

(19)



(11)

EP 1 735 101 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
10.09.2008 Patentblatt 2008/37

(51) Int Cl.:
B03C 3/49 *(2006.01)* **B03C 3/16** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **05716464.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2005/003357

(22) Anmeldetag: **31.03.2005**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2005/099904 (27.10.2005 Gazette 2005/43)

(54) **RÖHRENKOLLEKTOR ZUR ABSCHIEDUNG ELEKTRISCH GELADENER AEROSOLE AUS EINEM GASSTROM**

TUBULAR COLLECTOR FOR PRECIPITATING ELECTRICALLY LOADED AEROSOLS FROM A GAS STREAM

COLLECTEUR TUBULAIRE POUR LA SEPARATION D'AEROSOLS ELECTRIQUEMENT CHARGES D'UN FLUX GAZEUX

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR

- **PAUR, Hanns-Rudolf**
76139 Karlsruhe (DE)
- **WOLETZ, Klaus**
76344 Eggenstein-Leopoldshafen (DE)
- **WÄSCHER, Thomas**
69123 Heidelberg (DE)

(30) Priorität: **14.05.2004 DE 102004023967**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.12.2006 Patentblatt 2006/52

(74) Vertreter: **Rückert, Friedrich**
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Patente und Lizenzen
Weberstrasse 5
76133 Karlsruhe (DE)

(73) Patentinhaber: **Forschungszentrum Karlsruhe GmbH**
76133 Karlsruhe (DE)

(72) Erfinder:
• **BOLOGA, Andrei**
76297 Stutensee (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-C1- 10 132 582 **DE-C1- 10 244 051**
US-A- 4 247 307 **US-A- 5 254 155**
US-B1- 6 599 349

EP 1 735 101 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Röhrenkollektor in Form eines Kanalabschnitts für die Abscheidung elektrisch geladene Aerosole aus einem durchströmenden Gas.

[0002] Das Reinigen eines Gases von Submikronpartikeln ist ein aktuelles Problem. In der DE 101 32 582 wird die Abscheidung geladener Aerosole beispielsweise beschrieben. Der Kollektor der Einrichtung besteht aus einem Gehäuse, einem geerdeten Gitter und einer darauf stehenden Röhrenpackung, deren Röhren eine einheitliche Länge haben. Die Röhren sind aus elektrisch leitendem oder dielektrischem Material, sie sind steif oder biegsam und ihre Wand ist glatt oder strukturiert. Im Innern der Röhren können spiralige Elemente eingebaut sein. Die Röhrenpackung kann über eine Sprüheinrichtung befeuchtet werden, das lässt die Minderung der Temperatur, das Befeuchten und Reinigen der Röhrenoberfläche zu und die Erhöhung der Wirksamkeit der Abscheidung geladener Aerosole. Der Gasstrom verläuft von oben nach unten, und besprüht wird die strömungszugewandte Stirn der Röhrenpackung, so dass die Sprühflüssigkeit darin mit dem Gasstrom nach unten abfließt/abtropft.

[0003] Nachteilig ist, bei größerer Röhrenlänge nimmt die Abscheidung der Partikel an der Röhrenaußenwand stark ab. Darüber hinaus ist die Befeuchtung der Röhrenoberfläche ungleichmäßig. Bei größeren Abscheidern bestehen wegen der Bauweise Montageschwierigkeiten und Wartungsprobleme.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Röhrenkollektor bereitzustellen, mit dem elektrisch geladene Aerosole aus einem durchströmenden Gas langzeitkonstant mit großer Wirksamkeit an den Röhren abgeschieden und aus dem Abscheider ausgeleitet werden können.

[0005] Die Aufgabe wird durch einen Röhrenkollektor, der gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 aufgebaut ist, gelöst. Der Röhrenkollektor ist in einen Kanalabschnitt des den Gasstrom leitenden Kanals eingebaut. Dieser Abschnitt steht mit seiner Kanal- oder Strömungsachse senkrecht und der Gasstrom strömt darin von unten nach oben.

[0006] In dem Kanalabschnitt ist mindestens eine Röhrenbündelgruppe. Die Röhrenbündelgruppe besteht aus mindestens einem Röhrenbündel. Die Röhrenbündelgruppe füllt den lichten Kanalquerschnitt so weit wie möglich aus, es sei denn, es gibt technischphysikalische Gründe, dass der Querschnitt der Röhrenbündelgruppe kleiner sein muss. Strömungstechnisch bildet der größtmögliche Bündelquerschnitt den geringsten Strömungswiderstand. Jedenfalls lässt das die Bauweise unterschiedlich große Abscheider zu und erleichtert insbesondere die Montage. So werden Abscheider mit kleinem Kanalquerschnitt eine Röhrenbündelgruppe oder Röhrenbündelgruppen mit jeweils einem Röhrenbündel haben. Größere Röhrenbündelgruppen bestehen aus meh-

rerer Röhrenbündeln, die bei der Montage/Wartung noch gut handhabbar sind. Die Röhren stehen alle parallel zur Strömungsachse.

[0007] Über jeder Röhrenbündelgruppe ist zentral eine Sprüheinrichtung positioniert, die auf dem Rohrende eines von der freiliegenden Kanalwand herkommenden Rohres für die Spülmittelzufuhr sitzt. Über die Sprüheinrichtung wird zumindest die strömungsabgewandte / obere Stirn der Röhrenbündelgruppe gleichmäßig mit Spülflüssigkeit ausgesprüht werden. Bei entsprechendem Düsenaufbau, z. B. Zweistrahl Düse, könnte zusätzlich die angeströmte Stirn der in Strömungsrichtung auf Abstand folgenden Röhrenbündelgruppe in gleicher Art mit besprüht werden. Die Spülflüssigkeit ist sehr häufig Wasser oder eine andere elektrisch leitende Spülflüssigkeit.

[0008] Die Auswahl der Spülflüssigkeit bestimmt der zu führende Reinigungsprozess. Deshalb kommen auch dielektrische Spülflüssigkeiten, wie Öle oder niedrige Alkohole oder allgemein elektrisch nichtleitende Lösungsmittel in Betracht, mit der Konsequenz, dass dann die Röhren aus elektrisch leitendem Material sein müssen. Laugen oder Säuren, wiederum elektrisch leitend, kommen unter Umständen ebenso als Spülflüssigkeit in Betracht. Die mit dem Gasstrom und dem Spülmittel in Kontakt kommenden Baukomponenten des Röhrenkollektors müssen auf jeden Fall für den Prozess inert sein. Die Materialien werden, das berücksichtigend, ausgewählt.

[0009] Jede Röhrenbündelgruppe liegt zumindest mit ihrer strömungszugewandten Stirn an einem Gitter/Lochblech an und berührt dieses mit mindestens einer Röhre elektrisch leitend. Alle Gitter/Lochbleche sind an ein elektrisches Bezugspotential, in den überwiegenden Fällen Erdpotential, angeschlossen. Somit wird die durch die Abscheidung an der Röhrenbündelgruppe abgegebene elektrische Ladung über das jeweilige Gitter abgeführt, d.h. die abgeschiedenen Aerosole/Partikel werden elektrisch neutralisiert, so dass sie mit der Spülflüssigkeit abspülbar sind. Eventuell kann zwischen der Röhrenbündelgruppe und dem Gitter/Lochblech ein reißfestes Netz liegen, dessen Maschen aber höchstens so groß sind, dass sicher keine Röhre durchrutschen könnte. Ist es dielektrisch, müsste zwischen dem Gitter/Lochblech und der Röhrenbündelgruppe eine elektrische Leitung eingerichtet werden.

[0010] Sind die Bezugspotentiale verschieden und nicht Erdpotential müssen zusätzlich elektrotechnische Maßnahmen zur Isolation getroffen werden. Der Röhrenkollektor sitzt dann völlig in einem dielektrischen Kanalabschnitt, zumindest aber sind zwei unmittelbar aufeinander folgende Röhrenbündelgruppen über ein dielektrisches Kanalwandstück voneinander elektrisch isoliert. Gleichzeitig müsste je ein solches dielektrisches Kanalwandstück am Eingang und Ausgang des Röhrenkollektors zur insgesamten elektrischen Isolation angebaut sein.

[0011] Unmittelbar benachbarte Röhren in einem Röh-

renbündel sind über Abstandshalter in unverrückbarer paralleler Position auf eine Distanz $0 \text{ mm} < s \leq D_{\text{innen}}$ zueinander gehalten und die Röhrenbündel einer Gruppe miteinander lösbar verbunden. D_{innen} ist der lichte Durchmesser der verwendeten Röhre.

[0012] Experimentell als optimal herausgestellt hat sich, wenn sich im Bereich der Röhrenbündelgruppe, in dem im Querschnitt alle Röhren erscheinen, geometrisch ein Dreieck gebildet wird, dessen Ecken auf je einer der Röhrenachsen dreier unmittelbar benachbarter Röhren liegen und die so gebildete Zwickelfläche zwischen diesen Röhren gleich der halben lichten Querschnittsfläche einer Röhre ist. Dadurch entsteht eine Röhrendistanz s , die innerhalb des oben angegebenen Bandes liegt. Der Strömungswiderstand in der Röhre und der außerhalb ihr scheint so optimal aufeinander abgestimmt zu sein. Röhrenabstände, die größer als der lichte Röhrendurchmesser sind, bringen einen stark schlechter werdenden Abscheidungsgrad mit sich. Mit weiter zunehmendem Abstand s über diesen optimalen Abstand hinaus benötigen die geladenen Aerosole aus dem zentralen Bereich der Strömungssäule mehr und mehr Zeit für eine Drift mit Abschluss auf einer Röhrenwand, die Röhren müssten dann länger und länger werden. Das aber ist technisch uninteressant.

[0013] Zwar sind alle Röhren einer Röhrenbündelgruppe gleich lang, haben aber unterschiedliche Stellhöhe. Die Länge einer Röhrenbündelgruppe kann damit zwischen der einfachen und nahezu doppelten Röhrenlänge beim Stand auf einem ebenen Gitter/Lochblech (Anspruch 2) variieren, wobei es aus Gründen der Formstabilität einen mittleren Bereich einer Röhrenbündelgruppe geben soll, in deren Querschnitt alle Röhren des Bündels erscheinen. In diesem ausgezeichneten Bündelbereich ist das Röhrenbündel dann auch noch um den Umfang mit einem Band oder Seil zusätzlich formfestigend bündel- oder schnürbar. Bei zentral gewölbten oder konisch oder pyramidenförmig zentral zulaufenden Gitterformen (Anspruch 2) kann die Höhe der Röhrenbündelgruppe sogar noch höher als die doppelte Röhrenlänge sein. Allerdings darf dann die Bündelhöhe in Umfangsbereichen um die Röhrenkollektorlängsachse aus den geforderten Gründen zur Formstabilität des Röhrenbündels nur zwischen der einfachen und unterhalb der doppelten Röhrenhöhe schwanken und unmittelbar aufeinander folgende Umfangsbereiche müssen sich derart überlappen, dass es eine Ringfläche gibt, durch die alle Röhren der betrachteten Umfangsbereiche gehen. Eine mehrfache, allumfassende Bänderung/Schnürung wie im ebenen Gitterfall ist dann aber unter Umständen nicht mehr gegeben. Bei den nichtebenen Gitterformen kann aber eine umfassende Bündelung/Schnürung des Röhrenbündels zur zentralen Bündelhöhe hin wegen der in etwa vorhandenen Rotationssymmetrie dennoch hinreichende Stabilität mit sich bringen. Die Bauhöhe ist aber dann eventuell im Anlageneinbau aufgrund einer begrenzten Räumlichkeit problematisch.

[0014] Wesentlich für eine effiziente Aerosolabschei-

dung ist, dass die Röhren mindestens so lang sind, dass bei einem turbulenten Eintritt des Gasteilstroms in die Röhre es im Verlaufe des Durchströmens zu einer laminaren Strömungsbildung kommt, so dass dieser Gasteilstrom laminar aus der Röhre ausströmt. Auf die elektrisch geladenen Aerosolteilchen erfolgt im laminaren Gasteilstrom eine stetige, radial gerichtete Kraft. In einer verwirbelten, turbulenten Strömung lassen sich stets die Richtung ändernden strömungsmechanischen Kräfte das nicht zu. Allgemein kann durch eine entsprechende Einstellung des Bezugspotentials die Kraft auf die durchströmenden elektrisch geladenen Aerosolteilchen in Radialrichtung und in Grenzen im Betrag eingestellt werden. Technisch bedeutsam ist die Einstellung des Bezugspotentials derzeit so, dass diese Aerosolteilchen während des Durchströmens auf die Röhrenwand zu treffen. Die Abscheidung wird umso besser, je länger der laminare Strömungszustand in der Röhre besteht. Die Röhrengeometrie, hier lichte Weite und Röhrenlänge, wird einerseits für die technische Wirksamkeit durch die Strömung und der darin befindlichen Aerosolart nahegelegt und andererseits durch einen wirtschaftlichen Aufbau des Röhrenkollektors.

[0015] In den Unteransprüchen sind weitere Merkmale des Röhrenabscheiders/Röhrenkollektors aufgeführt, die eine prozessangepasste und/oder vorteilhafte Ausgestaltung beschreiben.

Die Röhren eines Röhrenbündels sind üblicherweise Meterware, wenn nicht Prozessbedingungen außergewöhnliches Material verlangen. Nach Anspruch 3 sind es einfache glatte Röhren, nach Anspruch 4 von ringförmig gewellt bis axial längsgewellt, also auch dazwischen liegend wendelförmig oder schraubenförmig gewellt. Glatte oder ringförmig gewellte Rohre sind als Meterware insbesondere aus der elektrischen Installationstechnik bekannt.

[0016] Häufig ist die versprühte Spülflüssigkeit normales Wasser, das eine Ionenleitfähigkeit besitzt. Für diesen Fall können die Röhren aus dielektrischem Material sein (Anspruch 5), da die Röhren über die Spülflüssigkeit Wasser auf dem Bezugspotential des tragenden Gitters/Lochblechs gehalten werden.

[0017] Die Gitter, die von dem zugeordneten Röhrenbündelgruppe über mindestens eine Röhre elektrisch leitend berührt werden, sind in der einfachsten Bauweise eben (Anspruch 4). Im Falle einer elektrisch nichtleitenden Spülflüssigkeit, wie Öl oder niedrige Alkohole oder Farblösungsmittel, muss beim Aufbau des Röhrenkollektors dafür gesorgt werden, dass die Röhren auf die abzuscheidenden, elektrisch geladenen Teilchen elektrisch attraktiv wirken, die Röhren sind dann zwangsweise elektrisch leitend (Anspruch 6), also zumindest mit einer elektrisch leitenden Schicht beschichtet oder aus Metall oder einem hinreichend leitenden Kohlefaserverbundwerkstoff. Sie haben eine solche Struktur, Maschenweite oder Perforation im Falle des Lochblechs, dass ein einzelnes Röhrenbündel nicht durchfallen könnte.

[0018] Die gebündelten Röhren sind bei einer Röhrenbündelgruppe alle gleich. Die Röhren können aber vielfältige Gestalt haben. Nach Anspruch 7 sind sie im Querschnitt rund, nach Anspruch 8 polygonal. Für kleinere Kanalquerschnitte ist das wegen des Strömungswiderstandes eventuell zu berücksichtigen, mit zunehmenden Kanalquerschnitten tritt dieser Aspekt mehr in den Hintergrund, wenn der Querschnitt der Röhrenbündelgruppe weitestgehend den lichten Kanalquerschnitt ausfüllt.

[0019] Eine eingeeingte Ausgestaltung eines Röhrenbündels beschreibt Anspruch 9. Danach ist der Querschnitt der Röhren polygonal, und zwar rechteckig (Hexagonal- bzw. Bienenwabenstruktur) oder parallelogrammartig viereckig oder regelmäßig sechseckig oder dreieckig derart, als zwei aneinander gelegte Dreiecke ein rechteckiges oder parallelogrammartiges Viereck bilden. Zusätzlich sind die Röhren eines Bündels dicht gepackt, d.h. der gegenseitige Röhrenabstand s ist null oder nahezu null. Ein solches Röhrenbündel hat dann Wabenstruktur und lässt sich aus unterschiedlich hochgestellten Röhren bündeln/schnüren oder die Röhren eines Bündels stehen alle gleich hoch. Ein solches Röhrenbündel kann aber auch unmittelbar aus einer zusammenhängenden Wabenstruktur mit dem jeweiligen Wabenquerschnitt geschnitten sein, und zwar mit zueinander parallelen Stirnseiten senkrecht zur Röhrenlängsachse oder schräg dazu. Beide Röhrenbündelarten eignen sich für die Zusammensetzung zu einer Röhrenbündelgruppe, insbesondere wenn die Röhrenbündelgruppe nichtebene Stirnflächen hat und deshalb ein segmentierter Aufbau notwendig ist. Die Fassung und Verankerung solcher Strukturen ist technisch einfach. Solche Wabenstrukturen sind aus der Leichtbautechnik bekannt.

[0020] Zwei einfache Arten der Röhrenfixierung lassen sich einmal nach Anspruch 10 durch w-förmige Klemmen und nach Anspruch 11 durch wenigstens zwei Gitter, durch die alle Röhren zumindest eines Röhrenbündels gehen, erreichen. Wobei die beiden Gitter eine Maschenstruktur haben, durch die die Röhren formwährend aber geklemmt gesteckt sind. Die Maschen, durch die gesteckt wird, haben polygonale, zumindest dreieckige Struktur. Bei der w-förmigen Klemme, die beispielsweise aus einem Band geeigneten Materials ausgestanzt werden kann, wird der Röhrenabstand s über den Mittelsteg des W erreicht, gleichzeitig werden zwei Röhren über Außen- und Mittelsteg klemmend in Position gehalten. Immer zwei W-Klemmen halten zwei Röhren in paralleler Position zueinander. So sind verschiedene Querschnittsformen für eine Röhrenbündelgruppe von rund, wie kreisrund oder oval, oder polygonal mit geraden Kanten ab dreieckig, oder polygonal ab zweieckig mit gekrümmten Kanten herstellbar, wobei der kreisrunde oder der rechteckige oder der sechseckige Querschnitt bisher der technisch am häufigsten realisierte ist. Bei allen einfachen, nach außen gewölbten Querschnittsformen bewirkt eine Bündelung/Schnürung um den Umfang der Röhrenbündelgruppe im Bereich, in dem im Querschnitt alle Röhren der Gruppe auftreten, eine zusätzliche Formstabilisie-

rung und Möglichkeit zur einfachen Verankerung an der Kanalwand.

[0021] Der Abscheidungsgrad lässt weiter optimieren, wenn, wie in Anspruch 12 beschrieben, die Röhren aus einer Röhrenbündelgruppe mit den Röhren der benachbarten Röhrenbündelgruppe nicht oder zumindest die meisten davon miteinander nicht fluchten. Das hat den Effekt, dass die austretenden laminaren Strömungssäulen aus einer Röhrenbündelgruppe, falls der laminare Strömungszustand im Zwischenraum zweier Röhrenbündelgruppen beibehalten werden kann, beim Eintritt in die folgende Röhrenbündelgruppe längs aufgeschnitten werden und dadurch der vormalige zentrale Bereich einer Strömungssäule beim Eintritt in die folgende Röhrenbündelgruppe sehr wahrscheinlich dezentral nahe einer Röhrenwand innen oder außen weiterströmt. Noch vorhandene Aerosolteilchen aus diesem vormals zentralen Strömungssäulenbereich haben dann einen kürzeren radialen Weg zur gegenwärtigen Röhrenwand.

[0022] Der Röhrenabscheider/Röhrenkollektor ist in seinem Aufbau konstruktiv einfach und leicht sowohl als Kleinrichtung mit nur einem Röhrenbündel pro Röhrenbündelgruppe oder modular größere bis große Einrichtung mit mehreren Röhrenbündeln pro Röhrenbündelgruppe.

[0023] Mit dem Röhrenabscheider/Röhrenkollektor kann ein mit elektrisch geladenen Aerosolen belastetes Gas während des Durchströmens wirksam gereinigt werden. Der Druckabfall zwischen Ein- und Ausgang des Röhrenabscheider/Röhrenkollektor ist gering, wenn sich der Röhrenabstand zwischen den Schranken $0 \text{ mm} < s < D_{\text{innen}}$ bewegt, insbesondere bei angepasstem Röhrenabstand s hinsichtlich des Strömungswiderstands in der einzelnen Röhre - alle Röhren haben, da geometrisch gleich pro Gruppe, den gleichen Strömungswiderstand - und außen zwischen einem Röhrentripel unmittelbar benachbarter Röhren. Es ist deshalb eine möglichst gleichmäßige Ausnutzung der inneren und äußeren Röhrenflächen anzustreben, da das zu reinigende Gas sowohl durch die Röhren als auch durch die die Röhrenaußenwand begrenzende Zwickelfläche strömt. Hierdurch wird erreicht, dass die Außenfläche der Rohre ebenso stark durchströmt wird wie die Innenfläche der Rohre. Durch die Abstandshalter wird die Röhrenaußenfläche der Rohre wirksam, was die effektive Abscheidungsfläche um max. bis zu $65\%/35\% = 1,86\text{-fache}$ vergrößert.

[0024] Anhand des Ausführungsbeispiels eines derartigen Röhrenkollektors, der gebaut wurde und die Testphase durchlaufen hat, werden der Aufbau und die Wirkung speziell beschrieben. Der Röhrenkollektor ist in der Zeichnung skizziert und seine Leistungsfähigkeit in einem Diagramm dargestellt.

Es zeigt:

- Figur 1 den Röhrenkollektor,
- Figur 2 die eingebaute Röhrenbündelgruppe im axialen Schnitt,
- Figur 3 die eingebaute Röhrenbündelgruppe im ra-

- Figur 4 dialen Schnitt,
die auf Abstand s zueinander sitzenden Röhren,
Figur 5 den Axialschnitt zueinander positioniert Röhren,
Figur 6 den Radialschnitt zueinander positioniert Röhren,
Figur 7 die Anzahlkonzentration und den Fraktionsabscheidungsgrad.

[0025] Figur 1 zeigt den Röhrenkollektor in seiner Einbaulage in das Kanalsystem zum Führen eines von elektrisch geladenen Aerosolpartikeln zu reinigenden Gasstroms. Das Rauch- oder Rohgas strömt von unten in den Röhrenkollektor ein und strömt die erstere, untere Röhrenbündelgruppe üblicherweise turbulent an. Sie reicht über den gesamten lichten Kanalquerschnitt. Dort trifft das Rohgas zunächst auf das ebenfalls über den lichten Kanalquerschnitt reichende ebene Gitter, das auf Erdpotential gelegt ist. In den Röhren und zwischen den Röhren bilden sich auf dem weiteren Strömungsweg laminare Strömungssäulen aus. In ihnen vorhandene Aerosolpartikel, die gewöhnlich elektrisch negativ geladen sind, werden wegen des wirkenden elektrischen Erdpotentials radial auf die nächstliegende Röhrenwand hingezogen. Zumindest die nahe einer Röhrenwand befindlichen Aerosolpartikel haben eine gute Chance während des Durchströmens auf die Röhrenwand zu treffen und dort ihre elektrische Ladung abzugeben. Die Kraftwirkung auf die Aerosolpartikel ist eine kombinierte, nämlich elektrisch und strömungsmechanisch.

[0026] Zwischen den beiden Röhrenbündelgruppen ist die Sprüheinrichtung zentral und mittig positioniert. Der Spülmittelzustrom erfolgt über das von der freien Kanalwand her hereinragende Rohr. Das Spülmittel ist hier Wasser, für das Abspülen der abgelagerten Rauchgaspartikel gut geeignet. Die Sprüheinrichtung sprüht die untere als auch die obere Röhrenbündelgruppe an.

[0027] Das aus der ersten Röhrenbündelgruppe in Säulen laminar ausströmende, vorgereinigte Gas strömt durch den Sprühzwischenraum weiter und trifft auf die zweite Röhrenbündelgruppe, die ebenfalls auf einem Gitter mit elektrischem Bezugspotential steht. Die noch laminaren Strömungssäulen aus der ersten Röhrenbündelgruppe werden beim Eintritt sehr wahrscheinlich längs aufgeschnitten und formieren sich darin beim Weiterströmen erneut zu laminaren Strömungssäulen, woraus die weitere Abscheidung geschieht. Aus der zweiten Röhrenbündelgruppe tritt das Gas weitestgehend gereinigt aus und strömt im dort angeschlossenen Führungskanal weiter. Der Spüleffekt kann noch etwas verbessert werden, wenn über der letzten Röhrenbündelgruppe noch eine Sprüheinrichtung sitzt, mit der die strömungsabgewandte / obenliegende Stirn auch noch besprüht werden kann. Diese Maßnahme ist nicht notwendigerweise zwingend.

[0028] Das Erdungsgitter auf der strömungszugewandten Seite eines Röhrenbündels ist zu Ableitung der

elektrischen Ladung notwendig. Die Spülung des Röhrenbündels aus der Sprüheinrichtung zwischen zwei aufeinander folgenden Röhrenbündeln im Gegenstrom zur Gasströmung wirkt nur auf abgeschiedene und elektrisch neutrale Partikel effektiv. Ein zusätzliches Erdungsgitter auf der strömungsabgewandten Seite des Röhrenbündels erhöht den Abscheidungsgrad nicht wesentlich, kann aber bei guter Verbindung zur mechanischen Steifigkeit des Röhrenbündels beitragen.

[0029] Die beiden ebenen Gitter lassen zu, dass Spülflüssigkeit mit Aerosol bei dieser Art Einbau auch einfach im Gegenstrom in den darunter liegenden Raum abtropfen kann. Bei dieser Art Aufbau und Aufstellung des Röhrenkollektors ist das aber im allgemeinen kein Problem, da solche aerosolverunreinigte Spülflüssigkeit in einer unter dem Röhrenkollektor stehenden Wanne einfach aufgefangen und abgeführt werden kann.

[0030] Die abzuscheidenden Partikel sind größtenteils $< 1 \mu\text{m}$. Da die Röhrenlänge nicht beliebig lang ist, werden sich nicht alle Partikel während der Durchströmung an der Röhrenwand abscheiden, sondern mit der Strömung weiter genommen. Im Experiment wurde festgestellt, wenn die Röhren in einem Bündel unterschiedlich hoch gepackt sind, sich an der Außenwand einer die tiefer sitzende Röhre überragenden Nachbarröhre erhebliche Sedimentspuren zeigen. Diese Beobachtung wird auch durch Messung bestätigt. Die Abscheidung bei einem Röhrenbündel, bei dem die gepackten Röhren unterschiedlich hoch sitzen, ist signifikant höher als bei nur mit der Röhrenlänge gepackten Bündeln. Figur 2 zeigt schematisch die im Röhrenkollektor eingebaute, über den lichten Kanalquerschnitt reichende Röhrenbündelgruppe, deren Röhren unterschiedlich hoch, hier der Einfachheit halber nur in zwei Höhen, gepackt sind. Die Querschnittsdarstellung in Figur 3 zeigt eine dichte Röhrenpackung, d.h. die Röhren stehen sehr nahe beieinander.

[0031] Figur 4 zeigt eine Röhrenanordnung im Querschnitt, bei der die Röhren beispielhaft regelmäßig stehen, und zwar mit Ihrer Längsachse in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks. Die Röhren, die alle gleich sind, haben den lichten Durchmesser D_{innen} und den Außendurchmesser D . Sie stehen über gesteckte w-förmige Klemmen mit dem Abstand s parallel zueinander (siehe hierzu Figur 5 Längsschnitt und Figur 6 Querschnitt). Die Klemmen sind hier für ein Bündel mit der Höhe gleich der Röhrenlänge. Bei unterschiedlicher Höhenpackung der Röhren müssen die beiden Außenschenkel der Klemmen entsprechend länger sein.

[0032] Die w-förmigen Abstandshalter/Klemmen werden unten und oben am jeweiligen Rohrende eingesteckt. Es werden oben und unten jeweils 6 Abstandshalter pro Röhre eingesteckt, wobei jeweils 1 Abstandshalter 2 Röhren auf den Abstand s hält. Zur besseren Führung der Röhren und als verlängerte Einleitstrecke für das Gas können die zentralen Abstandsstäbe mit dem Breitenmaß s verlängert ausgeführt sein, z.B. $5 \times D$ oder $10 \times D$ lang sein. Sie können auch so lang sein, dass die

unteren und oberen Zentralstäbe sich in der Rohrmitte gerade berühren, so dass ein geschlossener Zwickelkanal entsteht. Die Abstandshalter können einfache hergestellt werden, z. B. durch Ausstanzen aus Metallblech oder dünnen Kunststoffplatten. Je nach erforderlicher Beständigkeit für Medium und Temperatur können die Materialien aus Kunststoffen, wie PE, PP, PVDF, PTFE, PVC, oder aus Metallen, wie z.B. Aluminium, Edelstahl, Titan, sein.

[0033] Technisch brauchbar ist ein Abstandsbereich von

$$0 < s < D_{\text{innen}}.$$

Optimal ist bei endlicher Abstandseinstellung, wenn s in dem Bereich

$$0,15 D_{\text{innen}} \leq s \leq 0,25 D_{\text{innen}}$$

liegt.

[0034] Eine auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnittene Abstandsberechnung über bekannte strömungsmechanische Druckverlustberechnungen stützt die Auslegung eines Röhrenbündels.

[0035] Die Untersuchung an einem einfach regelmäßig gepackten Bündel aus kreisrunden Röhren gibt natürlicherweise einen hexagonalen Bündelquerschnitt wie in Figur 4 dargestellt. Alle Röhren sind gleich, sie haben den Innendurchmesser D_{innen} und dem Außendurchmesser D . Bei der Abschätzung auf l_m Röhrenlänge ergibt für eine laminare Strömung unter der Annahme: Strömungsgeschwindigkeit durch die Röhre von 2 m/s und einem Druckabfall von $dp = 5,12$ Pa über die Röhrenlänge über die Berücksichtigung der geometrischen Querschnittssituation für den gegenseitigen optimalen Röhrenabstand

$$s = 0,254 D_{\text{innen}}$$

[0036] Dann strömt etwa ebenso viel zu reinigendes Gas durch die Rohre wie durch die Zwickel. Da dem Zwickelgas ca. 65% der Rohroberfläche zur Verfügung steht, kann dort auch etwa 65 % des Gesamtgases durchströmen, also das $65/50 = 1,3$ -fache der Gasmenge durch die Rohre.

[0037] Durch die Einfügung der Abstandshalter wird die Röhrenaußenfläche der Röhren wirksam, was die effektive Abscheideoberfläche um max. $65\%/35\% = 1,86$ -fache vergrößert. Im vorgegebenes Gehäusevolumen können infolge der Abstandshalter weniger Rohre untergebracht werden, wodurch bei diesem Beispiel etwa 27 % weniger Rohre im Gehäuse Platz haben als bei dichter,

$s = 0$ mm-Packung, also verringert sich die Gesamt-Rohrfläche ebenfalls um 27 %, - aber durch die Abstandshalter ist hiervon etwa die 1,8-fache Oberfläche nutzbar, so dass sich mit einem 27 % geringeren Einsatz von Rohren eine etwa $1,8 \times 0,73 = 1,31$ -fache Abscheideoberfläche ergibt.

[0038] Die Leistungsfähigkeit des Röhrenabscheiders/Röhrenkollektors ist in Figur 7 beispielhaft dokumentiert. Das Beispiel zeigt die experimentell ermittelten Kurven für die Anzahlkonzentration in cm^{-3} und den Fraktionsabscheidungsgrad in %, beides über der Partikelgröße X_m in μm . Bei dieser Überprüfung war die Strömungsrate 500 Bm^3/h . Die elektrische Aufladung des Rohrgases erfolgte vor Eintritt in den Röhrenabscheider beim Durchtritt durch eine elektrostatische Ladeeinheit mit $U = 12,6$ kV, die Ladeeinheit zog einen Strom von $I = 4,6$ mA. Ab einer Partikelgröße von etwa $0,4 \mu\text{m}$ ist der Fraktionsabscheidegrad schon über 90% und die Qualität des Reingases schon ausgezeichnet. Ab einer Partikelgröße von $1 \mu\text{m}$ liegen die Verhältnisse nahezu ideal.

Patentansprüche

1. Röhrenkollektor zur Abscheidung elektrisch geladener Aerosole aus einem Gasstrom, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Röhrenkollektor in einen Kanalabschnitt eines den Gastrom leitenden Kanals eingebaut ist, dieser Kanalabschnitt senkrecht steht, der Gasstrom von unten her ein- und nach oben hin austritt, mindestens ein über höchstens den lichten Kanalquerschnitt reichende Röhrenbündelgruppe aus mindestens einem formstabilen Röhrenbündel in diesem Kanalabschnitt darin verankert ist, und zumindest mit der strömungszugewandten / unteren Seite auf einem über den lichten Kanalquerschnitt reichenden, auf einem elektrischen Bezugspotential liegenden Gitter/Lochblech sitzt und wenigstens mit einer Röhre aus der zugehörigen Röhrenbündelgruppe zur Ableitung aufgenommener elektrischer Ladung in elektrisch leitfähigem Kontakt stehen, wobei im Falle von vom Erdpotential verschiedenen elektrischen Bezugspotentialen die Kanalwand insgesamt dielektrisch ist oder zumindest am Eingang und Ausgang des Röhrenkollektors und im Fall mit Abstand in Strömungsrichtung aufeinander folgenden Röhrenbündelgruppen zwischen denselben je ein dielektrisches Kanalwandzwischenstück zur elektrischen Isolation eingebaut ist, im Falle, dass das Bezugspotential gleich dem Erdpotential ist, die Kanalwand des Kanalabschnitts elektrisch leitend aber auch elektrisch nichtleitend sein kann, mindestens die strömungsabgewandte / obere Stirn einer Röhrenbündelgruppe über eine darüber zen-

tral positionierte Sprüheinrichtung, die von der freiliegenden Kanalwand her über eine Zuleitung mit Spülflüssigkeit versorgt wird, gleichmäßig mit Spülflüssigkeit ausgesprüht werden kann, Abstandshalter unmittelbar benachbarte Röhren eines Röhrenbündels in paralleler Position und auf eine Distanz $0 \text{ mm} \leq s \leq D_{\text{innen}}$ zueinander halten, wobei D_{innen} der lichte Röhrendurchmesser ist, die Röhren einer Röhrenbündelgruppe gleich sind und gleiche oder unterschiedliche Stelhöhe haben, so dass eine Röhrenbündelgruppe mindestens die Länge einer Röhre hat und die Röhren eine Länge mindestens derart haben, dass sich bei turbulenter Einströmung in eine Röhre im weiteren Strömungsverlauf darin eine laminare Gasströmung ausbildet.

2. Röhrenkollektor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gitter eben oder, in Strömungsrichtung betrachtet, konkav oder konvex oder pyramidenförmig oder konisch sind. 20
3. Röhrenkollektor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Röhren glatt sind. 25
4. Röhrenkollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Röhren von ringförmig gewellt bis längsgewellt sind. 30
5. Röhrenkollektor nach den Ansprüchen 3 und 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Röhren nur im Falle der Verwendung einer elektrisch leitenden Spülflüssigkeit aus dielektrischem Material sein können. 35
6. Röhrenkollektor nach den Ansprüchen 3 und 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Röhren im Falle der Verwendung einer elektrisch nicht leitenden Spülflüssigkeit aus elektrisch leitendem Material sind und untereinander elektrisch leitend verbunden sind. 40
7. Röhrenkollektor nach den Ansprüchen 5 und 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Querschnitt der Röhren rund ist. 45
8. Röhrenkollektor nach einem der Ansprüche 5 und 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Querschnitt der Röhren polygonal ist. 50
9. Röhrenkollektor nach einem der Ansprüche 5 und 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Querschnitt der Röhren polygonal ist, und zwar rechteckig oder parallelogrammartig viereckig oder regelmäßig sechseckig oder dreieckig derart, als ein rechteckig bzw. parallelogrammartig viereckiger Querschnitt über eine Diagonale zwei Dreiecke bildet, 55

und die Röhren pro Röhrenbündel wabenartig dicht gepackt sind.

- 5 10. Röhrenkollektor nach den Ansprüchen 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abstandshalter w-förmig sind und jeweils auf zwei zueinander auf Abstand zu haltende Röhren klemmend gesteckt sind.
- 10 11. Röhrenkollektor nach den Ansprüchen 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** alle Röhren eines Röhrenbündels zur Abstandsfixierung und Bündelbildung geklemmt durch mindestens zwei Gitter gehen. 15
12. Röhrenkollektor nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei aufeinanderfolgende Röhrenbündelgruppen mit ihrer Längsachse auf der Strömungsachse liegen, die Mehrzahl bis alle der Röhren aus einer Gruppe aber nicht mit denen der benachbarten Röhrenbündelgruppe fluchten. 20

Claims

1. Tubular collector for separating electricity-laden aerosols from a gas flow, **characterised in that** the tubular collector is installed in a duct section of a duct that conducts the gas flow, the said duct section being perpendicular, the gas flow entering from the bottom and exiting at the top, at least one group of tube bundles, that extends at the maximum over the inside width of the duct and comprises at least one dimensionally stable bundle of tubes, is anchored in the said tubular collector, and is supported at least with the side facing the flow / the bottom side on a grating / perforated plate that extends over the inside width of the duct and is situated at an electric reference potential and is in electrically conductive contact at least with one tube from the associated group of tube bundles for removing an absorbed electrical charge, wherein in the event of the electric reference potentials being different to the earth potential, the duct wall is totally dielectric or at least at the inlet and output of the tubular collector, and in the event of the groups of tube bundles being disposed consecutively at a spacing in the direction of flow, one dielectric duct wall intermediate piece is installed between each of the said groups for electric insulation, in the event that the reference potential is identical to the earth potential, the duct wall of the duct section can be electrically conductive but also can be non electrically conductive, at least the end face remote from the flow / upper 25

end face of a group of tube bundles can be sprayed with washing fluid in a uniform manner by means of a spraying device that is centrally positioned above the said upper end face/ end face remote from the flow, the said spraying device being supplied with washing fluid from the exposed duct wall by means of a supply line,

spacers hold apart directly adjacent tubes of a tube bundle in a parallel position and at a spacing of $0 \text{ mm} \leq s \leq D_{\text{inside}}$ one from another, wherein D_{inside} is the inside tube diameter,

the tubes of one group of tube bundles are identical and have identical or different adjustment heights such that minimum length of one group of tube bundles is the length of one tube

and

the length of the tubes is at least such that when there is a turbulent incoming flow into one tube, a laminar gas flow forms in the continued sequence of flow in the said tube.

2. Tubular collector according to claim 1, **characterised in that** the gratings are flat or, when viewed in the direction of flow, concave or convex or pyramidal or conical.

3. Tubular collector according to claim 2, **characterised in that** the tubes are smooth.

4. Tubular collector according to one of claims 1 to 5, **characterised in that** the tubes are undulated from an annular shape to being undulated longitudinally.

5. Tubular collector according to claims 3 and 4, **characterised in that** the tubes can be produced from dielectric material only when an electrically conductive washing fluid is used.

6. Tubular collector according to claims 3 and 4, **characterised in that** where an electrically non-conductive washing fluid is used, the tubes are produced from electrically conductive material and are interconnected in an electrically conductive manner.

7. Tubular collector according to claims 5 and 6, **characterised in that** the cross-section of the tubes is round.

8. Tubular collector according to one of claims 5 and 6, **characterised in that** the cross-section of the tubes is polygonal.

9. Tubular collector according to one of claims 5 and 6, **characterised in that** the cross-section of the tubes is polygonal, that is rectangular or four-cornered in the manner of a parallelogram or regularly hexagonal or triangular in such a manner that, as a cross-section that is

rectangular or respectively four-cornered in the manner of a parallelogram, two triangles are formed by means of a diagonal,

and

the tubes are packed tightly per bundle in the manner of a honeycomb.

10. Tubular collector according to claims 7 and 8, **characterised in that** the spacers are w-shaped and in each case are placed in a clamping manner on two tubes that are to be spaced apart.

11. Tubular collector according to claims 7 and 8, **characterised in that** all the tubes of one tube bundle are clamped so as to be secured at a spacing and to form a bundle by means of at least two gratings.

12. Tubular collector according to one of claims 9 to 11, **characterised in that** two consecutive groups of tube bundles are supported with their longitudinal axis on the axis of flow, the majority of the tubes of one group to all of the tubes of one group, however, are not in alignment with those of the adjacent group of tube bundles.

Revendications

1. Collecteur tubulaire pour la séparation d'aérosols électriquement chargés d'un flux gazeux, **caractérisé en ce que**

le collecteur tubulaire est installé dans une section de canal d'un canal conduisant le flux gazeux, cette section de canal est verticale,

le flux gazeux entre par le bas et sort par le haut, au moins un groupe de faisceaux de tubes comprenant au moins un faisceau de tubes indéformable s'étendant sur au maximum la section transversale de canal intérieur dans cette section de canal est ancré dans celle-ci, et

il est placé du côté tourné vers l'écoulement/inférieur sur une grille/tôle perforée s'étendant sur la section transversale de canal intérieur et qui, raccordée à un potentiel de référence électrique, est en contact électriquement conducteur avec au moins un tube du groupe de faisceaux de tubes associé pour dégager la charge électrique, alors qu'en cas de potentiels de référence électriques différents du potentiel terrestre la paroi de canal est diélectrique totalement ou au moins à l'entrée et à la sortie du collecteur tubulaire, et en cas de groupes de faisceaux de tubes se succédant à distance dans la direction d'écoulement entre ceux-ci respectivement une pièce intermédiaire de paroi de canal diélectrique est montée pour l'isolation électrique, en cas d'un potentiel de référence correspondant au potentiel terrestre la paroi de canal pouvant être électriquement conductrice ou non,

- au moins la partie inverse opposée par rapport à l'écoulement/ supérieur d'un groupe de faisceaux de tubes peut être aspergé de façon homogène par un produit de rinçage au moyen d'un dispositif de pulvérisation disposé au centre au-dessus du groupe et alimenté en produit de rinçage par l'intermédiaire d'une conduite d'alimentation partant de la paroi de canal intérieur, des écarteurs maintiennent des tubes directement voisins d'un faisceau de tubes dans une position parallèle et à une distance de $0 \text{ mm} \leq s \leq D_{\text{int.}}$, $D_{\text{int.}}$ étant le diamètre de tube intérieur, les tubes d'un groupe de faisceaux de tubes sont identiques et ont une hauteur de positionnement identique ou différente, de sorte qu'un groupe de faisceaux de tubes présente au moins la longueur d'un tube, et les tubes présentent au moins une longueur permettant la formation d'un écoulement de gaz laminaire lors d'une entrée turbulente dans un tube pendant l'évolution de l'écoulement.
2. Collecteur tubulaire selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les grilles sont planes ou, observées dans la direction de l'écoulement, concaves ou convexes ou pyramidales ou coniques.
 3. Collecteur tubulaire selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les tubes sont lisses.
 4. Collecteur tubulaire selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les tubes sont ondulés de façon annulaire ou longitudinale.
 5. Collecteur tubulaire selon les revendications 3 et 4, **caractérisé en ce que** les tubes ne peuvent être en matériau diélectrique qu'en cas d'une utilisation d'un produit de rinçage électriquement conducteur.
 6. Collecteur tubulaire selon les revendications 3 et 4, **caractérisé en ce qu'** en cas d'une utilisation d'un produit de rinçage électriquement non conducteur les tubes sont en matériau électriquement conducteur et reliés entre eux de façon électriquement conductrice.
 7. Collecteur tubulaire selon les revendications 5 et 6, **caractérisé en ce que** la section transversale des tubes est ronde.
 8. Collecteur tubulaire selon l'une quelconque des revendications 5 et 6, **caractérisé en ce que**
- la section transversale des tubes est polygonale.
9. Collecteur tubulaire selon l'une quelconque des revendications 5 et 6, **caractérisé en ce que** la section transversale des tubes est polygonale, à savoir rectangulaire ou en forme de parallélogramme quadrangulaire, ou régulièrement hexagonale ou triangulaire de sorte qu'une section transversale rectangulaire ou en forme de parallélogramme quadrangulaire forme sur une diagonale deux triangles, et les tubes sont regroupés par faisceaux de tubes de façon dense en forme de nids d'abeille.
 10. Collecteur tubulaire selon les revendications 7 et 8, **caractérisé en ce que** les écarteurs sont en forme de W et respectivement serrés sur deux tubes à tenir à distance l'un de l'autre.
 11. Collecteur tubulaire selon les revendications 7 et 8, **caractérisé en ce que** tous les tubes d'un faisceau de tubes passent à travers au moins deux grilles de façon serrée pour fixer la distance et former le faisceau.
 12. Collecteur tubulaire selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, **caractérisé ce que** deux groupes de faisceaux de tubes successifs reposent par leur axe longitudinal sur l'axe d'écoulement, mais la plupart ou tous les tubes d'un groupe ne sont toutefois pas alignés à ceux du groupe de faisceaux de tubes voisin.

Fig. 1

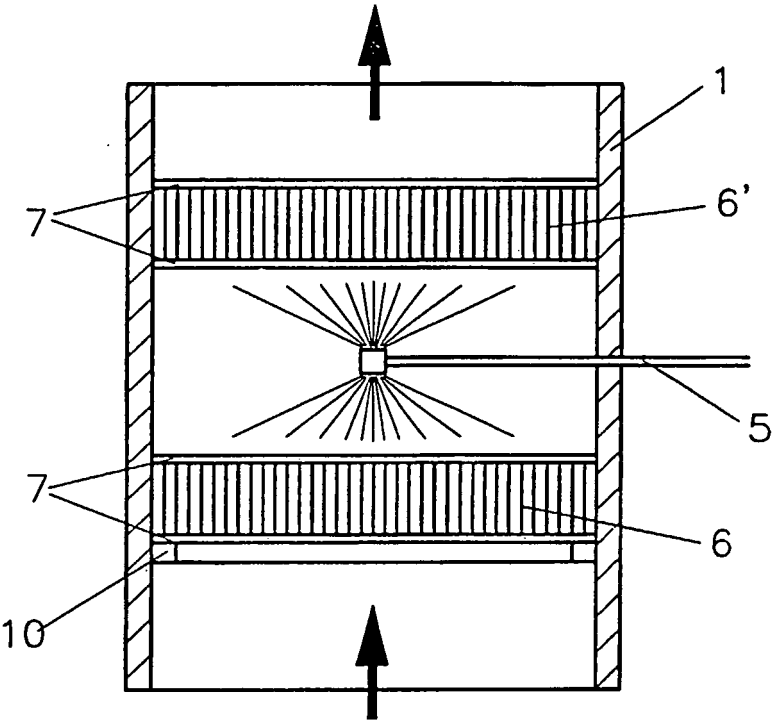


Fig. 2.

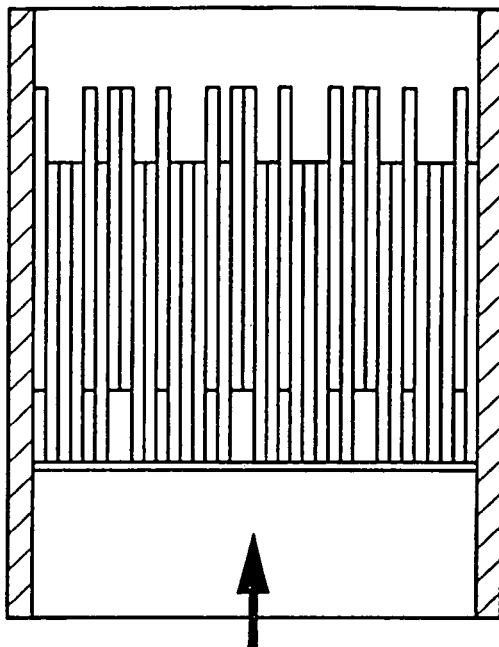


Fig. 3

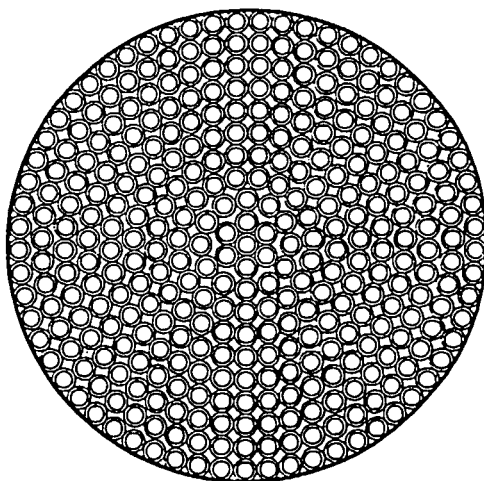


Fig. 4

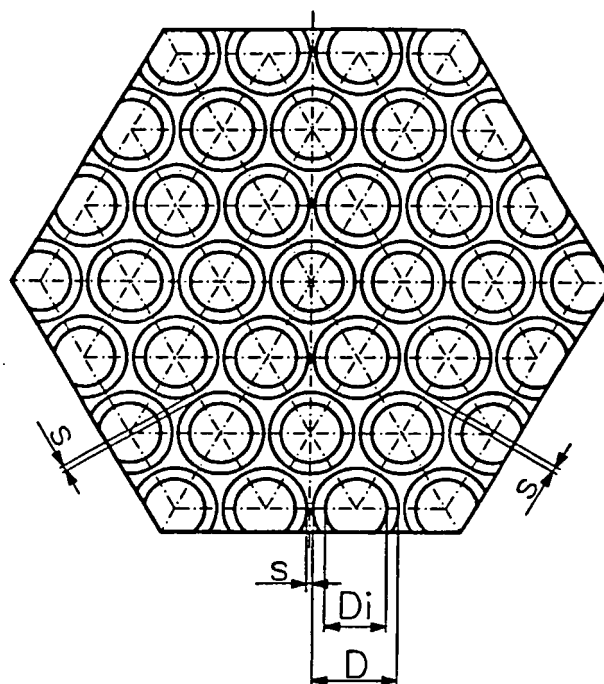


Fig. 5

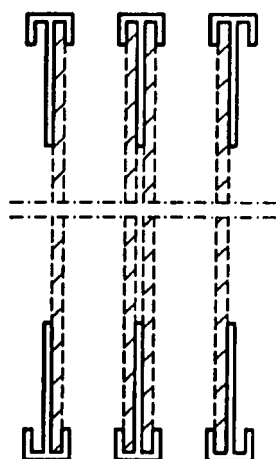
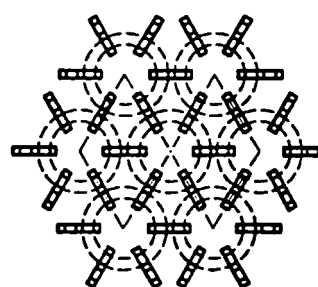


Fig. 6



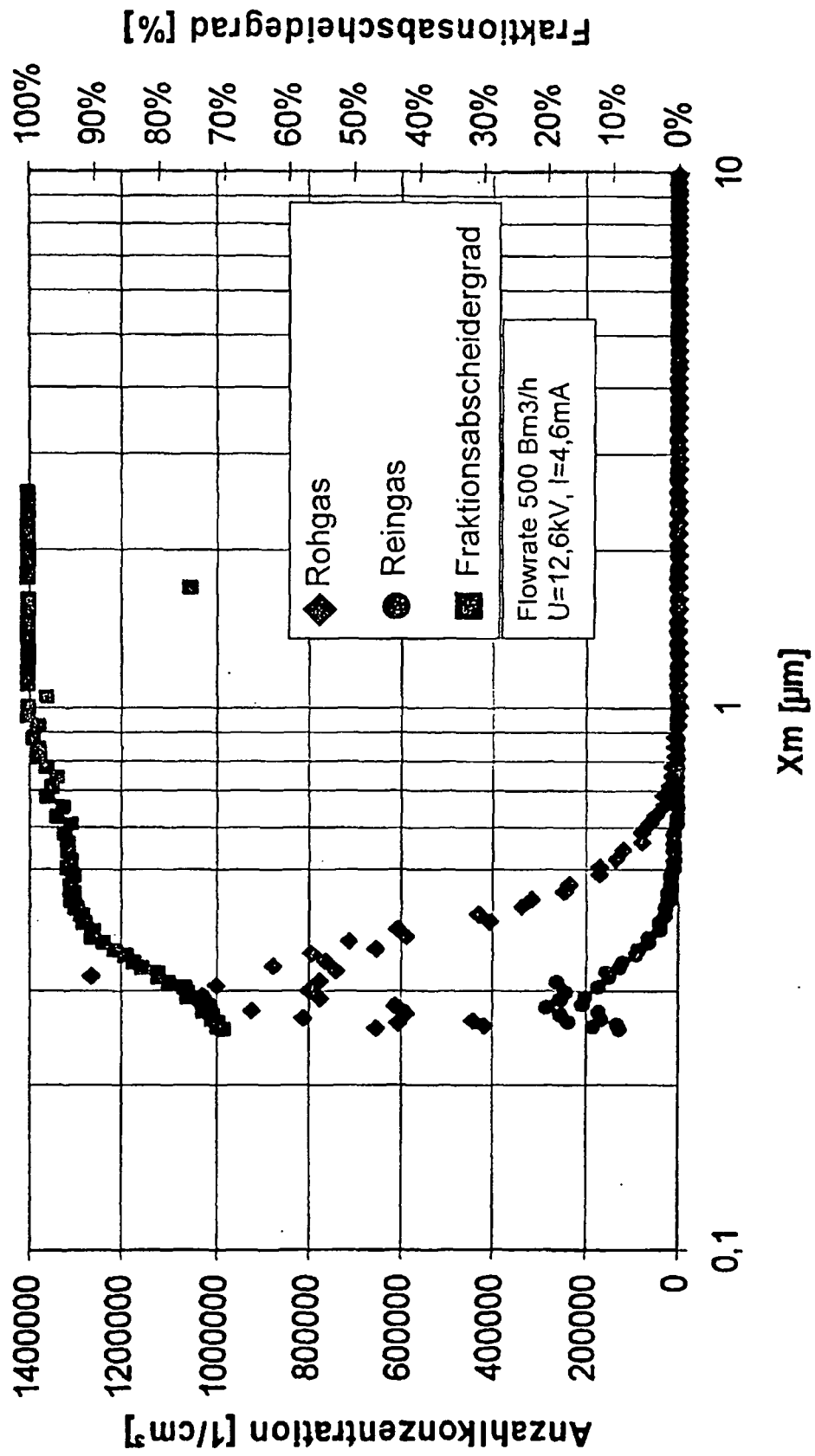


Fig. 7

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 10132582 [0002]