

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. Juli 2010 (01.07.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/072333 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B01D 53/04 (2006.01) **B01J 47/00** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/008808

(22) Internationales Anmeldedatum:
9. Dezember 2009 (09.12.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102008062927.8
23. Dezember 2008 (23.12.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **SILTRONIC AG** [DE/DE]; Hanns-Seidel-Platz
4, 81737 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **RATHMANN, Dieter**
[DE/DE]; Am Moosgraben 29, 84359 Simbach (DE).

(74) Anwalt: **BAAR, Christian**; Siltronic Ag, Corporate In-
tellectual Property, Hanns-Seidel-Platz 4, 81737 Mün-
chen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

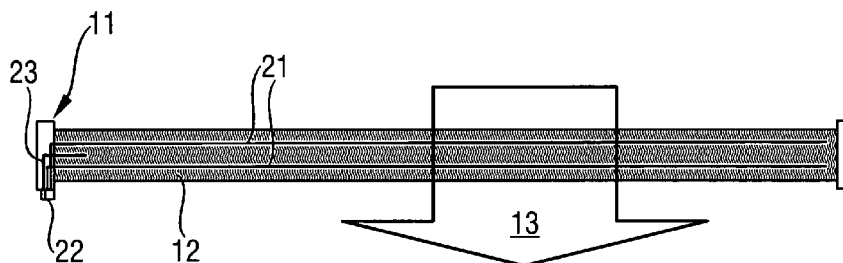
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: FILTER FOR REMOVING MOLECULAR IMPURITIES FROM GASES

(54) Bezeichnung : FILTER ZUR ENTFERNUNG MOLEKULARER VERUNREINIGUNGEN AUS GASEN

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a filter for removing molecular impurities from gases, comprising a filter medium (12) comprising a carrier having ion exchange groups bonded thereto, and an aqueous boundary layer encompassing the ion exchange groups, and a sensor (21) incorporated in the filter medium for determining a physical property of the filter medium dependent on the filter deposit accumulation.

(57) Zusammenfassung: Gegenstand der Erfindung ist ein Filter zur Entfernung molekularer Verunreinigungen aus Gasen, umfassend ein Filtermedium (12), das einen Träger mit daran gebundenen Ionenaustauscherguppen sowie eine wässrige Grenzschicht umfasst, die die Ionenaustauscherguppen umschließt, und einen in das Filtermedium eingearbeiteten Sensor (21) zur Bestimmung einer von der Filterbelegung abhängigen physikalischen Eigenschaft des Filtermediums.



WO 2010/072333 A1

Filter zur Entfernung molekularer Verunreinigungen aus Gasen

Die Erfindung betrifft einen Filter zur Entfernung molekularer Verunreinigungen aus Gasen, umfassend ein Filtermedium, das
5 einen Träger mit daran gebundenen Ionenaustauschergruppen sowie eine wässrige Grenzschicht umfasst, die die Ionenaustauschergruppen umschließt.

In vielen Bereichen der Industrie, beispielsweise in der
10 Halbleiterindustrie, werden wesentliche Prozessschritte unter Reinraumbedingungen durchgeführt. Dabei ist es notwendig, große Mengen an Luft aus der Umgebung anzusaugen und gefiltert in die Reinräume zu leiten. Noch größere Luftmengen werden ständig aus den Reinräumen abgeführt, gefiltert und rezirkuliert. Neben
15 Partikeln und anderen Verunreinigungen müssen bei der Filtration auch molekulare Verunreinigungen (sog. „airborne molecular contamination“, AMC) aus der Luft entfernt werden. Molekulare Verunreinigungen können aus der Umgebung stammen, wie beispielsweise von Autoabgasen, industriellen Abgasen oder
20 aus der Landwirtschaft. Sie können jedoch auch von den in den Reinräumen stattfindenden Produktionsprozessen selbst sowie von den dabei eingesetzten Chemikalien stammen. Typische molekulare Verunreinigungen, die aus der Reinraumluft oder auch aus Prozessabgasen entfernt werden müssen, sind Ammoniak (NH_3),
25 Schwefeldioxid (SO_2), Salzsäure (HCl) oder Stickstoffoxide (NO_x).

Um diese molekularen Verunreinigungen aus der Luft oder aus Prozessabgasen zu entfernen, werden unter anderem

30 Ionenaustauscher-Luftfilter verwendet. Diese umfassen in der Regel einen Träger mit daran gebundenen Ionenaustauschergruppen sowie eine wässrige Grenzschicht, die die Ionenaustauschergruppen umschließt. Die Ionenaustauschermoleküle sind mit dem einen Molekülende an das
35 Trägermaterial gebunden, das andere, die Austauscherfunktion

tragende Moleküle schwimmt in der wässrigen Grenzschicht. Der Träger ist ausreichend porös, um den Durchgang von Luft zu erlauben, beispielsweise ein Vlies. Die innere Oberfläche des Trägers in den Hohlräumen bzw. Poren weist

5 Ionenaustauschergruppen auf. Entweder sind die Fasern des Vlieses mit einer Beschichtung versehen, die diese Ionenaustauschergruppen enthält oder die Ionenaustauschergruppen sind direkt an die Fasern chemisch gebunden. Alternativ können die Ionenaustauschergruppen auch an
10 kleine Partikel, beispielsweise Kügelchen, gebunden sein, die wiederum in das Vlies eingebettet sind. Im Gleichgewicht mit der in der Luft enthaltenen Feuchtigkeit bildet sich auf der Oberfläche des Trägers eine dünne wässrige Grenzschicht, die die Ionenaustauschergruppen umschließt. Derartige
15 Ionenaustauscher-Luftfilter sind beispielsweise in WO99/00192A1 beschrieben.

Strömt Luft durch den Filter, so diffundieren die molekularen Verunreinigungen aus der Gasphase in die wässrige Grenzschicht
20 und lösen sich darin. Die gelösten Moleküle stehen über Säure-Base-Reaktionen mit entsprechenden protonierten oder deprotonierten ionischen Spezies im Gleichgewicht. Diese wiederum werden in einer Salzbildungsreaktion ionisch an die Ionenaustauschergruppen gebunden. Die Ionenaustauschergruppen
25 nehmen als korrespondierende Säure oder Base an dieser Reaktion teil. Bei Verwendung geeigneter, stark saurer bzw. stark basischer Ionenaustauscher und genügend großer Austauscherkapazitäten können diese Gleichgewichte sehr stark auf die Seite der an die Ionenaustauschergruppen gebundenen
30 Ionen verschoben werden, sodass die Luft beim Passieren des Luftfilters weitestgehend von den störenden molekularen Verunreinigungen befreit wird.

Durch diese Salzbildungsreaktion wird die Kapazität des
35 Ionenaustauscher-Luftfilters im Laufe der Zeit verbraucht,

sodass die Effizienz des Luftfilters sinkt und die Konzentration der Verunreinigungen in der gefilterten Luft ansteigt. Da vermieden werden muss, dass die Konzentrationen bestimmter Verunreinigungen die dafür vorgegebenen Grenzwerte
5 überschreiten, muss für einen rechtzeitigen Wechsel der Luftfilter gesorgt werden. Um dies zu gewährleisten, wird in der Regel die Filtereffizienz laufend oder in vorgegebenen Intervallen überwacht.

10 So offenbart EP419747A2 eine Filtervorrichtung, die wenigstens zwei hintereinander geschaltete Luftfilter (z.B. Aktivkohlefilter oder Molekularsiebe) umfasst. Im Raum zwischen dem ersten und zweiten Luftfilter wird die Konzentration einer Verunreinigung gemessen. Wird ein vordefinierter Grenzwert
15 überschritten, so wird der erste Luftfilter gewechselt. Der zweite Luftfilter ist erforderlich, da unter Umständen die Überschreitung des Grenzwerts (z.B. bei einer diskontinuierlichen Konzentrationsmessung) nicht sofort bemerkt wird oder aber ein Filterwechsel nicht sofort erfolgen kann. In
20 diesem Fall sorgt der zweite Luftfilter dafür, dass trotz der Sättigung des ersten Luftfilters keine unerlaubt hohen Mengen an Verunreinigungen die Filtervorrichtung passieren können. Die Konzentrationsmessung wird mittels kontinuierlich oder diskontinuierlich arbeitender Detektoren durchgeführt. Als
25 kontinuierlich arbeitender Detektor wird ein Detektor für brennbare Gase angegeben. Diskontinuierliche oder Einweg-Detektoren sind beispielsweise auf einer mit einem Farbumschlag verbundenen Reaktion basierende Teströhrchen.

30 Diese Filtervorrichtung weist erhebliche Nachteile auf:

Es werden immer mindestens zwei Luftfilter benötigt, die hintereinander geschaltet werden. Allein diese Tatsache erhöht bereits die Kosten. Die Reihenschaltung von mindestens zwei
35 redundanten Filtern führt aber auch zu einem höheren

Druckverlust beim Durchgang durch die Filter, der wiederum eine größere Klimaanlageleistung erforderlich macht und damit höhere Energiekosten verursacht. Zudem erfordern redundante Filter mehr Einbauhöhe, die höhere Investitionen für die
5 entsprechenden Produktionsgebäude zur Folge hat.

Außerdem sind die bekannten Detektoren nicht in der Lage, alle Substanzen zu detektieren, die von den Luftfiltern zurückgehalten werden können. Entweder ist für jede Substanz
10 oder Substanzgruppe ein eigener Detektor nötig, wie im Fall der Teströhrchen, oder es können zumindest nur Substanzen mit bestimmten Eigenschaften von einem Detektor detektiert werden, z.B. brennbare Gase, wie in EP419747A2 angegeben. Somit müssen vorab alle möglichen Verunreinigungen bekannt sein, die in der
15 zu filternden Luft enthalten sein und vom Filter zurückgehalten werden können. Selbst wenn dies der Fall ist, sind in der Regel mehrere Detektoren nötig, um diese möglichen Verunreinigungen zu überwachen. Eine derartige Kapazitätsüberwachung ist deshalb mit höheren Analysekosten und Investitionen verbunden. Eine
20 umfassende Analyse bezüglich aller möglichen Verunreinigungen ist in der Regel nicht vor Ort verfügbar, sodass zudem mit längeren Antwortzeiten von externen Laboren zu rechnen ist.

Es stellte sich daher die Aufgabe, eine Überwachungsmöglichkeit
25 für den Zustand von Luftfiltern bereitzustellen, die es unabhängig von der Art der in der Luft enthaltenen molekularen Verunreinigungen erlaubt, einen fälligen Filterwechsel frühzeitig zu erkennen, sodass auf redundante zusätzliche Luftfilter verzichtet werden kann, ohne das Risiko einer
30 Grenzwertüberschreitung einzugehen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Filter zur Entfernung molekularer Verunreinigungen aus Gasen, umfassend ein Filtermedium, das einen Träger mit daran gebundenen
35 Ionenaustauschergruppen sowie eine wässrige Grenzschicht

umfasst, die die Ionenaustauschergruppen umschließt, gekennzeichnet durch wenigstens einen in das Filtermedium eingearbeiteten Sensor zur Bestimmung einer von der Filterbelegung abhängigen physikalischen Eigenschaft des Filtermediums.

Die Erfindung ist auf alle bekannten Ionenaustauscher-Luftfilter anwendbar, beispielsweise auf die in WO99/00192A1 beschriebenen. Die Luftfilter können entweder nur anionische oder nur kationische Ionenaustauschergruppen oder beide Arten von Ionenaustauschergruppen gemischt enthalten. Luftfilter mit kationischen Ionenaustauschergruppen sind zur Bindung von Anionen geeignet (= Anionenaustauscher), die aus sauren molekularen Verunreinigungen entstehen, wenn sich diese in der wässrigen Grenzschicht lösen. Luftfilter mit anionischen Ionenaustauschergruppen sind zur Bindung von Kationen geeignet (= Kationenaustauscher), die aus basischen molekularen Verunreinigungen entstehen. Vorzugsweise sind die Gegenionen des unverbrauchten Luftfilters Protonen (im Fall eines Kationenaustauschers) oder Hydroxidionen (im Fall eines Anionenaustauschers). Sollen sowohl saure (z.B. SO_2 , HCl , NO_x) als auch basische Verunreinigungen (z.B. NH_3) aus der Luft gefiltert werden, werden zumindest ein Anionenaustauscher-Luftfilter und ein Kationenaustauscher-Luftfilter hintereinandergeschaltet oder es wird ein gemischter Ionenaustauscher-Luftfilter verwendet. Die breitesten Anwendungsmöglichkeiten für die Erfindung bieten sich jedoch in reinen Kationen- oder Anionenaustauscher-Luftfiltern.

Erfindungsgemäß wird in das Filtermedium ein Sensor derart eingearbeitet, dass er in engem Kontakt zum Filtermedium und insbesondere zu der wässrigen Grenzschicht steht. Daher werden vorzugsweise sehr kleine, sog. Mikro- oder Nanosensoren verwendet. Um den Kontakt des Sensors mit der wässrigen Grenzschicht des Filtermediums zu verbessern, kann der Sensor

mit einem wasseraufnahmefähigen Polymer beschichtet sein. Es können auch mehrere Sensoren in einen Luftfilter eingebaut werden.

- 5 Es werden Sensoren verwendet, die eine physikalische Eigenschaft des Filtermediums messen, die von der verbleibenden Filterkapazität oder von der bereits verbrauchten Filterkapazität (anders ausgedrückt von der Belegung des Filters mit Verunreinigungen) abhängig ist. Im Folgenden wird
10 nur noch von der Filterbelegung gesprochen. Solche Eigenschaften sind beispielsweise die Impedanz (d.h. der komplexe Wechselstromwiderstand) des Filtermediums bei einer oder mehreren festgelegten Frequenzen oder der pH-Wert der wässrigen Grenzschicht. Es kann jedoch auch die Intensität oder
15 Intensitätsänderung bei einer oder mehreren festgelegten Frequenzen eines Resonanzspektrums, z.B. Infrarot- (IR) oder Kernresonanz-Spektrums („nuclear magnetic resonance“, NMR), herangezogen werden. Intensitäten bei bestimmten Frequenzen eines NMR- oder IR-Spektrums können über die Änderung der
20 Resonanzschwingungen der an den Träger vernetzten Ionenaustauschermoleküle oder funktioneller Gruppen dieser Moleküle als Maß der stattgefundenen Salzbildungsreaktion genutzt werden. Durch die Bindung von Verunreinigungen an die Ionenaustauschergruppen (Salzbildung) werden diese
25 physikalischen Eigenschaften der wässrigen Grenzschicht oder des Filtermediums insgesamt verändert, sodass man umgekehrt aus der Änderung dieser Eigenschaften den Grad der Filterbelegung ermitteln kann.
- 30 Vorzugsweise wird für jede Art von Ionenaustauscher-Luftfiltern, die erfindungsgemäß mit einem Sensor ausgestattet wird, einmal eine Kennkurve ermittelt, die den Zusammenhang zwischen der Filterbelegung und der zu messenden Eigenschaft wiedergibt. Die gesamte pro Flächeneinheit verfügbare
35 Austauscherkapazität ist fertigungsbedingt gewissen

Schwankungen unterworfen. Daher sollte die Kennkurve diese Fertigungstoleranzen der verfügbaren Austauscherkapazität pro Flächeneinheit berücksichtigen. In der Praxis bedeutet dies, dass die Kennkurve eine gewisse Breite aufweist. Die Kennkurve
5 kann beispielsweise in einem Teststand durch Beaufschlagung des Filters mit einem Testgas bekannter Konzentration und Einwirkdauer und Errechnung des Filterwirkungsgrades anhand der nach dem Filter gemessenen Gaskonzentration erfolgen.

10 Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung anhand von Figuren beschrieben.

Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch ein Flachfilterelement, das gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung mit Elektroden
15 für eine Impedanzmessung ausgestattet ist.

Fig. 2 zeigt das Flachfilterelement aus Fig. 1 in der Draufsicht.

20 Fig. 3 zeigt einen Teilschnitt durch ein Flachfilterelement, das gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung mit einem pH-Sensor ausgestattet ist.

Fig. 4 zeigt ein mit drei pH-Sensoren ausgestattetes
25 Flachfilterelement in der Draufsicht.

Fig. 5 gibt eine typische Kennkurve für eine auf der Messung einer komplexen Leitfähigkeit basierende Überwachung der Filterbelegung wieder.

30

Fig. 6 gibt eine typische Kennkurve für eine auf einer pH-Messung basierende Überwachung der Filterbelegung wieder.

Gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung
35 ist die physikalische Eigenschaft des Filtermediums, die zur

Bestimmung der Filterbelegung gemessen wird, dessen Impedanz oder eine davon abgeleitete Größe wie die komplexe Leitfähigkeit oder die komplexe Dielektrizitätszahl bei einer oder mehreren festgelegten Frequenzen. Es kann jeweils der
5 Real- oder der Imaginärteil der komplexen Größe oder beide herangezogen werden. Die in der wässrigen Grenzschicht befindlichen Ionenaustauschermoleküle wirken als leitendes Dielektrikum. Die Impedanz ist ein Maß für die transportierte Ladung in Abhängigkeit von der angelegten Frequenz. So zeigen
10 z.B. die Protonen eines in protonierter Form vorliegenden Kationenaustauschers im Sinne des Sprung-Relaxations-Modells ein anderes Sprungverhalten und erfahren eine andere rücktreibende Kraft als die durch Salzbildung bereits belegten Ionenaustauschermoleküle. Daher kann durch die Bestimmung der
15 Impedanz bei einer oder mehreren Frequenzen die Filterbelegung ermittelt werden.

Die Wahl der Frequenzen und der geeigneten Komponente der Impedanz (Realteil, Imaginärteil oder beide) ist abhängig vom
20 verwendeten Austauschermaterial und wird durch eine Analyse des Impedanzspektrums im gesamten zur Verfügung stehenden Frequenzbereich bestimmt. Vorzugsweise werden ein oder mehrere Frequenzen im Bereich oberhalb des Gleichstromplateaus (d.h. im Frequenzbereich der Dispersion) gewählt. Die Bestimmung im
25 Frequenzbereich oberhalb des Gleichstromplateaus ist vorteilhaft, um einfache Anschlüsse zu verwirklichen, da die Selbstinduktivität der Sensoranschlüsse verringert ist. Dadurch wird die Verwendung auch längerer abgeschirmter Messleitungen zum Festanschluss von Sensoren in mehreren Filtern an einem
30 Analysator zur permanenten oder zyklischen Datenabfrage erleichtert.

In einer Variante der ersten Ausführungsform kann das Sprungverhalten bei höheren Frequenzen unterhalb des
35 Hochfrequenzbereiches in Relation zum Sprungverhalten bei

niedrigerer Anregungsfrequenz als Kontrollgröße für die Detektorintegrität oder als Maß für die Gesamtheit der Ionenaustauschermoleküle dienen. Bei höheren Frequenzen wird nämlich die komplexe Leitfähigkeit zunehmend durch alle Sprungvorgänge verursacht, und nicht durch erfolgreiche Sprünge, mit anderen Worten durch alle Ionenaustauschergruppen, unabhängig davon ob sie noch in protonierter oder bereits in salzgebundener Form vorliegen.

Ob der Real- oder Imaginärteil als Messgröße herangezogen wird, kann davon abhängig gemacht werden, welche der beiden Komponenten bei den Frequenzen, die mit der zur Verfügung stehenden Messvorrichtung zugänglich sind, bei der Salzbildungsreaktion einer größeren Änderung unterworfen ist.

Sind die Gegenionen der Ionenaustauschergruppen im Fall eines Kationenaustauschers Protonen bzw. im Fall eines Anionenaustauschers Hydroxidionen, so wird die Impedanz wie oben beschrieben im Wesentlichen durch die Menge der noch an die Ionenaustauschergruppen gebundenen Protonen- bzw. Hydroxidionen bestimmt. Daher ist es für die Bestimmung der verbleibenden Kapazität unerheblich, gegen welche Ionen die Protonen bzw. Hydroxidionen ausgetauscht wurden, d.h. welcher Art die aus der Luft gefilterten Verunreinigungen sind.

Fig. 1 und Fig. 2 zeigen ein Flachfilterelement, das mit Elektroden 21 zur Impedanzmessung ausgestattet ist. Es umfasst einen Filterrahmen 11, der das Filtermedium 12 mechanisch stabilisiert. Der Pfeil mit dem Bezugszeichen 13 symbolisiert die durch den Filter gerichtete Luftströmung. Die Erfindung kann jedoch auch auf anders aufgebaute Luftfilter, wie beispielsweise gefaltete Filter, Taschenfilter, Filterpatronen oder Kombinationen von Ionenaustauscherfiltern mit beispielsweise Partikelfiltern in einem Filterrahmen oder als Filterstapel angewandt werden. Sie kann selbstverständlich auch

auf eine Kombination eines Anionen- und eines Kationenaustauscher-Luftfilters oder jeweils mehrerer davon angewandt werden.

5 In das Filtermedium 12 sind zwei Elektroden 21 integriert, die mit geeigneten Anschlüssen 22 (beispielsweise Stecker oder Buchsen, z.B. BNC-Buchsen) verbunden sind, um sie mit einem entsprechenden Messgerät oder Analysator zu verbinden. Es ist auch denkbar, mehrere Paare von Elektroden einzubauen, deren
10 Messwerte beispielsweise anschließend gemittelt werden.

Als Elektroden 21 können beispielsweise zwei Silberdrähte verwendet werden, die in das Filtermedium, beispielsweise in ein Filtervlies, eingewoben sind. Die Elektroden sind
15 vorzugsweise über die ganze Breite des Filters eingearbeitet und in Richtung des Luftstroms 13 diagonal versetzt. Auf diese Weise wird selbst bei Verwendung nur eines Elektrodenpaares eine gewisse statistische Mittelung der aufgrund der Fertigungstoleranzen möglicherweise lokal unterschiedlichen
20 Werte der Impedanz erzielt. Bei Aufprägung einer Frequenz wird die Impedanz der von den Elektroden umschlossenen Filterfläche ermittelt.

Die Impedanz eines Dielektrikums ist eine temperaturabhängige
25 Größe. Falls der Ionenaustauscher-Luftfilter größeren Temperaturschwankungen unterworfen ist, ist es daher bevorzugt, die aktuelle Temperatur mittels eines Temperatursensors 23 (beispielsweise ein Thermoelement) zu messen. Auf diese Weise kann die Temperaturabhängigkeit der Impedanz kompensiert bzw.
30 die für die gemessene Filtertemperatur korrekte Kennkurve der Kapazitätsbestimmung zu Grunde gelegt werden.

Fig. 5 zeigt ein typisches Beispiel für die Abhängigkeit des Real- oder Imaginärteils der komplexen Leitfähigkeit σ bei
35 einer festgelegten Frequenz ω_D von der verbleibenden

Filterkapazität C_r . Aufgrund des monoton fallenden Verlaufs der Kennkurve besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der verbleibenden Filterkapazität und der komplexen Leitfähigkeit. Ist beispielsweise festgelegt, dass der Filter bei einer bestimmten verbleibenden Filterkapazität gewechselt werden muss, so kann durch die Kennkurve eine entsprechende Alarmgrenze σ_a für den Messwert der komplexen Leitfähigkeit ermittelt werden. Wird diese Grenze erreicht, so muss der Filter gewechselt werden.

Gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die physikalische Eigenschaft des Filtermediums, die zur Bestimmung der verbleibenden Filterkapazität gemessen wird, dessen pH-Wert, genauer gesagt der pH-Wert der wässrigen Grenzschicht, die die Ionenaustauscher-Gruppen bedeckt.

Fig. 3 und Fig. 4 zeigen ein Flachfilterelement ähnlich dem in Fig. 1 und Fig. 2 dargestellten Flachfilterelement, das jedoch mit pH-Sensoren 31 ausgestattet ist. Es können ein oder mehrere Sensoren in das Filtermedium 12 integriert sein. Es muss dafür gesorgt werden, dass die Sensoren einen ausreichenden Kontakt mit der wässrigen Grenzschicht des Filtermediums haben, damit die Diffusion der Protonen bzw. der nötige elektrische Kontakt gewährleistet ist. Die pH-Sensoren 31 sind mit geeigneten Anschlüssen 32 (beispielsweise Steckern oder Buchsen) verbunden, um sie mit einem entsprechenden Analysator zu verbinden. Fig. 4 zeigt eine mögliche, für die Filterfläche repräsentative Anordnung von drei pH-Sensoren 31, deren Messwerte beispielsweise anschließend gemittelt werden können. Es sind jedoch auch andere Anzahlen und Anordnungen von Sensoren denkbar. Der Analysator vergleicht anschließend das (ggf. elektronisch gemittelte) Spannungssignal der pH-Messung mit der vorher bestimmten pH-Kennkurve des entsprechenden Ionenaustauscher-Materials.

Vorzugsweise werden zur pH-Messung Mikrosensoren verwendet, beispielweise auf CMOS-Technologie basierende pH-ISFET-Sensoren („ion sensitive field effect transistor“), wie sie beispielsweise in WO2006/128804A1 beschrieben sind. Ein
5 weiteres Messprinzip für die pH-Messung, das sich zur Integration in Ionenaustauscher-Luftfilter eignet, beruht auf der Anwendung eines sich abhängig vom pH-Wert ausdehnenden Polymers, das in Diffusionskontakt mit der wässrigen Grenzschicht des Filtermediums steht. Durch Diffusion der
10 Protonen von der wässrigen Grenzschicht zu dem pH-sensitiven Polymer und pH-abhängige Ausdehnung dieses Polymers wird über eine Mikrowaage (z.B. ein Piezoelement) ein pH-abhängiges Spannungssignal im Millivolt-Bereich an den nachgeschalteten Analysator gegeben. Das pH-sensitive Polymer kann
15 beispielsweise ein Hydrogel sein. Solche Sensoren sind beispielsweise in A. Richter et al., „Review on Hydrogel-based pH Sensors and Microsensors“, Sensors 2008, 8, 561-581 beschrieben.

20 Sowohl die ISFET-Sensoren als auch die auf einem pH-sensitiven Polymer basierenden Sensoren können so modifiziert werden, dass sie an ihrer Oberfläche Ionenaustauschergruppen aufweisen, und zwar in einer Art und Dichte, die derjenigen des Ionenaustauscher-Luftfilters selbst entspricht. Bei dieser
25 Ausführungsform ist kein oder nur minimaler Diffusionskontakt mit der wässrigen Grenzschicht des Ionenaustauscher-Luftfilters erforderlich. Ein so aufgebauter Sensor ist, ein oder mehrfach in den Filter integriert, repräsentativ für die Filterbelegung des gesamten Filters.

30 Fig. 6 zeigt ein typisches Beispiel für die Abhängigkeit des pH-Werts von der verbleibenden Filterkapazität C_f eines Kationenaustauschers. Im Fall eines Anionenaustauschers würde die Kennkurve nicht ansteigen, sondern abfallen. Durch die
35 fortlaufende Salzbildung, die dem durchströmenden Gas die

Verunreinigungen entzieht, verringert sich die Anzahl freier, saurer oder basischer Ionenaustauschergruppen. Dadurch verändert sich der pH-Wert. Aufgrund des monoton steigenden oder fallenden Verlaufs der Kennkurve besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Filterbelegung und dem pH-Wert. Ist beispielsweise festgelegt, dass der Filter bei einer bestimmten verbleibenden Filterkapazität C_r gewechselt werden muss, so kann durch die Kennkurve eine entsprechende Alarmgrenze pH_a für den pH-Messwert ermittelt werden. Wird diese Grenze erreicht, so muss der Filter gewechselt werden.

Die erfindungsgemäßen Luftfilter können wie folgt eingesetzt werden:

Vorzugsweise ist der Sensor des Luftfilters permanent mit einem geeigneten Messgerät verbunden, das entweder permanent oder in festgelegten Intervallen einen Messwert ermittelt und ggf. an eine geeignete Auswertungseinheit, beispielsweise einen Computer oder Analysator, übermittelt. Die Auswertungseinheit rechnet das Messsignal vorzugsweise mittels der für den betreffenden Filter gespeicherten Kennkurve in einen Wert für die Filterbelegung um. Vorzugsweise wird ein Grenzwert für die Filterbelegung definiert, bei dessen Über- bzw. Unterschreitung ein Filterwechsel zu erfolgen hat. Beispielsweise kann die Auswertungseinheit so programmiert sein, dass sie bei Erreichen des Grenzwerts eine entsprechende Meldung erzeugt.

Es besteht außerdem die Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf der Filterbelegung für eine Vorhersage der noch verbleibenden Nutzungsdauer und damit für eine mittelfristige Planung der anstehenden Filterwechsel zu verwenden. So können beispielsweise in naher Zukunft fällige Filterwechsel mit ohnehin aus anderen Gründen stattfindenden Produktionsabstellungen zusammengelegt werden, um zusätzliche Ausfallzeiten zu vermeiden.

In einer weiteren Anwendung der Erfindung wird ein mittlerer zeitlicher Verlauf der Filterbelegung mit einer statistischen Schwankungsbreite ermittelt. Verlässt die erfindungsgemäß zu
5 einem gewissen Zeitpunkt bestimmte Filterbelegung diese Schwankungsbreite, so ist dies ein Hinweis auf einen nicht normalen Filterbetrieb, z.B. durch unbekannte oder unerwartet hohe Immissionen mit molekularen Kontaminationen. Diese Anwendung ist auch bei gemischten Kationen- und
10 Anionenaustauscher-Luftfiltern möglich.

Werden mehrere gleichartige Luftfilter in paralleler Schaltung zur Filterung eines Luftstroms verwendet, so kann es ausreichen, einen einzigen Luftfilter erfindungsgemäß mit einem
15 Sensor für die Filterbelegung auszurüsten. Dies ist der Fall, wenn die Luftfilter immer gleichzeitig ersetzt und beim Betrieb von einer identischen Menge der gleichen zu filternden Luft durchströmt werden, sodass die Kapazität aller Luftfilter gleichmäßig verbraucht wird. In diesem Fall kann die Bestimmung
20 der Filterbelegung eines einzigen der mehreren Filter stellvertretend für alle betreffenden Filter stehen.

Der erfindungsgemäße Luftfilter hat gegenüber dem Stand der Technik mehrere wesentliche Vorteile:

25 Erfindungsgemäß wird die Filterbelegung direkt aus einer physikalischen Eigenschaft des Filtermediums bestimmt und nicht aus einer Konzentration einer bestimmten Verunreinigung oder einer Gruppe von Verunreinigungen, die den Filter passiert hat.
30 Daher ist die Bestimmung unabhängig von der Art der Verunreinigungen, insbesondere, wenn reine Kationen- oder Anionenaustauscher-Luftfilter mit Protonen bzw. Hydroxidionen als Gegenionen eingesetzt werden. Sie bezieht sich prinzipiell auf alle Verunreinigungen, die von dem Luftfilter gebunden
35 werden können. Dieser Vorteil wird insbesondere dann erzielt,

wenn die gemessene physikalische Eigenschaft im Wesentlichen durch die Konzentration der noch vorhandenen Protonen bzw. Hydroxidionen als Gegenionen der Ionenaustauschergruppen bestimmt wird, wie es bei den beschriebenen Messgrößen der Fall ist. Dagegen müssen bei der Überwachung gemäß dem Stand der Technik eine oder mehrere Verunreinigungen oder eine Gruppe von Verunreinigungen (z.B. brennbare Gase) für die Detektion ausgewählt werden, da die Detektoren spezifisch darauf reagieren. Bei Benutzung des erfindungsgemäßen Luftfilters kann es daher auch nicht passieren, dass eine nicht überwachte Verunreinigung unbemerkt zu einem vollständigen Verbrauch der Filterkapazität führt. Dies ist besonders bei unerwarteten Ereignissen relevant, die zu einer erhöhten Kontamination der zu filternden Luft oder zum Auftreten von üblicherweise nicht enthaltenen Verunreinigungen führen. Nach derartigen Ereignissen ist erfindungsgemäß immer noch die laufende Überwachung ausreichend, während gemäß dem Stand der Technik zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um beispielsweise zusätzliche Substanzen zu überwachen. Insgesamt kann mit der vorliegenden Erfindung ein plötzliches und unerwartetes Durchbrechen des Filters zuverlässig vermieden werden.

Aufgrund der Möglichkeit, eine laufende Überwachung durchzuführen und so die Entwicklung der verbleibenden Filterkapazität zu verfolgen, kann auch die bis zum fälligen Filterwechsel verbleibende Zeit vorhergesagt werden. Dies ermöglicht eine bessere Planbarkeit der Filterwechsel. Ggf. kann, wie oben beschrieben, ein für die nächste Zeit anstehender Filterwechsel auch zeitlich mit einer aus anderen Gründen erforderlichen Abstellung der betreffenden Produktionsanlagen zusammengelegt werden, was die Anlagenstillstandszeiten verringert und die Wirtschaftlichkeit der betreffenden Produktion erhöht. Bei weitgehend gleichbleibender Belastung der zu filternden Luft mit

Verunreinigungen kann aufgrund der laufenden Überwachung mit dem Filterwechsel bis kurz vor dem Erreichen der Filter-Sättigung gewartet werden, sodass Filter seltener gewechselt werden müssen. Aufgrund der verbesserten Übersicht über fällige
5 Filterwechsel kann der Lagerbestand an Ersatzfiltern reduziert werden. Außerdem kann generell auf redundante, nachgeschaltete Filter verzichtet werden. Beides führt zu einem weiteren Kostenvorteil.

10 Durch Beobachtung der Abweichung des zeitlichen Verlaufs der Filterbelegung von einem zuvor ermittelten typischen Verlauf (mit statistischer Schwankungsbreite) können nicht normale Filterbetriebszustände und somit unerwartete Ereignisse oder Störungen in der Produktion, die zu erhöhten Konzentrationen an
15 Verunreinigungen führen, festgestellt werden.

Die erfindungsgemäßen Luftfilter können überall dort zum Einsatz kommen, wo Ionenaustauscher-Luftfilter verwendet werden können, beispielsweise zur Filterung von Reinraumlufte, z.B. in
20 der Halbleiterindustrie oder pharmazeutischen Industrie.

Patentansprüche

1. Filter zur Entfernung molekularer Verunreinigungen aus Gasen, umfassend ein Filtermedium, das einen Träger mit daran gebundenen Ionenaustauschergruppen sowie eine wässrige Grenzschicht umfasst, die die Ionenaustauschergruppen umschließt, gekennzeichnet durch wenigstens einen in das Filtermedium eingearbeiteten Sensor zur Bestimmung einer von der Filterbelegung abhängigen physikalischen Eigenschaft des Filtermediums.
2. Filter gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ionenaustauschergruppen anionische Gruppen und deren Gegenionen Protonen sind.
3. Filter gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ionenaustauschergruppen kationische Gruppen und deren Gegenionen Hydroxidionen sind.
4. Filter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor ein Sensor zur Bestimmung des pH-Werts der wässrigen Grenzschicht ist.
5. Filter gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor ein ISFET-Sensor oder ein auf einer pH-sensitiven Polymerschicht basierender Sensor ist.
6. Filter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor ein Sensor zur repräsentativen Bestimmung des pH-Werts der wässrigen Grenzschicht ist, wobei der Sensor ein ISFET-Sensor oder ein auf einer pH-sensitiven Polymerschicht basierender Sensor ist, und wobei die Oberfläche des Sensors Ionenaustauschergruppen in derselben Art und Dichte wie das Filtermedium aufweist.

7. Filter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor ein Sensor zur Bestimmung der Impedanz des Filtermediums oder einer davon abgeleiteten Eigenschaft bei zumindest einer vorbestimmten Frequenz ist.

5

8. Filter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor ein Sensor zur Bestimmung der Intensität oder Intensitätsänderung bei einer oder mehreren festgelegten Frequenzen eines Resonanzspektrums des

10 Filtermediums ist.

1 / 3

Fig. 1

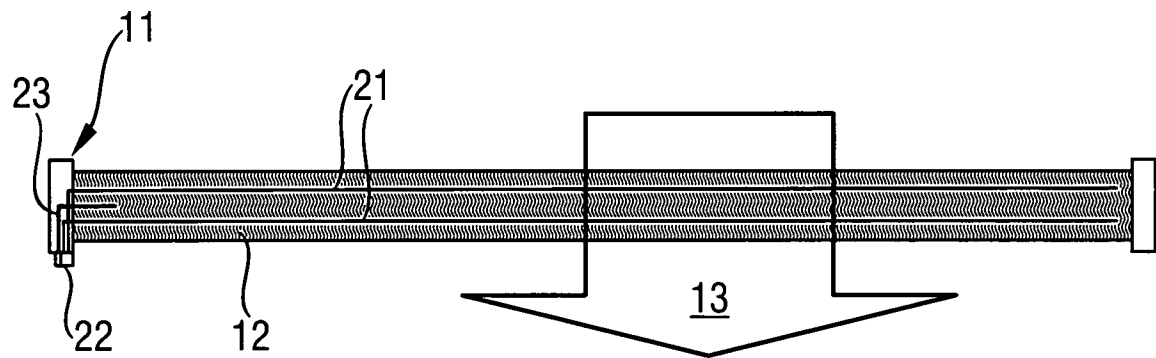
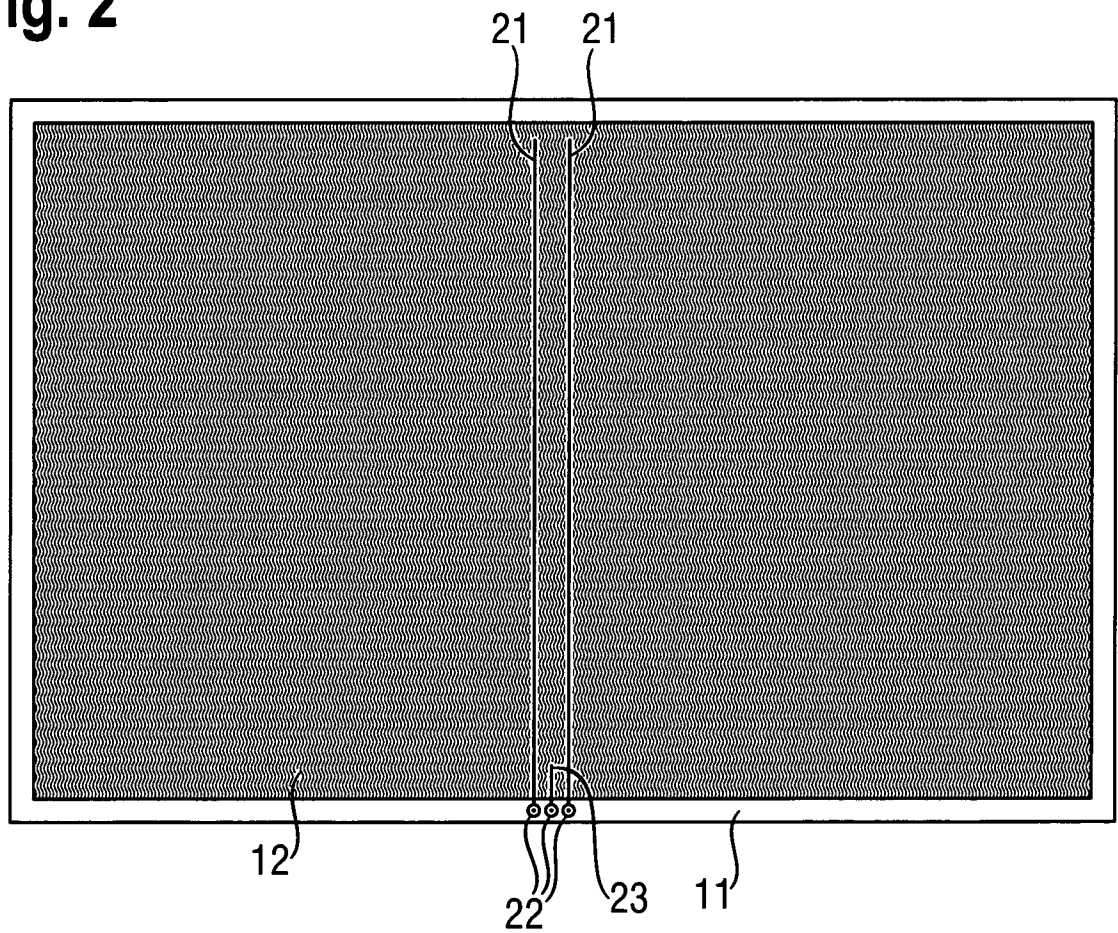
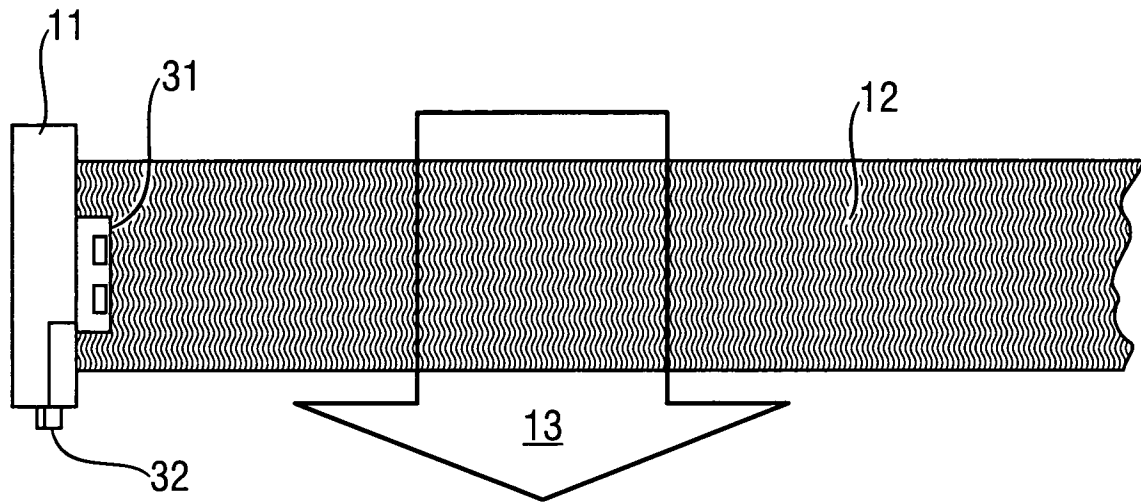
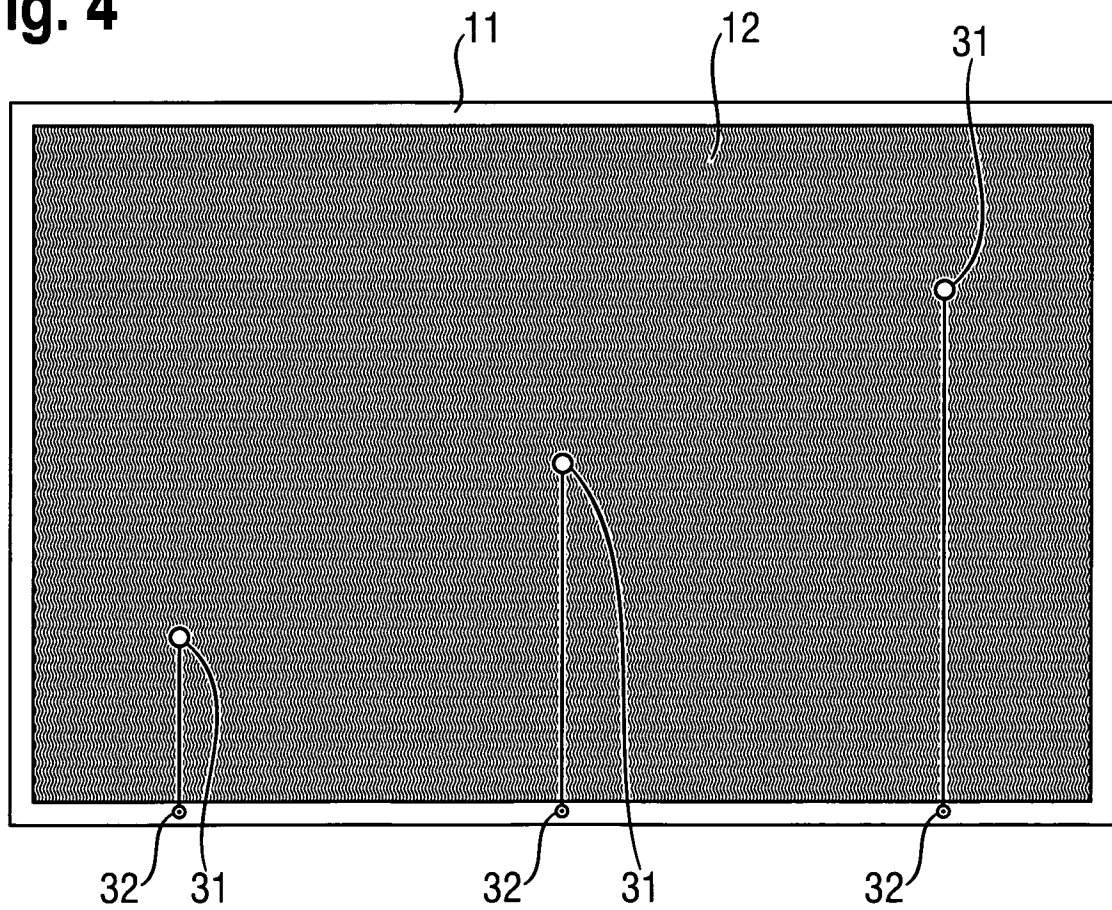


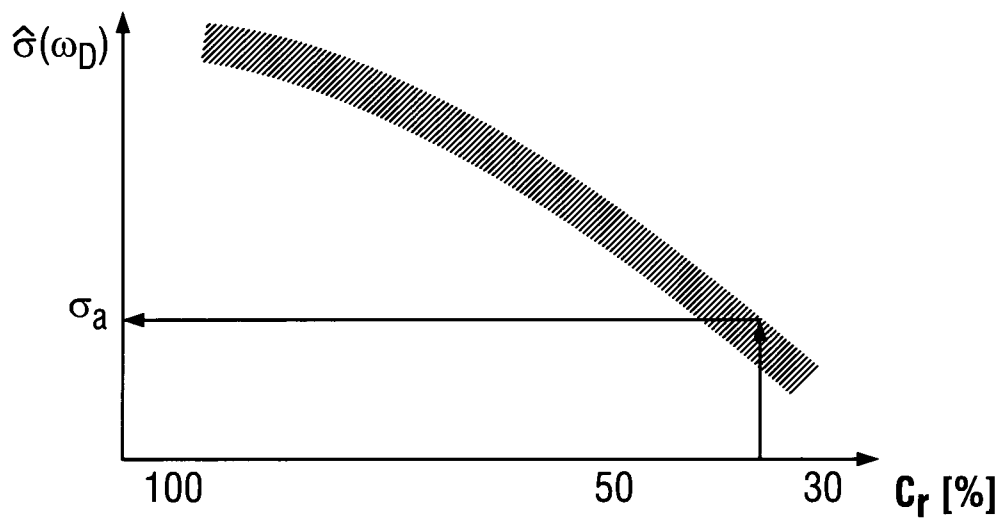
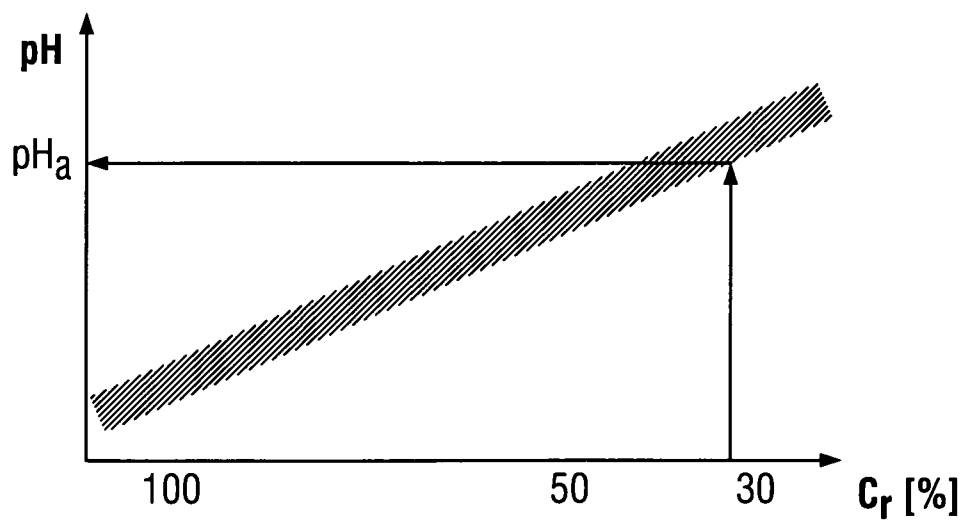
Fig. 2



2 / 3

Fig. 3**Fig. 4**

3 / 3

Fig. 5**Fig. 6**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2009/008808

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. B01D53/04 B01J47/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 B01D B01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EP0-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 99/00192 A1 (MBH FILTRATION GMBH & CO KG [DE]; RUITER ERNEST DE [DE]; TOERNBLOM JON) 7 January 1999 (1999-01-07) cited in the application the whole document -----	1-3
A	US 2006/169144 A1 (FORSLUND MIKAEL [SE]) 3 August 2006 (2006-08-03) the whole document -----	1-8
A	US 5 260 585 A (TOM GLENN M [US]) 9 November 1993 (1993-11-09) column 4, line 18 - column 5, line 16 -----	1-8
A	US 4 847 594 A (STETTER JOSEPH R [US]) 11 July 1989 (1989-07-11) column 1, lines 12-61; figure 4 column 5, line 32 - column 7, line 26 -----	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 March 2010

Date of mailing of the international search report

24/03/2010

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Persichini, Carlo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2009/008808

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9900192	A1	07-01-1999	DE 19727295 A1 07-01-1999
			EP 0991470 A1 12-04-2000
			JP 2002506389 T 26-02-2002
			US 6402819 B1 11-06-2002
US 2006169144	A1	03-08-2006	NONE
US 5260585	A	09-11-1993	NONE
US 4847594	A	11-07-1989	GB 2230863 A 31-10-1990

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B01D53/04 B01J47/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B01D B01J

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EP0-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 99/00192 A1 (MBH FILTRATION GMBH & CO KG [DE]; RUITER ERNEST DE [DE]; TOERNBLOM JON) 7. Januar 1999 (1999-01-07) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-3
A	US 2006/169144 A1 (FORSLUND MIKAEL [SE]) 3. August 2006 (2006-08-03) das ganze Dokument -----	1-8
A	US 5 260 585 A (TOM GLENN M [US]) 9. November 1993 (1993-11-09) Spalte 4, Zeile 18 - Spalte 5, Zeile 16 -----	1-8
A	US 4 847 594 A (STETTER JOSEPH R [US]) 11. Juli 1989 (1989-07-11) Spalte 1, Zeilen 12-61; Abbildung 4 Spalte 5, Zeile 32 - Spalte 7, Zeile 26 -----	1-8

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. März 2010

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/03/2010

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Persichini, Carlo

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/008808

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9900192	A1	07-01-1999	DE	19727295 A1	07-01-1999
			EP	0991470 A1	12-04-2000
			JP	2002506389 T	26-02-2002
			US	6402819 B1	11-06-2002

US 2006169144	A1	03-08-2006	KEINE		

US 5260585	A	09-11-1993	KEINE		

US 4847594	A	11-07-1989	GB	2230863 A	31-10-1990
