

(19)



(11)

**EP 1 793 164 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

**06.06.2007 Patentblatt 2007/23**

(51) Int Cl.:

**F22B 37/18** (2006.01)

**F22B 29/06** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05026487.8**

(22) Anmeldetag: **05.12.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI  
SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

**AL BA HR MK YU**

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**

**80333 München (DE)**

(72) Erfinder:

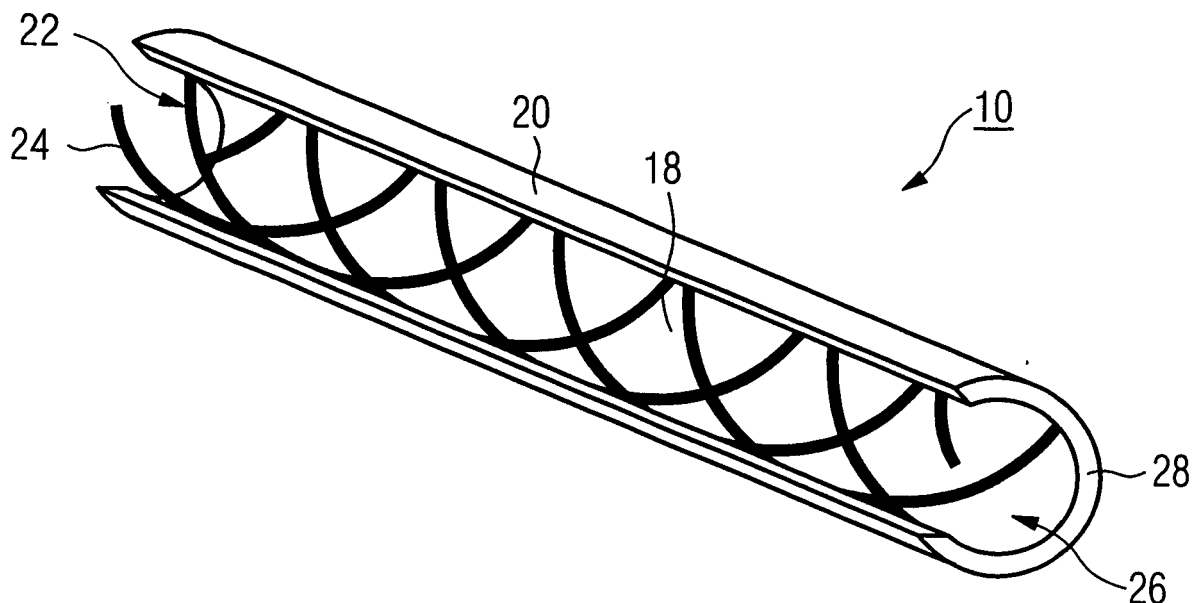
- **Franke, Joachim, Dr.**  
**80518 Altdorf (DE)**
- **Herbst, Oliver**  
**91077 Dormitz (DE)**
- **Schmidt, Holger, Dr.**  
**91052 Erlangen (DE)**

(54) **Dampferzeugerrohr, zugehöriges Herstellungsverfahren sowie Durchlaufdampferzeuger**

(57) Ein Dampferzeugerrohr (10) soll bei einfach und kostengünstig gehaltener Fertigung und bei einer großen Bandbreite unterschiedlicher Betriebsbedingungen ein besonders günstiges Wärmeübergangsverhalten aufweisen. Dazu ist erfindungsgemäß mindestens ein Ein-

satz (22) im Rohrrinnenraum (18) zur Bildung eines drall-erzeugenden Innenprofils angeordnet, wobei der Einsatz (22) eine Mehrzahl von Drähten (24) umfasst, die sich in der Art eines mehrgängigen Gewindes schraubenförmig an der Rohrrinnenwand (26) entlangwinden.

**FIG 2**



**EP 1 793 164 A1**

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Dampferzeugerrohr mit einem drallerzeugenden Innenprofil. Sie betrifft weiterhin einen Durchlaufdampferzeuger mit derartigen Dampferzeugerrohren. Die Erfindung bezieht sich ferner auf ein Verfahren zum Herstellen eines mit einem drall-erzeugenden Innenprofil versehenen Dampferzeugerrohres.

[0002] In den Brennkammerwänden eines Durchlaufdampferzeugers werden üblicherweise miteinander über Stege gasdicht verschweißte Dampferzeugerrohre zur Bildung eines den Feuerraum umgebenden Gaszuges eingesetzt, die für den Durchfluss eines Strömungsmediums parallel geschaltet sind. Anstelle von Rohren mit dazwischen liegenden, separaten Flacheisenstegen können auch Rohre verwendet werden, die bereits werksseitig mit angeformten Flossen ausgerüstet sind. Die Dampferzeugerrohre können dabei vertikal oder auch schräg angeordnet sein. Für ein sicheres Betriebsverhalten des Durchlaufdampferzeugers sind die Dampferzeugerrohre in der Regel derart ausgelegt, dass auch bei niedrigen Massenstromdichten des die Dampferzeugerrohre durchströmenden Mediums eine ausreichende Kühlung der Dampferzeugerrohre gewährleistet ist.

[0003] Ein wichtiges Auslegungskriterium sind die Wärmeübergangseigenschaften eines Dampferzeugerrohres. Ein hoher Wärmeübergang ermöglicht eine besonders effektive Beheizung des das Dampferzeugerrohr durchströmenden Mediums bei gleichzeitig zuverlässiger Kühlung des Dampferzeugerrohres an sich. Das Wärmeübergangsverhalten eines Dampferzeugerrohres kann bei konventionellen Dampferzeugern, die bei unterkritischen Drücken betrieben werden, durch das Auftreten so genannter Siedekrisen beeinträchtigt sein. Dabei wird die Rohrwand nicht mehr vom flüssigen Strömungsmedium - in der Regel Wasser - benetzt und somit nur unzureichend gekühlt. Infolge von zu frühem Austrocknen könnten dann die Festigkeitswerte der Rohrwand reduziert werden.

[0004] Für eine Verbesserung des Wärmeübergangsverhaltens kommen üblicherweise Dampferzeugerrohre zum Einsatz, die infolge eines Verformungsprozesses (z. B. Kaltziehen) auf ihrer Innenseite eine Oberflächenstruktur oder ein Innenprofil in der Art schraubenförmig gewundener Rippen aufweisen. Durch die Formgebung der Rippen wird dem das Dampferzeugerrohr durchströmenden Medium ein Drall eingeprägt, so dass sich die schwerere flüssige Phase infolge der wirkenden Zentrifugalkräfte an der Rohrrinnenwand sammelt und dort einen benetzenden Flüssigkeitsfilm ausbildet. Damit ist auch bei vergleichsweise hohen Wärmestromdichten und niedrigen Massenstromdichten ein zuverlässiger Wärmeübergang von der Rohrrinnenwand auf das Strömungsmedium gewährleistet.

[0005] Nachteilig ist bei den bekannten Dampferzeugerrohren, dass diese infolge der begrenzten Verformbarkeit des Rohrmaterials vergleichsweise aufwändig

herzustellen sind. Insbesondere bei hochwarmfesten Stählen mit hohem Chromgehalt ist die Verformbarkeit stark eingeschränkt. Derartige Werkstoffe spielen bei Dampferzeugerrohren heutzutage eine immer wichtigere Rolle, da sie - zumindest im Prinzip - eine Auslegung eines Dampferzeugers für besonders hohe Dampfparameter, insbesondere für hohe Frischdampftemperaturen, und damit einhergehend besonders hohe Wirkungsgrade gestatten. Durch die materialbedingten Einschränkungen bei der Verarbeitung ist es jedoch in der Praxis nicht oder nur mit erheblichem Aufwand möglich, innenberippte Rohre mit den gewünschten, strömungstechnisch vorteilhaften Rippenprofilen im Rahmen eines Verformungsprozesses aus Glattrohren zu erzeugen. Insbesondere sind hinreichend steile Flankenwinkel und scharfkantige Übergänge in Verbindung mit großen Rippenhöhen nur schwer nicht fertigbar. Darüber hinaus ist die Höhe der Rippen nur innerhalb eines engen Rahmens fertigbar. Zudem ergibt sich eine nur geringe Flexibilität bezüglich der Profilgestaltung entlang des Rohres.

[0006] Alternativ wurden bereits verschiedenartige drallerzeugende Einbauteile zum nachträglichen Einbau in ein Dampferzeugerrohr vorgeschlagen. Zu diesen zählen insbesondere die so genannten "Twisted Tapes": Aus einem Metallstreifen gefertigte Bänder, die in sich verdreht oder gewunden sind. Den bislang bekannten Rohreinbauten ist allerdings der Nachteil gemeinsam, dass sie zum einen den (ursprünglich) freien Querschnitt im Zentrum des Rohres versperren und daher zu sehr hohen Druckverlusten führen, und dass sie zum anderen die gesamte Strömung ausgesprochen stark umlenken und dabei teilweise "überdrallen". Ein einfaches Twisted Tape z. B. führt bei höheren Dampfgehalten in der Zweiphasenströmung zu einem Ansammeln der Wasserphase im Zwickel zwischen der Rohrwand und dem Tape bei gleichzeitigem Austrocknen und damit unzureichender Kühlung der Innenwandbereiche leeseitig des Tapes. Dampferzeugerrohre mit Einbauten in der Art von Twisted Tapes sind daher nicht für alle bei Dampferzeugern üblicherweise auftretenden Betriebsbedingungen gleichermaßen geeignet.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Dampferzeugerrohr der eingangs genannten Art anzugeben, das bei einfach und kostengünstig gehaltener Fertigung und bei einer großen Bandbreite unterschiedlicher Betriebsbedingungen ein besonders günstiges Wärmeübergangsverhalten aufweist. Des Weiteren sollen ein zur Herstellung eines derartigen Dampferzeugerrohres geeignetes Herstellungsverfahren sowie ein Durchlaufdampferzeuger angegeben werden, der bei hoher betrieblicher Sicherheit und bei einem hohen Wirkungsgrad einen besonders einfachen Aufbau besitzt.

[0008] Bezüglich des Dampferzeugerrohres wird die genannten Aufgabe erfindungsgemäß gelöst, indem zur Bildung eines drallerzeugenden Innenprofils mindestens ein Einsatz im Rohrrinneren angeordnet ist, wobei der Einsatz eine Mehrzahl von Drähten umfasst, die sich in

der Art eines mehrgängigen Gewindes schraubenförmig an der Rohrrinnenwand entlangwinden.

**[0009]** Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass die Mehrphasenströmung innerhalb eines Dampferzeugerrohres zur Verbesserung des Wärmeüberganges einen Drall aufweisen sollte, so dass die flüssige Phase infolge der Rotation an die Rohrrinnenwand geführt wird und diese möglichst gleichmäßig benetzt. Für eine gezielte Herstellung und Aufrechterhaltung einer derartigen Drallströmung sollten daher geeignete strömungsführende Elemente im Rohrrinneren angeordnet sein. Wie sich herausgestellt hat, ist die Strömungsführung dann besonders günstig, wenn einerseits weder ein "Überdrallen" noch allzu große Druckverluste entlang des Strömungsweges auftreten, andererseits die Drallwirkung dennoch intensiv genug ist, um die flüssige Phase des Strömungsmediums über den gesamten Rohrumfang an die Rohrrinnenwand zu leiten.

**[0010]** Zur Vermeidung hoher Druckverluste, die zu einem hohen Eigenenergiebedarf für die Speisepumpe führen, und zur Sicherstellung der Dampfabfuhr im Rohrrinneren sollten die strömungsführenden Elemente im Wesentlichen in der Art eines Innenprofils an der Rohrrinnenwand angeordnet sein und den Rohrquerschnitt im Zentrum nicht oder nur geringfügig versperren. Um überdies die mit den Rippenrohren konventioneller Bauart verbundenen Fertigungslimitierungen zu umgehen, sollte das drallerzeugende Innenprofil durch Rohreinbauten oder Einsätze verwirklicht werden, die unabhängig von dem Dampferzeugerrohre in der gewünschten Form hergestellt werden können und nachträglich in das Rohr eingezogen werden. Zu diesem Zweck sind bei dem hier vorgestellten neuen Konzept Drähte oder Bänder vorgesehen, die sich nach dem Einbringen in das Dampferzeugerrohr schraubenförmig an der Rohrrinnenwand entlangwinden, so dass ein wesentlicher Teil des Rohrquerschnitts (mehr als 50 %) frei bleibt und der Dampf im Rohrrinneren somit akkumulieren und abströmen kann.

**[0011]** Weiterhin wurde erkannt, dass eine einfache, d. h. eingängige Schraubenfeder in der Regel nur einen schwachen Drall erzeugt. Die Strömung kann dabei über den an der Rohrrinnenwand anliegenden Draht scheren. Aufgrund der geringeren Rotation kommt es dann zu einem früheren Auftreten der Siedekrise. Dieser Effekt könnte zwar beispielsweise durch einen größeren Drahtdurchmesser (analog einer größeren Rippenhöhe) kompensiert werden, jedoch führt dies bei einer Drahtanordnung in der Art einer einfachen Schraubfeder leicht zu einem Ansammeln oder Aufstauen der Wasserphase im Zwickel zwischen der Rohrwand und dem Drahteinsatz bei gleichzeitigem Austrocknen der Innenwandbereiche leeseitig des Drahtes, d. h. zu einer unzureichenden Kühlung der entsprechenden Wandbereiche. Derartige Nachteile werden gemäß dem hier vorgestellten Konzept vermieden, indem eine Mehrzahl von Drähten in der Art eines mehrgängigen Gewindes jeweils schraubenförmig an der Rohrrinnenwand anliegt. Bei dieser Ausführung

wird auch bei moderater Drallstärke und vergleichsweise geringem Druckverlust eine gleichmäßige Benetzung der Rohrrinnenwand mit flüssigem Strömungsmittel erreicht; ein Überdrallen der Strömung wird andererseits vollständig vermieden.

**[0012]** Besonders vorteilhaft ist zudem, dass im Gegensatz zu Rippenrohren herkömmlicher Bauart, die durch einen Verformungsprozess unter Einsatz erheblicher Verformungskräfte aus Glattrohren hergestellt werden, eine große Flexibilität hinsichtlich der strömungsrelevanten Parameter, wie etwa Profilhöhe, Gangzahl, Steigungswinkel, Flankenwinkel und Scharfkantigkeit besteht. Entsprechende Designvorgaben können bei der Ausführung als Einsatzbauteil besonders einfach und präzise umgesetzt werden, da hierzu in der Regel nur Drähte oder Metallbänder mit dem passenden Querschnittsprofil zur Verfügung gestellt und in die gewünschte Anordnung gebracht werden müssen, z. B. durch Drilung und/oder Verbiegung.

**[0013]** Bei Dampferzeugerrohren mit üblichen Dimensionen und Abmessungen ist eine Anordnung der Drähte in der Art eines zwei- oder dreigängigen Gewindes besonders zweckmäßig. Aber auch vier- bis sechsgängige Ausführungen können vorteilhaft sein; bei Dampferzeugerrohren mit besonders großem Durchmesser sind sogar achtgängige Varianten denkbar. Vorteilhafterweise beträgt der Steigungswinkel des jeweiligen Drahtes gegenüber einer senkrecht zur Rohrachse orientierten Bezugsebene mindestens 30° und vorzugsweise höchstens 70°. Ganz besonders vorteilhaft ist ein Steigungswinkel aus dem Intervall 40° bis 55°.

**[0014]** Für eine besonders einfache und kostengünstige Herstellbarkeit weist der jeweilige Draht einen runden oder einen im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt auf. Bei der letztgenannten Ausführungsform können insbesondere die Kanten nachbearbeitet sein, so dass sich vergleichsweise steile Flankenwinkel und scharfkantige Übergänge realisieren lassen. Die Drähte können je nach Durchmesser des Dampferzeugerrohres und je nach den vorgesehenen Strömungs- und Temperaturverhältnissen im Durchmesser variieren. Im Allgemeinen ist ein Drahtdurchmesser bzw. eine mittlere Querschnittsausdehnung von 5 % bis 15 % des Innendurchmessers des Glattrohres vorteilhaft.

**[0015]** Vorteilhafterweise sitzt der jeweilige Draht bzw. der aus den Drähten gebildete Rohreinsatz bei der vorgesehenen Betriebstemperatur des Dampferzeugerrohres infolge seiner Eigenspannung rutschfest im Rohrrinnenraum. Das Drahtmaterial und die Eigenspannung sind also derart auf die geometrischen Verhältnisse abgestimmt, dass ein Kriechen oder ein Verrutschen der einzelnen Windungen gegeneinander unterbunden ist.

**[0016]** Falls es sich als notwendig erweist, können die an der Rohrrinnenwand anliegenden Drähte über radiale Versteifungsstreben miteinander und/oder mit einem entlang der Rohrachse verlaufenden Mitteldraht verbunden sein. Durch einen derartigen Stützkern wird ein Verrutschen der einzelnen Federgänge auch bei einem

eventuellen Nachlassen der Draht- bzw. Federspannung verhindert, so dass der Rohreinsatz seine ursprüngliche Form und Lage im Dampferzeugerrohr dauerhaft beibehält. Zusätzlich oder alternativ können eine Anzahl von in Richtung der Rohrachse verlaufenden Haltedrähte vorgesehen sein, die jeweils an der zum Rohrrinnenraum gewandten Seite der schraubenförmig gewundenen Drähte an diesen fixiert sind. Auf diese Weise ergibt sich eine ähnliche Wirkung wie bei der Ausführung mit den radialen Versteifungsstreben. Der die Versteifungsstreben und/oder die Haltedrähte und/oder den Mitteldraht umfassende Stützkern kann aus einem im Vergleich zu den drallerzeugenden, an der Rohrrinnenwand anliegenden Drähten minderwertigerem Werkstoff gefertigt sein, da er nur gegen Korrosion bzw. Verzunderung geschützt sein muss, jedoch nicht unmittelbar mit den sehr hohen Temperaturen der Rohrrinnenwand belastet wird.

**[0017]** Obwohl der Rohreinsatz bereits infolge der Eigenspannung seiner Drähte relativ fest und sicher im Dampferzeugerrohr sitzt, ist vorzugsweise eine zusätzliche Fixierung vorgesehen, bei der der jeweilige profilbildende Draht mindestens an einer Stelle, bevorzugt in der Nähe seiner beiden Enden, mit der Rohrrinnenwand fest verbunden ist. Die feste Verbindung ist dabei vorteilhafterweise eine hochwarmfeste Schweißverbindung. Eine etwas aufwendiger herzustellende Variante, die aber eine besonders sichere Fixierung gewährleistet, umfasst eine Mehrzahl von über die Längsausdehnung des jeweiligen Drahtes verteilten Punktschweißstellen. Die Schweißfixierung lässt sich besonders gut herstellen, wenn zumindest die an der Rohrrinnenwand anliegenden Drähte des Einsatzes aus einem Werkstoff mit einer dem Rohrmaterial ähnlichen Zusammensetzung hergestellt sind.

**[0018]** Weiterhin ist es gerade bei einem vergleichsweise langen, sich über die gesamte Höhe des Dampfkessels erstreckenden Dampferzeugerrohr wünschenswert, entlang seiner Längsausdehnung je nach Ort unterschiedliche Führungsprofile im Rohrrinneren vorzusehen, die der räumlichen Entwicklung bzw. Variation sowohl des Dampfanteils als auch des Beheizungsprofils Rechnung tragen. Ein derartiges Konzept lässt sich vorteilhafterweise dadurch realisieren, dass eine Mehrzahl von Einsätzen in das Dampferzeugerrohr eingebracht ist, die in jeweils getrennten Rohrabschnitten angeordnet sind, wobei der jeweilige Einsatz mit seinen geometrischen Parametern an die im Betrieb vorgesehene lokale Beheizung und/oder an die lokalen Strömungsverhältnisse angepasst ist. Da sich ferner herausgestellt hat, dass der Drall nach einmaliger Generierung auch bei einer Zweiphasenströmung mindestens über eine Strömungsstrecke von fünf Rohrdurchmessern erhalten bleibt, ist keine vollständige, lückenlose Bestückung des Rohres notwendig. Vielmehr können die Einsätze durch Zwischenräume voneinander beabstandet in das Dampferzeugerrohr eingebaut sein.

**[0019]** Zweckmäßigerweise werden die hier beschriebenen Dampferzeugerrohre bei einem fossil beheizten

Durchlaufdampferzeuger eingesetzt. Durch das drallerzeugende Innenprofil der Rohre und die damit verbundenen Verbesserungen im Wärmeübergangsverhalten ist auch bei Kesselkonstruktionen mit vertikaler Rohranordnung ("senkrechte Berohrung") eine ausreichende Wärmeübertragung auf das Strömungsmedium bzw. eine Kühlung der Rohrwände gewährleistet. Eine Senkrechtberohrung mit höherer Rohranzahl und mit vergleichsweise kurzen Rohrleitungslängen ermöglicht aufgrund der gegenüber schräg bzw. spiralförmig angeordneten Rohren geringeren Strömungsgeschwindigkeiten und geringeren Massenstromdichten einen Betrieb des Dampferzeugers mit reduziertem Druckverlust und mit reduziertem Mindestdurchsatz. Damit kann das den Dampferzeuger umfassende Kraftwerk für eine geringere Mindestlast ausgelegt sein. Die von geneigten Dampferzeugerrohren bekannten Separationseffekte, bei denen Wasser und Dampf bei Unterschreiten einer Mindestströmungsgeschwindigkeit bzw. einer Mindestlast nur noch geschichtet strömen, so dass Teilbereiche der Rohrwände nicht mehr benetzt werden, treten bei Senkrechtberohrung nicht auf. Außerdem entfallen aufwendige, mit umfangreichen und kostenintensiven Schweißarbeiten verbundene Tragkonstruktionen für den Dampfkessel, da eine Kesselwand mit senkrechter Berohrung in der Regel selbsttragend ausgelegt werden kann.

**[0020]** Weiterhin können die genannten Rohreinbauten auch bei konvektiver Beheizung, wie sie etwa im Abhitzeessel von GuD-Kraftwerken vorliegt, aufgrund des verbesserten Wärmeüberganges zu einer Reduzierung der Wärmetauscherfläche und damit zu deutlichen Kosteneinsparungen führen.

**[0021]** In Bezug auf das Herstellungsverfahren wird die oben genannte Aufgabe gelöst, indem eine Mehrzahl von unter Spannung stehenden Drähten in ein Glattrohr eingebracht wird, wobei die Drähte in der Art eines mehrgängigen Gewindes angeordnet sind, und wobei die Drähte nach dem Einbringen soweit entspannt werden, bis ihre Windungen an der Rohrrinnenwand anliegen. Mit anderen Worten: Die von den vorab ausgerichteten Drähten gebildete mehrgängige Schraubfeder wird vorgespannt, indem sie beispielsweise auseinandergezogen oder in sich verdrillt wird. In diesem Zustand mit reduziertem Durchmesser wird der Einsatz in das Rohr eingezogen. Nach seiner teilweisen Entspannung presst er sich selbsttätig an die Rohrrinnenwand an. Die verbleibende Eigenspannung der Drähte ist dabei so gewählt, dass bei der vorgesehenen Betriebstemperatur des Verdampferrohres kein Kriechen stattfinden kann. Zusätzlich werden die Drähte nach ihrer partiellen Entspannung vorteilhafterweise mindestens an einem Ende mit der Rohrrinnenwand verschweißt.

**[0022]** Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass sich mit den neuen Rohreinbauten eine flexible, für alle Rohrmaterialien einsetzbare Strömungsführung im Rohrrinnenraum ergibt, die entsprechend dem Bedarf nach Wärmeübergangsver-

besserung angepasst werden kann. Aufgrund der durch die frei gestaltbaren Parameter Drahtdurchmesser, Gangzahl der Drahtanordnung, Steigungswinkel, Flankenwinkel und Scharfkantigkeit bewirkten Designflexibilität kann ein über die Länge des Verdampferrohres variierendes Drallprofil eingestellt werden, das exakt an die jeweilige örtliche Beheizung angepasst ist. Dabei werden die Fertigungsbegrenzungen der herkömmlichen Rippenrohre umgangen. Vor allem bei Kraftwerksneuentwicklungen mit höheren Auslegungswerten für die Dampfparameter wird die Fertigung von Rippenrohren aufgrund des höheren Chromgehaltes der für höhere Temperaturen und Drücke notwendigen neuen Materialien immer aufwendiger. Hier können die neuen drallerzeugenden Einbauten das Rippenrohr ersetzen bzw. solche Anwendungen überhaupt erst ermöglichen.

**[0023]** Verschiedene Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

- FIG 1 einen Durchlaufdampferzeuger in vereinfachter Darstellung mit vertikal bohrender Brennkammerwand,
- FIG 2 eine geschnittene Ansicht eines Dampferzeugerrohres mit einem ein drallerzeugendes Innenprofil ausbildenden Einsatz,
- FIG 3 eine geschnittene Ansicht und einen Querschnitt durch ein Dampferzeugerrohr gemäß einer alternativen Ausführungsform, und
- FIG 4 eine geschnittene Ansicht und einen Querschnitt durch ein Dampferzeugerrohr gemäß einer weiteren Ausführungsform.

**[0024]** Gleiche Teile sind allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

**[0025]** In FIG 1 ist schematisch ein Durchlaufdampferzeuger 2 mit rechteckigem Querschnitt dargestellt, dessen vertikaler Gaszug durch eine Umfassungs- oder Brennkammerwand 4 gebildet ist, die am unteren Ende in einen trichterförmigen Boden 6 übergeht.

**[0026]** In einem Befuerungsbereich V des Gaszugs sind eine Anzahl von Brennern für einen Brennstoff in jeweils einer Öffnung 8, von denen nur zwei sichtbar sind, in der aus Dampferzeugerrohren 10 zusammengesetzten Brennkammerwand 4 angebracht. Die vertikal angeordneten Dampferzeugerrohre 10 sind im Befuerungsbereich V zu einer Verdampferheizfläche 12 gasdicht miteinander verschweißt.

**[0027]** Oberhalb des Befuerungsbereiches V des Gaszugs befinden sich Konvektionsheizflächen 14. Darüber befindet sich ein Rauchgasaustrittskanal 16, über den das durch Verbrennung eines fossilen Brennstoffs erzeugte Rauchgas RG den vertikalen Gaszug verlässt. Das in den Dampferzeugerrohren 10 strömende Strömungsmedium wird durch die Strahlungswärme der Brennerflammen und durch konvektive Wärmeübertragung vom Rauchgas RG beheizt und dabei verdampft. Als Strömungsmedium ist im Ausführungsbeispiel Was-

ser oder ein Wasser-Dampf-Gemisch vorgesehen.

**[0028]** Neben dem in FIG 1 gezeigten Ein-Zug-Kessel (so genannter Turmkessel) sind selbstverständlich auch noch weitere Kesselkonfigurationen, z. B. in der Art eines Zwei-Zug-Kessels, möglich. Die nachfolgend zu beschreibenden Dampferzeugerrohre können bei allen diesen Varianten zum Einsatz kommen, und zwar sowohl im Befuerungsbereich als auch im restlichen Rauchgaskanal. Auch ein Einsatz bei einem Abhitzedampferzeuger ist denkbar.

**[0029]** FIG 2 zeigt in einer geschnittenen Ansicht einen Ausschnitt eines für die Berohrung der Brennkammerwand 4 des Durchlaufdampferzeugers 2 eingesetzten Dampferzeugerrohres 10. In den Rohrrinnenraum 18 eines Glattrohres 20 ist ein Einsatz 22 eingebracht, der zur Verbesserung des Wärmeübergangsverhaltens ein drallerzeugendes Innenprofil ausbildet. Der Einsatz 22 umfasst im Ausführungsbeispiel drei Drähte 24, die sich in der Art eines dreigängigen Gewindes mit konstantem Steigungswinkel (und damit mit konstanter Ganghöhe) an der Rohrrinnenwand 26 entlangwinden. Infolge ihrer Eigenspannung liegen die Drähte 24 fest an der Rohrrinnenwand 26 an. Zusätzlich sind die Drähte 24 jeweils an mehreren Stellen, insbesondere in der Nähe ihrer beiden Enden, durch Punktschweißung an der Rohrrinnenwand 26 fixiert.

**[0030]** Die Drähte 24 bestehen im Ausführungsbeispiel wie auch die Rohrwand 28 des sie aufnehmenden Glattrohres 20 aus einem hochwarmfesten metallischen Werkstoff mit hohem Chromanteil. Daneben existieren natürlich auch noch andere geeignete Materialien, die dem Fachmann geläufig sind, z. B. 13CrMo44. Neben der Anzahl der Drähte 24 (Gangzahl der Schraubenfeder) und dem Steigungswinkel ist das Querschnittsprofil der Drähte 24 ein wichtiges Auslegungskriterium. Insbesondere können aufgrund der vom Glattrohr 20 separaten Fertigung des jeweiligen Drahtes 24 dessen Höhe und Breite sowie der Flankenwinkel gegenüber der Rohrrinnenwand 26 und die Schärfe der Kanten beliebig vorgegeben werden. In erster Näherung werden in der Regel die geometrischen Parameter ähnlich wie bei den Rippen konventioneller Rippenrohre gewählt. Darüber hinaus kann aber auch noch eine ortsabhängige Anpassung und Optimierung erfolgen, die auf den Verlauf des Beheizungsprofils entlang der Brennkammerwand 4 Rücksicht nimmt.

**[0031]** FIG 3 zeigt eine Weiterbildung der aus FIG 2 bekannten Ausführungsform des Dampferzeugerrohres 10, bei der die an der Rohrrinnenwand 26 anliegenden Drähte 24 über angeschweißte radiale Versteifungsstreben 30 mit einem entlang der Rohrachse verlaufenden Mitteldraht 32 verbunden sind, so dass ein Verrutschen der einzelnen Federgänge bzw. Drahtwindungen gegeneinander auch bei nachlassender Federwirkung wirksam verhindert ist. Da der die Versteifungsstreben 30 und den Mitteldraht 32 umfassende Stützkern nicht so hohen Temperaturen ausgesetzt ist wie die an der Rohrrinnenwand 26 anliegenden, drallerzeugenden Drähte 24, ist

er aus einem weniger hochwertigen Material gefertigt.

**[0032]** Im Ausführungsbeispiel gemäß FIG 3 sind jeweils drei der dünnen radialen Versteifungsstreben 30 zu einem in einer gemeinsamen Querschnittsebene durch das Dampferzeugerrohr 10 liegenden regelmäßigen Stern zusammengefasst. Mehrere dieser Sterne sind in regelmäßigen Abständen in Längsrichtung des Dampferzeugerrohres 10 hintereinander angeordnet. Wie aus dem im rechten oberen Ausschnitt der FIG 3 gezeigten Querschnitt durch das Dampferzeugerrohr 10 ersichtlich ist, sind alle Sterne gleich ausgerichtet, so dass die einander entsprechenden Versteifungsstreben 30 hintereinander angeordneter Sterne im Querschnitt deckungsgleich zu liegen kommen. Dadurch wird die Drallströmung im Rohrrinnenraum 18 nur unwesentlich gestört.

**[0033]** FIG 4 zeigt schließlich eine weitere Ausführungsvariante, die auch mit der aus FIG 3 bekannten Variante kombiniert werden kann. Dabei sind drei parallel zur Rohrachse verlaufende Haltedrähte 34 vorgesehen, welche ein Verrutschen der drallerzeugenden, schraubenförmig gewundenen Drähte 24 verhindern. Die Haltedrähte 34 sind im Querschnitt betrachtet gleichmäßig über den inneren Rohrrumfang verteilt und jeweils an der zum Rohrrinnenraum 18 gewandten Seite der profilgebenden Drähte 24 an denselben fixiert.

#### Patentansprüche

1. Dampferzeugerrohr (10), bei dem zur Bildung eines drallerzeugenden Innenprofils mindestens ein Einsatz (22) im Rohrrinnenraum (18) angeordnet ist, wobei der Einsatz (22) eine Mehrzahl von Drähten (24) umfasst, die sich in der Art eines mehrgängigen Gewindes schraubenförmig an der Rohrrinnenwand (26) entlang winden.
2. Dampferzeugerrohr (10) nach Anspruch 1, bei dem der Steigungswinkel des jeweiligen Drahtes (24) gegenüber einer senkrecht zur Rohrachse orientierten Bezugsebene mindestens 30° und vorzugsweise höchstens 70° beträgt.
3. Dampferzeugerrohr (10) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der jeweilige Draht (24) einen runden Querschnitt aufweist.
4. Dampferzeugerrohr (10) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der jeweilige Draht (24) einen im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt aufweist.
5. Dampferzeugerrohr (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der jeweilige Draht (24) infolge seiner Eigenspannung bei der vorgesehenen Betriebstemperatur rutschfest im Rohrrinnenraum (18) sitzt.
6. Dampferzeugerrohr (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die an der Rohrrinnenwand (26) anliegenden Drähte (24) über radiale Versteifungsstreben (30) miteinander und/oder mit einem entlang der Rohrachse verlaufenden Mitteldraht (32) verbunden sind.
7. Dampferzeugerrohr (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem eine Anzahl von in Richtung der Rohrachse verlaufenden Haltedrähten vorgesehen ist, die jeweils an der zum Rohrrinnenraum (18) gewandten Seite der Drähte (24) an den Drähten (24) fixiert sind.
8. Dampferzeugerrohr (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem der jeweilige Draht (24) mindestens an einer Stelle, bevorzugt in der Nähe seiner beiden Enden, mit der Rohrrinnenwand (26) fest verbunden ist.
9. Dampferzeugerrohr (10) nach Anspruch 8, bei dem die feste Verbindung eine Schweißverbindung ist.
10. Dampferzeugerrohr (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem zumindest die an der Rohrrinnenwand (26) anliegenden Teile des Einsatzes (22) aus einem Werkstoff mit einer dem Rohrmaterial ähnlichen Zusammensetzung hergestellt sind.
11. Dampferzeugerrohr (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, mit einer Mehrzahl von Einsätzen (22), die in jeweils getrennten Rohrabschnitten angeordnet sind, wobei der jeweilige Einsatz (22) mit seinen geometrischen Parametern an die im Betrieb vorgesehene lokale Beheizung und/oder an die lokalen Strömungsverhältnisse angepasst ist.
12. Durchlaufdampferzeuger (2), der eine Anzahl von Dampferzeugerrohren (10) umfasst, die nach einem der Ansprüche 1 bis 11 gebildet sind.
13. Verfahren zum Herstellen eines mit einem drallerzeugenden Innenprofil versehenen Dampferzeugerrohres (10), bei dem eine Mehrzahl von unter Spannung stehenden Drähten (24) in ein Glattrohr (20) eingebracht wird, wobei die Drähte (24) in der Art eines mehrgängigen Gewindes angeordnet sind, und wobei die Drähte (24) nach dem Einbringen so weit entspannt werden, bis ihre Windungen an der Rohrrinnenwand (26) anliegen.
14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem die Drähte (24) nach ihrer partiellen Entspannung mindestens an einem Ende mit der Rohrrinnenwand (26) verschweißt werden.

FIG 1

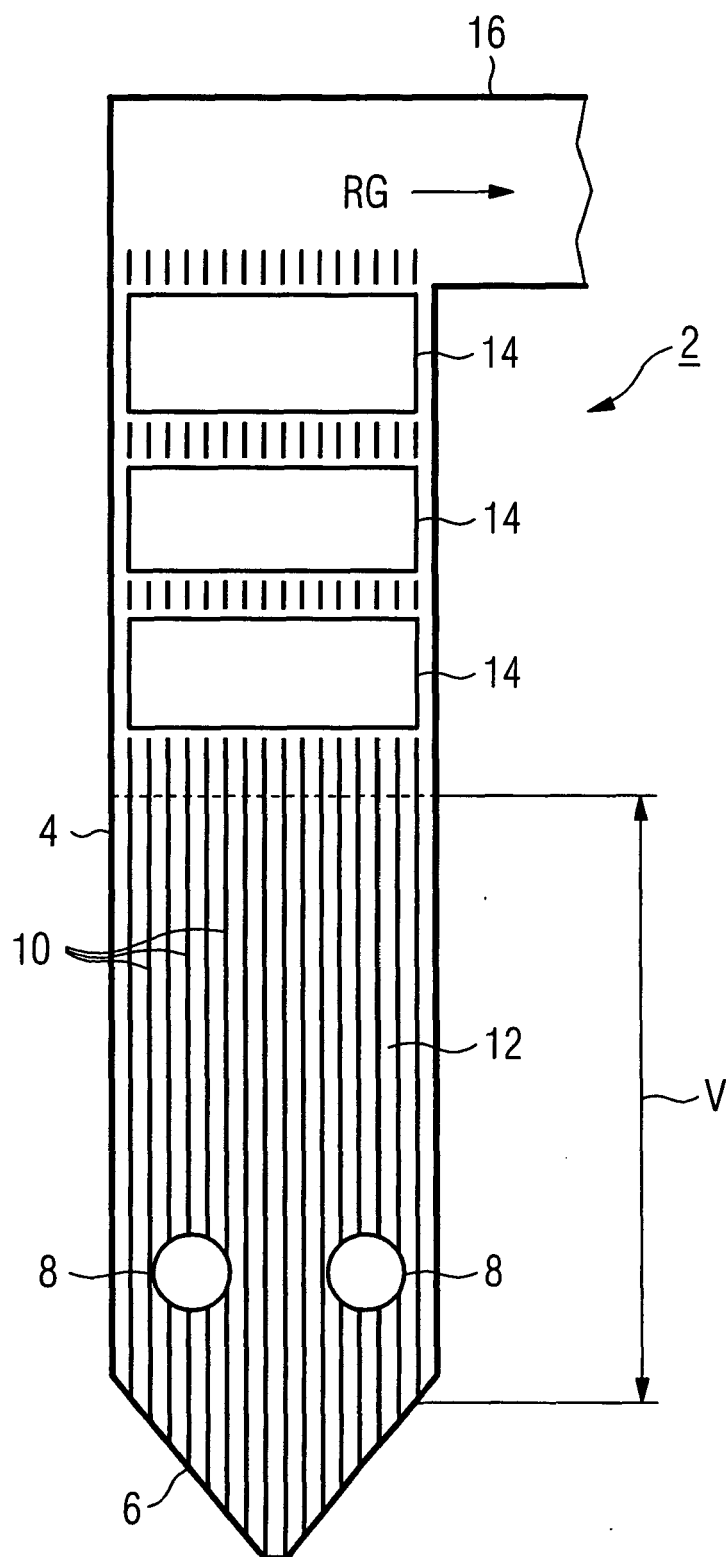


FIG 2

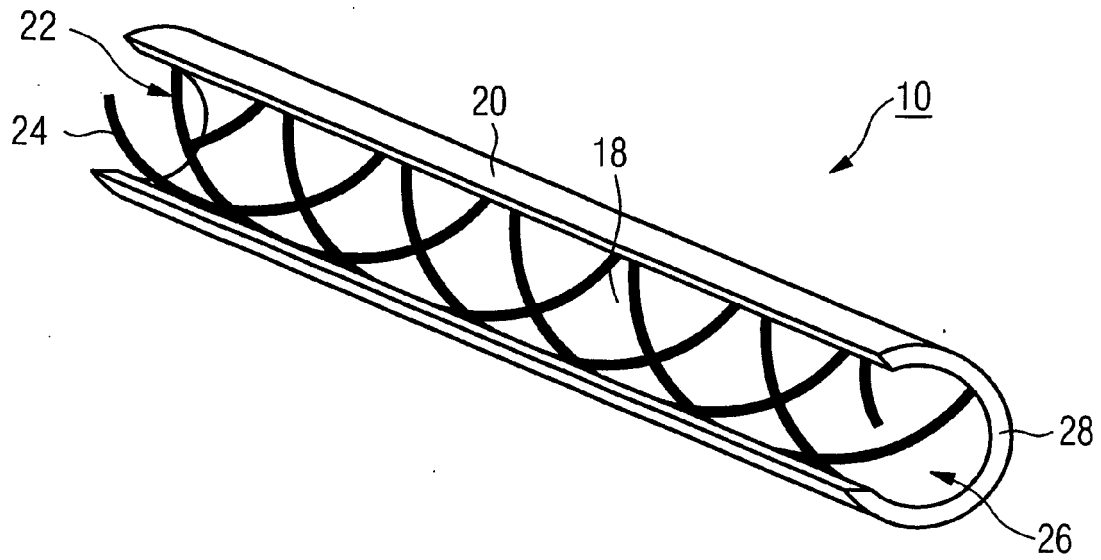


FIG 3

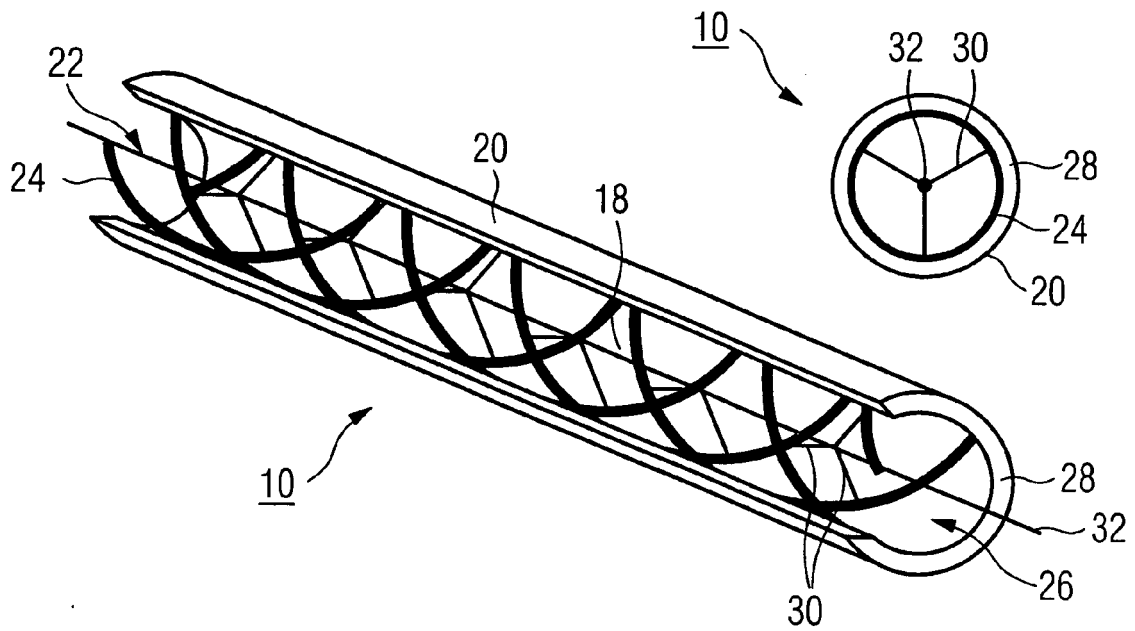
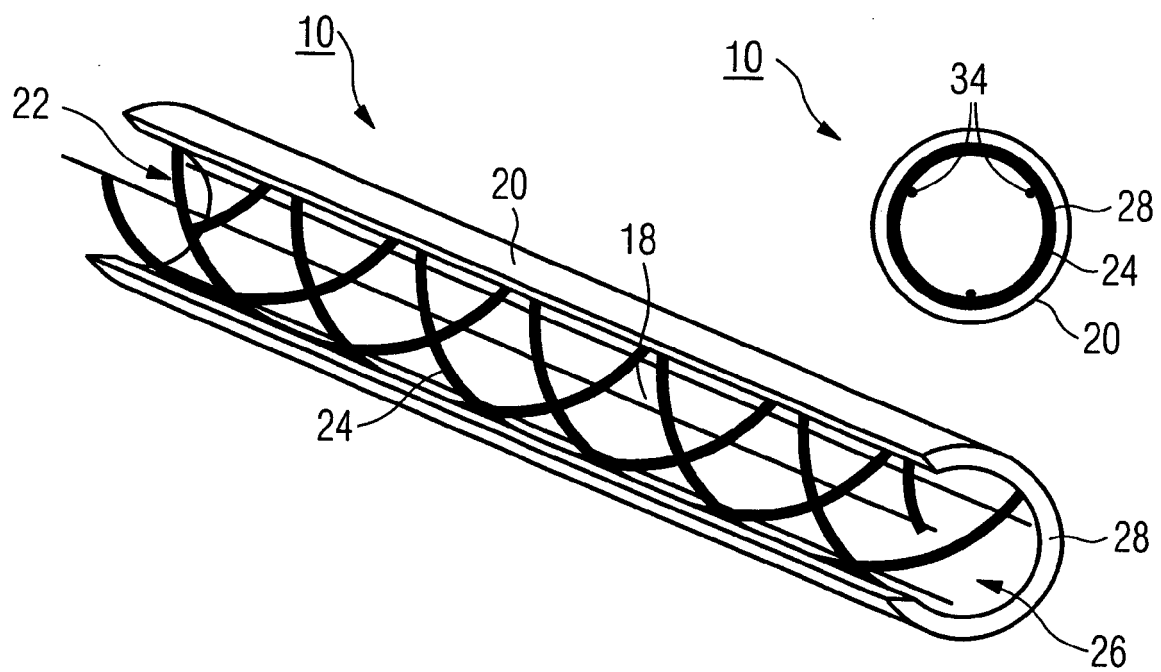




FIG 4





Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 05 02 6487

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	GB 692 306 A (ROBERT JOHN FROST) 3. Juni 1953 (1953-06-03) * Seite 1, Zeile 72 - Seite 2, Zeile 39; Abbildungen *	1-14	INV. F22B37/18 F22B29/06
A	GB 1 146 162 A (AMERICAN RADIATOR AND STANDARD SANITARY CORPORATION) 19. März 1969 (1969-03-19) * Seite 1, Zeile 89 - Seite 3, Zeile 21; Abbildungen *	1-14	
A	EP 0 302 125 A (RONCHI, ELENA) 8. Februar 1989 (1989-02-08) * Spalte 3, Zeile 3 - Spalte 4, Zeile 37; Abbildung 2 * * Zusammenfassung *	1-14	
A	WO 2005/018837 A (TECHNOSCIENCE INTEGRATED TECHNOLOGY APPLIANCES PTE LTD; CHOY, KAM WENG;) 3. März 2005 (2005-03-03) * das ganze Dokument *	1-14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	DE 100 563 C (WILLIAM ARTHUR PERCY WERNER) 28. Juli 1897 (1897-07-28) * das ganze Dokument *	1-14	F22B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>30. August 2006</b>	Prüfer <b>Zerf, G</b>
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 03.82 (P04C03)

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

EP 05 02 6487

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.

30-08-2006

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 692306 A	03-06-1953	KEINE	
GB 1146162 A	19-03-1969	BE 691746 A	29-05-1967
		CH 442381 A	31-08-1967
		DE 1501458 A1	30-10-1969
		FR 1474793 A	31-03-1967
		NL 6618009 A	28-06-1967
EP 0302125 A	08-02-1989	AT 76955 T	15-06-1992
		DE 3779634 D1	09-07-1992
		DE 3779634 T2	04-02-1993
		ES 2032784 T3	01-03-1993
		US 4836145 A	06-06-1989
WO 2005018837 A	03-03-2005	KEINE	
DE 100563 C		KEINE	

EPO FORM P0461

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