



(11) **EP 2 311 570 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**20.04.2011 Patentblatt 2011/16**

(51) Int Cl.:  
**B03C 3/68 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **10182343.3**

(22) Anmeldetag: **29.09.2010**

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

(72) Erfinder:  
• **Steiner, Dietmar**  
**73642, Welzheim (DE)**  
• **Gonzalez-Baquet, Tania**  
**71638, Ludwigsburg (DE)**  
• **Sinz, Wolfgang**  
**88179, Oberreute (DE)**  
• **Balzer, Knut**  
**71717, Beilstein (DE)**

(30) Priorität: **16.10.2009 DE 102009049549**

(71) Anmelder: **Robert Bosch GmbH**  
**70442 Stuttgart (DE)**

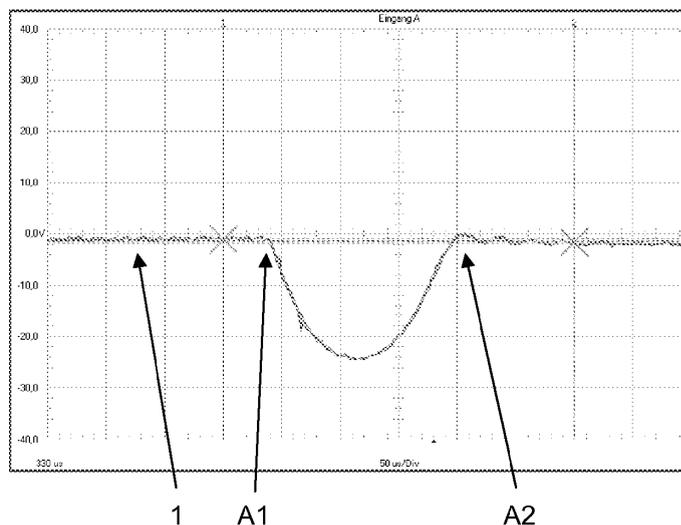
(54) **Elektrostatisher Abscheider mit verbesserter Versorgungsspannung, Verfahren zur Hochspannungsversorgung und Heizungssystem**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Abscheider zum Verringern von Partikelanhaftungen an einer Elektrode eines elektrostatishen Abscheiders und/oder zum Aufrechterhalten der Eignung des elektrostatishen Abscheiders zur Aufladung von Partikeln in Rauchgasströmen.

Gekennzeichnet ist das Verfahren dadurch, dass das Versorgen ein zumindest zeitweises getaktetes Versor-

gen mit einer hohen Gleichspannung umfasst, sodass eine nicht konstante Versorgung mit hoher Gleichspannung der Elektrode bewirkt wird. Gekennzeichnet sind der elektrostatishen Abscheider und die Heizungsanlage dadurch, dass die Hochspannungsversorgungsquelle einen getakteten Versorgungsabschnitt aufweist, um der Elektrode getaktet eine hohe Gleichspannung zuzuführen, um die Abscheideleistung des elektrostatishen Abscheiders zu verbessern.

**Fig. 1**



**EP 2 311 570 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verringern von Partikelanhaftungen an einer Elektrode eines elektrostatischen Abscheiders und/oder zum Aufrechterhalten der Eignung des elektrostatischen Abscheiders zur Aufladung von Partikeln in Rauchgasströmungen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

**[0002]** Weiter betrifft die Erfindung einen elektrostatischen Abscheider, insbesondere für eine Abgasleitung einer Abgasreinigungsanlage, nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 5.

**[0003]** Zudem betrifft die Erfindung ein Heizungssystem zur Erzeugung von Energie mittels Verbrennen von einem Energieträger mit einem elektrostatischen Abscheider nach Anspruch 12.

**[0004]** Aufgrund der Emissionen von Heizungsanlagen und globaler Bemühungen, derartige Emissionen zu reduzieren - siehe zum Beispiel das Kyoto-Abkommen - werden bei Heizungsanlagen entsprechende Abgasreinigungsanlagen verwendet. Diese sollen insbesondere die schädlichen Stoffe und Partikel aus Abgasen herausfiltern, sodass das verbleibende, gereinigte Abgas bedenkenlos an die Umwelt abgegeben werden kann. Insbesondere werden derartige Abgasreinigungsanlagen bei Biomasse-Heizanlagen eingesetzt, bei denen neben ansonsten ökonomischen und ökologischen Vorteilen eine erhöhte Emission an Schadstoffen in den Abgasen auftreten kann. Gerade die relativ hohe Emission an Feinstaub als ein Schadstoffanteil ist bei Biomasse-Heizungsanlagen ein Problem.

**[0005]** Aus der EP 1 193 445 A2 ist eine Abgasreinigungsanlage bekannt, welche für Biomasse-Heizungsanlagen zur Verringerung von Feinstaubemission verwendet wird. Die dort beschriebene Vorrichtung ist in einen Rauchgaskanal einbaubar und weist hierzu einen Deckel auf, der gasdicht auf eine zugehörige Öffnung an einem Rauchgaskanal aufsetzbar ist. An der Innenseite des Deckels ist über eine isolierende Halterung eine Sprühelektrode, zum Beispiel in Form eines gespannten Stabes, gehalten. Ein Hochspannungs-Transformator mit Gleichrichterfunktion erlaubt den Aufbau einer hohen Gleichspannung zwischen dem Draht und dem Deckel, welcher elektrisch leitend mit dem Ofenrohr verbunden ist, sodass dieses als Kollektorelektrode wirkt.

**[0006]** Ein derartiger Elektrofilter mit Sprühelektrode und Kollektorelektrode ist auch als elektrostatischer Abscheider bekannt. Der Abscheider wird zur Abgasreinigung in einer Abgasleitung einer Heizungsanlage eingesetzt. Dabei wird durch die Sprühelektrode, welche etwa mittig durch die Abgasleitung verläuft und deshalb auch als Mittelelektrode bezeichnet wird, und eine umgebende Mantelfläche der Abgasleitung ein Kondensator gebildet, der bei einer zylinderrohrförmigen Ausbildung der Abgasleitung auch als Zylinderkondensator bezeichnet wird. Die Sprüh- oder Mittelelektrode weist in der Regel einen kreisförmigen Querschnitt in Strömungsrichtung des Abgases auf, wobei der Durchmesser des Quer-

schnitts oder auch der Krümmungsradius im Allgemeinen relativ klein ausgebildet ist (zum Beispiel kleiner als 0,4 mm). Um nun die Schadstoffe, genauer die nicht an die Umwelt abzugebenden Partikel, des Abgases aus dem Abgasstrom abzuscheiden, wird durch die Mittelelektrode und die durch die Mantelfläche gebildete Kollektorelektrode ein quer zur Strömungsrichtung verlaufendes Feld mit Feldlinien von der Mittelelektrode zur Kollektorelektrode gebildet. Hierzu wird an die Mittelelektrode eine Hochspannung angelegt, zum Beispiel in dem Bereich von 15 kV. Dadurch bildet sich eine Corona-Entladung aus, durch welche die in dem Abgas durch das Feld strömenden Partikel unipolar aufgeladen werden. Aufgrund dieser Aufladung wandern die meisten der Partikel durch die elektrostatischen Coulomb-Kräfte zur Innenwand der Abgasleitung, welche als Kollektorelektrode dient.

**[0007]** Wie oben bereits erwähnt, werden die Partikel durch die entlang der Oberfläche der Elektrode sich ausbildende Corona-Entladung elektrostatisch aufgeladen. Dies geschieht auf molekularer Ebene durch folgenden Prozess: Liegt die Elektrode z. B. gegenüber dem Abgasrohr auf negativer Hochspannung, so wird eine große Anzahl von Gasmolekülen negativ aufgeladen. Sie bewegen sich im von der Elektrode sowie dem Abgasrohr aufgespannten elektrischen Feld in Richtung des Abgasrohres. Treffen diese auf ihrem Weg durch das Abgasrohr auf elektrisch neutrale Partikel, so bleiben sie an diesen haften und laden die bis dahin neutralen Partikel ebenfalls negativ auf. Die geladenen Partikel strömen getrieben durch elektrostatische Ablenkkräfte zur Innenwand des Abgasrohres. Hier bleiben die Teilchen haften, verlieren ihre Ladung und werden sicher aus dem Abgasstrom entfernt. Dies ist der Kernprozess eines elektrostatischen Abscheiders und führt je nach Geometrie, Höhe des Corona-Stroms, Elektrodenform etc. zu Abscheideraten bis etwa über 90 %.

**[0008]** Dieser Kernprozess kann durch folgende Effekte gestört werden: Bei der Verbrennung entstehen bipolar geladene Partikel. Mittels Boltzmann-Verteilung kann der Anteil einfach bzw. mehrfach geladener Partikel abgeschätzt werden. Die Verteilung ist symmetrisch, d. h., es entstehen gleich viele positive wie negativ geladene Partikel. Für Bedingungen, wie sie im Abgas von Biomasse-Heizungen vorliegen, tragen zwischen 15 und 20 % der Partikel eine elektrische Elementarladung. Die Anzahl geladener Partikel wird durch Koagulation zwar um ca. 10 % pro Sekunde reduziert, dennoch liegen am Ort des elektrostatischen Abscheiders (entspricht ca. ein bis zwei Sekunden Flugzeit der Partikel vom Ort der Verbrennung) noch über 10 % geladener Partikel vor. Gelingen die geladenen Partikel nun in die Nähe der auf negativer Hochspannung liegenden Elektrode der Aufladeeinheit (Einheit Abgasrohr, Elektrode), so werden die negativen Partikel von der Elektrode weg in Richtung Abgasrohrinnenseite strömen. Die positiven Partikel strömen dagegen auf die Elektrode zu. Hiervon wird ein Teil beim Durchströmen der Aufladeeinheit neutralisiert

bzw. negativ umgeladen, der Rest der Partikel gelangt jedoch zur Elektrode und lagert sich dort ab. Über die Betriebsdauer kommt es deshalb zu Funktionseinschränkungen des elektrostatischen Abweisers. Denn der auf der Elektrode abgelagerte Feinstaub verhindert lokal die Ausbildung der Corona. Dadurch verschlechtert sich die elektrische Aufladung der Partikel. Die Abscheideeffizienz des Systems wird degradiert. Zudem existiert in unmittelbarer Nähe der Corona (in einem Radius wenige Millimeter um die Elektrode) ein bipolares Ladungsgebiet. Elektrisch neutrale Partikel, welche dieses Gebiet durchströmen, können auch von einer negativen Elektrode positiv aufgeladen werden. Sie strömen dann auf die Elektrode zu. Ein Teil wird durch die Corona neutralisiert bzw. negativ umgeladen, ein kleiner Rest gelangt jedoch zur Elektrode und lagert sich ebenfalls dort ab.

**[0009]** Nachteilig an den elektrostatischen Abscheidern gemäß dem Stand der Technik ist, dass es nach einer längeren Betriebszeit zu einer kontinuierlichen Degradation des Corona-Stroms bei konstanter Hochspannung kommt. Dadurch sinkt die Aufladeeffizienz der Elektrode, was wiederum die Abscheideleistung des gesamten Systems verringert. Weiter kommt es bei dem Betrieb von elektrostatischen Abscheidern in mit Feinstaub kontaminiertem Abgas zu einem sogenannten Corona-Quenching (Verlöschen der Corona). Corona-Quenching entsteht, falls im Fall hoher Partikelkonzentration, etwa  $>10^{14}$  Partikel/m<sup>3</sup>, die geladenen Partikel eine Ladungswolke, also ein Raumladungsfeld, bilden, welche die Sprühelektrode umgibt.

**[0010]** Bei hinreichend kleiner Rohgaspartikelkonzentration, etwa im Bereich von  $5 \times 10^{13}$  Partikel / m<sup>3</sup> oder etwa kleiner 150 mg/Nm<sup>3</sup>, werden mit Hochspannungen etwa von 10 bis 20 kV und Coronaströmen etwa im Bereich von 100 bis 300 pA Abscheideraten größer 80 % erzielt. Dabei ist die Hochspannungsversorgung als Gleichstromquelle ausgeführt.

**[0011]** Bei höheren Partikelkonzentrationen sinken die Abscheideraten auch wegen des Corona-Quenchings. Die Ladungswolke verzerrt die Feldverteilung in der Aufladeeinheit und schwächt das elektrische Feld in der Nähe der Sprühelektrode. Dadurch wird die Feldemission freier Elektronen aus der Oberfläche des Sprühdrahtes reduziert, wodurch weniger Gas-Ionen zur Verfügung stehen und folglich die Aufladung weiterer Feinstaubpartikel verringert wird. Gleichzeitig wird die Bewegung der geladenen Feinstaubpartikel zur Aufladeelektrode hin beeinträchtigt. Die Aufladung der Staubpartikel erstreckt sich nicht mehr auf den gesamten Querschnitt des Abgasrohres, sondern findet nur in einem kleinen Bereich um die Sprühelektrode herum statt. Die Abscheideleistung des Systems sinkt entsprechend ab. Es kommt fallweise zu instabilen Coronaausbildungen und verschmutzten Elektroden, die einen Coronastrom zum Erliegen bringen.

**[0012]** Der Begriff der Eignung des elektrostatischen Abscheiders zur Aufladung von Partikeln in Rauchgas-

strömen kann allgemein als Gewährleistung eines ausreichend hohen Coronastromes bzw. Coronastrompulses zur Erzeugung einer genügend hohen Anzahl von Gasionen definiert werden, die bewirkt, dass jedes Partikel mit mindestens einer elektrischen Elementarladung versehen wird. In anderen Worten verhindert diese Aufladeeignung das Corona-Quenching.

**[0013]** Das beschränkte Entstehungsgebiet neuer Ladungsträger ist schematisiert als Zylinder um die Sprühelektrode darstellbar. Corona-Quenching trifft vor allem für laminare Strömungsfelder zu, wie sie häufig für die kleinen Strömungsgeschwindigkeiten elektrischer Abscheider vorliegen.

**[0014]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Verringern von Partikelanhaftungen an einer Elektrode eines elektrostatischen Abscheiders und/oder zum Aufrechterhalten der Eignung des elektrostatischen Abscheiders zur Aufladung von Partikeln in Rauchgasströmen, einen elektrostatischen Abscheider und ein Heizungssystem zu schaffen, welche diesen Nachteil überwinden und die insbesondere eine Ablagerung von Partikeln auf der Elektrode verhindern oder reduzieren, um die Funktionsdauer und Effizienz des elektrostatischen Abscheiders zu erhöhen. Insbesondere ist es Aufgabe, die Effektivität des elektrostatischen Abscheiders auch bei laminaren Strömungsfeldern und/oder bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten zu verbessern und im Falle hoher Staub-Rohemission das Quenchen des Coronastroms zuverlässig zu unterbinden um damit Abscheideraten  $> 50\%$  zu garantieren.

**[0015]** Weiter liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Heizungssystem mit einem erfindungsgemäßen Abscheider zu schaffen, das eine zuverlässige Abgasreinigung garantiert.

**[0016]** Erfindungsgemäß wird dies durch die Gegenstände mit den Merkmalen des Patentanspruches 1, des Patentanspruches 5 und des Patentanspruches 10 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

**[0017]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Verringern von Partikelanhaftungen an einer Elektrode eines elektrostatischen Abscheiders sowie zur Verhinderung des Corona-Quenching, umfassend ein Versorgen der Elektrode mit einer hohen Gleichspannung für einen Betrieb der Elektrode, ist dadurch gekennzeichnet, dass das Versorgen zumindest zeitweise ein getaktetes Versorgen mit einer hohen Gleichspannung umfasst, sodass eine nicht konstante Versorgung mit hoher Gleichspannung der Elektrode bewirkt wird.

**[0018]** In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die Elektrode dauerhaft getaktet versorgt wird.

**[0019]** In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die Elektrode wechselweise getaktet und ungetaktet mit hoher Gleichspannung versorgt wird.

**[0020]** Insbesondere sieht eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vor, dass ein Umschal-

ten von getaktetem Versorgen und ungetaktetem Versorgen coronastromabhängig durchgeführt wird.

**[0021]** Der erfindungsgemäße elektrostatische Abscheider, insbesondere für eine Abgasleitung einer Abgasreinigungsanlage, mit einem Strömungskanal mit einer Kanalwandung und einem Kanalinneren, durch welchen ein partikelbeinhaltendes Abgas in einer Strömungsrichtung strömt, und einer sich in dem Kanalinneren im Wesentlichen in Strömungsrichtung erstreckenden Elektrode, zur Bildung einer Coronaentladungszone mittels eines elektrischen Feldes zwischen der Elektrode und der Kanalwandung, sowie einer Hochspannungsversorgungsquelle mit einem konstanten Versorgungsabschnitt, die der Elektrode eine konstant hohe Gleichspannung zuführt, ist dadurch gekennzeichnet, dass die Hochspannungsversorgungsquelle einen getakteten Versorgungsabschnitt aufweist, um der Elektrode zumindest kurzfristig getaktet eine hohe Gleichspannung zuzuführen, um die Abscheideleistung des elektrostatischen Abscheiders zu verbessern.

**[0022]** In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass eine Steuerung zum Umschalten zwischen dem getakteten Versorgungsabschnitt und dem konstanten Versorgungsabschnitt aufweist, um im Betrieb zwischen den beiden Versorgungsabschnitten umzuschalten.

**[0023]** Eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen elektrostatischen Abscheiders zur Erzeugung idealer Spannungsimpulse mit höchster Abscheideleistung (freie Wahl von Pulshöhe, Pulslänge und Repetitionsfrequenz) ist dadurch gekennzeichnet, dass die Hochspannungsversorgungsquelle eine Gleichspannungshochspannungsquelle und einen schnellen Hochspannungsschalter umfasst, um eine getaktete Versorgung mit sich wiederholenden Spannungsimpulsen in Form von Rechtecken zu erzeugen.

**[0024]** Eine besonders kostengünstige Ausgestaltung durch Verwendung von Serienbauteilen, beispielsweise aus der Krafffahrzeugindustrie, ist dadurch gekennzeichnet, dass die Hochspannungsversorgungsquelle mindestens eine der folgenden Komponenten Zündspule, elektronischer Schalter, Diode und/oder Kondensator umfasst, um eine getaktete Versorgung mit sich wiederholenden Spannungsimpulsen in Form von Rechtecken, Sägezähnen, Parabeln, Dreiecken zu erzeugen.

**[0025]** In einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen elektrostatischen Abscheiders ist vorgesehen, dass mindestens ein von der Elektrode verzweigender Sprühelektrodenabschnitt, bevorzugt mehrere verzweigende Sprühelektrodenabschnitte, ausgebildet ist/sind.

**[0026]** Bei einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Sprühelektrodenabschnitt als Sprühelektrodenspitzenteil und/oder Sprühelektrodenkantenteil ausgebildet ist/sind.

**[0027]** In noch einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass der Sprühelektrodenabschnitt quer, insbesondere radial von der

Elektrode abzweigt.

**[0028]** Ein Ausführungsbeispiel des elektrostatischen Abscheiders sieht weiter vor, dass der Sprühelektrodenabschnitt längs, insbesondere axial von der Elektrode abzweigt.

**[0029]** Ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung sieht vor, dass mehrere Sprühelektrodenabschnitte von der Elektrode abzweigen.

**[0030]** Noch ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung sieht vor, dass die Sprühelektrodenabschnitte derart verteilt an der Elektrode angeordnet sind, dass eine gleichmäßige, insbesondere homogenisierte Anordnung der Cononaentladungszonen realisiert ist.

**[0031]** Weiter sieht ein anderes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung vor, dass mindestens zwei der Sprühelektrodenabschnitte unterschiedlich zueinander, insbesondere unterschiedlich lang, unterschiedlich dick und/oder unterschiedlich gekrümmt, ausgebildet sind.

**[0032]** In wiederum einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die Elektrode mit den Sprühelektrodenabschnitten nach Art eines Stacheldrahts und/oder nach Art eines Tannenbaums ausgebildet ist.

**[0033]** In einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist darüber hinaus vorgesehen, dass längs der Elektrode an mindestens zwei Stellen jeweils mindestens zwei Sprühelektrodenabschnitte im Wesentlichen radial zur Elektrode angeordnet sind, wobei die Längen der an einer Stelle angeordneten Sprühelektrodenabschnitte im Wesentlichen gleich sind und sich von den Längen der an einer anderen Stelle angeordneten Sprühelektrodenabschnitte unterscheiden.

**[0034]** Noch ein weiteres vorteilhaftes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung sieht vor, dass die Sprühelektrodenabschnitte derart verteilt an der Elektrode angeordnet sind, dass eine gleichmäßige, insbesondere homogenisierte Anordnung der Cononaentladungszonen realisiert ist.

**[0035]** Das erfindungsgemäße Heizungssystem zur Erzeugung von Wärmeenergie mittels Verbrennen von einem Energieträger wie Biomasse ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Feinstaub emittierende Heizungsanlage wie eine Biomasse-Heizungsanlage zum Verbrennen des Energieträgers, wobei partikelbeinhaltende Abgase entstehen, und ein erfindungsgemäßer elektrostatischer Abscheider vorgesehen ist.

**[0036]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, dem erfindungsgemäßen elektrostatischen Abscheider und dem erfindungsgemäßen Heizungssystem werden insbesondere die folgenden Vorteile realisiert:

**[0037]** Elektrostatische Abscheider stellen im Abgasystem einen minimalen Strömungswiderstand dar, welcher sich auch bei steigender Beladung nur sehr langsam erhöht. Sie weisen eine große Aufnahme-Kapazität für abgeschiedenen Feinstaub auf. Bei langsamen Strömungsgeschwindigkeiten und genügend langen Ab-

scheidestrecken verfügen sie für submikrone Partikel über eine Abscheideeffizienz von über 80%. Aus o.a. Gründen sind sie deshalb eine aussichtsreiche Option für die Abgasreinigung einer Pellet-Heizanlage, anderen Biomasse-Heizanlagen oder Ölbrennern. Das Aufrechterhalten eines genügend hohen Coronastroms in hochemittierenden Biomasse-Heizanlagen (vor allem in Scheitholzkesseln oder Öfen) stellt eine technische Schwierigkeit bei der Ausführung des elektrostatischen Abscheiders dar. Erfindungsgemäß wird das Verlöschen der Corona (Corona-Quenching) zuverlässig durch den zumindest zeitweise getakteten Betrieb der Hochspannungsquelle unterbunden. Hierfür sind zwei alternative Verfahren denkbar. Durch einen dauerhaft getakteten Betrieb der Hochspannungsquelle wird zuverlässig und kostengünstig ein Corona-Quenching vermieden. Unabhängig von der Rohemission können mindestens 50 bis 70 % der Partikel abgeschieden werden. Gleichzeitig werden in vorteilhaften Ausgestaltungen die für die Corona-Ausbildung maßgeblichen Elektrodenspitzen permanent von Ruß freigebrannt. Dies sichert einen störungs- und wartungsfreien Betrieb über viele Stunden. Das andere Verfahren ist der wechselweise getaktete sowie Gleichstrom (DC)-Betrieb der Hochspannungsquelle (Hybrid-Modus). Der Hybrid-Modus gewährleistet bei kleiner Rohemission ( $< 150 \text{ mg/Nm}^3$ ) höhere Abscheideraten (80 bis 95 %) als der dauerhaft getaktete Modus. Im Falle hoher Rohemission geht die Abscheideleistung nach automatischer Umschaltung auf getakteten Betrieb nur auf 50 bis 70 % statt auf 0 % zurück. Gleichzeitig sichert der getaktete Betrieb durch das Freibrennen der Elektrodenspitzen eine lange wartungsfreie Laufzeit des Systems.

**[0038]** Wird die Aufladeelektrode anstelle von einer Hochspannungs-Gleichstromquelle (DC-HV) von einer getakteten Hochspannungsquelle versorgt, wird das Corona-Quenching vermieden oder zumindest verringert. Bei geeigneter Wahl von Pulsdauer und Repetitionsfrequenz erfolgt der Aufbau des elektrischen Feldes um die Elektrode schneller als die Aufladung der Partikel. Die Coronaspitzen der Elektrode sind deshalb noch nicht durch die Ladungswolke vom elektrischen Feld abgeschirmt und die Feldemission der Elektronen aus der Oberfläche der Elektrode ist noch intakt. Werden ergänzend die sprühenden Coronaspitzen der Elektroden homogen über den Querschnitt des Abgasrohres verteilt, wird das Corona-Quenching erfolgreich unterdrückt. Messungen haben ergeben, dass sich der Partikelaustritt eines hoch emittierenden Scheitholzofens deutlich reduzieren lässt. Günstige Werte für Pulsdauer, Pulsform, Pulshöhe bzw. Repetitionsfrequenz hängen von der Geometrie des Abgasrohres, der Strömungsgeschwindigkeit, etc. ab. Reproduzierbare Partikelreduktionen wurden im beschriebenen Fall mit Pulsdauern von einigen Hundert  $\mu\text{s}$  sowie Repetitionsfrequenzen von einigen Hundert Hz erzielt. Vorteilhafterweise zeigen zudem die Isolationsmaterialien eine höhere Durchschlagsfestigkeit bei getakteter Hochspannung als bei

Gleichstrombetrieb.

**[0039]** Die Zeichnungen stellen ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dar und zeigen in den Figuren:

- 5 Fig. 1 schematisch in einem Diagramm einen kennzeichnenden Hochspannungsimpuls eines getakteten Hochspannungsbetriebs des elektrostatischen Abscheiders und
- 10 Fig. 2 schematisch in einer perspektivischen Ansicht ein Ausführungsbeispiel einer Elektrode mit mehreren Sprühelektrodenabschnitten.

**[0040]** Fig. 1 zeigt schematisch in einem Diagramm ein Hochspannungssignal 1 in kV zum Versorgen einer Elektrode eines elektrostatischen Abscheiders über einer Zeitachse in  $\mu\text{s}$ . Die Versorgung erfolgt dabei zumindest zeitweise getaktet mit einer hohen Gleichspannung, vorliegend mit maximal ca. -25 kV. Bis zu einer ersten Stelle A1 ist in dem Ausführungsbeispiel keine Spannung angelegt und das angelegte Hochspannungssignal 1 liegt etwa bei 0 V. Eine Taktung des Hochspannungssignals 1 ist so gewählt, dass an der Stelle A1 das Hochspannungssignal 1 etwa parabelförmig auf -25 kV ansteigt und dann wieder auf etwa 0 V bei einer zweiten Stelle A2 abfällt. Dieser Hochspannungsimpuls tritt wiederholt auf, wobei eine Wiederholungsfrequenz oder Taktung abhängig von den eingestellten Parametern ist. In der dargestellten Ausgestaltung wird zwischen zwei Hochspannungsimpulsen wie in Fig. 1 dargestellt keine Hochspannung angelegt. In anderen Ausgestaltungen wird zwischen zwei Impulsen eine konstante Hochspannung angelegt.

**[0041]** Fig. 2 zeigt schematisch in einer perspektivischen Ansicht ein Ausführungsbeispiel einer Elektrode 2 eines elektrostatischen Abscheiders mit mehreren Sprühelektrodenabschnitten 2a. Der elektrostatische Abscheider, der hier nur exemplarisch beschrieben ist und nicht weiter dargestellt wird, ist zumindest teilweise in der Abgasleitung einer hier nicht weiter dargestellten Abgasreinigungsanlage angeordnet und umfasst einen Strömungskanal. Der Strömungskanal ist als rohrförmiger Abschnitt der Abgasleitung ausgebildet und umfasst eine Kanalwandung und ein Kanalinneres. Durch den Strömungskanal strömt das partikelbeinhaltende Abgas in die Strömungsrichtung. Im Inneren des Strömungskanals erstreckt sich in Strömungsrichtung die Elektrode 2, die auch als Mittelelektrode, Sprühelektrode oder Coronelektrode bezeichnet wird. Der Strömungskanal ist bevorzugt im Querschnitt in Strömungsrichtung rotations-symmetrisch um eine Mittelachse ausgebildet. Die Elektrode 2 erstreckt sich im Wesentlichen entlang dieser Mittelachse. Dabei ist die Elektrode 2 in dem Abschnitt der Abgasleitung ausgebildet. Gespeist wird die Elektrode 2 über eine Hochspannungsversorgungsquelle. Die Versorgung durch die Hochspannungsversorgungsquelle erfolgt dabei zumindest zeitweise getaktet.

**[0042]** Zusammen mit der Kanalwandung bildet die

Elektrode 2 eine Aufladeeinheit, in welcher Partikel elektrisch aufgeladen werden können. Hierzu bildet die Elektrode 2 mit der Kanalwandung unter Anlegen einer Hochspannung ein elektrisches Feld aus, dessen Feldlinien im Wesentlichen radial zu der Elektrode 2 bzw. der Kanalwandung verlaufen, im Wesentlichen quer, genauer rechtwinklig, zur Strömungsrichtung.

**[0043]** Zwischen der Sprühelektrode 2 und dem als Niederschlagelektrode ausgebildeten, die Elektrode 2 umgebenden Abgasrohr wird eine elektrische, zumindest zeitweise getaktete Hochspannung angelegt, wodurch sich an der Sprühelektrode 2 eine Coronaentladung ausbildet. In dem elektrostatischen Abscheider werden durch Feldemission oder Coronaentladungen an der Sprühelektrode 2 freie Ladungsträger in Form von freien Elektronen und damit ionisierten Gas-Molekülen in den Aufladebereich injiziert. Die Ladungsträger strömen dann im elektrischen Feld entsprechend ihrer Ladung zur positiven bzw. negativen Elektrode. Treffen die Ladungsträger auf Staubpartikel, so werden diese unipolar aufgeladen. Ein Großteil der Partikel lagert sich schließlich auf der Niederschlagselektrode an und bleibt dort haften. Stromabwärts der Aufladeeinheit findet ebenfalls eine Abscheidung von Partikeln auf der Innenwand des anschließenden Abgasrohres bzw. eines Kamins statt, da die unipolar geladenen Partikel eine Ladungswolke bilden und durch Abstoßungskräfte an die Rohrwand strömen.

**[0044]** Eine bekannte technische Schwierigkeit bei dem Betrieb von elektrostatischen Abscheidern in mit Feinstaub hoch kontaminiertem Abgas ist das sogenannte Corona-Quenching. Es entsteht, falls im Fall hoher Partikelkonzentration (insbesondere größer  $10^{14}$  Partikel/ $m^3$ ) die geladenen Partikel die Ladungswolke - auch als Raumladungsfeld bezeichnet - bilden, welche die Sprühelektrode 2 umgibt. Die Ladungswolke verzerrt die Feldverteilung und schwächt das elektrische Feld in der Nähe der Sprühelektrode 2. Dadurch wird die Feldemission freier Elektronen aus der Oberfläche der Sprühelektrode reduziert, wodurch weniger Gas-Ionen zur Verfügung stehen und folglich die Aufladung weiterer Feinstaubpartikel verringert wird. Gleichzeitig wird die Bewegung der geladenen Feinstaubpartikel zur Aufladeelektrode 2 hin beeinträchtigt. Die Aufladung der Staubpartikel erstreckt sich nicht mehr auf den gesamten Querschnitt des Abgasrohres, sondern findet nur in einem kleinen Bereich um die Sprühelektrode 2 herum statt. Die Abscheideleistung des Systems sinkt entsprechend ab. Diese Überlegungen treffen vor allem für laminare Strömungsfelder zu, wie sie häufig für die kleinen Strömungsgeschwindigkeiten elektrischer Abscheider vorliegen. Zum Verhindern des Corona-Quenching wird die Elektrode 2 zumindest zeitweise getaktet mit einer hohen Gleichspannung versorgt, sodass eine nicht konstante Versorgung mit hoher Gleichspannung der Elektrode 2 bewirkt wird.

**[0045]** Für eine Steigerung der Effektivität des elektrostatischen Abscheiders ist bei der dargestellten Elektro-

de 2 der geometrisch zugängliche Aufladungsbereich erweitert, sodass die Abscheideleistung des Systems erhöht ist. Dies wird durch eine Vervielfachung und optimierte Verteilung der Corona-Entladungszonen erreicht. Die dafür erforderliche Sprühelektrode 2 ist mit einer Vielzahl an Sprühelektrodenabschnitten 2a ausgebildet, die in dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 als kleine Spitzen bzw. Kanten ausgeformt sind. Die Feldstärke ist hier besonders hoch, da diese umgekehrt proportional zum Krümmungsradius einer Geometrie ist. Die Spitzen oder Kanten o. ä. sind bevorzugt gleichmäßig über den Querschnitt der Aufladeeinheit verteilt sein. Auf diese Weise werden mehrere kleine Aufladungsbereiche geschaffen, welche die Aufladung der Partikel über den ganzen Querschnitt der Aufladeeinheit sicherstellen, wie dies anschaulich in der Draufsicht dargestellt ist. Im Falle einer laminaren Strömung werden alle Staubpartikel durch einen dieser Aufladungsbereiche erfasst und aufgeladen. Die Aufladeeffizienz wird auch bei turbulenter Strömung durch den größeren geometrischen Aufladungsbereich erhöht.

**[0046]** Die in Fig. 2 dargestellte Elektrode 2 ist nach Art eines Stacheldrahts mit als Stacheln ausgebildeten, Sprühelektrodenabschnitten 2a ausgeführt. Wie in Fig. 2 dargestellt, sind die verschiedenen Sprühelektrodenabschnitte 2a unterschiedliche, insbesondere unterschiedlich lang ausgebildet. Dabei sind in einer bevorzugten Ausführungsform über die Länge der Elektrode 2 die Sprühelektrodenabschnitte 2a von kürzeren Sprühelektrodenabschnitten 2a hin zu längeren Sprühelektrodenabschnitten 2a hin angeordnet. In anderen Ausführungsbeispielen sind an einzelnen Knotenpunkten sowohl kürzere als auch längere Sprühelektrodenabschnitte 2a angeordnet. In wiederum anderen Ausführungsbeispielen sind an den Sprühelektrodenabschnitten 2a weitere Sprühelektrodenabschnitte 2a, sogenannten Untersprühelektrodenabschnitte, ausgebildet.

**[0047]** In der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform zweigen an in Längsrichtung der Elektrode voneinander beabstandeten Verzweigungsbereichen mehrere Sprühelektrodenabschnitte 2a ab. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel zweigen an den Verzweigungsbereichen jeweils zwei Sprühelektrodenabschnitte radial von der Elektrode 2 ab. Die Verzweigungsbereiche sind in dem dargestellten Ausführungsbeispiel im Wesentlichen äquidistant an der Sprühelektrode 2 angeordnet. In anderen Ausgestaltungen variieren die Abstände. Bei der dargestellten Ausgestaltung mit Stacheln schneiden sich die einzelnen Sprühelektrodenabschnitte 2a nicht auf der Höhe der Elektrode 2.

**[0048]** Die Staubemissionen bei der Biomasse-Verbrennung unterliegen starken zeitlichen Schwankungen. Dies trifft vor allem auf den Scheitholzbetrieb zu. Scheitholz wird "batchweise" verbrannt. Die höchsten Staubemissionen entstehen hier bei der Anfeuerungsphase. Um auf die verschiedenen Verbrennungssituationen reagieren zu können, ist es zweckmäßig den Elektrofilter in verschiedenen Betriebsmodi zu betreiben. Die Betriebs-

weise der Hochspannungsversorgung erfolgt in einem Ausführungsbeispiel folgendermaßen:

**[0049]** In einem ersten Betriebsmodus für Partikelkonzentrationen kleiner  $150 \text{ mg/Nm}^3$  wird eine konstante hohe Gleichstromversorgung gewährleistet mit Abscheideraten größer 80 %.

**[0050]** Bei höherer Partikelkonzentration oder bei Bedarf, etwa bei sinkendem Coronastrom, wird die Hochspannungsversorgung im getakteten Modus durchgeführt. Je nach Betriebsweise, Strömungsbedingungen, etc. können auch für Feinstaubemissionen über  $150 \text{ mg/Nm}^3$  50 bis 70 % der Partikel abgeschieden werden. Dies stellt den getakteten Betriebsmodus dar.

**[0051]** Der dritte Betriebsmodus ist ein Hybrid-Modus. Hierbei arbeitet der elektrostatische Abscheider grundsätzlich im Gleichstrom-Betrieb (DC-Betrieb). Von einer Elektronik wird permanent der aktuelle Wert der Hochspannung sowie des Coronastroms gemessen. Detektiert die Elektronik ein vorliegendes Corona-Quenching durch stark schwankende Werte des Coronastroms, so wird automatisch in den getakteten Betrieb geschaltet. Dies kann zum Beispiel über eine Zündspule realisiert werden, welche über eine Hochspannungsdiode parallel zum Ausgang des Gleichstrom-Hochspannungs-Netzteil (DC-HV-Netzteil) geschaltet ist. Dadurch sinkt die Abscheideleistung nicht auf Null ab, sondern verbleibt auch bei schwierigen Bedingungen über 50 %. In regelmäßigen Abständen wird auf den DC-Betrieb zurückgeschaltet um zu prüfen, ob die Emissionen niedrig genug sind um wieder in den DC-Betrieb zurück schalten zu können.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Verringern von Partikelanhaftungen an einer Elektrode (2) eines elektrostatischen Abscheiders und/oder zum Aufrechterhalten der Eignung des elektrostatischen Abscheiders zur Aufladung von Partikeln in Rauchgasströmen, umfassend ein Versorgen der Elektrode (2) mit einer hohen Gleichspannung für einen Betrieb der Elektrode (2), **dadurch gekennzeichnet, dass** das Versorgen zumindest zeitweise ein getaktetes Versorgen mit einer hohen Gleichspannung umfasst, sodass eine nicht konstante Versorgung mit hoher Gleichspannung der Elektrode (2) bewirkt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektrode (2) dauerhaft getaktet versorgt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektrode (2) wechselweise getaktet und ungetaktet mit hoher Gleichspannung versorgt wird.
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 1 bis 3,

**dadurch gekennzeichnet, dass** ein Umschalten von getaktetem Versorgen und ungetaktetem Versorgen coronastromabhängig durchgeführt wird.

5. Elektrostatischer Abscheider, insbesondere für eine Abgasleitung einer Abgasreinigungsanlage, mit einem Strömungskanal mit einer Kanalwandung und einem Kanalinneren, durch welchen ein partikelbeinhaltendes Abgas in einer Strömungsrichtung strömt, und einer sich in dem Kanalinneren im Wesentlichen in Strömungsrichtung erstreckenden Elektrode (2), zur Bildung einer Coronaentladungszone mittels eines elektrischen Feldes zwischen der Elektrode (2) und der Kanalwandung, sowie einer Hochspannungsversorgungsquelle mit einem konstanten Versorgungsabschnitt, die der Elektrode (2) eine konstant hohe Gleichspannung zuführt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hochspannungsversorgungsquelle einen getakteten Versorgungsabschnitt aufweist, um der Elektrode (2) getaktet eine hohe Gleichspannung zuzuführen, um die Abscheideleistung des elektrostatischen Abscheiders zu verbessern.
6. Elektrostatischer Abscheider nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Steuerung zum Umschalten zwischen dem getakteten Versorgungsabschnitt und dem konstanten Versorgungsabschnitt aufweist, um im Betrieb zwischen den beiden Versorgungsabschnitten umzuschalten.
7. Elektrostatischer Abscheider nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerung eine Coronastromerfassungseinheit aufweist, um in Abhängigkeit von dem erfassten Coronastrom zwischen den beiden Versorgungsabschnitten umzuschalten.
8. Elektrostatischer Abscheider nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hochspannungsversorgungsquelle eine Gleichspannungshochspannungsquelle und einen schnellen Hochspannungsschalter umfasst, um eine getaktete Versorgung mit sich wiederholenden Spannungsimpulsen in Form von Rechtecken zu erzeugen.
9. Elektrostatischer Abscheider nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hochspannungsversorgungsquelle mindestens eine der folgenden Komponenten Zündspule, elektronischer Schalter, Diode und/oder Kondensator umfasst, um eine getaktete Versorgung mit sich wiederholenden Spannungsimpulsen in Form von Rechtecken, Sägezähnen, Parabeln, Dreiecken zu erzeugen.

10. Elektrostatischer Abscheider nach einem der Ansprüche 5 bis 7,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein von der Elektrode (2) verzweigender Sprühelektrodenabschnitt (2a) ausgebildet ist, insbesondere mehrere Sprühelektrodenabschnitte (2a), wobei die Sprühelektrodenabschnitte (2a) derart verteilt an der Elektrode (2) angeordnet sind, dass eine gleichmäßige, insbesondere homogenisierte Anordnung der Coronaentladungszonen realisiert ist. 5  
 10
11. Elektrostatischer Abscheider nach einem der Ansprüche 5 bis 8,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Sprühelektrodenabschnitt (2a) quer, insbesondere radial von der Elektrode (2) abzweigt. 15
12. Heizungssystem zur Erzeugung von Wärmeenergie mittels Verbrennen von einem Energieträger wie Biomasse mit 20
- einer Feinstaub emittierenden Heizungsanlage wie eine Biomasse-Heizungsanlage zum Verbrennen des Energieträgers, wobei partikelbeinhaltende Abgase entstehen, und 25
  - einem elektrostatischen Abscheider nach einem der vorherigen Ansprüche 5 bis 9.

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

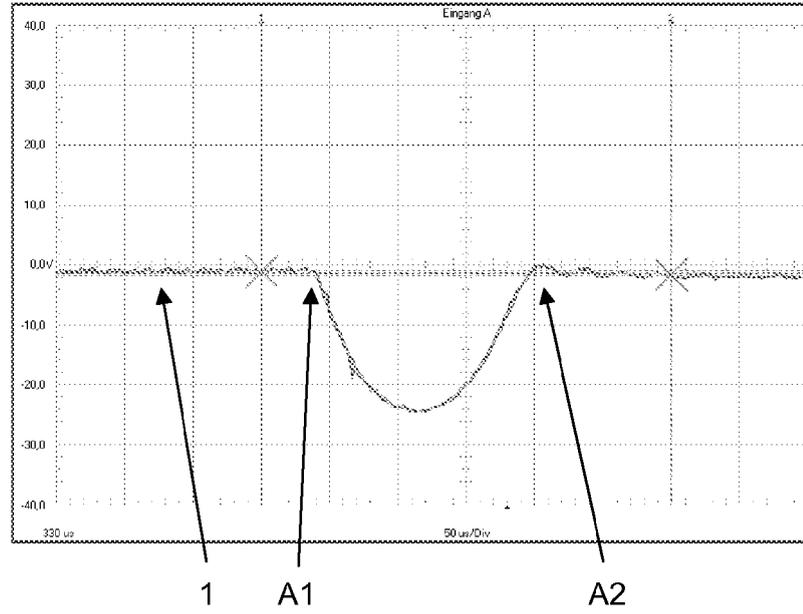
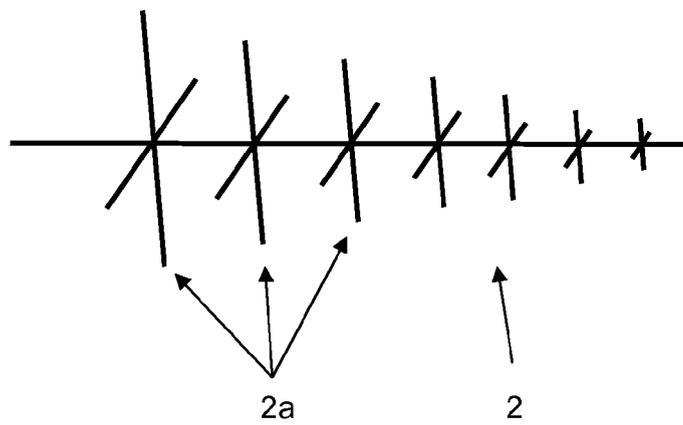


Fig. 2





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 10 18 2343

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 99/12649 A1 (FLAECT AB [SE]; PERSSON TORSTEN [SE]) 18. März 1999 (1999-03-18) * Anspruch 6; Abbildung 3 *	1-12	INV. B03C3/68
X	US 4 690 694 A (ALIG FRANZ [DE] ET AL) 1. September 1987 (1987-09-01) * Anspruch 1 *	1-12	
X	US 4 138 233 A (MASUDA SENICHI) 6. Februar 1979 (1979-02-06) * Anspruch 1; Abbildungen 1, 3 *	1-12	
X	DE 197 52 039 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]) 27. Mai 1999 (1999-05-27) * Anspruch 3 *	1-12	
A,D	EP 1 193 445 A2 (EIDGENOESSISCHE MATERIALPRUEFU [CH]) 3. April 2002 (2002-04-03) * Zusammenfassung *	1-12	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B03C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 7. Januar 2011	Prüfer Demol, Stefan
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1  
EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

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

EP 10 18 2343

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07-01-2011

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9912649	A1	18-03-1999	AU 9100398 A	29-03-1999
			SE 510380 C2	17-05-1999
			SE 9703299 A	11-03-1999
-----				
US 4690694	A	01-09-1987	AU 570611 B2	17-03-1988
			AU 4610685 A	22-01-1987
			DE 3526009 A1	22-01-1987
			ZA 8605381 A	30-03-1988
-----				
US 4138233	A	06-02-1979	DE 2727858 A1	29-12-1977
			FR 2355568 A1	20-01-1978
			GB 1582194 A	31-12-1980
			JP 52156473 A	26-12-1977
-----				
DE 19752039	A1	27-05-1999	KEINE	
-----				
EP 1193445	A2	03-04-2002	CH 695113 A5	15-12-2005
-----				

EPO FORM P0461

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

**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**

- EP 1193445 A2 [0005]