

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) EP 0 995 484 A1

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
26.04.2000 Patentblatt 2000/17

(51) Int. Cl.⁷: B01F 3/02

(21) Anmeldenummer: 98811042.5

(22) Anmeldetag: 19.10.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

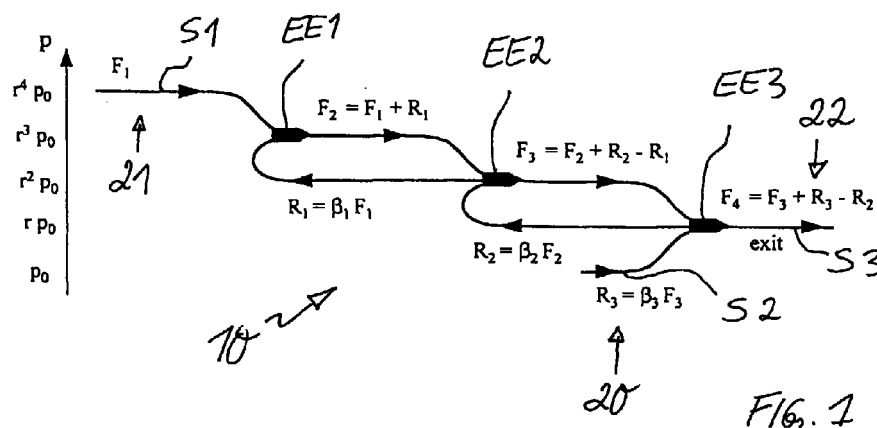
(72) Erfinder:
• Hagström, Gustav
5415 Nussbaumen (CH)
• Keller, Jakob, Prof.Dr.
5610 Wohlen (CH)

(71) Anmelder: Asea Brown Boveri AG
5401 Baden (CH)

(54) Verfahren zur Erzeugung eines Gasstromes mittleren Druckes und mittlerer Temperatur aus einem Gasstrom hohen Druckes und hoher Temperatur sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

(57) Bei einem Verfahren zur Erzeugung eines dritten Gasstromes (S3) mittleren Druckes und mittlerer Temperatur, welcher insbesondere als Kühlluft für eine Gasturbine einsetzbar ist, aus einem ersten Gasstrom (S1) hohen Druckes und hoher Temperatur, wird eine hohe Effektivität bei gleichzeitig einfacher Verfahrensführung dadurch erreicht, dass die Reduzierung durch

stufenweisen Energieaustausch zwischen dem ersten Gasstrom (S1) und einem zweiten Gasstrom (S2) niedrigen Druckes und niedriger Temperatur in einer Kaskade (10) aus mehreren hintereinandergeschalteten Energieaustauschern (EE1,...,EE3) vorgenommen wird.



EP 0 995 484 A1

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Strömungstechnik. Sie betrifft ein Verfahren zur Erzeugung eines dritten Gasstromes mittleren Druckes und mittlerer Temperatur, welcher insbesondere als Kühlluft für eine Gasturbine einsetzbar ist, aus einem ersten Gasstrom hohen Druckes und hoher Temperatur.

[0002] Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

10 STAND DER TECHNIK

[0003] Eine besondere Schwierigkeit im Zusammenhang mit der Kühlung von Gasturbinen besteht darin, dass am Kompressor nur eine begrenzte Anzahl von Druckstufen für die Sekundärluftversorgung zur Verfügung steht. Infolge dieser Einschränkung kommt es häufig vor, dass Kühlluft mit einem sehr hohen Druck bereit gestellt wird, und dass 15 hohe Verluste entstehen, bevor die Kühlluft ein gewünschtes Druckniveau erreicht, dass sehr viel tiefer liegen kann als das Druckniveau bei der Bereitstellung. In diesem Fall besteht ein weiteres Problem darin, dass die Temperatur der Kühlluft sehr hoch ist, weil eine reine Druckabsenkung die Ruhetemperatur der Kühlluft nicht verringert.

[0004] Eine besonders missliche Situation ergibt sich bei den niedrigen Versorgungsdruckniveaus eines Kompressors, wenn die Einlass-Leitschaufeln des Kompressors weitgehend geschlossen sind. In diesem Fall kann der niedrigste Versorgungsdruck, der bei vollkommen geöffneten Einlass-Leitschaufeln etwa 2 bar betragen würde, unter den 20 Umgebungsdruck absinken. Als Folge davon würde der niedrigste erlaubte Versorgungsdruck für die Versorgung der Lager mit Sperrluft und der letzten Turbinenscheibe mit Kühlluft bis zu 5 bar hoch sein, obgleich ein Ueberdruck von 200 mbar ausreichend sein würde.

25 DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0005] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung anzugeben, mit welchen die Kühlluft bzw. generell ein Gasstrom mit gutem Wirkungsgrad von einem vergleichsweise hohen Ausgangsdruck und einer vergleichsweise hohen Ausgangstemperatur auf besser geeignete niedrigere Niveaus des Druckes und der Temperatur abgesenkt werden kann. 30

[0006] Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 4 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, den Druck und die Temperatur des eingangsseitigen Gasstromes durch Kombination mit einem weiteren Gasstrom geringen Drucks und geringer Temperatur energetisch günstig in mehreren Schritten in einer Kaskade von Energieaustauschern abzusenken.

35 **[0007]** Es gibt eine Vielzahl verschiedener Typen von Energieaustauschern, die in einer solchen Kaskade eingesetzt werden können, einschliesslich Turboladern, Druckwellenmaschinen, Ranque-Hilsch-Rohren oder einfachen Strahlinjektoren. In jedem Fall wird in einem solchen einzelnen Energieaustauscher ein Gasstrom hohen Druckes und ein Gasstrom niedrigen Druckes zu einem resultierenden Gasstrom mit einem mittleren Druck kombiniert. Eine erste bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens nach der Erfindung ist daher dadurch gekennzeichnet, dass in jedem der 40 Energieaustauscher aus einem ersten Massenstrom mit einem ersten Druck und einer ersten Temperatur und einem zweiten Massenstrom mit einem zweiten Druck und einer zweiten Temperatur, welche kleiner sind als der erste Druck und die erste Temperatur, ein resultierender dritter Massenstrom mit einem dritten Druck und einer dritten Temperatur erzeugt wird, welche zwischen dem ersten und zweiten Druck und der ersten und zweiten Temperatur liegen, dass der dritte Massenstrom des zweiten und aller weiteren Energieaustauscher jeweils in zwei Teilströme aufgeteilt wird, dass 45 der erste Teilstrom als erster Massenstrom des innerhalb der Kaskade nachfolgenden Energieaustauschers verwendet wird, dass der zweite Teilstrom als zweiter Massenstrom des innerhalb der Kaskade vorangegangenen Energieaustauschers verwendet wird, dass der erste Gasstrom als erster Massenstrom in den ersten Energieaustauscher eingespeist wird, dass der zweite Gasstrom als zweiter Massenstrom in den letzten Energieaustauscher eingespeist wird, und dass der erste Teilstrom des letzten Energieaustauschers als resultierender Gasstrom der Kaskade entnommen wird.

50 **[0008]** Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Typen von Energieaustauschern sind im wesentlichen verknüpft mit den unterschiedlichen Anwendungsbereichen, mit unterschiedlichen Komplexität und unterschiedlicher Effektivität. Die einfachste Klasse von Energieaustauschern sind die sogenannten direkten Fluid-Fluid-Energieaustauscher, zu denen der Strahlinjektor und das Ranque-Hilsch-Rohr zählen. Man kann daher gemäss einer zweiten bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens nach der Erfindung auf besonders einfache Weise ausreichend hohe 55 Effektivitäten erzielen, wenn die Energieaustauscher als Strahlinjektoren ausgebildet sind, d.h., wenn in jedem der Energieaustauscher der Kaskade der erste und der zweite Massenstrom jeweils als Strahl in einen Mischraum eingedüst und dort zum dritten Massenstrom miteinander vermischt werden.

[0009] Die erfindungsgemässe Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass

eine Mehrzahl von Energieaustauschern in einer Kaskade hintereinandergeschaltet sind, dass jeder der Energieaustauscher zwei Eingänge und einen Ausgang aufweist, dass der Ausgang eines Energieaustauschers jeweils mit dem ersten Eingang des nachfolgenden Energieaustauschers verbunden ist, dass Mittel vorhanden sind, welche jeweils einen Teilstrom vom Ausgang eines Energieaustauschers auf seinen zweiten Eingang zurückführen, dass der erste Eingang des ersten Energieaustauschers als Hochdruckeinlass zum Einspeisen des ersten Gasstromes vorgesehen ist, dass der zweite Eingang des letzten Energieaustauschers als Niederdruckeinlass zum Einspeisen des zweiten Gasstromes vorgesehen ist, und dass der Ausgang des letzten Energieaustauschers als Mitteldruckauslass zur Entnahme des dritten Gasstromes vorgesehen ist.

[0010] Eine wegen der Einfachheit bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass jeder der Energieaustauscher als Strahlinjektor ausgebildet ist und jeweils einen von den Gasströmen durchströmten Mischraum aufweist, dass an dem Mischraum stromaufwärts zwei düsenförmige Einlässe vorgesehen sind, welche die beiden Eingänge des Energieaustauschers bilden, und dass an dem Mischraum stromabwärts ein Auslass angeordnet ist, welcher des Ausgang des Energieaustauschers bildet.

[0011] Ein sehr kompakter Aufbau lässt sich für die gesamte Kaskade dadurch erreichen, dass die Injektorkaskade aus einer Mehrzahl von im Durchmesser abgestuften halbkreisförmigen Rohrsegmenten aufgebaut ist, welche alternierend und konzentrisch auf den beiden Seiten einer Mittelebene angeordnet und mit ihren offenen Seiten so zur Mittelebene hin orientiert sind, dass die Rohrsegmente ineinandergreifen, und zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rohrsegmenten auf derselben Seite der Mittelebene jeweils Mischkanäle gebildet werden, welche untereinander kaskadenartig in Verbindung stehen.

Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

[0012] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 die schematisierte grundsätzliche Anordnung einer 3-stufigen Kaskade mit Strahlinjektoren mit den dazugehörigen Druckniveaus und Massenströmen gemäss einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 2 den prinzipiellen Aufbau eines einzelnen Strahlinjektors mit Mischrohr mit den für eine Berechnung notwendigen Parametern;

Fig. 3-11 verschiedene Diagramme mit berechneten charakteristischen Grössen einer beispielhaften 7-stufigen Kaskade mit Strahlinjektoren gemäss Fig. 2 in Abhängigkeit vom Verhältnis der Einlassquerschnitte; und

Fig. 12 im Querschnitt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel für eine aus konzentrischen halbkreisförmigen Rohrsegmenten zusammengesetzte, kompakte Strahlinjektorkaskade.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0013] In Fig. 1 ist die schematisierte grundsätzliche Anordnung einer 3-stufigen Kaskade mit Strahlinjektoren mit den dazugehörigen Druckniveaus und Massenströmen gemäss einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wiedergegeben. Die Kaskade 10 umfasst drei als Strahlinjektoren ausgebildete Energieaustauscher EE1,...,EE3, die hintereinander angeordnet und in charakteristischer Weise untereinander verbunden sind. Die Darstellung ist zugleich auf einer Druckskala p so gewählt, dass die jeweiligen Druckniveaus p_0 bis $r^4 p_0$ in den einzelnen Stufen der Kaskade erkennbar sind (die Bedeutung der Grössen p_0 und r^4 ergibt sich aus den weiter unten folgenden Erläuterungen). Am linken Hochdruckeinlass 21 der Kaskade wird ein erster Gasstrom S1 mit einem hohen Druck $r^4 p_0$ (und einer hohen Temperatur) als Massenstrom F_1 in einen ersten Eingang (Hochdruckeingang) des ersten Energieaustauschers EE1 der Kaskade 10 eingespeist. In einen zweiten Eingang (Niederdruckeingang) des ersten Energieaustauschers EE1 gelangt ein zweiter Massenstrom R_1 mit einem niedrigeren Druck $r^2 p_0$ (und einer niedrigeren Temperatur). Am Ausgang des Energieaustauschers EE1 steht dann ein aus den Massenströmen F_1 und R_1 kombinierter Massenstrom F_2 bei einem mittleren Druck $r^3 p_0$ (und einer mittleren Temperatur) zur Verfügung. Der kombinierte Massenstrom $F_2 = F_1 + R_1$ wird auf den ersten Eingang des nachfolgenden Energieaustauschers EE2 gegeben, dessen zweiter Eingang mit einem weiteren Massenstrom R_2 mit dem Druck p_0 beaufschlagt wird. Am Ausgang entsteht aus den beiden eingangsseitigen Massenströmen F_2 und R_2 ein weiterer Massenstrom $F_2 + R_2$ mit dem mittleren Druck $r^2 p_0$.

[0014] Von diesem ausgangsseitigen Massenstrom $F_2 + R_2$ wird der Massenstrom $R_1 = \beta_1 F_1$ als Teilstrom abgezweigt und auf den zweiten Eingang des ersten Energieaustauschers EE1 zurückgeleitet. Der restliche Massenstrom

$F_3 = F_2 + R_2 - R_1$ vom Ausgang des zweiten Energieaustauschers EE2 gelangt auf den ersten Eingang des in der Kaskade 10 nachfolgenden dritten Energieaustauschers EE3. Auf den zweiten Eingang des dritten Energieaustauschers EE3, der einen Niederdruckeinlass 20 bildet, wird von aussen ein Gasstrom S2 als Massenstrom $R_3 = \beta_3 F_3$ mit dem niedrigsten Druck p_0 gegeben. Aus beiden Massenströmen ergibt sich am Ausgang des dritten Energieaustauschers EE3 der Massenstrom $F_3 + R_3$, von dem der Teilstrom $R_2 = \beta_2 F_2$ abgezweigt und auf den zweiten Eingang des vorangehenden Energieaustauschers EE2 zurückgeführt wird. Der restliche Massenstrom $F_4 = F_3 + R_3 - R_2$ steht am Mitteldruckauslass 22 der Kaskade 10 als Gasstrom mit reduziertem Druck p_0 (und reduzierter Temperatur) zur Verfügung. Enthält die Kaskade weitere Stufen bzw. Energieaustauscher, erfolgt die Führung der Gasströme bzw. Massenströme entsprechend.

[0015] Die grundsätzliche Situation bei einem einzelnen Strahlinjektor kann anhand der Fig. 2 betrachtet werden. Der dort dargestellte schematisierte Strahlinjektor 11 besteht aus einem zentralen Mischrohr 12, welches von links nach rechts durchströmt wird: Auf der (linken) Eingangsseite des Mischrohrs 12 sind zwei durch eine Trennwand 15 voneinander getrennte düsenartige Einlässe 13 und 14 vorgesehen. Auf der rechten Seite des Mischrohrs 12 befindet sich ein Auslass 16. In der Fig. 2 sind verschiedene, mit Indizes versehene Parameter eingetragen. Die Indizes "1", "2", "3" und "13" beziehen sich dabei auf unterschiedliche Orte innerhalb des Strahlinjektors 11. Eine zusätzlich "0" am Ende der Indizes bezeichnet einen zugehörigen stationären Zustand. Die Parameter p , T , u und α bezeichnen den Druck, die Temperatur, die Strömungsgeschwindigkeit und das Verhältnis der Querschnittsfläche des Hochdruckeinlasses 13 zur Querschnittsfläche des Mischrohrs 12. Weitere, in der Fig. 2 nicht eingezeichnete Parameter für die nachfolgende formelmässige Betrachtung sind die Dichte ρ , die Schallgeschwindigkeit c , die Machzahl M , das Verhältnis γ der spezifischen Wärmen, und die spezifische Wärme c_p bei konstantem Druck.

[0016] Für verlustfreie Strömungen durch die Einlässe 13 und 14 gilt:

$$\frac{p_{10}}{p_{13}} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_1^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}, \quad \frac{p_{30}}{p_{13}} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_3^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}. \quad (1)$$

[0017] Die Impulserhaltung über die Mischzone des Strahlinjektors 11 ergibt:

$$\rho_{13} + \alpha \rho_1 u_1^2 + (1-\alpha) \rho_3 u_3^2 = \rho_2 u_2^2. \quad (2)$$

[0018] Die Bedingung der Erhaltung der Masse kann wie folgt formuliert werden:

$$\alpha \rho_1 u_1 + (1-\alpha) \rho_3 u_3 = \rho_2 u_2, \quad (3)$$

und die Erhaltung der Energie über die Mischzone erfordert, wenn die spezifischen Wärmen als konstant angenommen werden:

$$\alpha \rho_1 u_1 T_{10} + (1-\alpha) \rho_3 u_3 T_{30} = \rho_2 u_2 T_{20}. \quad (4)$$

[0019] Weiterhin gelten die Zustandsgleichung

$$\frac{p}{\rho T} = \frac{\gamma-1}{\gamma} c_p, \quad (5)$$

und die Bedingungen für eine isentropische Strömung

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^\gamma = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \left(\frac{c}{c_0}\right)^{\frac{2\gamma}{\gamma-1}}, \quad (6)$$

um die lokalen Grössen mit den entsprechenden Grössen unter stationären Bedingungen in Beziehung zu setzen.

[0020] Auf der Basis der Gleichungen (1) bis (6) lassen sich nun die Bedingungen am Einlass und am Auslass des Strahlinjektors 11 miteinander verknüpfen. Nimmt man weiterhin, dass das Flächenverhältnis α und das Druckverhältnis

nis pro Stufe $r = p_{n+1,0}/p_{n,0}$ für alle Strahlinjektoren dieselben sind, können die Strahlinjektoren bzw. Energieaustauscher gemäss Fig. 1 zu der entsprechenden Kaskade 10 kombiniert werden. Wird der vorwärts gerichtete Massenstrom von der Stufe n zur Stufe $n+1$ mit F_n bezeichnet, und der von der Stufe $n+1$ zur Stufe n zurückgeführte Massenstrom mit R_n , ergibt die Massenerhaltung:

$$F_{n+1} = F_n + R_n - R_{n-1} . \quad (7)$$

[0021] Auf der anderen Seite führt die Lösung der Gleichungen (1) bis (6) bei vorgegebenen stationärem Druck- und Temperaturverhältnissen zu einer Beziehung der Form:

$$R_n = \beta_n F_n , \quad (8)$$

wobei der Proportionalitätsfaktor β_n ein Mass für die Effektivität der n -ten Stufe der Kaskade 10 ist. Geht man davon aus, dass die Kaskade aus N Stufen zusammengesetzt ist, müssen $N-1$ Strahlinjektoren miteinander verknüpft werden. In diesem Fall ist das Druckverhältnis zwischen dem Hochdruckeingang und dem Niederdruckeingang $r_{\text{total}} = r^N$, während das Druckverhältnis zwischen dem Ausgang und dem Niederdruckeingang r beträgt.

[0022] Bezeichnet man die stationären Temperaturen beim hohen Druck und beim niedrigen Druck mit T_{HP0} bzw. T_{LP0} , können die Verhältnisse der Massenströme bei den Hochdruckeingängen und den Niederdruckeingängen $\dot{m}_{HP}$ und $\dot{m}_{LP}$ für eine verlustfreie Energieaustauscher-Kaskade wie folgt ausgedrückt werden:

$$\frac{\dot{m}_{LP}}{\dot{m}_{HP}} = \frac{T_{HP0}}{T_{LP0}} \frac{1-r^{-(N-1)\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1} . \quad (9)$$

[0023] Die Effektivität η_E des Energieaustausches der vollständigen Kaskade 10 kann dann ausgedrückt werden durch

$$\eta_E = \left(\frac{F_N}{R_{N-1}} - 1 \right) \frac{\dot{m}_{HP}}{\dot{m}_{LP}} = \left(\frac{F_N}{R_{N-1}} - 1 \right) \frac{T_{LP0}}{T_{HP0}} \frac{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{1 - r^{-(N-1)\frac{\gamma-1}{\gamma}}} . \quad (10)$$

Beispiel:

[0024] Eine Kaskade mit 7 Strahlinjektoren ($N = 8$) hat folgende Bedingungen am Hochdruckeingang und am Niederdruckeingang:

$$p_{HP0} = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}, T_{HP0} = 480 \text{ K}, p_{LP0} = 10^5 \text{ Pa}, T_{LP0} = 288 \text{ K} . \quad (11)$$

[0025] Die unter diesen Bedingungen errechneten Ergebnisse für verschiedene Parameter sind in den Figuren 3 bis 11 wiedergegeben. Fig. 3 zeigt die berechneten stationären Temperaturen in allen Stufen der Kaskade als Funktion des Flächenverhältnisses α des einzelnen Strahlinjektors gemäss Fig. 2. Die Figuren 4 und 5 zeigen die Machzahlen der eingangsseitigen Ströme am jeweiligen Hochdruck- und Niederdruckeingang (Einlass 13 bzw. 14) des einzelnen Injektors. Fig. 6 zeigt die kumulierte Effektivität an jeder Stufe der Kaskade einschliesslich der gesamten Effektivität, die in der 7. Stufe erreicht wird. Es soll noch darauf hingewiesen werden, dass die Gültigkeit der Ergebnisse auf den Fall der unterschallschnellen Strömungen beschränkt ist. Es ist nicht ratsam, die Machzahlen (Fig. 4) wesentlich über 1 zu erhöhen. Die Prandtl-Meyer-Winkel, die aufgrund einer überschallschnellen Ausdehnung auftreten würden, würden zu einer Verschlechterung der Energieaustausch-Effektivität führen. Aus diesem Grund (siehe Fig. 4) sollte die Kaskade nahe bei $\alpha = 0,435$ ausgelegt werden, wo die gesamte Effektivität ungefähr 0,4 und das Verhältnis der Gesamt-Massenströme gemäss Fig. 7 etwa 4 beträgt.

[0026] Eine Verringerung oder Erhöhung der Anzahl der Stufen führt zu einer Verringerung bzw. Erhöhung der Kaskaden-Effektivität. Jedoch ist es kaum möglich, für ein grosses Druckverhältnis eine Kaskaden-Effektivität von mehr als 0,5 zu erreichen. Ein typischer Bereich der Effektivität, die mit einer geeigneten Anzahl von Stufen erreicht werden kann, liegt irgendwo zwischen 0,35 und 0,5. Die Geometrie bzw. Auslegung der Kaskade wird durch die Fig. 8 bis 11

festgelegt, welche die auf die Querschnittsfläche des ersten Hochdruckeinlasses der Kaskade normalisierte Querschnittsfläche des jeweiligen Hochdruckeinlasses eines Energieaustauschers (Fig. 8), des jeweiligen Niederdruckeinlasses eines Energieaustauschers (Fig. 9), der jeweiligen Mischkammer eines Energieaustauschers (Fig. 10), und des jeweiligen Auslasses für den zurückgeführten Teilstrom eines Energieaustauschers (Fig. 11) in Abhängigkeit vom Flächenverhältnis α zeigen. Es ist anzumerken, dass die Abstimmung zwischen den Auslass- und Einlassflächen aufeinanderfolgender Stufen relativ gut ist. Daher ist es nicht notwendig, viel kinetische Energie durch Abbremsen nach einem Auslass und Beschleunigen vor einem Einlass zu opfern. Die Uebergänge zwischen den Stufen können so ziemlich fließend gehalten werden.

[0027] Eine sehr einfach aufgebaute und kompakte Injektorkaskade 17 für die Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens kann gemäss Fig. 12 dadurch realisiert werden, dass eine Mehrzahl von im Durchmesser abgestuften, halbkreisförmigen Rohrsegmenten (Halbrohren) 18, 19 konzentrisch und alternierend auf beiden Seiten einer Mittelebene 26 so angeordnet werden, dass auf beiden Seiten der Mittelebene 26 zwischen aufeinanderfolgenden Rohrsegmenten jeweils ein gekrümmter Mischkanal 23-25 gebildet wird. Die Rohrsegmente 18, 19 sind so ineinander verschachtelt, dass jeder Mischkanäle auf der einen Seite der Mittelebene 26 an beiden Enden gleichzeitig mit zwei Mischkanälen auf der anderen Seite der Mittelebene 26 in Verbindung steht. Der innerste Mischkanal ist mit dem Hochdruckeinlass 21 verbunden, der äusserste Mischkanal 24 mit dem Niederdruckeinlass 20 und dem Mitteldruckauslass 22. Es versteht sich von selbst, dass die Anordnung Rohrsegmente (Halbrohre) an ihren beiden Seiten durch entsprechende Endplatten begrenzt und geschlossen ist.

[0028] Insgesamt ergibt sich mit der Erfindung eine einfache Möglichkeit, mit hoher Effizienz aus einem Hochdruck-Gasstrom einen Gasstrom mittleren Druckes zu erzeugen, die insbesondere für die Bereitstellung von Kühlluft für eine Gasturbine aus dem Kompressor geeignet ist.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0029]

10	Kaskade
11	Strahlinjektor
12	Mischrohr
13,14	Einlass
15	Trennwand
16	Auslass
17	Injektorkaskade
18,19	Rohrsegment (halbkreisförmig)
20	Niederdruckeinlass
21	Hochdruckeinlass
22	Mitteldruckauslass
23,24,25	Mischkanal
26	Mittelebene
EE1,...,EE3	Energieaustauscher
F ₁ ,...,F ₄	Massenstrom
R ₁ ,...,R ₃	Massenstrom
S ₁ ,...,S ₃	Gasstrom

Patentansprüche

- Verfahren zur Erzeugung eines dritten Gasstromes (S₃) mittleren Druckes und mittlerer Temperatur, welcher insbesondere als Kühlluft für eine Gasturbine einsetzbar ist, aus einem ersten Gasstrom (S₁) hohen Druckes und hoher Temperatur, dadurch gekennzeichnet, dass die Reduzierung durch stufenweisen Energieaustausch zwischen dem ersten Gasstrom (S₁) und einem zweiten Gasstrom (S₂) niedrigen Druckes und niedriger Temperatur in einer Kaskade (10) aus mehreren hintereinandergeschalteten Energieaustauschern (EE1,...,EE3) vorgenommen wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in jedem der Energieaustauscher (EE1,...,EE3) aus einem ersten Massenstrom (F₁,...,F₃) mit einem ersten Druck und einer ersten Temperatur und einem zweiten Massenstrom (R₁,...,R₃) mit einem zweiten Druck und einer zweiten Temperatur, welche kleiner sind als der erste Druck und die erste Temperatur, ein resultierender dritter Massenstrom (F₂,...,F₄) mit einem dritten Druck und einer dritten Temperatur erzeugt wird, welche zwischen dem ersten und zweiten Druck und der ersten und zweiten Temperatur

liegen, dass der dritte Massenstrom des zweiten und aller weiteren Energieaustauscher (EE2, EE3) jeweils in zwei Teilströme aufgeteilt wird, dass der erste Teilstrom als erster Massenstrom des innerhalb der Kaskade (10) nachfolgenden Energieaustauschers verwendet wird, dass der zweite Teilstrom (R_1 , R_2) als zweiter Massenstrom des innerhalb der Kaskade (10) vorangegangenen Energieaustauschers verwendet wird, dass der erste Gasstrom (S1) als erster Massenstrom in den ersten Energieaustauscher (EE1) eingespeist wird, dass der zweite Gasstrom (S2) als zweiter Massenstrom in den letzten Energieaustauscher (EE3) eingespeist wird, und dass der erste Teilstrom des letzten Energieaustauschers (EE3) als resultierender Gasstrom der Kaskade (10) entnommen wird.

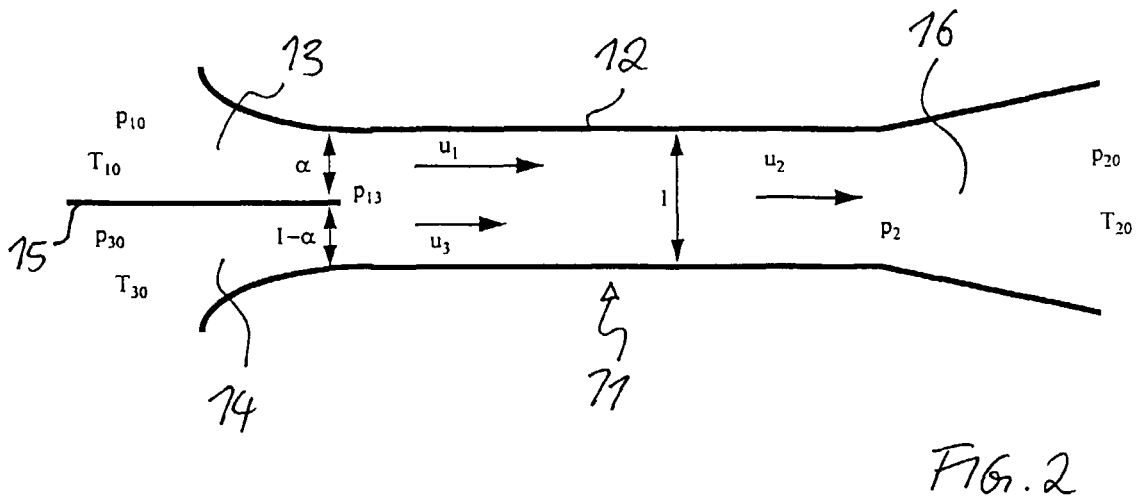
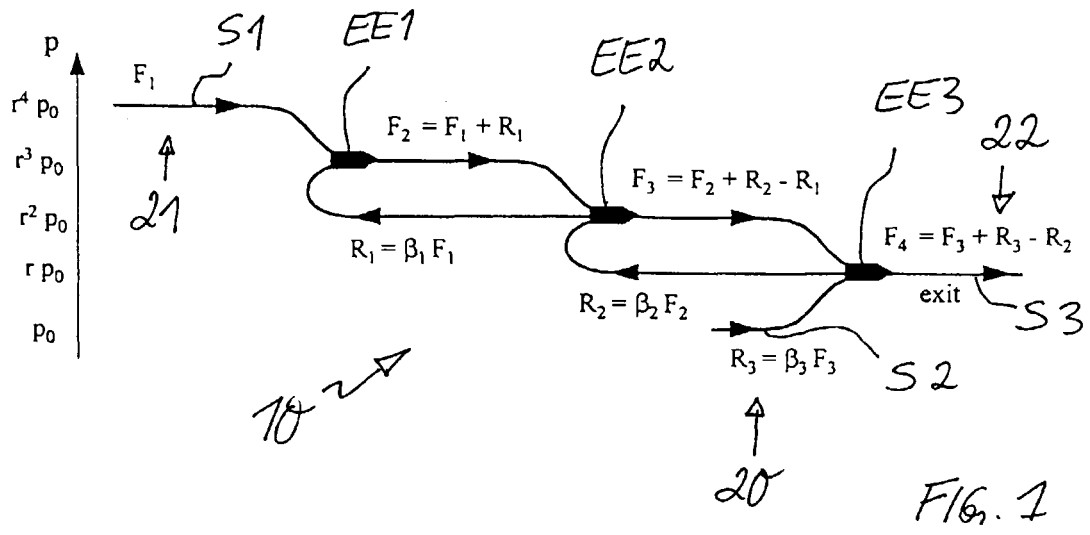
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in jedem der Energieaustauscher (EE1,...,EE3) der Kaskade (10) der erste und der zweite Massenstrom jeweils als Strahl in einen Mischraum (12, 24) eingedüst und dort zum dritten Massenstrom miteinander vermischt werden.

4. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von Energieaustauschern (EE1,...,EE3) in einer Kaskade (10) hintereinandergeschaltet sind, dass jeder der Energieaustauscher (EE1,...,EE3) zwei Eingänge und einen Ausgang aufweist, dass der Ausgang eines Energieaustauschers jeweils mit dem ersten Eingang des nachfolgenden Energieaustauschers verbunden ist, dass Mittel vorhanden sind, welche, beim zweiten Energieaustauscher beginnend, jeweils einen Teilstrom vom Ausgang eines Energieaustauschers auf den zweiten Eingang des in der Kaskade (10) vorangehenden Energieaustauschers zurückführen, dass der erste Eingang des ersten Energieaustauschers (EE1) als Hochdruckeinlass (21) zum Einspeisen des ersten Gasstromes (S1) vorgesehen ist, dass der zweite Eingang des letzten Energieaustauschers (EE3) als Niederdruckeinlass (20) zum Einspeisen des zweiten Gasstromes (S2) vorgesehen ist, und dass der Ausgang des letzten Energieaustauschers (EE3) als Mitteldruckauslass (22) zur Entnahme des dritten Gasstromes (S3) vorgesehen ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass jeder der Energieaustauscher (EE1,...,EE3) als Strahlinjektor (11) ausgebildet ist und jeweils einen von den Gasströmen durchströmten Mischraum (12, 23-25) aufweist, dass an dem Mischraum (12, 23-25) stromaufwärts zwei düsenförmige Einlässe (13, 14) vorgesehen sind, welche die beiden Eingänge des Energieaustauschers bilden, und dass an dem Mischraum (12, 23-25) stromabwärts ein Auslass (16) angeordnet ist, welcher des Ausgang des Energieaustauschers bildet.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Mischraum als Mischrohr (12) ausgebildet ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Injektorkaskade (17) aus einer Mehrzahl von im Durchmesser abgestuften halbkreisförmigen Rohrsegmenten (18, 19) aufgebaut ist, welche alternierend und konzentrisch auf den beiden Seiten einer Mittelebene (26) angeordnet und mit ihren offenen Seiten so zur Mittelebene (26) hin orientiert sind, dass die Rohrsegmente (18, 19) ineinandergreifen und zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rohrsegmenten auf derselben Seite der Mittelebene (26) jeweils Mischkanäle (24, 25) gebildet werden, welche untereinander kaskadenartig in Verbindung stehen.



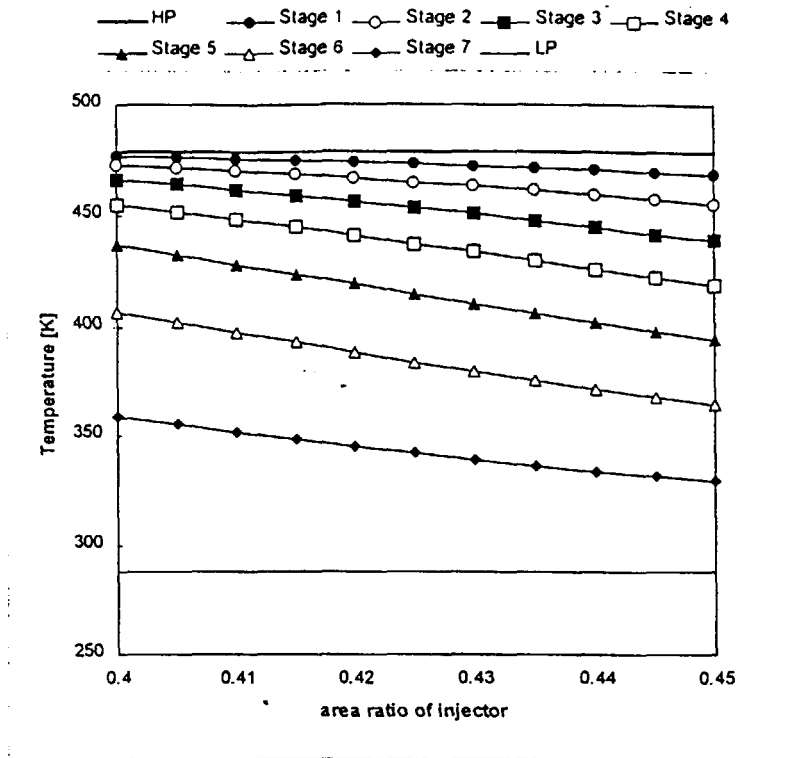


FIG. 3

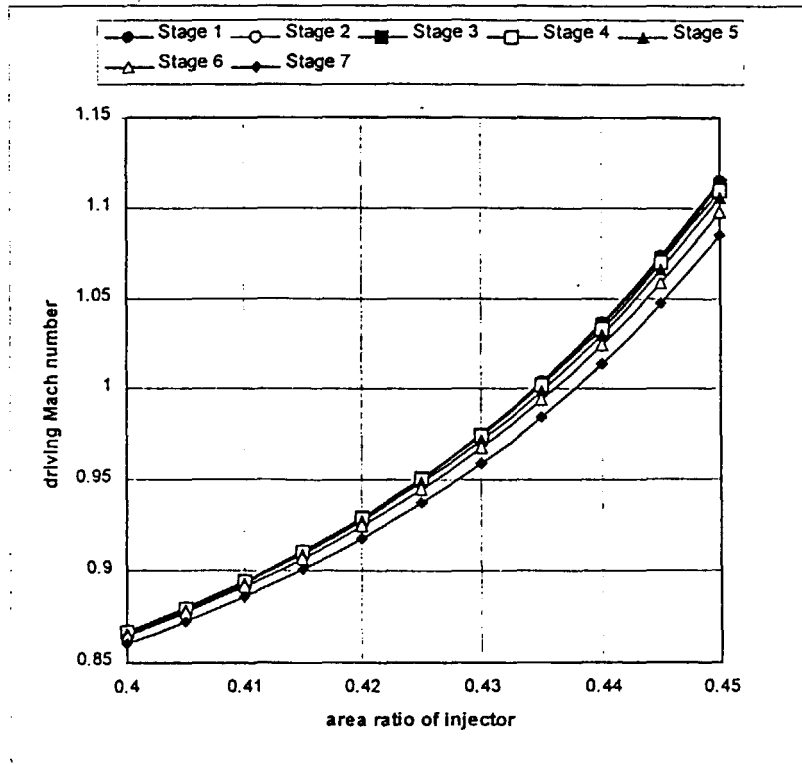


FIG. 4

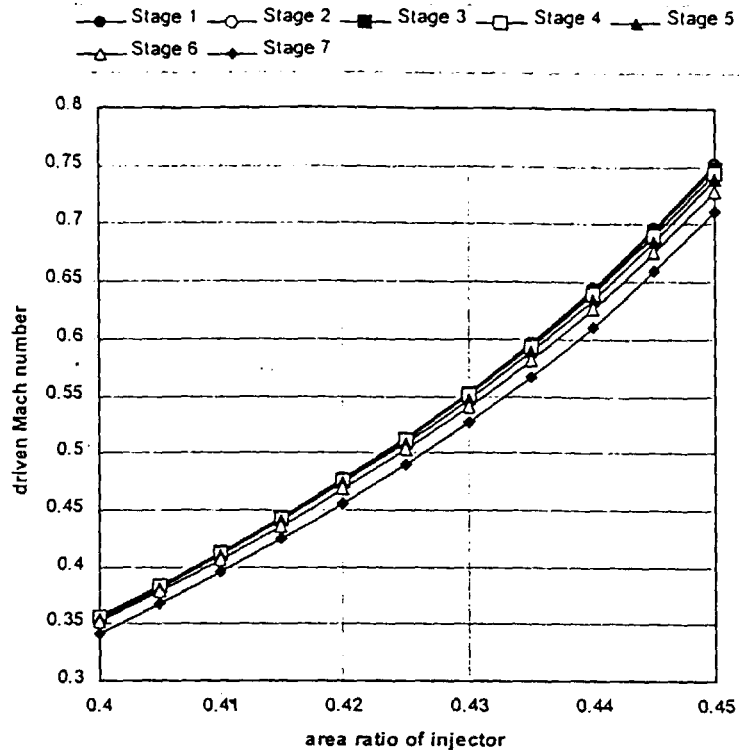


FIG. 5

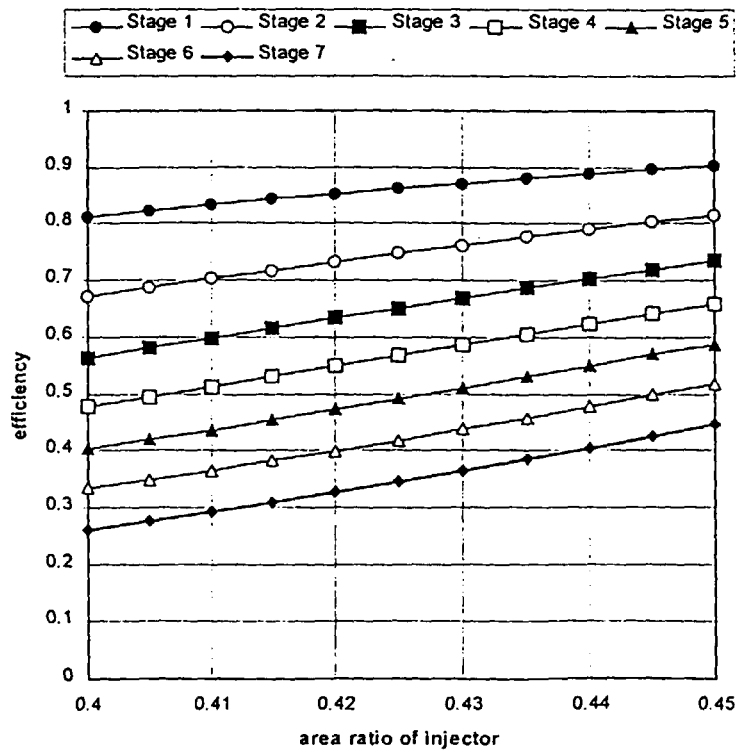


FIG. 6

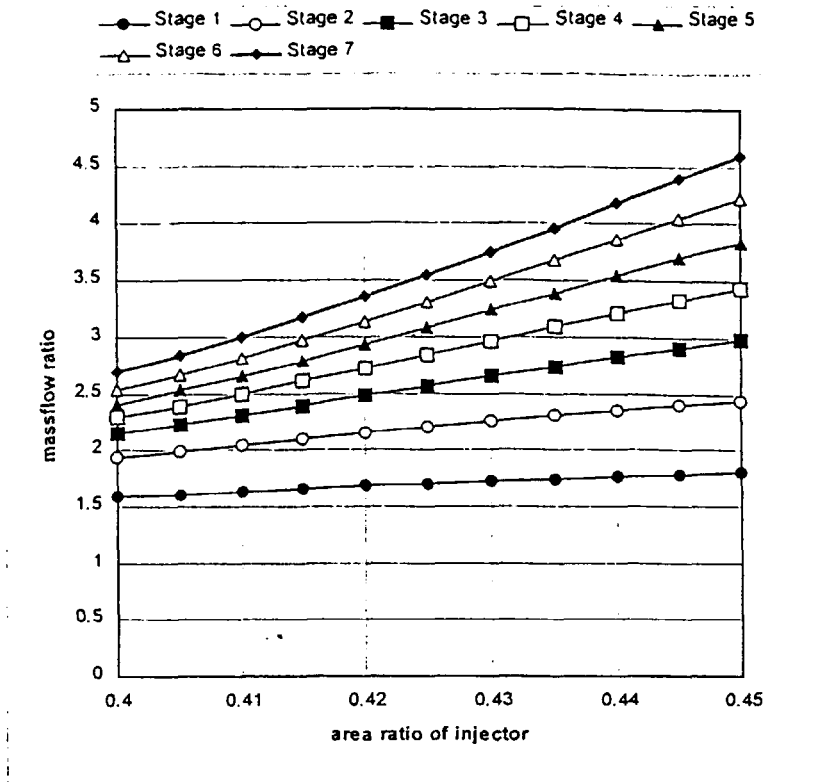


FIG. 7

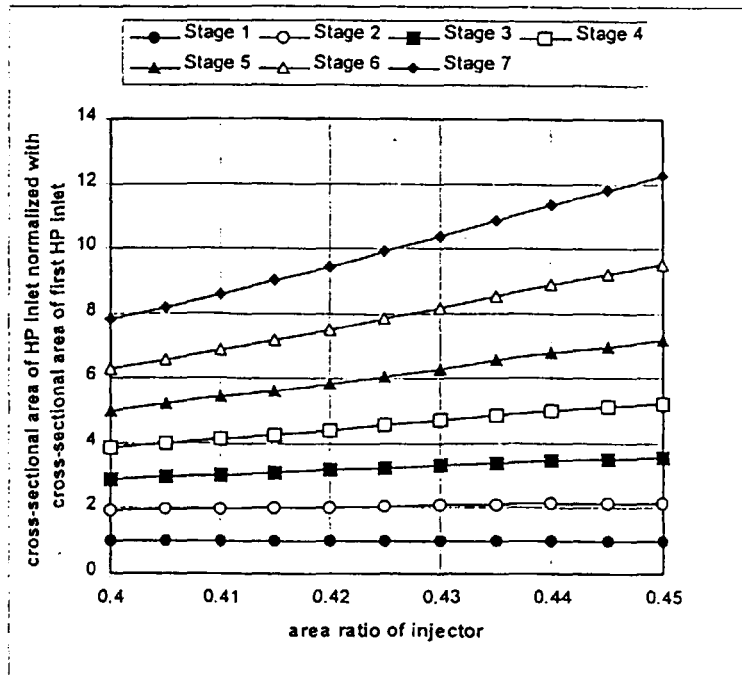


FIG. 8

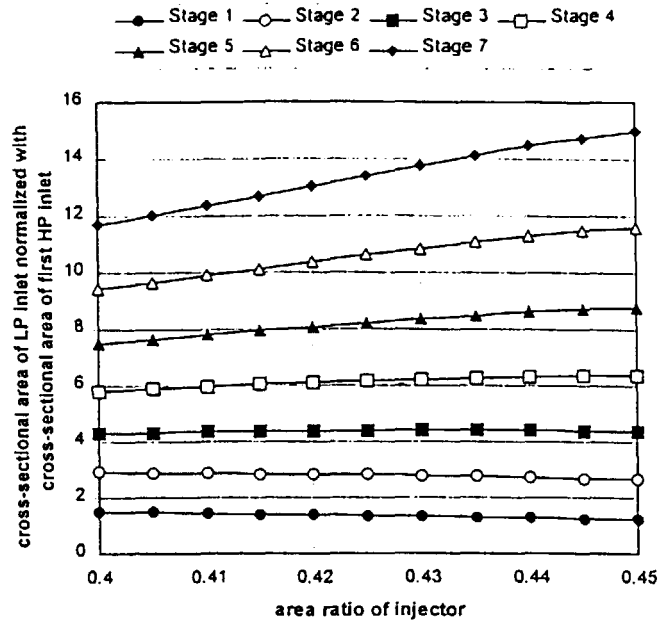


FIG. 9

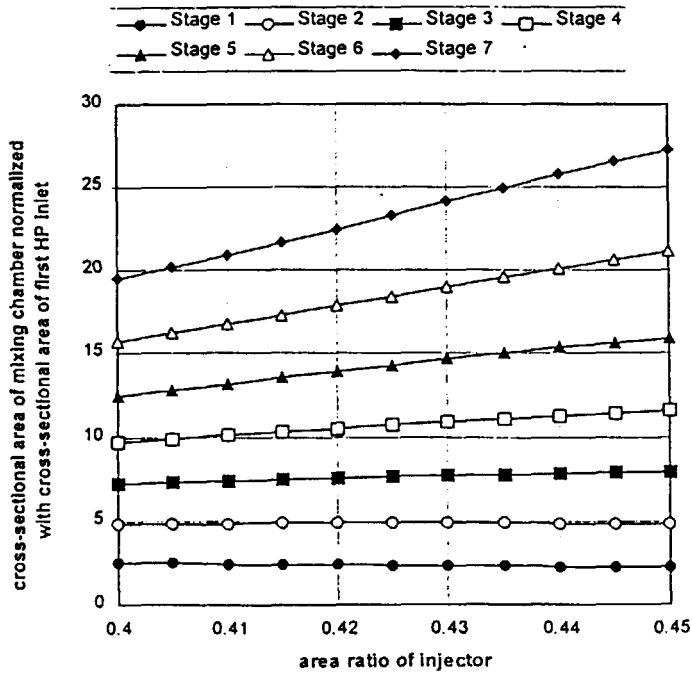


FIG. 10

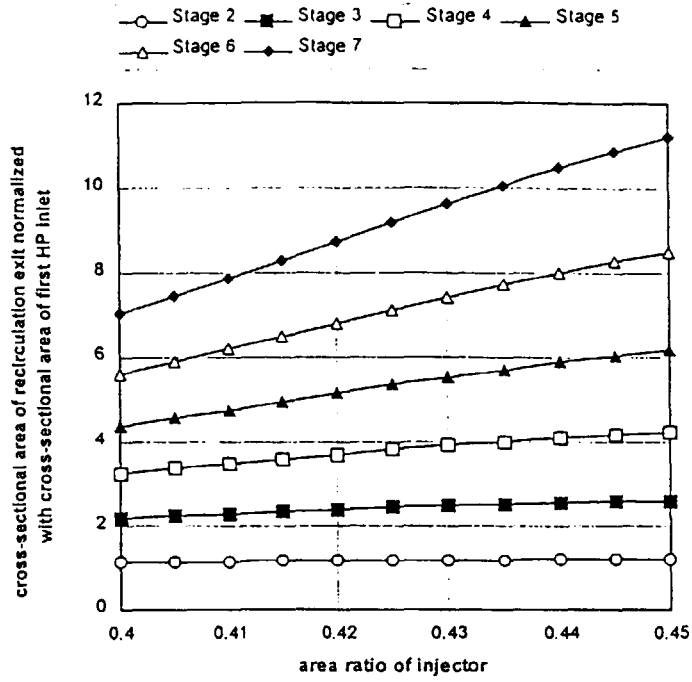


FIG. 11

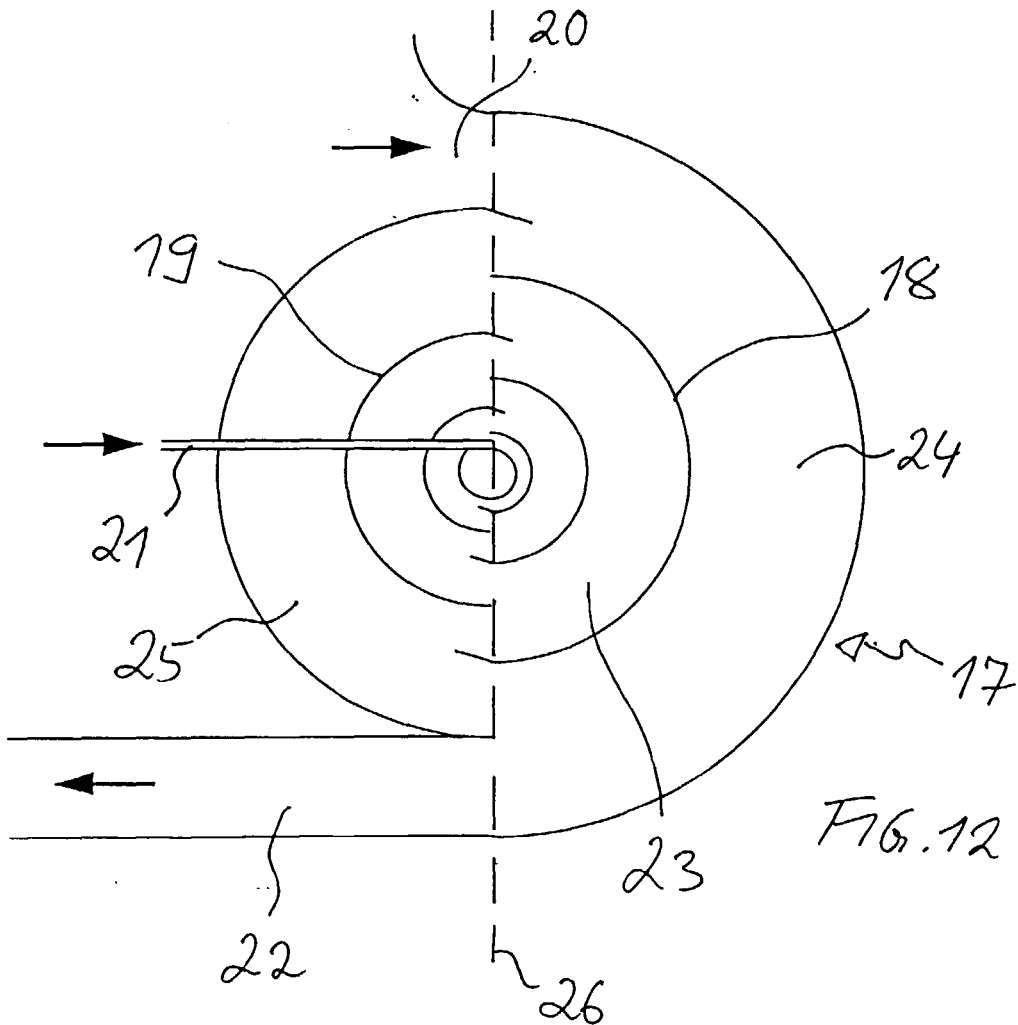


FIG. 12



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 98 81 1042

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	WO 87 04776 A (SIBBERTSEN WALTER) 13. August 1987 * Zusammenfassung; Ansprüche 1,12,13; Abbildungen 1-4 * * Seite 1, Zeile 26 - Seite 2, Zeile 12 * ---	1,4	B01F3/02
A	US 4 333 017 A (O'CONNELL JOHN J) 1. Juni 1982 * Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildungen 1-3 * * Spalte 2, Zeile 28 - Spalte 2, Zeile 54 *	1,5	
A	US 2 839 900 A (GREEN) 24. Juni 1958 * Spalte 1, Zeile 21 - Spalte 1, Zeile 63 * * Anspruch 1; Abbildung 1 * -----	1,5	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6) F02C F01D B01F F25B
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 27. April 1999	Prüfer Dugdale, G
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 : nichtschriftliche 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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 98 81 1042

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

27-04-1999

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 8704776 A	13-08-1987	DE 3603350 A	06-08-1987
		AT 48909 T	15-01-1990
		AU 6896387 A	25-08-1987
		CA 1278260 A	27-12-1990
		EP 0232782 A	19-08-1987
		JP 63502913 T	27-10-1988
		US 4818178 A	04-04-1989
US 4333017 A	01-06-1982	KEINE	
US 2839900 A	24-06-1958	KEINE	

EPO FORM P0461

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