzeugt, um lose Verschmutzungspartikel (P) zu dem Reinraumfluidausgang (5) zu befördern,
- ein Reinigungsgerät (3) zum Abtragen von Verschmutzungspartikeln (P) von einem zu reinigenden Objekt (B),
- eine Detektionseinrichtung (19), vorzugsweise mit einem Partikelzähler (6), zur Erfassung eines Partikelbelastungsprofils (36, 37) in Abhängigkeit von der Zeit (t),
- eine Auswerteeinheit (8) zur Auswertung des Partikelbelastungsprofils (36, 37) und zur Ermittlung von Ergebniswerten betreffend einen Reinigungserfolg (E),
- optional eine Protokolliereinheit (40) zur Speicherung des Partikelbelastungsprofils (36, 37) und/oder der Ergebniswerte.

10. Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung nach Anspruch 9, wobei das Reinigungsgerät (3) zumindest eine Düsenanordnung, umfassend zumindest eine Düse (10), bevorzugt mit einem Strahlspot (11) von maximal 5 mm², besonders bevorzugt von maximal 3,5 mm² und ganz besonders bevorzugt von maximal 2 mm², aufweist.

11. Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung nach Anspruch 10, wobei die Düsenanordnung des Reinigungsgeräts (3) maximal 20 cm, bevorzugt maximal 15 cm und besonders bevorzugt maximal 10 cm von einer zu reinigenden Oberfläche eines Objekts (B) angeordnet ist und/oder wobei die Düsenanordnung eine Düsenreihe umfasst, bei der bevorzugt maximal 36 Düsen (10) nebeneinander angeordnet sind, besonders bevorzugt maximal 30 Düsen

(10) und ganz besonders bevorzugt maximal 25 Düsen (10).

5 12. Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche 9 bis 11, wobei der Reinraum (2) eine Grundfläche von mindestens 0,25 m², bevorzugt von mindestens 1 m² und besonders bevorzugt von mindestens 9 m² aufweist.

10 13. Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm, welches direkt in eine Speichereinrichtung einer Steuereinrichtung (12) einer Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung (1) ladbar ist, mit Programmabschnitten, um alle Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 auszuführen, wenn das Computerprogramm in der Steuereinrichtung (12) der Reinigungs- und Reinheitskontrollvorrichtung ausgeführt wird.

15 14. Computerlesbares Medium, auf welchem von einer Rechneinheit einlesbare und ausführbare Programmabschnitte gespeichert sind, um alle Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 auszuführen, wenn die Programmabschnitte von der Rechneinheit ausgeführt werden.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

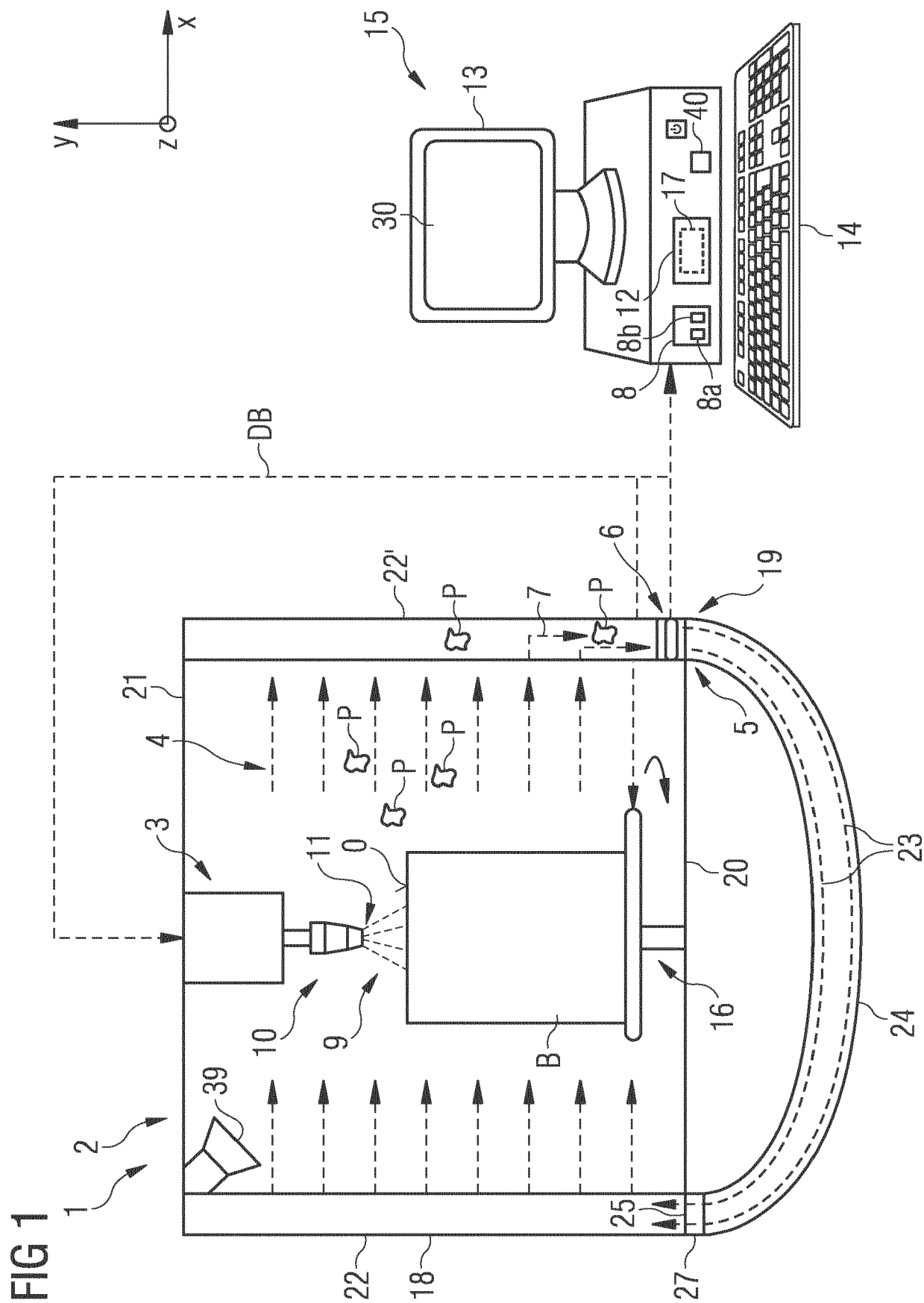


FIG 2

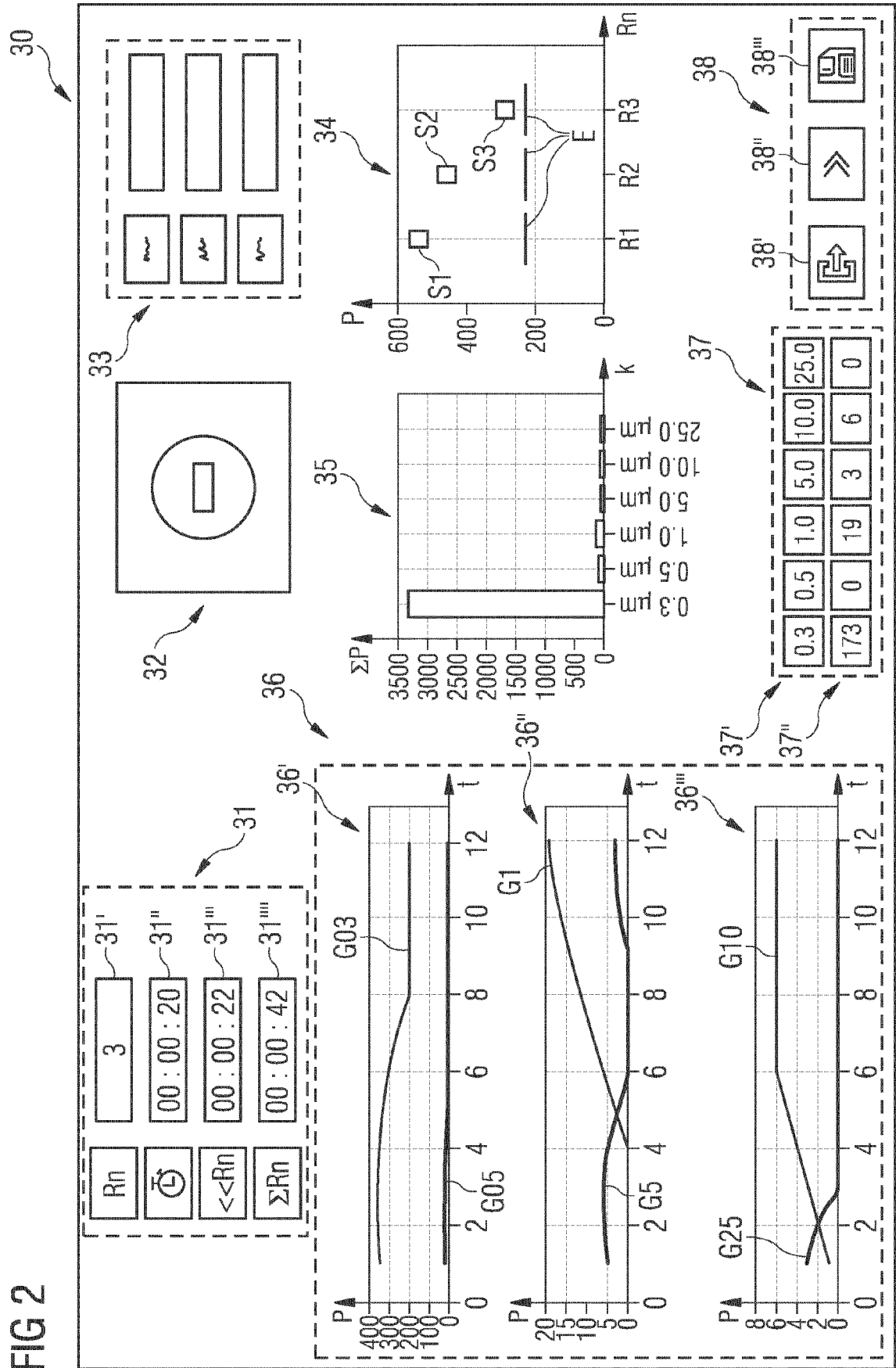


FIG 3

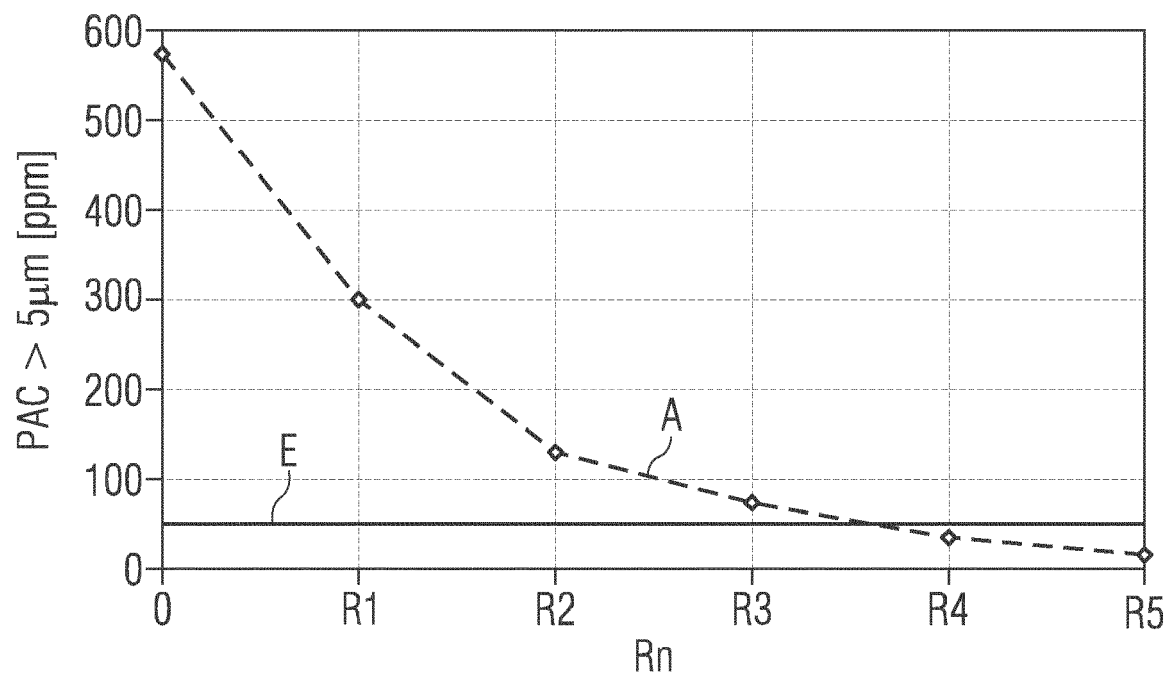


FIG 4

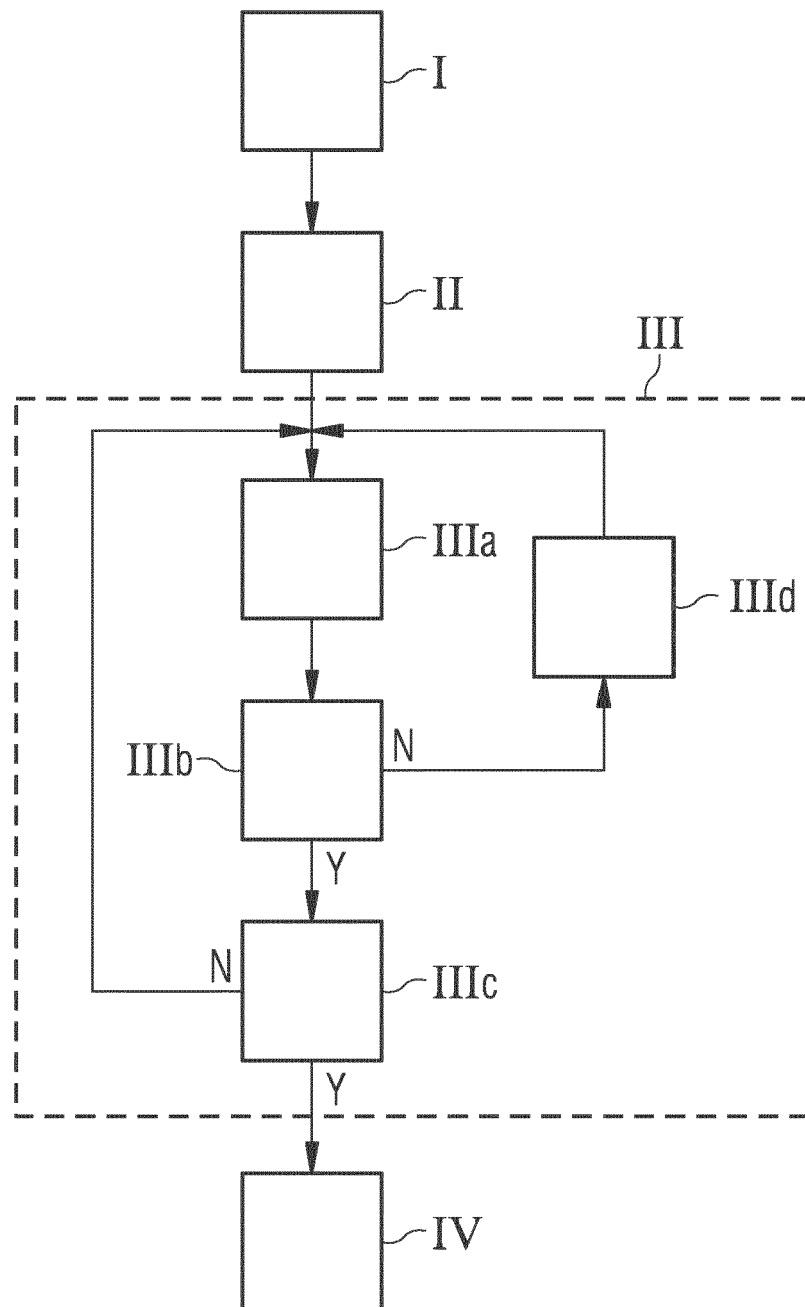
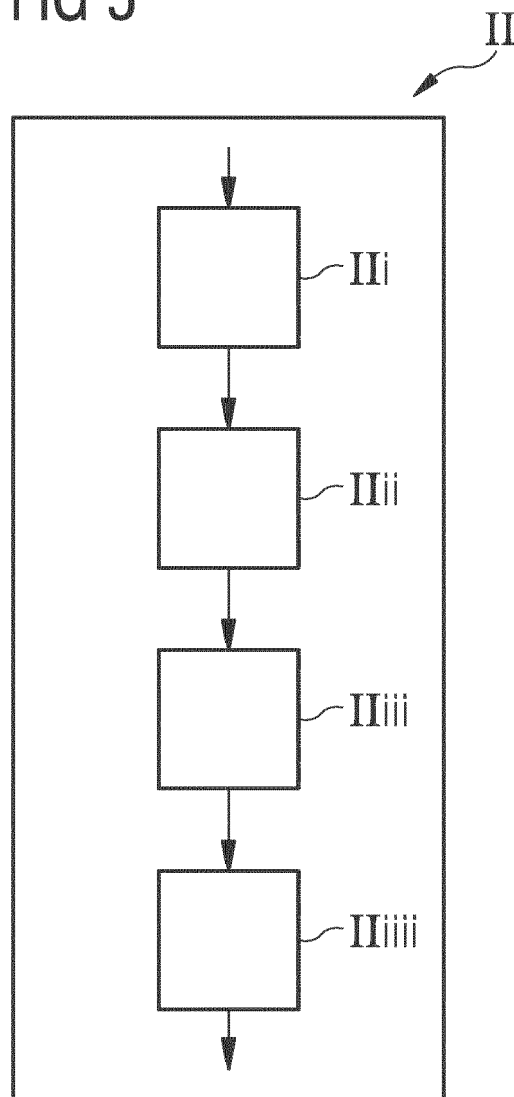


FIG 5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 17 3665

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 7 673 638 B1 (BOYNTON RUDY C [US] ET AL) 9. März 2010 (2010-03-09)	1-14	INV. B08B3/02
Y	* Spalte 3, Zeilen 59-60, 63-67 * * Spalte 4, Zeilen 4-5, 9-11, 20-22, 56-62 * * Spalte 5, Zeilen 16-19, 28-51 * * Spalte 6, Zeilen 10-24, 61 - Spalte 7, Zeilen 20, 44-51, 58 * * Spalte 8, Zeilen 27-53; Abbildungen * -----	1-14	B08B7/00 B08B15/02 B24C1/00 ADD. B08B9/00
Y	US 5 836 809 A (KOSIC THOMAS J [US]) 17. November 1998 (1998-11-17) * Spalte 3, Zeile 30 - Spalte 4, Zeile 32; Abbildungen * -----	1-14	
Y	EP 3 725 427 A1 (SUGINO MACH [JP]) 21. Oktober 2020 (2020-10-21) * Absätze [0003], [0005], [0013]; Abbildungen * -----	1-14	
A	US 5 989 355 A (BRANDT WERNER V [US] ET AL) 23. November 1999 (1999-11-23) * Spalte 3, Zeilen 11-60; Abbildung * -----	1, 2, 8, 9, 13, 14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) B08B B24C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 13. Oktober 2022	Prüfer Béguin-Adriaenssens
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			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 22 17 3665

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

13-10-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	US 7673638	B1	09-03-2010	KEINE		

15	US 5836809	A	17-11-1998	KEINE		

	EP 3725427	A1	21-10-2020	CN	111822416 A	27-10-2020
				EP	3725427 A1	21-10-2020
				JP	6806875 B2	06-01-2021
20				JP	2020177642 A	29-10-2020
				US	2020331039 A1	22-10-2020

	US 5989355	A	23-11-1999	KEINE		

25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

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