



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 33 012 T2** 2006.02.16

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 891 218 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 33 012.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US97/02181**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 906 905.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 97/027927**

(86) PCT-Anmeldetag: **31.01.1997**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **07.08.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.01.1999**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **13.04.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **16.02.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B01D 39/20** (2006.01)  
**F15B 21/04** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**11032 P**                      **02.02.1996**                      **US**

(73) Patentinhaber:  
**Pall Corp., East Hills, N.Y., US**

(74) Vertreter:  
**HOEGER, STELLRECHT & PARTNER**  
**Patentanwälte, 70182 Stuttgart**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB, IT**

(72) Erfinder:  
**LUNDQUIST, E., Joseph, Oldsman, US**

(54) Bezeichnung: **MOTORANORDNUNG MIT RUSSFILTER**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Rußfilter, mit dem Ruß aus einem Gas, z.B. aus der Abzapflung eines Triebwerks, entfernt werden kann. Im Besonderen betrifft die Erfindung ein Filter, mit dem Ruß aus der Abzapflung eines Flugzeugtriebwerks, z.B. eines Hilfstriebwerks, entfernt werden kann.

**[0002]** Moderne Flugzeuge sind häufig mit einem Hilfsaggregat ausgestattet, welches als Hilfstriebwerk (APU) bezeichnet wird. Es handelt sich hierbei um ein kleines, bordeigenes Triebwerk, welches üblicherweise im Heckbereich eines Flugzeugs angeordnet ist und zur Kraftversorgung von Flugzeugsystemen verwendet wird, wenn die Haupttriebwerke des Flugzeugs abgeschaltet sind. Ein Hilfstriebwerk kann für verschiedene Zwecke genutzt werden, z.B. für die Bereitstellung von Wärme, Elektrizität, klimatisierter Luft und Druckluft; im Gegensatz zu einem Flugzeughaupttriebwerk kann es jedoch keinen Flugschub bereitstellen. Ferner kann komprimierte Abzapflung vom Hilfstriebwerk einem Luftturbinen-Startersystem bereitgestellt werden, um ein Haupttriebwerk des Flugzeugs zu starten.

**[0003]** Ein Hilfstriebwerk ist gewöhnlich eine Gasturbine und wie andere Arten von Gasturbinen druckstoßanfällig, wenn die Rate der Luftansaugung ungeeignet für die Triebwerksbetriebsbedingungen ist. Daher wird ein Hilfstriebwerk häufig mit einem Druckstoßkontrollventil ausgestattet, welches in Fließverbindung mit dem Hilfstriebwerk steht und welches auf Basis von Betriebsbedingungen innerhalb des Hilfstriebwerks geöffnet und geschlossen wird, um Druckstöße zu vermeiden.

**[0004]** Ein Druckstoßkontrollventil für ein Hilfstriebwerk empfängt gewöhnlich Abzapflung von dem Hilfstriebwerk und übt eine Kontrolle auf Basis einiger Charakteristika (z.B. des Drucks) der Abzapflung aus. Ein Druckstoßkontrollventil kann verschiedene Pneumatikkomponenten umfassen, z.B. Druckregler und pneumatisch betätigte Ventile, die die Abzapflung vom Hilfstriebwerk durchströmt. Die Abzapflung enthält häufig feine teerige Rußpartikel, d.h. unverbrannte oder unvollständig verbrannte Kohlenwasserstoffe, die vom Hilfstriebwerk aus vielfältigen Quellen aufgenommen werden, z.B. aus den Dieselmotoren der Bodendienstfahrzeuge, welche das Flugzeug warten, wenn es an einem Gate in einem Flughafen geparkt ist, aus dem Ausstoß der Triebwerke in der Nähe befindlicher Flugzeuge oder aus dem Staub, der von der Startbahn durch den Betrieb des Hilfstriebwerks aufgesaugt wird. Der Ruß ist extrem klebrig, und lässt man zu, dass der Ruß in das Druckstoßkontrollventil eintritt, kann er Hängenbleiben und Funktionsstörungen des Druckstoßkontrollventils verursachen. Ferner können andere Flugzeugeinrichtungen, welche die Abzapflung von einem Hilfstriebwerk verwenden,

Komponenten enthalten, die extrem empfindlich gegen das Vorhandensein von Schmutz, Öl und insbesondere Kohlenwasserstoffpartikeln sind und ernststen Schaden nehmen können, wenn sie Rußpartikel mit der Abzapflung aufnehmen. Es besteht also die Notwendigkeit eines Filters, welches Ruß wirksam aus der Abzapflung eines Hilfstriebwerks entfernen kann. Die Abzapflung von den Haupttriebwerken eines Flugzeugs kann ebenfalls Ruß enthalten, und weil diese Abzapflung möglicherweise ebenfalls anderen Flugzeugeinrichtungen zugeführt wird, besteht die Notwendigkeit eines Filters, welches auch diesen Ruß wirksam entfernen kann.

**[0005]** Wenngleich Filter existieren, mit denen Ruß aus einem Gas entfernt werden kann, ist die Verwendung existierender Filter für Flugzeugtriebwerke wegen verschiedener Nachteile häufig nicht praktikabel, z.B. wegen ihrer hohen Kosten, ihres voluminösen Aufbaus und ihrer unzureichenden Schmutzkapazität, die häufiges Reinigen oder Austauschen notwendig macht. Ferner weist die Abzapflung eines Hilfstriebwerks typischerweise eine sehr niedrige Strömungsrate auf, und aus diesem Grund sind Trägheitsabscheider nicht zu einer wirksamen Entfernung von Partikeln aus der Abzapflung befähigt.

**[0006]** Die vorliegende Erfindung stellt eine Triebwerksanordnung bereit, umfassend ein Flugzeugtriebwerk, das eine Gasturbine mit einer Abzapfgasleitung umfasst; und ein Filter in Fluidverbindung mit der Abzapfgasleitung, das ein gesintertes Metallmedium mit einem Hohlraumvolumen im Bereich von 50% bis 95% und ein auf der Anströmseite des gesinterten Metallmediums angeordnetes Vorfilter umfasst, wobei das Vorfilter poröser ist als das gesinterte Metallmedium und wobei das Filter eine Einfangeffizienz von wenigstens 95% für Rußpartikel mit einer Größe im Bereich von 1 µm bis 5 µm aufweist.

**[0007]** Das gesinterte Metallmedium weist gute Korrosionsbeständigkeit bei hohen Temperaturen und eine extrem hohe Schmutzkapazität auf und hat somit eine lange Nutzlebensdauer. Es kann ferner niedrige Materialkosten aufweisen, so dass es weggeworfen werden kann, wenn ein Austausch notwendig wird. Das gesinterte Metallmedium ist nicht auf einen besonderen Typ begrenzt, wird aber vorzugsweise so gewählt, dass das Filter Rußpartikel mit einer Größe von 1 bis 5 µm aus einem Gas von einem Triebwerk entfernen kann. Bei einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das gesinterte Metallmedium ein Medium aus faserförmigem Metall. Ein Teil der Fasern in dem Medium kann eine nichtlineare Gestalt aufweisen. Die Fasern weisen vorzugsweise einen Durchmesser im Bereich von ca. 1 bis ca. 150 µm und eine nominale Länge im Bereich von ca. 100 µm bis ca. 20 mm auf. Die Fasern sind vorzugsweise mechanisch verzahnt und durch Sintern aneinander gebunden, mit zwischen den Fasern der Masse defi-

nierten Hohlräumen. Das Medium aus faserförmigem Metall weist vorzugsweise ein Hohlraumvolumen im Bereich von ca. 50% bis ca. 95% auf. Für Fasern mit einem Durchmesser von mehr als annähernd 40 µm sind nach dem Schmelzüberlauf-Gussverfahren gebildete Fasern besonders geeignet zur Verwendung für das Medium aus faserförmigem Metall. Das Filter kann ferner ein poröses Vorfilter auf einer Anströmseite des gesinterten Metallmediums aufweisen. Das Filter kann in einem Gehäuse angeordnet sein, welches das Filter in Fließverbindung mit einer Quelle für ein zu filterndes partikelhaltiges Gas bringen kann.

**[0008]** Das Filter kann ein sehr hohes Hohlraumvolumen aufweisen, was zu einem geringen Druckverlust und einer langen Lebensdauer führt. Gleichzeitig kann das Filter sehr kleine Rußpartikel von 1 bis 5 µm mit hoher Effizienz bei Strömungsraten, die zu niedrig sind, als dass Trägheitsabscheider bei ihnen wirksam funktionieren könnten, einfangen. Zusätzlich kann das Filter leichtgewichtig und sehr kompakt sein, was es sehr geeignet zur Verwendung in einer Flugzeugumgebung macht.

**[0009]** Das Filter ist besonders geeignet zur Entfernung von Ruß, d.h. unverbrannten oder unvollständig verbrannten Kohlenwasserstoffen, aus Gasen. Es ist jedoch nicht auf die Verwendung mit Ruß beschränkt und kann Verwendung finden zum Filtern eines Gases zum Entfernen einer beliebigen Art von Partikeln mit einer Größe, die in den Bereich des Rückhaltevermögens des Filters fällt.

**[0010]** Im Folgenden werden einige Ausführungsformen der Erfindung exemplarisch detaillierter beschrieben unter Bezugnahme auf die beigefügte zeichnerische Darstellung; in der Zeichnung zeigen:

**[0011]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines mit einer Filteranordnung ausgestatteten Hilfstriebwerks;

**[0012]** [Fig. 2](#) einen Aufriss der Filteranordnung von [Fig. 1](#);

**[0013]** [Fig. 3](#) eine Ansicht der Filteranordnung von [Fig. 2](#) von unten;

**[0014]** [Fig. 4](#) einen senkrechten Schnitt der Filteranordnung von [Fig. 2](#);

**[0015]** [Fig. 5](#) einen vergrößerten senkrechten Schnitt eines Teils der Filteranordnung von [Fig. 4](#);

**[0016]** [Fig. 6](#) eine Draufsicht auf das in [Fig. 4](#) gezeigte Filter;

**[0017]** [Fig. 7](#) einen senkrechten Schnitt mit einer alternativen Dichtungsanordnung, welche mit der Filteranordnung von [Fig. 1](#) Verwendung finden kann;

**[0018]** [Fig. 8](#) eine schematische Darstellung des Querschnitts von Metallfasern, welche für das gesinterte Metallmedium der Filteranordnung von [Fig. 1](#) verwendet werden;

**[0019]** [Fig. 9](#) einen senkrechten Schnitt einer weiteren Ausführungsform einer Filteranordnung.

**[0020]** [Fig. 1](#) zeigt schematisch ein typisches Hilfstriebwerk **10** für ein Flugzeug, für das eine erfindungsgemäße Filteranordnung Verwendung finden kann. Das Hilfstriebwerk **10** kann eine beliebige gewünschte Struktur aufweisen und kann z.B. ein kommerziell verfügbares Modell sein. Bei der vorliegenden Ausführungsform umfasst das Hilfstriebwerk **10** eine Luftansaugung **11**, durch welche Luft eintritt, um durch einen ein- oder mehrstufigen Leistungsteilkompressor **12** vom Zentrifugaltyp verdichtet zu werden. Die verdichtete Luft aus dem Leistungsteilkompressor **12** wird in eine oder mehrere Brennkammern **13** eingespeist, wo sie mit Kraftstoff, der über Kraftstoffdüsen **14** zugeführt wird, gemischt und verbrannt wird. Die verbrannte Luft wird einer Turbine **15** zugeführt, die eine oder mehr Stufen aufweisen kann, und der/die Rotor/en der Turbine **15** werden von der verbrannten Luft zu einer Rotationsbewegung angetrieben. Die Rotation des oder der Turbinenrotoren treibt eine mit der Turbine **15** verbundene Ausgangswelle **17** zu einer Rotationsbewegung an, die ihrerseits den Leistungsteilkompressor **12**, einen Lastkompressor **18** vom Zentrifugaltyp und ein Getriebe **19** antreibt. Der Lastkompressor **18** verdichtet von der Luftansaugung **11** kommende Luft und führt die verdichtete Luft über Abzapflleitungen **20** und **21** verschiedenen Pneumatiksystemen des Flugzeugs zu. Das Getriebe **19**, welches typisch ein Untersetzungsgetriebe umfasst, kann mit verschiedenen, nicht dargestellten Einrichtungen verbunden sein, z.B. mit einem elektrischen Generator, der das Flugzeug mit elektrischer Energie versorgt, einem Kompressor oder anderen Einrichtungen, um die Einrichtungen bei einer geeigneten Rotationsgeschwindigkeit anzutreiben.

**[0021]** Das Hilfstriebwerk **10** ist mit einem Druckstoßkontrollventil **30** ausgestattet, um das Auftreten von Druckstößen zu verhindern. Das Druckstoßkontrollventil **30**, welches konventioneller oder beliebiger anderer geeigneter Bauweise sein kann, umfasst eine stellbare Ventilplatte **31**, welche in einem zwischen der Abzapflleitung **20** von dem Lastkompressor **18** und dem Abströmbereich **16** des Hilfstriebwerks **10** geschalteten Bypass **22** drehbar angeordnet ist. Das Druckstoßkontrollventil **30** umfasst ferner eine Pneumatikkontrolleinheit **32**, welche die Ventilplatte **31** auf der Basis des Abzapflflutdrucks in einer Abzapflleitung **23**, welche mit der Ausstoßseite des Leistungsteilkompressors **12** verbunden ist, auf und zu macht. Eine Filteranordnung **40** ist in der Abzapflleitung **23** zwischen dem Hilfstriebwerk **10** und der Pneumatikkontrolleinheit **32** installiert, so

dass Abzapflung die Filteranordnung **40** durchströmt und gefiltert wird, bevor sie in die Pneumatikkontrolleinheit **32** eintritt. Die Pneumatikkontrolleinheit **32** umfasst typischerweise Komponenten wie einen Druckregler und pneumatische Betätigungsverrichtungen zum Betätigen der Ventilplatte **31**.

**[0022]** Hilfstriebwerke und Druckstoßkontrollventile, mit denen ein Filter verwendet werden kann, sind kommerziell von einer Reihe von Herstellern erhältlich, z.B. von Pratt and Whitney oder Allied Signal Engines. Jedoch sind die erfindungsgemäßen Ausführungsformen nicht auf die Verwendung mit Einrichtungen von diesen Herstellern oder mit bestimmten Modellen oder Bauformen beschränkt. Weiter zeigt **Fig. 1** nur eine mögliche Druckstoßkontrollanordnung, und es können zahlreiche andere Anordnungen, die dem Fachmann wohlbekannt sind, Verwendung finden. Da die Prinzipien und Details der Funktion von Druckstoßkontrollventilen dem Fachmann wohlbekannt sind, wird auf deren Beschreibung verzichtet.

**[0023]** In den **Fig. 2** bis **Fig. 6** ist die Filteranordnung **40** von **Fig. 1** detaillierter dargestellt. Gemäß diesen Figuren umfasst sie ein Gehäuse **41** und ein im Inneren des Gehäuses **41** angeordnetes Filter **70**. Das Gehäuse **41** kann eine beliebige Struktur aufweisen, welche es ihm ermöglicht, Abzapflung von der Abzapflleitung **23** durch das Filter **70** zu leiten, um sie zu filtern. Das Gehäuse **41** bei dieser Ausführungsform umfasst einen Körper **42** und eine an dem Körper **42** montierte Abdeckung **60**. Das Gehäuse **41** umfasst ferner einen Einlass **43** zur Verbindung mit einer Quelle für zu filterndes Gas, d.h. der Abzapflleitung **23**, und einen Auslass **44** für Gas, welches durch das Filter **70** gefiltert worden ist. Vorzugsweise sind sowohl der Einlass **43** als auch der Auslass **44** mit dem Körper **42** verbunden oder Teil desselben, und die Abdeckung **60** ist lösbar an dem Körper **42** montiert, derart, dass die Abdeckung **60** geöffnet und geschlossen werden kann und das Filter **70** installiert und aus dem Gehäuse **41** entfernt werden kann, ohne Fluidverbindungen zu dem Einlass **43** und dem Auslass **44** zu stören. Bei dieser Ausführungsform ist der Einlass **43** über einen Teil der Abzapflleitung **23** mit dem Hilfstriebwerk **10** verbunden, und der Auslass **44** ist über einen anderen Teil der Abzapflleitung **23** mit der Pneumatikkontrolleinheit **32** des Druckstoßkontrollventils **30** verbunden. Gemäß **Fig. 3** münden sowohl der Einlass **43** als auch der Auslass **44** in der Außenumfangsfläche des Gehäusekörpers **42**, obschon sie in anderen Teilen des Körpers **42**, z.B. der unteren Oberfläche, einmünden können und nicht in der gleichen Fläche münden müssen.

**[0024]** Die Filteranordnung **40** kann an einem beliebigen geeigneten Ort entlang der Abzapflleitung **23** installiert werden, z.B. an einem Gehäuse des

Hilfstriebwerks **10**. Bei dieser Ausführungsform ist der Körper **42** mit einer Mehrzahl von Füßen **45** ausgestattet, mittels derer der Körper **42** durch Bolzen oder sonstwie an einer geeigneten Oberfläche gesichert werden kann.

**[0025]** **Fig. 2** zeigt das Gehäuse **41** mit der Abdeckung **60** höher als der Körper **42** des Gehäuses **41** liegend. Jedoch kann die Filteranordnung **40** in beliebiger gewünschter Lage des Filtergehäuses **41** bezogen auf die Vertikale betrieben werden, z.B. mit dem Gehäusekörper **42** höher als die Abdeckung **60** liegend oder mit beiden auf der gleichen Höhe.

**[0026]** Infolge ihrer Verdichtung durch den Leistungsteilkompressor **12** ist die Abzapflung vom Hilfstriebwerk **10**, welche in das Druckstoßkontrollventil **30** durch die Abzapflleitung **23** eingeführt wird, gewöhnlich extrem heiß (z.B. bei Temperaturen von 176,7°C bis 260°C (350 bis 500°F) am Einlass **43** des Gehäuses **41**). Wenn also die Filteranordnung **40** mit einem Hilfstriebwerk **10** verwendet wird, ist das Gehäuse **41** vorzugsweise aus einem korrosionsbeständigen Hochtemperaturmaterial hergestellt; einige Beispiele für geeignete Materialien sind Edelstahl, Titanlegierungen, Hastelloy und Keramik.

**[0027]** Gemäß **Fig. 5** ist das Filter **70** bei dieser Ausführungsform im Wesentlichen zylindrisch und weist eine seine Höhe durchsetzende zentrale Bohrung auf. Die zentrale Bohrung des Filters **70** ist günstig, um die Größe der Filteranordnung **40** zu vermindern, weil sie es ermöglicht, einen Kanal für zu filterndes Gas durch das Zentrum des Filters **70** zu führen. Das Filter **70** ist jedoch nicht auf eine besondere Gestalt begrenzt, und die Bohrung kann weggelassen oder an einem anderen Ort angeordnet sein. Einige Beispiele für andere mögliche Gestalten des Filters **70** umfassen einen Kegelstumpf, einen Stab oder eine flache polygonale Platte. Das Filter **70** kann eine über seinen Radius einheitliche oder variierende Höhe aufweisen.

**[0028]** Die Bohrung des Filters **70** umschließt ein vertikales Zuleitungsrohr **46**, welches an dem Zentrum des Gehäusekörpers **42** angeordnet und mit dem Einlass **43** des Gehäuses **41** durch einen in dem Körper **42** gebildeten radialen Kanal **47** verbunden ist. Wie durch Pfeile in **Fig. 4** gezeigt, tritt zu filterndes Gas von der Abzapflleitung **23** in den Einlass **43** ein und strömt durch den Kanal **47** radial einwärts und in das untere Ende des vertikalen Zuleitungsrohrs **46** hinein. Es durchläuft dann das Zuleitungsrohr **46** und tritt am oberen Ende desselben aus, woraufhin das Gas das Filter **70** axial durchströmt, hierbei gefiltert wird und dann in eine Kammer **48** strömt, die im unteren Teil des Gehäusekörpers **42** unterhalb des Filters **70** gebildet ist und mit dem Auslass **44** in Verbindung steht. Aus der Kammer **48** tritt das gefilterte Gas über den Auslass **44** aus und wird der

Pneumatikkontrolleinheit **32** des Druckstoßkontrollventils **30** zugeführt. Es kann jedoch ein beliebiger Strömungspfad zwischen dem Einlass **43** und dem Auslass **44**, der das Filter **70** passiert, Verwendung finden. Ferner können die Funktionen des Einlasses **43** und des Auslasses **44** gegeneinander vertauscht sein, wobei zu filterndes Gas in den Auslass **44** und aufwärts durch das Filter **70** strömt und gefiltertes Gas das Gehäuse **41** durch das Zuleitungsrohr **46**, den radialen Kanal **47** und den Einlass **43** verlässt. Wenn zu filterndes Gas während seiner Passage durch das Filter **70** einen großen Druckabfall erfährt, ist die Strömungsrichtung durch das Filter **70** vorzugsweise so, dass eine axiale Kraft auf das Filter **70** infolge des Druckabfalls eher gegen den Gehäusekörper **42** wirkt als in Richtung der Abdeckung **60** des Gehäuses **41**, weil der Gehäusekörper **42** leichter so ausgebildet werden kann, dass er der axialen Kraft widersteht, und die axiale Kraft direkt an der Fläche aufgebracht werden kann, an der der Gehäusekörper **42** montiert ist. Anstatt das Filter **70** axial zu durchströmen, kann das Gas radial oder sowohl axial als auch radial strömen.

**[0029]** Der Gehäusekörper **42** und die Abdeckung **60** können in beliebiger gewünschter Weise miteinander verbunden sein; bevorzugt ist die Abdeckung **60** aber lösbar mit dem Gehäusekörper **42** verbunden, um das Filter **70** leicht installieren und austauschen zu können. Bei der vorliegenden Ausführungsform sind die zwei Glieder **42** und **60** durch eine konventionelle V-Bandklemme **65** verbunden, welche mit einem Griff **66** ausgestattet ist, der gedreht werden kann, um die Klemme **65** um einen am Außenumfang des Gehäusekörpers **42** gebildeten Flansch **50** und einen am Außenumfang der Abdeckung **60** gebildeten Flansch **61** festzuziehen. Jeder der Flansche **50** und **61** weist eine geneigte Außenfläche auf, so dass beim Festziehen der V-Bandklemme **65** diese die Flansche zueinander hin drängt und die Abdeckung **60** an dem Körper **42** sichert. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist ein Dichtungsglied, z.B. ein O-Ring **51**, aus einem wärmebeständigen Material zwischen den Flanschen **50** und **61** angeordnet, um zwischen ihnen eine Abdichtung zu bilden. Das Gehäuse **41** kann, muss aber nicht hermetisch gegenüber der Atmosphäre abgedichtet sein, da Gas oder Partikel, welche aus dem Gehäuse **41** austreten, keine Gefahr für die Umwelt darstellen. Es kann eine breite Vielfalt anderer Mechanismen verwendet werden, um die Abdeckung **60** und den Gehäusekörper **42** lösbar zu verbinden, z.B. Bolzen, mit passenden Gewinden an dem Körper **42** und der Abdeckung **60** ausgebildet, eine Bajonettfassung oder eine Schnappverbindung.

**[0030]** Wie in [Fig. 5](#) gezeigt, welche einen vertikalen Schnitt darstellt, umfasst das Filter **70** gemäß dieser Ausführungsform ein hohles, scheibenförmiges Filterelement **71**, welches ein Filtermedium enthält

und eine zentrale Bohrung aufweist, einen Innenring **75**, welcher in der zentralen Bohrung des Filterelementes **71** angeordnet ist, und einen Außenring **76**, der den Außenumfang des Filterelementes **71** umschließt. Die Ringe **75** und **76** stellen glatte Oberflächen bereit, gegen die eine Dichtung zwischen dem Filter **70** und dem Gehäuse **41** gebildet werden kann, geben dem Filter **70** strukturelle Steifigkeit und verhindern Beschädigung des Filterelementes **71** bei der Handhabung und Installation des Filters **70**. Die Ringe **75** und **76** sind jedoch nicht unbedingt erforderlich für den Betrieb des Filters **70** und können, falls gewünscht, weggelassen werden.

**[0031]** Der Innenring **75** passt über das vertikale Zuleitungsrohr **46** des Gehäusekörpers **42**. Bei dieser Ausführungsform weist der Innenring **75** einen Innendurchmesser auf, der an seinem unteren Ende größer ist als an seinem oberen Ende, und das vertikale Zuleitungsrohr **46** weist einen Außendurchmesser auf, der von seinem unteren Ende zu seinem oberen Ende abnimmt, wobei der Außendurchmesser des unteren Endes des Zuleitungsrohrs **46** größer ist als der Innendurchmesser des oberen Endes des Innenrings **75**. So aufgebaut kann das Filter **70** nur in der in [Fig. 5](#) gezeigten Weise an dem Zuleitungsrohr **46** montiert werden, wodurch eine gewünschte Ausrichtung des Filters **70** bezogen auf die Gasströmung durch das Gehäuse **41** sichergestellt wird.

**[0032]** Die Strömungsrate von Abzapfgas von einem Hilfstriebwerk ist im Allgemeinen sehr niedrig. Ein Beispiel für eine typische Strömungsbedingung an dem Einlass **43** der Filteranordnung **40** ist eine Reinluftströmungsrate von ca. 0,014 bis 0,057 m<sup>3</sup>/min (ca. 0,5 bis ca. 2,0 scfm (Standardkubikfuß pro Minute)), ein statischer Druck von 1206 kPa (175 psig) und eine Temperatur von 260°C (500°F). Das in dem Filterelement **71** verwendete Filtermedium ist deshalb vorzugsweise aus einem korrosionsbeständigen Hochtemperaturmaterial hergestellt, welches Rußpartikel bei sehr niedrigen Strömungsraten und hohen Temperaturen wirksam entfernen kann. Ein gesintertes Metallfiltermedium, welches aus einem korrosionsbeständigen Metall gebildet ist, ist besonders geeignet für die Entfernung feiner Rußpartikel aus einem Heißgas bei niedrigen Strömungsraten, und ein solches Filtermedium **72** wird in der vorliegenden Ausführungsform verwendet. Ein gesintertes Medium ist oft vorteilhaft, weil es Schwingungen und Strömungsstößen ohne Migration des das Medium bildenden Materials widerstehen kann. Das Filterelement **71** kann ferner ein Vorfilter **73** auf der Anströmseite des gesinterten Metallmediums **72** umfassen.

**[0033]** Das Rückhaltevermögen des Filterelementes **71** als Ganzes kann gewählt sein auf Basis der Art der Partikel, die aus der es passierenden Abzapfluft entfernt werden sollen. Der größere Teil von Rußpartikeln in einer Flugzeugumgebung ist größten-

mäßig typisch in einem Bereich von 2 bis 5 µm angesiedelt. Wenn also die Filteranordnung **40** dazu verwendet wird, Rußpartikel aus einem Abzapfgas von einem Hilfstriebwerk zu entfernen, ist das Filterelement **71** bevorzugt in der Lage, Rußpartikel von 2 µm und darüber, noch bevorzugter 1 µm und darüber, zu entfernen. Für Rußpartikel im Größenbereich von 1–5 µm weist das Filterelement **71** vorzugsweise eine Einfangeffizienz von mindestens 95% auf. Für Rußpartikel mit einer Größe von 5 µm beträgt die Einfangeffizienz bevorzugt mindestens 99%, noch bevorzugter mindestens 99,9%.

**[0034]** Das Hohlraumvolumen des gesinterten Metallmediums **72** ist nicht auf einen besonderen Wert begrenzt, liegt aber bevorzugt im Bereich von ca. 50% bis ca. 95%, noch bevorzugter innerhalb eines Bereichs von ca. 75% bis ca. 95%, weiter bevorzugt im Bereich von ca. 85% bis ca. 95%.

**[0035]** Das Vorfilter **73** kann vielfältige Funktionen ausüben. Eine Funktion besteht darin, grobe Partikel in dem durch das Filterelement **71** geleiteten Gas einzufangen und zu verhindern, dass die groben Partikel das gesinterte Metallmedium **72** kontaktieren und es verstopfen, wodurch die Lebensdauer des Filterelementes **71** erhöht wird. Eine weitere Funktion, von der angenommen wird, dass sie von dem Vorfilter **73** ausgeübt wird, besteht darin, kleine Rußpartikel zu größeren zu agglomerieren, welche von dem gesinterten Metallmedium **72** leichter entfernt werden können. Wegen ihrer Klebrigkeit haften Rußpartikel in der Abzapfluft leicht an den Oberflächen, mit denen sie in Kontakt kommen. Einzelne Rußpartikel in der Abzapfluft können, auch wenn sie extrem klein und im Allgemeinen viel kleiner als die Hohlräume des Vorfilters **73** sind, dennoch – wegen ihrer Klebrigkeit – an das Vorfilter **73** anhaften. Wenn weitere Rußpartikel mit den bereits dem Vorfilter **73** anhaftenden Partikeln in Kontakt kommen und an diesen anhaften, agglomerieren die einzelnen Partikel zu einer größeren Masse. Wenn die Partikelmasse eine gewisse Größe erreicht, wird sie durch den Gasstrom von dem Vorfilter **73** abgelöst und im Inneren des Vorfilters **73** stromab zu dem gesinterten Metallmedium **72** getragen. Aufgrund der Agglomeration in dem Vorfilter **73** ist die mittlere Größe der Partikel, welche das gesinterte Metallmedium **72** erreichen, beträchtlich größer als in Abwesenheit des Vorfilters **73**, wodurch es für das gesinterte Metallmedium **72** leichter wird, die Rußpartikel einzufangen, und es möglich wird, die Porengröße des gesinterten Metallmediums **72** zu erhöhen. Dies hat einen geringeren Druckabfall und eine längere Nutzlebensdauer des gesinterten Metallmediums **72** zur Folge.

**[0036]** Das Vorfilter **73** ist vorzugsweise beträchtlich poröser als das gesinterte Metallmedium **72**. Beispielsweise kann es ein Hohlraumvolumen von mindestens 90%, noch bevorzugter mindestens 95%

aufweisen. Besonders gute Ergebnisse sind durch die Verwendung eines Vorfilters mit einem Hohlraumvolumen zwischen 98,0% und 99,0% erzielt worden. Ein Beispiel für ein geeignetes Vorfilter ist ein Polster aus Wirkgeflecht aus einem korrosionsbeständigen Metalldraht oder ein Polster aus einem korrosionsbeständigen Nonwoven-Metallgewebe, wobei Edelstahl ein besonders geeignetes Metall zur Verwendung für die Bildung des Polsters ist. Derartige Polster sind in einem Porositätsbereich kommerziell erhältlich. Bei einer Luftströmungsrate von ca. 0,014 bis ca. 0,057 m<sup>3</sup>/min (ca. 0,5 bis ca. 2,0 scfm) durch das Filter wurde ein Polster aus Wirkgeflecht, gebildet aus Edelstahlfasern mit einem Faserdurchmesser von ca. 0,1016 bis ca. 0,1524 mm (ca. 0,004 bis ca. 0,006 in) und einer Dichte im Bereich von ca. 0,092 bis ca. 0,153 g/cm<sup>3</sup> (ca. 1,5 bis ca. 2,5 g/in<sup>3</sup>) als gute Resultate liefernd gefunden. Beispiele für andere Glieder, welche als Vorfilter Verwendung finden können, umfassen Drahtgeflechte, Streckmetall, photogeätzte Siebe, Drahtwickel- oder Formstrukturen und perforierte Flachmaterialien.

**[0037]** Das Vorfilter **73** kann aus einem beliebigen Material hergestellt sein, welches den hohen Temperaturen, die während des Betriebs der Filteranordnung **40** anzutreffen sind, widerstehen kann, z.B. Edelstahl, Kupfer, Nickel, Messing und Keramik, um ein paar Beispiele zu nennen. Wenn es die Betriebstemperaturen erlauben, können auch Fasern aus Hochtemperaturpolymeren wie PPS (Polyphenylsulfid) oder Nomex (Marke von DuPont für eine Aramidfaser) verwendet werden.

**[0038]** Das gesinterte Metallmedium **72** und das Vorfilter **73** müssen keine besondere Gestalt aufweisen. Sie können hinsichtlich ihrer Gestalt dem Filterelement **71** als Ganzes ähnlich oder verschieden davon sein. Bei dieser Ausführungsform umfassen sie jeweils eine Hohlplatte von im Wesentlichen gleichmäßiger Dicke über ihren Durchmesser und mit einer Oberseite und einer Unterseite, die flach sind. Sowohl das gesinterte Metallmedium **72** als auch das Vorfilter **73** können gewellt sein, um ihre Oberfläche zu vergrößern; bei dieser Ausführungsform sind sie jedoch ungewellt.

**[0039]** Das Rückhaltevermögen des gesinterten Metallmediums **72** kann über seine Tiefe konstant sein oder variieren. Ein Filtermedium mit einem Rückhaltevermögen, welches über seine Tiefe variiert, wobei die stromabwärtigen Teile des Mediums eine feinere Porengröße aufweisen als die anstromseitigen Teile des Mediums, weist häufig eine höhere Schmutzkapazität auf als ein Filtermedium mit einem konstanten Rückhaltevermögen über seine Tiefe. Das Rückhaltevermögen des gesinterten Metallmediums **72** kann auf vielfältige Weise variiert werden. Beispielsweise kann das gesinterte Metallmedium **72** eine einzige Schicht umfassen mit einer Porengröße,

die über ihre Tiefe variiert, oder sie kann eine Mehrzahl von separat gebildeten Schichten umfassen, welche unterschiedliche Porengrößen aufweisen. Die verschiedenen Schichten können, müssen aber nicht aneinander gesichert sein. Bei der dargestellten Ausführungsform umfasst das gesinterte Metallmedium **72** eine erste oder anströmseitige hohlscheibenförmige Schicht **72a** und eine zweite oder stromabwärtige hohlscheibenförmige Schicht **72b**, welche auf einer stromabwärtigen Seite der ersten Schicht **72a** angeordnet ist und eine feinere mittlere Porengröße als die erste Schicht **72a** aufweist. Jede der Schichten **72a** und **72b** ist ein separater, unitärer Sinterkörper. Bei der dargestellten Ausführungsform sind die Schichten **72a** und **72b** übereinander gestapelt, ohne zusammengefügt zu sein.

**[0040]** Das Filterelement **71** kann Komponenten enthalten, welche von den in den Figuren gezeigten verschieden sind. Beispielsweise kann es verschiedene Schichten umfassen, um Strömungsverteilung, gröbere Vorfiltration oder mechanische Stützung bereitzustellen.

**[0041]** Das Vorfilter **73** kann, muss aber nicht körperlich mit dem gesinterten Metallmedium **72** verbunden sein. Beispielsweise kann das Vorfilter **73** einfach oben auf der Anströmoberfläche des gesinterten Metallmediums **72** aufliegen oder dagegen gepresst werden, oder es kann von dem gesinterten Metallmedium **72** durch ein Zwischenglied, z.B. ein poröses Geflecht oder eine perforierte Platte, getrennt sein; jedoch werden im Allgemeinen – der Kompaktheit wegen – das Vorfilter **73** und das gesinterte Metallmedium **72** einander kontaktieren.

**[0042]** Vorzugsweise ist das gesinterte Metallmedium **72** zum Außenumfang des Innenrings **75** und zum Innenumfang des Außenrings **76** abgedichtet, so dass Partikel, die groß genug sind, um von dem gesinterten Metallmedium **72** eingefangen zu werden, das gesinterte Metallmedium **72** nicht umgehen können, indem sie zwischen dem gesinterten Filtermedium **72** und den Ringen strömen. Eine Abdichtung kann auf beliebige geeignete Weise gebildet sein. Beispielsweise kann das gesinterte Metallmedium **72** direkt an die Ringe **75** und **76** gesintert oder geschweißt sein, oder es kann ein wärmebeständiges Material, z.B. ein zum Löten oder Schweißen geeignetes Zusatzmetall, zwischen dem gesinterten Metallmedium **72** und den Ringen angeordnet sein, oder das gesinterte Metallmedium **72** kann mit Schrumpfsitz oder Presssitz in dichtenden Kontakt mit den Ringen **75**, **76** gepresst sein. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist das gesinterte Metallmedium **72** mit Presssitz zwischen die Ringe **75**, **76** gefügt, um eine Metall-zu-Metall-Dichtung zu erzeugen.

**[0043]** Ein oberer Halter **80** mit Öffnungen, durch

die zu filterndes Gas passieren kann, kann auf der Anströmseite des Filters **70** benachbart zu dem Vorfilter **73** angeordnet sein, um das Vorfilter **73** an Ort und Stelle oben auf dem gesinterten Metallmedium **72** zu halten. Wie in [Fig. 5](#) und in [Fig. 6](#), die eine Draufsicht auf das Filter **70** darstellt, gezeigt, umfasst der obere Halter **80** bei dieser Ausführungsform eine Hohnabe **81**, die über das obere Ende des Innenrings **75** passt, einen Außenrand **82**, der an dem Außenring **76** anliegt, und eine Mehrzahl von Speichen **83**, die sich zwischen der Nabe **81** und dem Rand **82** erstrecken. Zu filterndes Gas kann durch die Räume **84** zwischen benachbarten Speichen **83** hindurchströmen. Die Nabe **81** des oberen Halters **80** ist in einer in dem Innenring **75** gebildeten Umfangsnut mittels eines geeigneten Halteglieders, z.B. eines Spirahalterings **85**, an Ort und Stelle gehalten. Das Filter **70** kann ferner einen unteren Halter **90** umfassen, welcher benachbart zu der stromabwärtigen Oberfläche des gesinterten Metallmediums **72** angeordnet ist, um das Filterelement **71** von unten zu stützen. Der untere Halter **90** bei dieser Ausführungsform umfasst eine scheibenförmige Metallplatte mit einem Zentralloch mit einem Innenumfang, der mit Presssitz auf das untere Ende des Innenrings **75** gefügt wird, und einem Außenumfang, der in eine in dem Außenring **76** gebildete Umfangsnut einschnappt. In dem Halter **90** sind Perforationen **91** für die Passage von gefiltertem Gas gebildet. Der untere Halter **90** gibt dem gesinterten Metallmedium **72** strukturellen Halt und schützt es vor Beschädigung während der Handhabung des Filters **70**. Vorzugsweise sind die Perforationen **91** groß genug, so dass der untere Halter **90** keinen wesentlichen Druckabfall in dem das Filter **70** durchströmenden Gas im Normalbetrieb erzeugt.

**[0044]** Vorzugsweise ist eine Abdichtung zwischen dem Filter **70** und dem Gehäuse **41** gebildet, um zu verhindern, dass Partikel, die groß genug sind, um von dem Filterelement **71** eingefangen zu werden, das Filter **70** entweder entlang seines inneren oder seines äußeren Umfangs umgehen. Es kann eine beliebige Dichtungsanordnung zum Einsatz gelangen, welche den Temperaturen des zu filternden Heißgases zu widerstehen vermag. Bei der vorliegenden Ausführungsform sitzt – wie in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) gezeigt – der Außenring **76** auf einer sich in Umfangsrichtung erstreckenden Leiste **49**, welche um den Umfang des Gehäusekörpers **42** herum gebildet ist, und das untere Ende des Außenrings **76** wird nach unten, in dichtenden Kontakt mit der Oberseite der Leiste **49** gedrückt durch eine Mutter **53**, welche auf ein an dem oberen Ende des vertikalen Zuleitungsrohrs **46** gebildetes Gewinde geschraubt ist. Vor dem Festziehen der Mutter **53**, mit dem Außenring **76** auf der Leiste **49** sitzend, ist vorzugsweise ein kleiner Zwischenraum zwischen dem unteren Ende des Innenrings **75** und dem die Basis des Zuleitungsrohrs **46** umschließenden Teil des Gehäusekörpers **42** vorhanden. Beim Festziehen der Mutter **53** drückt

diese den Innenring **75** nach unten, um eine Metall-zu-Metall-Dichtung zwischen dem unteren Ende des Innenrings **75** und dem die Basis des Zuleitungsrohrs **46** umschließenden Teil des Gehäusekörpers **42** zu bilden, um zu verhindern, das ungefiltertes Gas das Filter **70** umgeht, indem es zwischen dem Innenumfang des Innenrings **75** und dem Außenumfang des Zuleitungsrohrs **46** strömt. Weitere mögliche Dichtungsanordnungen umfassen eine Metall-zu-Metall-Dichtung zwischen der Mutter **53** und dem oberen Ende des Zuleitungsrohrs **46** oder Dichtungsglieder wie Dichtungsringe, die zwischen dem Außenring **76** und dem Gehäusekörper **42** und/oder zwischen dem vertikalen Zuleitungsrohr **46** und dem Innenring **75** angeordnet werden.

[0045] [Fig. 7](#) zeigt eine alternative Dichtungsanordnung, bei der eine Dichtung um den Außenumfang des Filters **70** herum gebildet ist durch einen Dichtungsring **67**, der in dem Raum zwischen einem geneigten Flansch **50** des Gehäusekörpers **42** und einem geneigten Flansch **61** der Abdeckung **60** entlang des gesamten Außenumfangs des Außenrings **76** des Filters **70** angeordnet ist. Wenn die die Flansche **50** und **61** umschließende V-Bandklemme **65** festgezogen wird, wird der Dichtungsring **67** in dichtenden Kontakt mit dem Außenring **76** des Filters **70** und mit den Innenflächen der beiden geneigten Flansche **50** und **61** gedrückt. Der Dichtungsring **67** kann ein konventioneller Dichtungsring (ein C-Ring, O-Ring etc.) aus einem für Hochtemperaturanwendungen geeigneten Material sein. Mit dieser Anordnung dient ein einziger Dichtungsring **67** nicht nur dazu zu verhindern, dass Gas zwischen dem Filter **70** und dem Gehäuse **41** strömt, sondern er dichtet auch das Gehäuse **41** nach außen ab. In diesem Fall ist es nicht notwendig, den Außenring **76** des Filters **70** in dichtenden Kontakt mit der Leiste **49** des Gehäusekörpers **42** zu drücken, weil eine Abdichtung durch den Dichtungsring **67** erzielt wird; so können die auf das Filter **70** wirkenden Belastungen vermindert werden.

[0046] [Fig. 9](#) ist ein senkrechter Schnitt eines Teils einer anderen Ausführungsform einer Filteranordnung. Diese Anordnung umfasst ein Filter **100** mit einem ringförmigen Filterelement **110** ähnlich dem Filterelement **71** gemäß der Ausführungsform von [Fig. 5](#). Das Filterelement **110** umfasst ein poröses Vorfilter **111** und eine oder mehrere hohlscheibenförmige Schichten **112**, **113** aus einem gesinterten Metallmedium. Das Filterelement **110** ist von einem Gehäuse aus einem geeigneten Material gehalten, z.B. einem Metall, welches den Temperaturen, bei denen das Filter **100** betrieben werden soll, widerstehen kann. Das Gehäuse umfasst einen Außenring **120**, der den Außenumfang des Filterelements **110** umschließt, und einen Innenring **130**, der von dem hohlen Zentrum des Filterelements **110** umschlossen ist. Das Gehäuse umfasst ferner eine an den Ringen **120**, **130** gesicherte ringförmige Platte **140** oben auf

dem Vorfilter **111**. Die Platte **140** weist ein Zentralloch auf, welches koaxial mit der Bohrung des Innenrings **130** angeordnet ist, und Öffnungen **141** für die Passage von zu filterndem Gas. Die Öffnungen **141** können eine beliebige Gestalt aufweisen, die den Durchfluss von Gas durch die Platte **140**, vorzugsweise mit möglichst geringem Druckabfall, gestattet und dabei gleichzeitig der Platte **140** erlaubt, das Vorfilter **111** oben auf den gesinterten Schichten **112**, **113** zu halten. Die Platte **140** kann separat von den Ringen **120**, **130** gebildet sein, oder sie kann – wie in [Fig. 9](#) gezeigt – integral geformt mit einem der Ringe, z.B. dem Außenring **120**, ausgebildet und an dem anderen Ring, z.B. dem Innenring **130**, auf geeignete Weise, z.B. durch Punktschweißen, gesichert sein. Die gesinterten Schichten **112**, **113**, die ähnlich den gesinterten Schichten **72a**, **72b** von [Fig. 5](#) sein können, können zu dem Innenring und dem Außenring **120**, **130** auf beliebige geeignete Weise abgedichtet sein, z.B. durch Fügen der Schichten **112**, **113** mit Presssitz zwischen den Ringen **120**, **130**. Falls gewünscht, kann ein Halter zum Stützen der gesinterten Schichten **112**, **113** von unten, wie der Halter **90** von [Fig. 5](#), bereitgestellt werden. Das dargestellte Gehäuse ist sehr wirtschaftlich herzustellen, weil es keiner mechanischen Bearbeitung bedarf, und die Formgebung der Komponenten des Gehäuses kann nach Verfahren erfolgen, die zur Massenfertigung geeignet sind.

[0047] Das Filter **100** ist in einem Gehäuse **150** angeordnet, welches einen Körper **151** und eine an dem Körper **151** lösbar montierte Abdeckung **153** aufweist. Der Körper **151** und die Abdeckung **153** können hinsichtlich ihrer Struktur ähnlich dem Körper **42** und der Abdeckung **60** gemäß der Ausführungsform von [Fig. 4](#) sein. Der Körper **151** umfasst ein zentrales Zuleitungsrohr **152**, korrespondierend zu dem Zuleitungsrohr **46** von [Fig. 5](#), das sich durch das Zentrum des Filters **100** erstreckt und durch das zu filterndes Gas in den Bereich innerhalb des Gehäuses **150** auf der Anströmseite des Filters **100** eingeführt werden kann. Der Körper **151** und die Abdeckung **153** können z.B. durch eine V-Bandklemme **154** lösbar miteinander verbunden sein und sind vorzugsweise zueinander und zu dem Außenring **120** des Filters **100** durch ein einziges Dichtungsglied, z.B. einen O-Ring **155**, in einer Weise ähnlich der in [Fig. 7](#) gezeigten, abgedichtet. Der Innenring **130** ist zu dem Zuleitungsrohr **152** durch ein weiteres Dichtungsglied, z.B. einen O-Ring **156**, der an dem Innenring **130** montiert ist und das Zuleitungsrohr **152** umschließt, abgedichtet. Dieser O-Ring **156** ist im Inneren eines kreisförmigen Schlitzes angeordnet, der definiert ist durch eine Ausnehmung **131**, welche in der Innenfläche des Innenrings **130** um seinen Innenumfang herum gebildet ist, und durch die untere Oberfläche der Platte **140**, die den O-Ring **156** von oben begrenzt. Wie in der Figur gezeigt, können die unteren Oberflächen des Innen- und des Außenrings **120** und **130**

von dem Körper **151** des Gehäuses **150** beabstandet sein, und eine Dichtung zwischen dem Filter **100** und dem Gehäuse **150** kann vollständig durch die O-Ringe **155** und **156** realisiert werden. Diese Anordnung führt zu niedrigeren Belastungen auf das Filter **100**, als wenn man das Filter **100** gegen das Gehäuse **150** abdichtet, indem man die Ringe **120** und **130** direkt gegen das Gehäuse **150** drückt, wie in der Ausführungsform von [Fig. 4](#).

**[0048]** Der Außenring **120** ist mit einem Außendurchmesser gebildet, der von seinem oberen Ende zu seinem unteren Ende hin zunimmt. Im Einzelnen weist er einen zylindrischen Teil **121** kleinen Durchmessers an seinem oberen Ende und einen zylindrischen Teil **122** großen Durchmessers an seinem unteren Ende auf. Der Außendurchmesser des Teils **121** kleinen Durchmessers ist genügend klein, so dass die Abdeckung **153** über den Teil **121** kleinen Durchmessers passt; der Außendurchmesser des Teils **122** großen Durchmessers ist jedoch größer als der Innendurchmesser des Teils der Abdeckung **153**, der über das Filter **100** passt. Auf diese Weise kann die Abdeckung **153** nicht zu dem Körper **151** oben auf dem Filter **100** abgedichtet werden, wenn nicht das Filter **100** so ausgerichtet ist, dass der Teil **121** kleinen Durchmessers des Außenrings **120** sich in die Abdeckung **153** hinein erstreckt, und der Teil **122** großen Durchmessers des Außenrings **120** sich in den Körper **151** des Gehäuses **150** hinein erstreckt. Anders ausgedrückt: die Abdeckung **153** kann nur dann zu dem Körper **151** oben auf dem Filter **100** abgedichtet werden, wenn das Filter **100** so ausgerichtet ist, dass das Vorfilter **111** auf der Anströmseite der gesinterten Schichten **112**, **113** angeordnet ist. Diese Anordnung verhindert, dass ein Nutzer das Filter **100** verkehrt in das Gehäuse **150** installiert. Der Außenring **120** kann eine Neigungsfläche **123** aufweisen, welche den Teil **121** kleinen Durchmessers und den Teil **122** großen Durchmessers verbindet, gegen die der äußere O-Ring **155** abdichten kann.

**[0049]** Es können verschiedene Arten von gesinterten Materialien als das gesinterte Metallmedium verwendet werden. Einige Beispiele für geeignete Materialien sind Medien aus pulverförmigem Metall, Medien aus faserförmigem Metall, gesinterte Metallgeflechte und Hybride der vorgenannten Medien, z.B. geträgerte poröse Medien mit Metallpartikeln, welche von einem Metallgeflecht oder einem anderen siebartigen Träger getragen und an denselben gesintert sind. Als spezifischere Beispiele für derartige gesinterte Metallmedien lassen sich nennen die von Pall Corporation unter der Handelszeichnung PSS (ein Metallmedium aus gesintertem Edelstahlpulver), PMM (eine poröse gesinterte Metallmembran mit an einen siebartigen Träger gesinterten Metallpartikeln), PMF (ein Medium aus porösem gesintertem faserförmigem Metall), Rigmesh (ein Medium aus gesintertem Drahtgeflechtgewebe), Supramesh (an einen Ri-

gimesh-Träger gesintertes Edelstahlpulver), PMF II (ein Medium aus porösem gesintertem faserförmigem Metall) erhältlichen sowie Kombinationen von mehr als einem dieser Materialien. Ein gesintertes Metallmedium zur Verwendung für die vorliegende Erfindung kann gebildet sein aus einem beliebigen aus einer Vielfalt von metallischen Materialien, einschließlich Legierungen verschiedener Metalle, wie Nickel, Chrom, Kupfer, Molybdän, Wolfram, Zink, Zinn, Gold, Silber, Platin, Aluminium, Cobalt, Eisen und Magnesium, sowie Kombinationen von Metallen und Metalllegierungen, einschließlich borhaltiger Legierungen. Ferner können Messing, Bronze und Nickel/Chrom-Legierungen, z.B. Edelstähle, die Hastelloy-, Monel- und Inconel-Legierungen, sowie eine 50 Gew.-% Nickel/50 Gew.-% Chrom-Legierung verwendet werden.

**[0050]** Der Ausdruck "Medium aus gesintertem faserförmigem Metall" bezieht sich auf ein Medium, gebildet durch Sintern einer Masse von stochastisch angeordneten Metallpartikeln, welche zumindest zum Teil Metallfasern sind. Neben Fasern können die Partikel Nichtfasern umfassen, z.B. nach einem beliebigen gewünschten Prozess gebildete Metallpulver. Der Ausdruck "Fasern", wie er hierin verwendet wird, soll längliche metallische Körper beschreiben, deren Dimensionen in Längsrichtung, d.h. nominalen Längen, größer sind als die Durchmesser der Körper. Die nominale Länge im Falle einer Faser, die gebogen oder nichtlinear ist, ist die Länge, die die Faser im ausgestreckten Zustand aufweisen würde. Das heißt, die Messung der nominalen Länge folgt und umfasst die Biegungen einer nichtlinearen Faser.

**[0051]** Der Ausdruck "Durchmesser" soll sich auf die mittlere querschnittliche Dimension des Körpers über eine enge Dimension beziehen, unabhängig von der Querschnittsgestalt des Körpers. So kann die Querschnittsgestalt der Fasern kreisförmig, oval, rechteckig, bandförmig, quasikreuzförmig, elliptisch, dendritisch, azikulär sein oder eine beliebige andere regelmäßige oder unregelmäßige Gestalt aufweisen. Das Metallpulver in den Metallpartikeln, falls vorhanden, kann Partikel von beliebiger regelmäßiger oder unregelmäßiger Gestalt umfassen. Zum Beispiel kann das Metallpulver im Wesentlichen kugelförmige Partikel umfassen.

**[0052]** Metallfasern in einem Medium aus faserförmigem Metall können vielfältig gestaltet sein, einschließlich linear oder gerade. Beispielsweise können die Metallpartikel in einem Medium aus faserförmigem Metall wenigstens ca. 10%, noch bevorzugter ca. 30% bis ca. 100% nichtlineare Metallfasern umfassen. Nichtlinearität kann den Fasern im Wesentlichen dadurch erteilt werden, dass lineare Fasern in einer Hammermühle oder einer anderen Vorrichtung, welche die Fasern durch die Anwendung von mechanischer Energie stochastisch biegt, bearbeitet wer-

den. Die resultierenden nichtlinearen Fasern zeigen ein "geknicktes" Aussehen, gekennzeichnet durch wenigstens einen Richtungswechsel, häufiger eine Mehrzahl von stochastischen Richtungswechseln, die den Fasern ein gekrümmtes, verdilltes, hakenförmiges, korkenzieherförmiges, gekräuselt oder sonstwie gebogenes oder gewelltes Aussehen geben. Ferner sind die bearbeiteten Fasern in ihrer nominalen Länge gleichmäßiger.

**[0053]** Die Fasern in einem Medium aus faserförmigem Metall können nach einem beliebigen bekannten Verfahren zur Herstellung von Metallfasern oder Drähten gebildet werden, und das Medium aus faserförmigem Metall kann eine Mischung von Fasern enthalten, welche nach verschiedenen Verfahren gebildet sind. Für Fasern kleinen Durchmessers bis zu ca. 40 µm Durchmesser sind Beispiele für geeignete Fasertypen bündelgezogene Fasern und Stahlwollefasern, die auf eine geeignete Länge geschnitten sind. Für Fasern mit einem Durchmesser von mehr als ca. 40 µm sind Fasern, welche nach dem Schmelzüberlauf-Gussverfahren gebildet sind, wegen ihrer niedrigen Kosten verglichen mit nach anderen Verfahren gebildeten Fasern vergleichbaren Durchmessers besonders geeignet. Das Schmelzüberlauf-Gussverfahren zum Bilden von Metallfasern ist z.B. in den US-Patenten Nr. 5 213 151, Nr. 4 977 951, Nr. 4 930 565 und Re. 33 327 beschrieben. Bei diesem Verfahren wird ein Behälter mit geschmolzenem Metall benachbart zu einem rotierenden Rad oder Trommel positioniert. Geschmolzenes Metall fließt über den Rand des Behälters und auf das rotierende Rad, wo es erstarren gelassen wird, um Metallfasern zu bilden, die von dem Rad auf eine zum Sammeln geeignete Weise entfernt werden. Beispielsweise kann der Fasern durch die Rotation des Rades erteilte Impuls genutzt werden, um die Fasern von dem Rad auf eine Rückgewinnungsfläche abzuwerfen.

**[0054]** Wenn den gegossenen Fasern Nichtlinearität verliehen werden soll, können sie in einer Vorrichtung, z.B. einer G5HFS-Hammermühle, ein Produkt der Fa. Prater Industrial Products, Inc., bearbeitet werden, bis sie eine gewünschte Größe und Gestalt aufweisen. Die Fasern können in der Hammermühle behandelt werden, bis bei wenigstens ca. 40% der Fasern jede eine Mehrzahl von Biegungen aufweist.

**[0055]** Fasern, welche nach dem Schmelzüberlauf-Gussverfahren hergestellt und dann in einer Hammermühle bearbeitet worden sind, sind nicht nur gebogen und geknickt, sondern sie weisen häufig auch eine im Wesentlichen halbmondförmige Gestalt im Querschnitt auf, wie in [Fig. 8](#) dargestellt. Die Querschnitte der halbmondförmigen Fasern **99** können sich verjüngende Spitzen aufweisen, wodurch dem Querschnitt das Aussehen eines "Viertelmondes" verliehen wird. Die Dicke des Faserquerschnitts kann entweder gleichmäßig oder sich verjüngend

entlang der Ränder sein. Der den Halbmond definierende Bogen ist im Wesentlichen nicht größer als ca.  $\pi$  Radiant ( $180^\circ$ ). Vorzugsweise ist der Bogen ca.  $\pi/2$  bis ca.  $\pi$  Radiant.

**[0056]** Wenn ein gesintertes Metallmedium zur Verwendung für die vorliegende Erfindung ein Medium aus faserförmigem Metall ist, sind die Metallfasern, unabhängig von dem Verfahren, nach dem sie gebildet werden, vorzugsweise eher grob; z.B. liegt der Durchmesser bevorzugt im Bereich von ca. 1 bis ca. 150 µm, noch bevorzugter ca. 10 bis ca. 125 µm, weiter bevorzugt ca. 20 bis ca. 100 µm. Die nominale Länge der Metallfasern ist bevorzugt in einem Bereich von ca. 100 µm bis ca. 20 mm angesiedelt, noch bevorzugter ca. 2 mm bis ca. 8 mm. Allgemein liegt das Aspektverhältnis (nominale Länge dividiert durch den Durchmesser) für mindestens 50% der Fasern vorzugsweise bei ca. 3 bis ca. 700, bevorzugt ca. 150 bis ca. 700. Das Medium aus gesintertem faserförmigem Metall weist bevorzugt relativ große nominale geometrische Porengrößen auf, die im Bereich von ca. 25 bis ca. 750 µm, noch bevorzugter ca. 50 bis ca. 200 µm angesiedelt sind.

**[0057]** Ein Medium aus gesintertem faserförmigem Metall zur Verwendung für die vorliegende Erfindung kann nach vielfältigen Verfahren gebildet werden, die sich grob einteilen lassen als entweder "nass" oder "trocken". Bei Nassverfahren werden Metallpartikel, welche Fasern enthalten, in einem flüssigen Medium suspendiert und dann zu einer Struktur geformt, die dann gesintert wird, um das gesinterte Metallmedium zu bilden. Bei Trockenverfahren wird kein flüssiges Medium verwendet; die Struktur wird durch Zusammenpressen der Metallpartikel gebildet, so dass die resultierende Struktur eine ausreichende "Grünfestigkeit" aufweist, um Sintern zu gestatten.

**[0058]** [Bei einer bevorzugten Form eines Nassverfahrens wird eine stabilisierte Suspension bereitgestellt, umfassend ein "trocken". Bei Nassverfahren werden Metallpartikel, welche Fasern enthalten, in einem flüssigen Medium suspendiert und dann zu einer Struktur geformt, die dann gesintert wird, um das gesinterte Metallmedium zu bilden. Bei Trockenverfahren wird kein flüssiges Medium verwendet; die Struktur wird durch Zusammenpressen der Metallpartikel gebildet, so dass die resultierende Struktur eine ausreichende "Grünfestigkeit" aufweist, um Sintern zu gestatten.]

**[0059]** Bei einer bevorzugten Form eines Nassverfahrens wird eine stabilisierte Suspension bereitgestellt, umfassend ein flüssiges Medium, wie in den US-Patenten Nr. 4 822 692, Nr. 4 828 930 oder Nr. 5 149 360 offenbart, die allesamt durch Bezugnahme in den vorliegenden Text aufgenommen werden. Die stabilisierte Suspension von Metallpartikeln kann ferner ein Stabilisierungsmittel und/oder ein Bindemittel

umfassen. Noch bevorzugter dient ein einziger Bestandteil, d.h. ein Stabilisierungs-/Bindemittel, sowohl dazu, die Dispersion von Metallpartikeln zu stabilisieren als auch dazu, nach dem Trocknen der Suspension die einzelnen Partikel aneinander zu binden und die erforderliche ungesinterte oder Grünfestigkeit bereitzustellen.

**[0060]** Typisch wird die stabilisierte Suspension von Metallpartikeln hergestellt unter Verwendung eines Trägers, gebildet durch Kombinieren des Stabilisierungs-/Bindemittels mit dem flüssigen Medium, welches der leichten Handhabung und Entsorgung wegen bevorzugt Wasser ist. Ein bevorzugtes Stabilisierungs-/Bindemittel macht ca. 0,1% bis ca. 2% des Gesamtgewichts des Trägers aus. Es können vielfältige Stabilisierungs-/Bindemittel verwendet werden. Polyacrylsäuren sind besonders wünschenswert. Allgemein sind Polyacrylsäuren mit Molekulargewichten von ca. 1000000 bis ca. 4000000 geeignet. Beispiele für derartige Säuren sind CARBOPOL<sup>®</sup>934 und CARBOPOL<sup>®</sup>941, hergestellt von B. F. Goodrich Chemical Co. CARBOPOL<sup>®</sup>934 hat ein Molekulargewicht von ca. 3000000 und CARBOPOL<sup>®</sup>941 weist ein Molekulargewicht von ca. 1250000 auf. Andere Materialien, welche Verwendung finden können, umfassen Carboxyethylcellulose, Polyethylenoxid, Natriumalginate, Carboxymethylcellulose, Guargummi, Methylcellulose und Johannisbrotgummi. Allgemein können bei Verwendung von Wasser als flüssiges Medium wasservertträgliche Stabilisierungs-/Bindemittel verwendet werden, welche sich vor oder während des Sinterns im Wesentlichen vollständig verflüchtigen und/oder zersetzen.

**[0061]** Beispielsweise beträgt bei einem Träger, der aus einer CARBOPOL<sup>®</sup>934/Wasser-Mischung gebildet ist, wobei CARBOPOL<sup>®</sup>934 ca. 1,4 Gew.-% (basierend auf dem Gewicht des Trägers) ausmacht, die Viskosität des Trägers ca. 1,25 Pa s (1250 cp) bei 20°C.

**[0062]** Mischungen von CARBOPOL<sup>®</sup>934 und Wasser sind bevorzugte Träger, weil die Kombination Zusammensetzungen liefert, deren Viskositäten im Wesentlichen konsistent und leicht reproduzierbar sind. Basierend auf dem Durchmesser und der Länge der größten Metallfasern der Metallpartikel, die suspendiert werden sollen, kann die Viskosität des Trägers, die die Suspension ausreichend stabil werden lässt, bestimmt werden. Die gewünschte Viskosität des Trägers ist diejenige, welche die Metallpartikel in Suspension halten und dadurch eine im Wesentlichen gleichmäßige Dispersion vor Ablage in einem Formungsschritt, wie nachfolgend beschrieben, aufrechterhalten kann. Beispielsweise ist eine Viskosität im Bereich von ca. 1 Pa s (ca. 1000 cp) bis ca. 4 Pa s (ca. 4000 cp) geeignet für die vorher diskutierten bevorzugten nichtlinearen Fasern. Die Viskosität wird durch Variieren der Menge des Stabilisierungs-/Bin-

demittels in dem Träger eingestellt. Im Allgemeinen ist eine niedrigere Trägerviskosität erwünscht, und demnach kann weniger Stabilisierungs-/Bindemittel mit feineren Metallpartikeln verwendet werden, weil feinere Partikel eine geringere Neigung zum Ausfallen zeigen.

**[0063]** Der Träger wird bevorzugt gemischt, bis eine gleichmäßige Dispersion des Stabilisierungs-/Bindemittels erreicht ist. Die Fasern enthaltenden Metallpartikel werden dann zugegeben und mit dem Träger gemischt, um eine gleichmäßige stabilisierte Dispersion oder Suspension der Partikel in dem Träger bereitzustellen. Das Gewichtsverhältnis der Partikel zu dem Träger liegt typisch im Bereich von ca. 1:20 bis ca. 1:2.

**[0064]** Ein Additiv, wie ein Keramikmaterial, z.B. Mullit, kann mit der stabilisierten Suspension gemischt werden, um den Schutz des gesinterten Metallmediums bei Hochtemperaturexposition zu unterstützen.

**[0065]** Bei einem "Ablage"-Nassverfahren zum Bilden eines Mediums aus gesintertem faserförmigem Metall wird die Suspension von in dem Träger dispergierten Partikeln in eine Form injiziert, welche einen Hohlraum definiert. Um die Gleichförmigkeit der Suspension zu verbessern, kann die Form während der Injektion gedreht werden. Bevorzugt wird die Form bei ca. 200 U/min oder weniger gedreht. Der Hohlraum kann eine beliebige Gestalt korrespondierend zu der gewünschten Gestalt des Filters aufweisen.

**[0066]** Der Boden des Hohlraums ist mit Drainageöffnungen versehen, z.B. ein Geflecht mit Öffnungen, welche den Träger aus dem Hohlraum ablaufen lassen, während die Metallpartikel zurückgehalten werden. Die Suspension wird dann druckgefiltert oder vakuumgefiltert, um den Träger aus der Suspension zu entfernen. Die Druckfiltration kann durchgeführt werden durch Einführen eines ringförmigen Stößels in die Form im oberen Bereich des Hohlraums und Treiben des Stößels, so dass die Flüssigkeit aus dem Hohlraum durch die Drainageöffnungen gezwungen wird. Der Stößel verdichtet also die Metallpartikel und verzahnt sie mechanisch miteinander, während der Träger durch die Drainageöffnungen aus der Form ausgetrieben wird. Das bevorzugte Maß an Druck, welches auf die Struktur ausgeübt wird, um die Struktur geeignet zu verdichten, liegt im Bereich von ca. 68,95 bis ca. 551,6 MPa (ca. 10000 bis ca. 80000 psi), noch bevorzugter ca. 137,9 bis ca. 413,7 MPa (ca. 20000 bis ca. 60000 psi).

**[0067]** Die Vakuumfiltration beinhaltet die Anwendung eines Vakuums auf die Drainageöffnungen und das Absaugen der Flüssigkeit aus dem Hohlraum. Je nach Grad des Vakuums können die Metallpartikel verdichtet und mechanisch verzahnt werden wie bei

der Druckfiltration. Im Allgemeinen ist der Verdichtungsgrad aber geringer als mit Druckfiltration.

**[0068]** Die resultierende verdichtete Metallpartikelstruktur wird aus der Form entnommen und getrocknet. Das Trocknen wird bevorzugt in einem Konvektionsofen bei einer Temperatur von ca. 37,8 bis ca. 98,9°C (ca. 100 bis ca. 210°F) für ca. 30 bis ca. 45 min oder länger durchgeführt. Die einzelnen Partikel der Struktur werden durch das Stabilisierungs-/Bindemittel während des Trocknens weiter aneinander gebunden, so dass die Struktur ausreichend Festigkeit aufweist, um ihre Integrität und Gestalt während der Weiterverarbeitung zu bewahren.

**[0069]** Die Metallpartikelstruktur wird sodann durch Sintern weiterverarbeitet, um ein Medium aus gesintertem faserförmigem Metall zu erhalten. Das Sintern kann durchgeführt werden, indem die Struktur in einen Ofen platziert wird, z.B. in einen Vakuumofen, einen Ofen mit inerter Atmosphäre oder einen Ofen mit reduzierender Atmosphäre. Das Sintern entfernt flüchtiges Material und "verschweißt" die einzelnen Partikel der Metallpartikel an den Übergängen zwischen den Metallfasern und, falls vorhanden, dem Metallpulver miteinander, mit zwischen den Metallpartikeln definierten Hohlräumen.

**[0070]** Die Sintertemperatur kann ausgewählt sein auf Basis der Materialien, aus denen die Metallpartikel gebildet sind. Das Sintern kann entweder Festkörperdiffusionssintern oder Flüssigphasensintern sein. Für das Festkörperdiffusionssintern von Edelstahlmetallfasern wurde eine Temperatur im Bereich von ca. 871 bis ca. 1399°C (ca. 1600 bis ca. 2550°F), noch bevorzugter von ca. 1038 bis ca. 1385°C (ca. 1900 bis ca. 2525°F) für eine Zeitspanne von ca. 1/2 h oder weniger bis ca. 8 h oder mehr als geeignet gefunden. Wenn niedriger schmelzende Materialien verwendet werden, wird die Sintertemperatur entsprechend angepasst. So sind z.B. im Falle von Bronzeartikeln Temperaturen im Bereich von ca. 1300 bis ca. 1900°F geeignet für das Festkörperdiffusionssintern.

**[0071]** Nach Beendigung des Sinterns wird das resultierende gesinterte Metallmedium abgekühlt und dann aus dem Ofen entnommen. Nach dem Kühlen kann das gesinterte Metallmedium leicht gehandhabt werden infolge der Bildung von Sinterbindungen an den Übergängen zwischen den Partikeln.

**[0072]** Bei einem Trockenverfahren zum Bilden eines Mediums aus gesintertem faserförmigem Metall, bei dem keine flüssige Suspension oder Träger verwendet wird, werden trockene Metallpartikel durch eine Siebvorrichtung in eine Form eingeführt. Vorzugsweise wird die Form mit den Partikeln gefüllt. Während die Partikel in die Form eingeführt werden, kann die Form gedreht werden, wie im Vorstehenden

bezüglich des Ablage-Schrittes für Nassverfahren erläutert.

**[0073]** Bei einem besonders bevorzugten Verfahren zum Einführen der Metallpartikel umfasst die Form einen Kernabschnitt und einen Hülsenabschnitt. Der Kernabschnitt weist einen konischen oberen Teil und einen zylindrischen unteren Teil auf. Der Hülsenabschnitt umschließt den zylindrischen unteren Teil des Kernabschnitts, wobei ein Ringraum zwischen dem Hülsenabschnitt und dem zylindrischen unteren Teil des Kernabschnitts definiert ist. Die Metallpartikel werden in die Form eingeführt, indem sie auf den konischen oberen Teil des Kernabschnitts gesiebt werden. Die Partikel fallen durch den Einfluss der Schwerkraft auf den konischen oberen Teil, gleiten die konische Oberfläche des konischen oberen Teils hinab und sammeln sich in stochastischer Weise in dem Ringraum zwischen dem zylindrischen unteren Teil des Kernabschnitts und dem Hülsenabschnitt. Dieses Verfahren sorgt für eine gleichmäßigere Partikelverteilung in der Form als andere Verfahren, weil u.a. die Gleichmäßigkeit der Verteilung nicht eine Funktion der Rate ist, bei der die Partikel in die Form eingeführt werden.

**[0074]** Als ein Beispiel für ein nicht bevorzugtes Verfahren kann die Spitze eines Trichters über den Ringraum in der Form positioniert werden und Partikel können in den Trichter gesiebt werden, während die Spitze des Trichters den Ringraum durchläuft. Es sammeln sich dann mehrfache Schichten der Partikel in der Form. Gelegentlich als "Filzen in Ebenen" bezeichnet, kann dieses Verfahren eine ungleichmäßige Partikelverteilung erzeugen, insbesondere dann, wenn die Laufgeschwindigkeit des Trichters und die Einführungsrate der Partikel nicht eng kontrolliert werden.

**[0075]** Unabhängig davon, wie die Partikel in die Form eingeführt werden, werden sie, nachdem sie in der Form deponiert worden sind, in der Form verdichtet, um eine verdichtete Partikelstruktur zu bilden. Die Verdichtung kann durchgeführt werden, indem ein ringförmiger Stößel in die Form eingeführt wird. Der Stößel wird bei einem beliebigen geeigneten Druck zur Bereitstellung einer gewünschten Permeabilität nach unten in die Form getrieben. Um den Dichtegradienten über der Höhe des Filters zu reduzieren, können alternativ die Partikel dadurch verdichtet werden, dass ein erster Stößel abwärts getrieben und ein zweiter Stößel aufwärts getrieben wird, so dass das Partikelmaterial von zwei Richtungen komprimiert wird. Die auf die Partikel angewandte Kraft ist ähnlich der im Vorstehenden für das "Ablage"-Nassverfahren beschriebenen.

**[0076]** Die Permeabilität der resultierenden komprimierten Struktur kann gleichmäßiger gemacht werden, indem den Metallpartikeln vor der Verdichtung

ein Trockenschmiermittel zugegeben wird. Stearinsäure und Zinkstearat sind bevorzugte Trockenschmiermittel, es können jedoch auch andere Schmiermittel, wie sie dem Fachmann wohlbekannt sind, Verwendung finden.

**[0077]** Wenn die Metallpartikel nichtlineare Fasern umfassen, kommt es während der Trockenlege- und Verdichtungsschritte zu einer beträchtlichen mechanischen Verzahnung.

**[0078]** Nach Verdichtung wird die resultierende verdichtete Metallpartikelstruktur aus der Form entnommen. Die Struktur hat ausreichend Grünfestigkeit, so dass sie leicht zu handhaben und zu transportieren ist. Sie wird dann wie im Vorstehenden beschrieben gesintert. Während des Sinterns wird das Trockenschmiermittel abgebrannt und es bilden sich Sinterbindungen an den Übergängen zwischen den Fasern und, falls vorhanden, dem Metallpulver, mit sich zwischen den Metallpartikeln erstreckenden Hohlräumen.

**[0079]** Unabhängig davon, welches der obengenannten Verfahren verwendet wird, um das Medium aus faserförmigem Metall zu bilden, kann dieses durch mechanische Mittel entweder vor oder nach dem Sintern weiter bearbeitet werden. Beispielsweise kann das gesinterte Metallmedium mechanisch bearbeitet, geschnitten, gewalzt, geprägt oder eingezogen werden, um eine gewünschte Gestalt zu erhalten. Es kann ferner geschweißt, gelötet und/oder nachgesintert werden.

**[0080]** Ein Medium aus gesintertem faserförmigem Metall zur Verwendung für ein Filter in Einklang mit der vorliegenden Erfindung kann eine Permeabilität und/oder ein Hohlraumvolumen aufweisen, die variieren. Die Permeabilität und/oder das Hohlraumvolumen des gesinterten Metallmediums können durch vielfältige Methoden variiert werden. Beispielsweise kann ein Bereich niedriger Permeabilität gebildet werden durch mechanische Verdichtung eines Bereichs hoher Permeabilität. Wenn das gesinterte Metallmedium unter Verwendung des im Vorstehenden beschriebenen Nassverfahrens hergestellt wird, besteht ein bevorzugteres Verfahren zum Variieren der Permeabilität in der Verwendung einer Mehrzahl von verschiedenen Suspensionen, wobei jede Suspension zu einer anderen Permeabilität führt. Beispielsweise kann eine Suspension Metallpartikel enthalten, die eine kleinere nominale Partikelgröße, z.B. einen kleineren Filterpartikeldurchmesser, als die Partikel, die in der/den anderen Suspension/en enthalten sind, aufweisen und/oder eine andere Gestalt als die in der/den anderen Suspension/en enthaltenen Partikel aufweisen. Ferner können die Suspensionen Partikelkonzentrationen enthalten, die voneinander verschieden sind. Alternativ kann ein Keramikmaterial zu dem Partikelmaterial, welches in einer der Sus-

pensionen verwendet wird, hinzugegeben werden. Die verschiedenen Suspensionen können nacheinander in eine Form als Schichten eingeführt werden, was zu Schichten mit unterschiedlicher Permeabilität führt.

**[0081]** Ein Medium aus gesintertem faserförmigem Metall, welches Bereiche mit hoher und niedriger Permeabilität und/oder Hohlraumvolumen aufweist, kann ferner aufgebaut werden durch Modifizieren des Trockenverfahrens in einer Weise ähnlich der im Vorstehenden bezüglich des Nassverfahrens beschriebenen.

**[0082]** Das heißt, das Trockenverfahren kann modifiziert werden durch Zugabe von Mengen an Metallpartikeln in alternierenden Schichten mit unterschiedlicher Permeabilität oder Hohlraumvolumen.

#### Beispiel

**[0083]** Ein erfindungsgemäßes Testfilter wurde zusammengebaut und einem beschleunigten Belastungstest unterworfen, um die Fähigkeit des Filters, Rußpartikel in der Luft einzufangen, zu messen.

**[0084]** Das Testfilter umfasste ein Vorfilter und zwei Schichten eines gesinterten Metallmediums.

**[0085]** Das Vorfilter umfasste 25 scheibenförmige Schichten von ungesintertem Drahtgeflechtgewebe aus Edelstahldraht mit einem Drahtdurchmesser von 0,102 mm (0,004 in). Die Schichten waren übereinander gestapelt, um eine Gesamtdicke von 17,1 mm (0,675 in) zu erhalten. Das Vorfilter hatte einen Durchmesser von 8,45 cm (3,325 in) und ein Hohlraumvolumen von 98,93%.

**[0086]** Jede Schicht des gesinterten Metallmediums lag in Form einer Scheibe mit einem Durchmesser von 0,076 mm (3,325 in), gebildet aus einem Medium aus gesintertem faserförmigem Metall, vor. Die erste Schicht umfasste nach dem Schmelzüberlauf-Gussverfahren gebildete Edelstahlfasern mit einem nominalen Durchmesser von 0,003 in (die Faserdurchmesser lagen überwiegend im Bereich von 50–75 µm). Diese Schicht hatte eine Dicke von 4,32 mm (0,170 in) und ein Hohlraumvolumen von 85,60%. Die zweite oder stromabwärtige Schicht umfasste durch Bündelziehen gebildete Edelstahlfasern mit einem nominalen Durchmesser von 0,025 mm (0,001 in) (die Faserdurchmesser lagen überwiegend im Bereich von 20–30 µm). Diese Schicht hatte eine Dicke von 3,94 mm (0,155 in) und ein Hohlraumvolumen von 92,70%.

**[0087]** Die Gesamtdicke des Vorfilters und der zwei gesinterten Metallschichten betrug 2,54 cm (1,0 in). Diese drei Komponenten wurden in einen Rahmen gespannt, mit der ersten gesinterten Metallschicht

sandwichartig zwischen dem Vorfilter und der zweiten gesinterten Metallschicht angeordnet.

**[0088]** Das Testfilter wurde in eine Testvorrichtung installiert, die eine Leitung umfasste, durch die Luft bei einer kontrollierten Rate geleitet werden konnte. Das Testfilter war mit dem Vorfilter auf der Anströmseite des Testfilters ausgerichtet. Der Rahmen, in den das Vorfilter und die gesinterten Metallschichten gespannt waren, überlappte den Außenumfang der Anströmoberfläche des Vorfilters etwas, so dass der Teil der Anströmoberfläche des Vorfilters, der der Luft direkt ausgesetzt war, ein kreisförmiger Bereich mit einem Durchmesser von 7,62 cm (3,0 in) war. Ein Absolutfilter mit einem Glasfasermedium, welches in der Lage war, im Wesentlichen 100% der Partikel in der zu verwendenden Teststaubmischung zu entfernen, wurde in der Testvorrichtung stromabwärts des Testfilters installiert, so dass alle das Testfilter passierende Luft auch das Absolutfilter passieren würde.

**[0089]** Es wurde eine Luftströmung von 2,08 m<sup>3</sup>/h (73,6 SCFH) (Geschwindigkeit 7,62 m/m [25 FPM] an der Stirnseite des Testfilters) durch das Testfilter mittels einer stromabwärts des Testfilters angeordneten Saugpumpe hergestellt und während des gesamten Tests konstant gehalten. Der Test wurde bei Raumtemperatur durchgeführt. Bei dem Test wurde eine Teststaubmischung allmählich in den Luftstrom auf der Anströmseite des Testfilters bei einer konstanten Rate von 10 g pro 20 Minuten eingesprüht. Die Teststaubmischung, welche die rußigen Partikel in der Abzapflung eines Hilfstriebwerks eines Flugzeugs simulierte, bestand aus 3 Gew.-Tln. SAE Fine Test Dust (mit einer vorgeschriebenen Partikelgrößenverteilung im Bereich von 0–80 µm) und 1 Gew.-Tl. Carbon Black (typisch mit einer Partikelgröße von höchstens 1 µm). Vor dem Test wurde die Teststaubmischung in einem Ofen getrocknet, um die Feuchtigkeit auszutreiben.

**[0090]** Während der Luftstrom das Testfilter passierte, wurde der Druckabfall über das Testfilter alle 20 Minuten gemessen. Die Zugabe der Teststaubmischung zu dem Luftstrom wurde für 4 Stunden fortgesetzt, dann der Luftstrom angehalten und das Testfilter und das Absolutfilter vorsichtig aus der Testvorrichtung entnommen. Nachdem jegliche Metallfasern, die sich von dem Testfilter gelöst hatten, von dem Absolutfilter entfernt worden waren, wurde das Absolutfilter in einem Ofen thermisch behandelt und dann gewogen. Ein auf der Anströmoberfläche des Vorfilters gebildeter Schmutzkuchen wurde sorgfältig von dem Vorfilter entfernt und gewogen. Das Vorfilter und die zwei gesinterten Metallschichten wurden ebenfalls aus dem Rahmen des Testfilters entnommen und einzeln zusammen mit ihren eingeschlossenen Partikeln gewogen. Das Gewicht der Partikel, die von jedem Teil des Testfilters eingefangen worden waren, wurde bestimmt durch Subtrahieren des Ge-

wichts jedes Teils im sauberen Zustand bei Beginn des Tests. Eine kleine Menge der Teststaubmischung wurde nicht von dem Testfilter oder dem Absolutfilter zurückgewonnen und es wurde angenommen, dass diese den Innenflächen der Testvorrichtung stromaufwärts des Testfilters anhaftete. Die Filtrationseffizienz des Testfilters als Ganze wurde berechnet aus dem Gesamtgewicht der durch das Testfilter eingefangenen Teststaubpartikel dividiert durch das Gesamtgewicht der durch das Testfilter und das Absolutfilter eingefangenen Teststaubpartikel.

**[0091]** Die Resultate der Gewichtsmessungen waren wie folgt.

- (a) Gesamtgewicht der Teststaubmischung, die dem Luftstrom während des Tests zugegeben wurde: 120 g
- (b) Gewicht der Partikel im Schmutzkuchen: 89,8 g
- (c) Gewicht der Partikel im Vorfilter: 28,10 g
- (d) Gewicht der Partikel in der anströmseitigen gesinterten Metallschicht: 1,646 g
- (e) Gewicht der Partikel in der stromabwärtigen gesinterten Metallschicht: 0,029 g
- (f) Gewicht der Partikel im Absolutfilter: 0,07 g
- (g) Rückgewonnenes Gesamtgewicht = (b) durch (f): 119,645 g
- (h) Durch Testfilter rückgewonnenes Gesamtgewicht = (b) durch (e): 119,575 g

$$\begin{aligned} \text{Filtrationseffizienz} &= (h)/(g) \times 100 \\ &= 119,575 \text{ g}/119,645 \text{ g} \times 100 \\ &= 99,94\% \end{aligned}$$

**[0092]** Das Filter war also in der Lage, Rußpartikel, die denjenigen ähneln, welche in Triebwerksabzapflung gefunden werden, mit extrem hoher Effizienz einzufangen.

### Patentansprüche

1. Triebwerksanordnung, umfassend ein Flugzeugtriebwerk, das eine Gasturbine mit einer Abzapfgasleitung umfasst; und ein Filter in Fluidverbindung mit der Abzapfgasleitung, das ein gesintertes Metallmedium mit einem Hohlraumvolumen im Bereich von 50 bis 95% und ein auf der Anströmseite des gesinterten Metallmediums angeordnetes Vorfilter umfasst, wobei das Vorfilter poröser ist als das gesinterte Metallmedium und wobei das Filter eine Einfangeffizienz von wenigstens 95% für Rußpartikel mit einer Größe im Bereich von 1 µm bis 5 µm aufweist.
2. Anordnung nach Anspruch 1, wobei das gesinterte Metallmedium ein Hohlraumvolumen im Bereich von 75 bis 95% aufweist.
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das gesinterte Metallmedium ein Medium aus gesintertem faserförmigem Metall, ein Medium aus gesinter-

tem pulverförmigem Metall, ein Medium aus gesinter-tem Metallgeflecht oder eine gesinterte Kombination aus faserförmigem Metall, pulverförmigem Metall oder Metallgeflecht umfasst.

4. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das gesinterte Metallmedium gesinterte Fasern mit einer nominalen Länge von 100  $\mu\text{m}$  bis 20 mm umfasst.

5. Anordnung nach Anspruch 4, wobei die Fasern einen Durchmesser von 1  $\mu\text{m}$  bis 150  $\mu\text{m}$  aufweisen.

6. Anordnung nach Anspruch 5, wobei die Fasern einen Durchmesser von 10  $\mu\text{m}$  bis 125  $\mu\text{m}$  aufweisen.

7. Anordnung nach Anspruch 6, wobei die Fasern einen Durchmesser von 20  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  aufweisen.

8. Anordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, wobei die Fasern durch Schmelzüberlauf-Guss gebildet sind und einen Durchmesser von mehr als 40  $\mu\text{m}$  aufweisen.

9. Anordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 8, wobei wenigstens ein Teil der Fasern vor dem Sintern mechanisch bearbeitet wird, um ihnen Nichtlinearität zu verleihen.

10. Anordnung nach Anspruch 9, wobei wenigstens ein Teil der Fasern mit einer Hammermühle mechanisch bearbeitet wird, um ihnen Nichtlinearität zu verleihen.

11. Anordnung nach Anspruch 8, wobei wenigstens ein Teil der Fasern einen im Wesentlichen halbmondförmigen Querschnitt aufweist, der einen Bogen von höchstens  $\pi$  Radiant definiert.

12. Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das gesinterte Metallmedium eine erste und eine zweite Schicht umfasst, und wobei die erste Schicht zwischen der zweiten Schicht und dem Vorfilter angeordnet ist und eine größere mittlere Porenweite aufweist als die zweite Schicht.

13. Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Vorfilter ein Hohlräumvolumen von wenigstens 90% aufweist.

14. Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Vorfilter ein Polster aus Wirkgeflecht umfasst.

15. Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Vorfilter ein Metallfiltermedium umfasst.

16. Anordnung nach einem der vorangehenden

Ansprüche, wobei das Triebwerk ein Hilfstriebwerk für ein Flugzeug umfasst.

17. Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, ferner umfassend ein mit der Abzapfgasleitung verbundenes Druckstoßkontrollventil, wobei das Filter auf der Anströmseite des Druckstoßkontrollventils mit einer Fließverbindung in die Abzapfgasleitung eingebunden ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

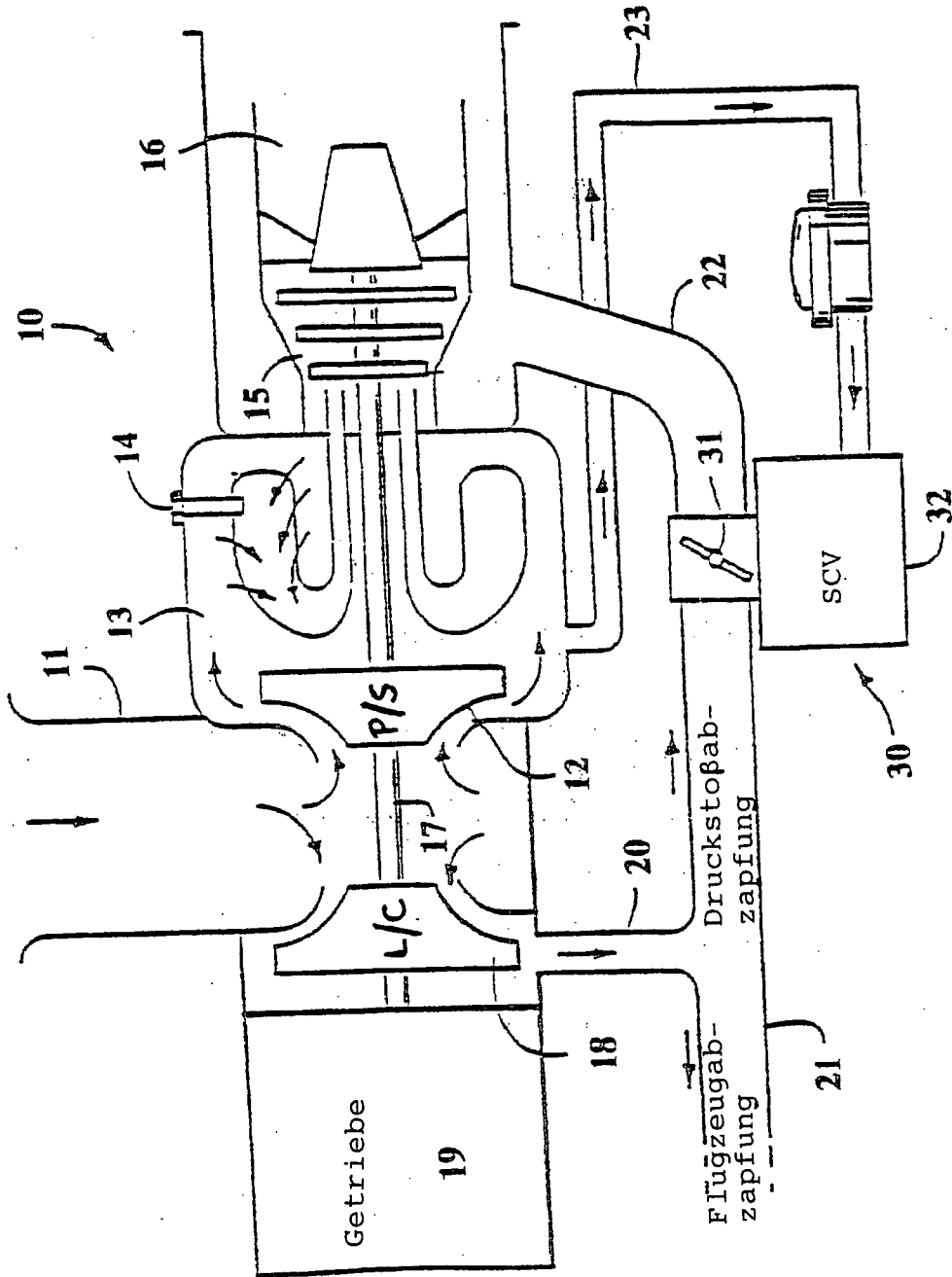


FIG. 1



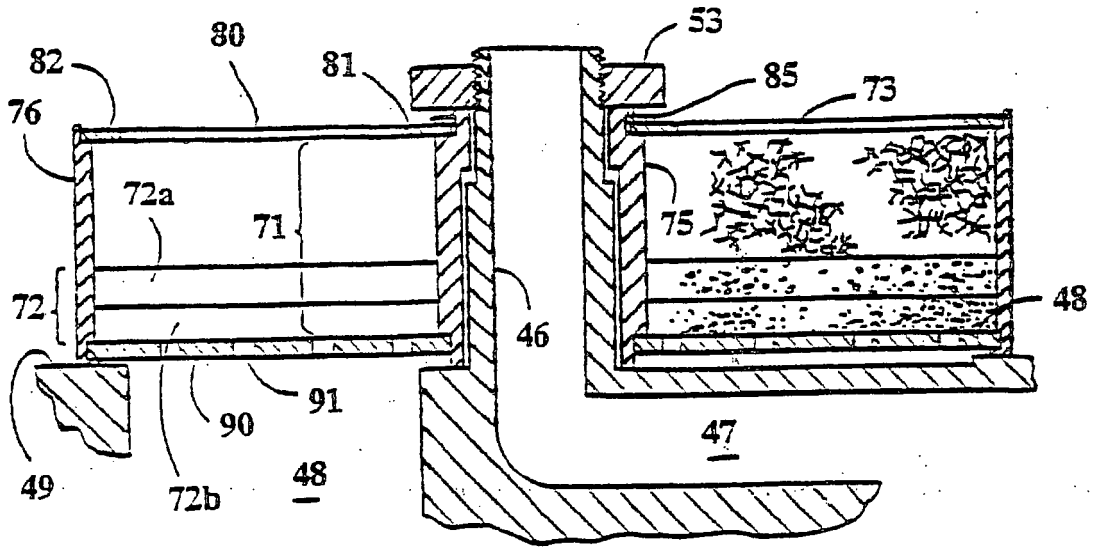


FIG. 5

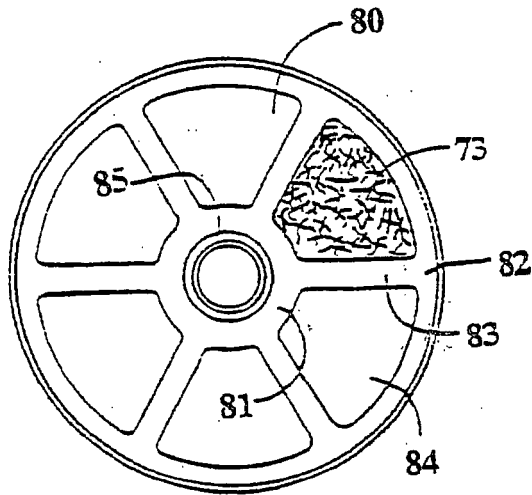


FIG. 6

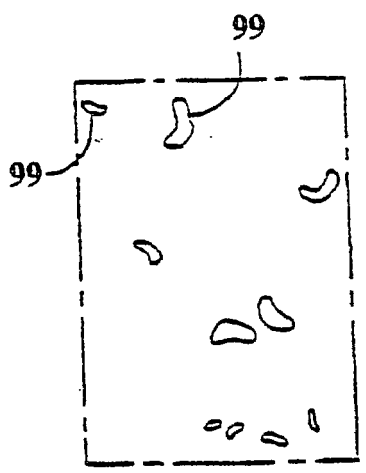


FIG. 8

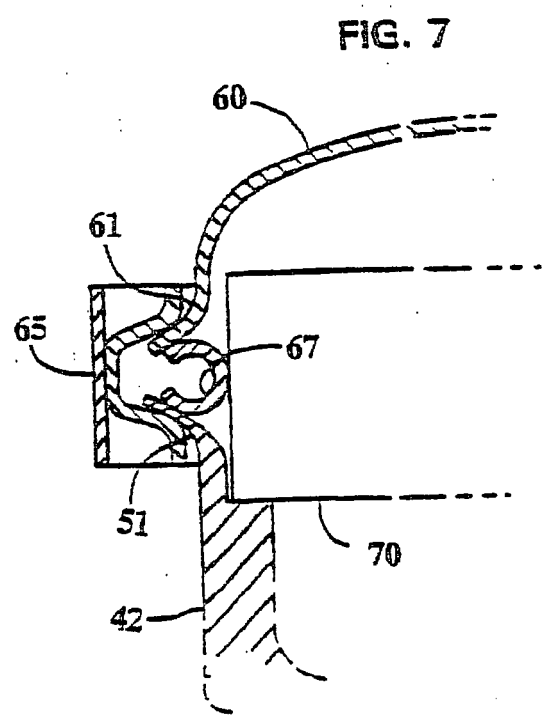


FIG. 7

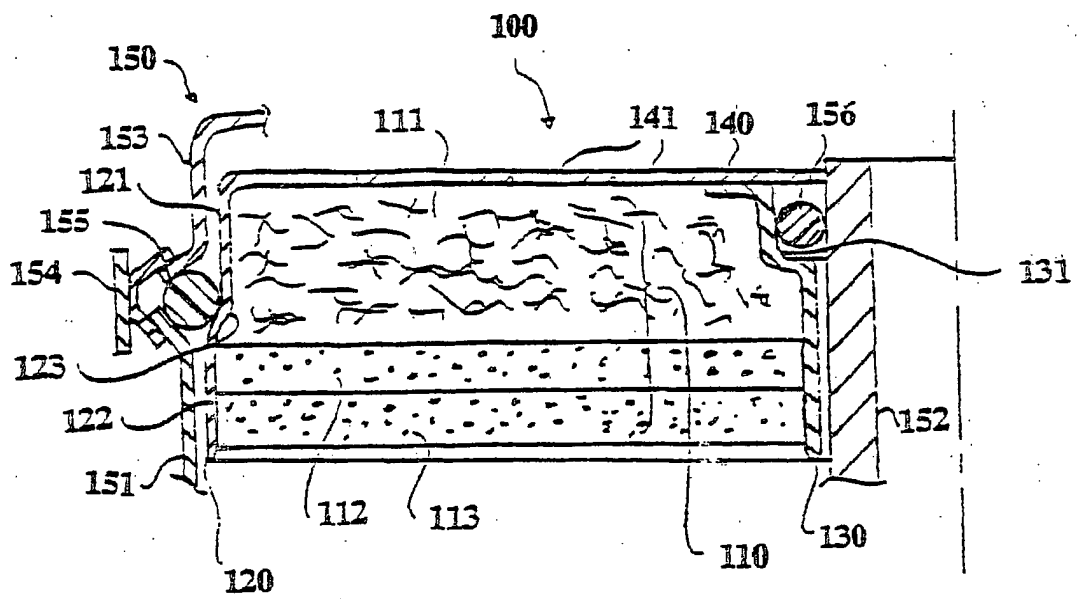


FIG. 9