



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) EP 0 887 555 A1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
30.12.1998 Patentblatt 1998/53

(51) Int. Cl.⁶: F04D 27/00

(21) Anmeldenummer: 98107573.2

(22) Anmeldetag: 25.04.1998

(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

(30) Priorität: 23.06.1997 DE 19726547

(71) Anmelder: BABCOCK-BSH GmbH
36251 Bad Hersfeld (DE)

(72) Erfinder:
• Bahner, Friedrich
36199 Rotenburg (DE)
• Eichhorn, Norbert
36251 Bad Hersfeld (DE)
• Möller, Wilfried
36289 Friedewald (DE)

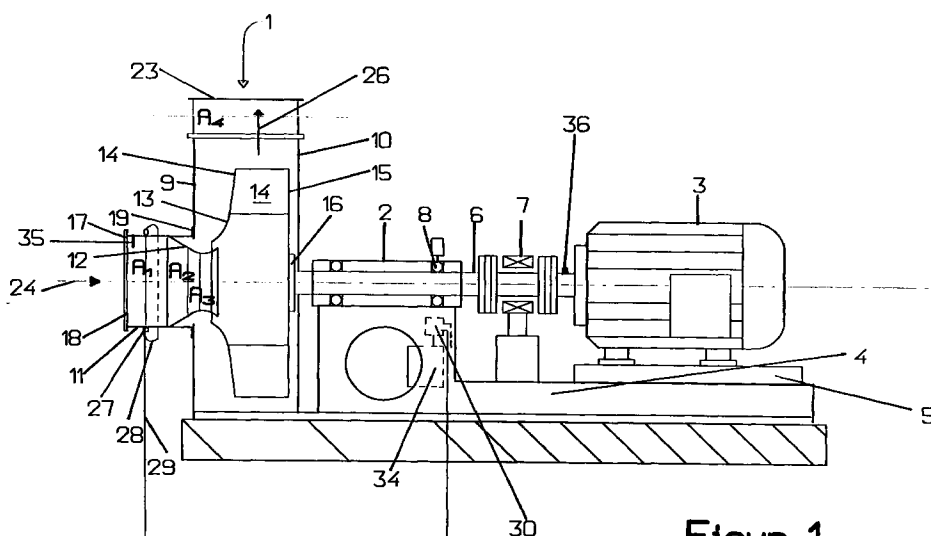
(74) Vertreter:
Frese-Göddeke, Beate, Dr. et al
Hüttenallee 237b
47800 Krefeld (DE)

(54) **Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes eines Ventilators und Ventilator**

(57) Für viele Anwendungen möchte man den Betriebspunkt, d. h. den aktuellen Volumenstrom V und die Gesamtdruckdifferenz Δp_t eines Ventilators in eingebautem Zustand und damit ohne externe Meßstelle und Eichung bestimmen können. Die Erfindung soll ein dazu geeignetes Verfahren und einen entsprechenden Ventilator entwickeln.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird aus einer gemessenen Wirkdruckdifferenz Δp_W^M ein Volu-

menstrom V und daraus über eine Betriebskennlinie ein Sollwert für die Gesamtdruckdifferenz Δp_t^S ermittelt. Aus einem Vergleich des so ermittelten Sollwertes Δp_t^S mit seinem Meßwert Δp_t^M wird der Betriebspunkt und seine Güte bestimmt. Am erfindungsgemäßen Ventilator sind dazu Meßstellen zur Messung einer oder mehrerer Wirkdruckdifferenzen Δp_W^M und die Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M angeordnet.



Figur 1

EP 0 887 555 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes eines Ventilators gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, ein Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes eines Ventilators und einen Ventilator gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 8.

Für viele Anwendungen möchte man den Betriebspunkt, d. h. den aktuellen Volumenstrom V und die Gesamtdruckdifferenz Δp_t eines Ventilators auch im eingebauten Zustand bestimmen können. In Raffinerien, in der Chemie oder in der Verfahrenstechnik ist der Volumenstrom V zur Erstellung von Stoffbilanzen erforderlich. In Kernkraftwerken sind Ventilatoren u.a. in die Sicherheitskette der Unterdruckhaltung integriert. Im Anlagen- und Apparatebau, beispielsweise bei der Spänetrocknung oder der Trocknung von Gipsplatten, verbessert die Kenntnis des Betriebspunktes der eingebauten Ventilatoren die Steuerung der Anlage oder des Apparates. Beim Einsatz von Ventilatoren in der Gebäudetechnik werden die Betriebspunkte der Ventilatoren für das Energiemanagement benötigt. Die beengten Einbauverhältnisse ermöglichen im allgemeinen keine mit Prüfstandsmessungen vergleichbaren Meßmethoden.

Aus der EP-B 0 419 798 ist ein gattungsgemäßes Verfahren und eine gattungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung des Volumenstroms eines Radialventilators bekannt. Der Radialventilator weist mindestens eine Durchströmungsöffnung begrenzende und dem zugehörigen Radiallaufrad vorgeordnete Einströmdüse auf. Zumindest teilweise an einer Meßstelle im Bereich des Innenumfanges der Einströmdüse und zwar im Bereich vor deren Durchströmöffnung ist eine als Statik-Druckmeßeinrichtung ausgebildete Meßeinrichtung angeordnet und über eine im Bereich der Meßstelle befindliche Düsenwanddurchbrechung angeschlossen.

Mit der Statik-Druckmeßeinrichtung wird der vor der Durchströmöffnung der Einströmdüse an der Meßstelle vorherrschende statische Druck gemessen und mit dem an der Umgebung des Ventilators herrschenden statischen Druck verglichen. Die Differenz der Drücke Δp ist proportional zum Quadrat des Volumenstroms V . Aus der gemessenen Differenz der Drücke Δp wird der Volumenstrom V und mit Hilfe des Volumenstroms V das Leistungsvermögen eines bereits eingebauten Ventilators ermittelt. Der Proportionalitätsfaktor hängt von der Einbausituation ab, so daß jeweils die Aufnahme einer Eichkurve erforderlich ist. In der Regel stehen in Anlagen kaum geeignete Meßstrecken zur Durchführung von Eichungen zur Verfügung, da man bestrebt ist, Anlagen so kompakt wie möglich aufzubauen. Nachteil dieses Verfahrens ist auch, daß Störungen der Zuströmung zu dem Ventilator nicht erkannt werden. Dies kann zu falschen Interpretationen der Meßergebnisse führen.

Aufgabe der Erfindung ist, ein Verfahren gemäß

dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und einen entsprechenden Ventilator gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 9 zu entwickeln, die eine Bestimmung des Betriebspunktes im eingebauten Zustand, d. h. ohne externe Meßstrecke und Eichung sowie eine Beurteilung der Güte der Bestimmung ermöglichen und eine hohe Ausfallsicherheit und damit eine hohe Betriebssicherheit gewährleisten.

Die Aufgabe ist durch die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 1 und 9 gelöst.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes eines Ventilators gemäß Anspruch 1 wird eine Wirkdruckdifferenz Δp_w^M zwischen zwei Ebenen in der Einströmdüse oder zwischen einer Ebene in der Einströmdüse und einer Stelle in der Umgebung, sowie eine Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M zwischen Saugseite und Druckseite des Ventilators und gegebenenfalls Wellenleistung P_w^M gemessen. Die Wellenleistung P_w^M ist ein gutes Maß für die zur Förderung des Gases aufgebraachte Leistung des Ventilatorlaufrades. Statt der Wellenleistung P_w^M kann auch die Motorleistung P_M^M des Motors des Ventilators gemessen und in die Wellenleistung P_w^M umgerechnet werden. Aus der Druckdifferenz Δp_w^M wird gemäß

$$V = \alpha A \sqrt{(2/\rho) \Delta p_w^M} \quad (1)$$

der Volumenstrom V ermittelt, wobei α ein aus dem Durchflußkoeffizienten α' und der Expansionszahl ε zusammengesetzter Düsenbeiwert, A der Bezugsquerschnitt der Einströmdüse und ρ die Dichte des geförderten Gases am Eintritt in den Ventilator ist. Anschließend wird aus einer vorhandenen Betriebskennlinie $\Delta p(V)$ der zum Volumenstrom V gehörende Sollwert der Gesamtdruckdifferenz Δp_t^S ermittelt und mit der gemessenen Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M verglichen. Gegebenenfalls wird auch aus einer vorhandenen Betriebskennlinie $P_w(V)$ der zum Volumenstrom V gehörende Sollwert der Wellenleistung P_w^S ermittelt und mit der gemessenen Wellenleistung P_w^M verglichen. Aufgrund der Übereinstimmung oder Abweichung der Sollwerte Δp_t^S und P_w^S den Meßwerten Δp_t^M und P_w^M wird der Betriebspunkt und seine Güte bestimmt. Stimmen einer oder beide Werte gut mit ihren Meßwerten überein, so wird der aus dem Volumenstrom V und dem Gesamtdruck Δp_t^M bestimmte Betriebspunkt mit hoher Genauigkeit bestimmt. Es wird eine entsprechende Genauigkeitsklasse zugeordnet.

Vorteil der erfindungsgemäßen Verfahrens ist, daß der Betriebspunkt des Ventilators im eingebauten Zustand mit Angabe der Genauigkeitsklassen bestimmt werden kann. Ungünstige Anströmbedingungen werden bei der Bestimmung des Betriebspunktes erkannt und führen im allgemeinen zur Ermittlung von Werten geringerer Genauigkeit. Auch unzulässige Betriebspunkte können bei diesem Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes festgestellt werden. Es werden außerdem schleichende Ausfälle und Totalausfälle der

Meßwertaufnehmer, zum Beispiel durch Zusetzen von Meßstellen, erkannt. Falscher Alarm wird vermieden und kann durch qualifizierte Warnungen abgefangen werden.

Die Sollwerte Δp_t^S und P_{W}^S werden gemäß Anspruch 2 mit Hilfe von übermittelten Konfigurationswerten, wie Nenndurchmesser D des Ventilators oder Abmessungen der Einströmdüse, und gemessenen Zustandswerten, wie dem Außendruck p_a , der Temperatur T, die Motordrehzahl n oder der Drehzahl des Ventilatorrades n^* und aus Modellkennlinien ermittelt. Modellkennlinien sind Kennlinien, die auf einem Prüfstand anhand eines Modells eines Ventilators aufgenommen und normiert sind, d. h. sie sind normierte Typenkennlinien. Es werden Modellkennlinien für die Druckziffer $\psi(\phi)$, den Wirkungsgrad $\eta(\phi)$ und ggf. die Leistungsziffer $\lambda(\phi)$ in Abhängigkeit von der Durchflußziffer ϕ hinterlegt. Die Ermittlung der Sollwerte Δp_t^S und P_{W}^S aus den Modellkennlinien $\psi(\phi)$ und $\eta(\phi)$ für einen aktuellen Einbauszustand ermöglicht den Einsatz eines Ventilators mit einem integrierten, entsprechend programmierten Mikrokontroller und einer Systemchnittstelle.

Zusätzlich zur Bestimmung des Betriebspunktes kann mit einem erfindungsgemäßen Verfahren nach Anspruch 3 eine Zustandsgröße, zum Beispiel die Dichte ρ des geförderten Gases ermittelt werden, indem neben einer Wirkdruckdifferenz Δp_{W}^M zwischen zwei Ebenen in der Einströmdüse oder zwischen einer Ebene in der Einströmdüse und einer Stelle in der Umgebung und der Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M auch die Wellenleistung P_{W}^M gemessen wird. Dabei wird nach einer Ermittlung des Volumenstromes V und des entsprechenden Wertes der Modellkennlinie $\psi(\phi)$ der zu bestimmende Zustandswert mit Hilfe des Wertes der Modellkennlinie $\psi(\phi)$ und gegebenenfalls von Konfigurations- und Zustandswerten sowie der gemessenen Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M ermittelt. Falls, wie bei der Dichte ρ , der zu bestimmende Zustandswert schon zur Ermittlung des Volumenstroms V notwendig ist, wird die Bestimmung des Volumenstromes V und des Zustandswertes in Iterationsschritten durchgeführt. Der Vergleich des aus dem ermittelten Volumenstrom V abgeleiteten Sollwert für die Wellenleistung P_{W}^S mit seinem Meßwert P_{W}^M ermöglicht die Zuordnung einer Genauigkeitsklasse.

Gemäß Anspruch 4 kann bei der Bestimmung des Volumenstromes V aus der gemessenen Druckdifferenz Δp_{W}^M die Abhängigkeit des dieser Druckdifferenz Δp_{W}^M entsprechenden Düsenbeiwertes α von der Reynoldszahl Re in Iterationsschritten berücksichtigt werden. Dazu ist mindestens eine an einer in einem Modellventilator eingebauten Modelleinströmdüse gemessene Modellkennlinie $\alpha(Re)$ hinterlegt. Bei der Bestimmung des Volumenstroms V gemäß Gleichung (1) wird im ersten Iterationsschritt ein mittlerer Düsenbeiwert α eingefügt. Aus dem im ersten Iterationsschritt ermittelten Volumenstrom V läßt sich eine Reynoldszahl Re ermit-

teln und aus der Modellkennlinie $\alpha(Re)$ ein zweiter Düsenbeiwert α ablesen. Mit dem zweiten Düsenbeiwert α wird der zweite Iterationsschritt durchgeführt. Es folgen so viele Iterationsschritte bis sich der Volumenstrom V und der Düsenbeiwert α bei einem folgenden Iterationsschritt nicht mehr ändern, d. h. bis Abweichungen der Werte folgender Iterationsschritte in vorgegebenen Grenzen bleiben. Die Berücksichtigung der in einer Modellkennlinie $\alpha(Re)$ hinterlegten Abhängigkeit des Düsenbeiwertes α von der Reynoldszahl Re und damit vom Volumenstrom V, ist besonders bei geringen Reynoldszahlen Re, bei denen eine starke Abhängigkeit des Düsenbeiwertes $\alpha(Re)$ von der Reynoldszahl gemessen wurde, von Vorteil. Sie ermöglicht eine genauere Bestimmung des Betriebspunktes, gegebenenfalls eine Zuordnung einer besseren Genauigkeitsklasse.

Gemäß Anspruch 5 können bei der Ermittlung der Sollwerte der Gesamtdruckdifferenz Δp_t^S und der Wellenleistung P_{W}^S die aus den Kennlinien ermittelten Werte in Form von vom Betriebszustand des Ventilators abhängigen Faktoren, insbesondere des Faktors k zur Berücksichtigung interner Verluste und/oder des Faktors f zur Berücksichtigung der Verdichtung des geförderten Gases auf- oder abgewertet werden. Dazu sind z. B. an mehreren Baugrößen der Typenreihe des Ventilators gemessene Kennlinien für den Faktor k in Abhängigkeit von der Umlaufgeschwindigkeit u des Ventilatorrades und Kennlinien oder Berechnungsanweisungen für den Faktor f in Abhängigkeit von der Gesamtdruckdifferenz Δp_t hinterlegt. Die Berücksichtigung dieser Auf- oder Abwertung führt zu einer noch genaueren Bestimmung des Betriebspunktes und ist zur Zuordnung einer höheren Genauigkeitsklasse notwendig.

Eine Messung zweier Wirkdruckdifferenzen $\Delta p_{w1/3}^M$ und $\Delta p_{w2/3}^M$ in der Einströmdüse gemäß Anspruch 6 ermöglicht eine Überprüfung der Güte der Anströmung und der Meßstellen. Eine Überprüfung der Güte der Anströmung erfolgt durch einen Vergleich des Verhältnisses der Druckdifferenzen $\Delta p_{w1/3}^M$ zu $\Delta p_{w2/3}^M$ mit dem bekannten Wert des Quadrates des reziproken Verhältnisses der entsprechenden Düsenbeiwerte $(\alpha_{2/3} / \alpha_{1/3})^2$. Die Bestimmung des Betriebspunktes kann mit jeder der beiden Druckdifferenzen $\Delta p_{w1/3}^M$ und $\Delta p_{w2/3}^M$ unter Verwendung der zugeordneten am Modell eines Ventilators mit Einströmdüse ermittelten und hinterlegten Durchflußbeiwerten $\alpha_{1/3}$ und $\alpha_{2/3}$ durchgeführt werden. Dabei auftretende Unterschiede deuten auf fehlerhafte Meßstellen hin.

Bei einer Messung der Druckdifferenzen in einer Ebene A1 bis A4 an vier Meßstellen kann, wie in Anspruch 7 beschrieben, der Mittelwert zur Bestimmung des Betriebspunktes des Ventilators verwendet werden.

Mit Hilfe einer Messung des statischen Druckes im Zentrum der Ebenen, die zur Messung der Wirkdruckdifferenz herangezogen werden, gemäß Anspruch 8,

kann der Charakter der Anströmung durch Vergleich des im Zentrum und an der Einströmdüse gemessenen Druckes beurteilt und bei der Zuordnung einer Genauigkeitsklasse berücksichtigt werden. Ist der Druck im Zentrum kleiner als an der Einströmdüse, so ist die Strömung drallbehaftet.

Ein Ventilator gemäß Anspruch 9 ist zur Durchführung eines Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 8, ein Ventilator gemäß Anspruch 10 ist besonders zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 2 und Ventilatoren nach den Ansprüchen 10, 11 und 12 sind besonders zur Durchführung von Verfahren nach den Ansprüchen 6, 7 und 8 geeignet.

Ein Ventilator gemäß Anspruch 9 mit einem Motor, einem Laufrad, einem Gehäuse, einer Einströmdüse, mit mindestens einer Druckmeßstelle und einer damit verbundenen Einrichtung zur Verarbeitung der Meßwerte, beispielsweise einem Mikrokontroller, weist Meßstellen zur Messung einer oder mehrerer Wirkdruckdifferenzen Δp_w^M , Meßstellen zur Messung des Gesamtdruckes Δp_t^M und ggf. eine Leistungsmeßvorrichtung zur Messung der Wellenleistung P_w^M des Ventilators auf. Dadurch wird ein Vergleich gemessener Werte Δp_t^M und P_w^M mit aus den Betriebskennlinien $\Delta p_t(V)$ und $P_w(V)$ ermittelten Sollwerte Δp_t^S und P_w^S , die aus der gemessenen Wirkdruckdifferenz Δp_w^M und dem daraus abgeleiteten Volumenstrom V ermittelt wurden, ermöglicht.

Zur Bestimmung von Zustandsdaten weist der Ventilator gemäß Anspruch 10 einfache Meßvorrichtungen, nämlich einen Drehzahlmesser, einen Temperatursensor und einen Absolutdrucksensor auf.

Gemäß Anspruch 11 weist die Einströmdüse eine weitere Ebene A2 mit Druckmeßstellen auf und gemäß Anspruch 12 sind in Ebenen A1 bis A3 in der Einlaufdüse des Radialventilators und in der Ebene A4 im Gehäuse des Ventilators auf einem Umfang jeweils vier Druckmeßstellen angeordnet. Die vier Druckmeßstellen sind beispielsweise miteinander durch eine Ringleitung verbunden. Die Ringleitungen sind mit entsprechenden Drucksensoren verbunden.

Gemäß Anspruch 13 sind in den Ebenen A1, A2 und A3 im Zentrum statische Druckentnahmestellen, z. B. jeweils eine an drei Streben befestigte statische Drucksonde, angeordnet.

Die Erfindung wird anhand eines in der Zeichnung schematisch dargestellten Beispiels weiter erläutert. Figur 1 zeigt eine seitliche Ansicht einer Anordnung eines erfindungsgemäßen Radialventilators mit seinem Motor, wobei durch ein Gehäuse des Radialventilator und eine Lagerung ein vertikaler Schnitt durch die Drehachse gelegt ist, und Figur 2 einen Schnitt senkrecht zur Drehachse durch den Radialventilator. Zur Verdeutlichung der Anordnung der Meßstellen in der Einströmdüse ist die Einströmdüse in Figur 1 etwas und in Figur 2 in stärkerem Maße parallel zur Drehachse des Ventilatorrades gestreckt.

Figur 1 zeigt einen einseitig saugenden Radialven-

tilator 1 mit einer Lagerung 2 und einem Motor 3. Die Lagerung 2 ist an als Lagerblock ausgebildeten, mit einer Öffnung versehenen Platten eines Grundrahmens 4 und der Motor 3 über eine Motorplatte 5 auf diesem Grundrahmen 4 befestigt.

Eine vom Motor 3 ausgehende Antriebswelle 6 ist durch eine an beiden Seiten angeflanschte Drehmomentmeßvorrichtung 7 zur Messung der Wellenleistung P_w^M unterbrochen. Die Antriebswelle 6 ist hinter der Drehmomentmeßvorrichtung 7 durch Lager 8 der Lagerung 2 geführt.

Der Radialventilator 1 weist ein Gehäuse, von dem in den Figuren 1 und 2 eine Deckelverschlußscheibe 9 und eine gegenüberliegende Seitenwand 10 zu sehen sind, eine hinterzogene Einströmdüse mit einem äußeren Rohrabschnitt 11 und einem inneren Düsenabschnitt 12 und ein Laufrad mit einer Deckscheibe 13, Schaufeln 14, einer Nabenscheibe 15 und einer Nabe 16 auf. In diese Nabe 16 ist die durch die Lager 8 geführte Antriebswelle 6 mit Paßsitz gesteckt.

Der Rohrabschnitt 11 weist einen äußeren Anschlußflansch 17, der die Einströmöffnung 18 begrenzt und dessen äußerer Durchmesser auch Nenndurchmesser des Radialventilators genannt wird, und einen inneren Anschlußflansch 19, an dem die Einströmdüse an der Deckelverschlußscheibe 9 befestigt ist, auf. Der Düsenabschnitt 12 der Einströmdüse ist, wie in Figur 2 deutlicher zu sehen, am zum Laufrad weisenden inneren Ende des Rohrabschnittes 11 ein wenig in diesen eingeschoben und nahtlos mit ihm verschweißt. Die Einströmdüse wird beim Befestigen ihres inneren Anschlußflansches 19 zusammen mit der Deckscheibe 13 des Laufrades und damit mit dem Laufrad zentriert.

Der Düsenabschnitt 12 der Einströmdüse weist ausgehend vom Rohrabschnitt 11 einen Einlaufkegel 20 und einen Kreisbogenabschnitt 21, der einen Düsenhals und einen Diffusor bildet und dessen engster Durchmesser sich etwa in seiner Mitte befindet, auf. Die axiale Erstreckung des Einlaufkegels 20 ist etwa halb so groß wie die des Kreisbogenabschnittes 21. Der Einlaufkegel 20 schließt tangential an den Kreisbogenabschnitt 21 an.

Das innere Ende des Kreisbogenabschnittes 21 ragt in die Deckscheibe 13. Zwischen Kreisbogenabschnitt 21 des Düsenabschnittes 12 und Deckscheibe 13 bleibt ein kleiner umlaufender, durch die Zentrierung der Einströmdüse mit der Deckscheibe 13 konstant breiter Luftspalt 22 frei.

Das Gehäuse des Radialventilators weist eine rechteckige Ausströmöffnung 23 auf, die senkrecht zur Einströmöffnung 18 angeordnet ist und von der Deckelverschlußscheibe 9 und der Seitenwand 10 sowie einem nicht zu sehenden Gehäusemantel begrenzt ist. Die Querschnittflächen der rechteckigen Ausströmöffnung 23 und der runden Einströmöffnung 18 sind gleich groß.

Im Rohrabschnitt 11 der Einlaufdüse befinden sich

in seiner äußeren Hälfte in einer Ebene A1 senkrecht zur Einströmrichtung 24 vier gleichmäßig am Umfang verteilte Durchbohrungen 25. Die Positionen der Durchbohrungen 25 sind an der Ausblasrichtung 26 orientiert. Die Durchbohrungen 25 sind entweder parallel zur Ausströmrichtung 26 oder senkrecht dazu angeordnet. Die Durchbohrungen 25 können auch so angeordnet sein, daß ein sich über einen Winkel von 60° erstreckender Umfangsbereich der Einströmdüse, gemessen entgegen der Spiralöffnung ausgehend von der die Längsachse des Gehäuseaustritts rechtwinklig kreuzenden, sich radial bezüglich der Düsen-Längsachse erstreckenden Radialachse oder -linie frei von Durchbohrungen bleibt. Eine Durchbohrung 25 könnte dabei im Umfangsbereich in Richtung der Spiralöffnung ausgehend von der oben genannten Radiallinie versetzt angeordnet sein. Der Durchmesser der Durchbohrungen 25 beträgt 2 bis 4 mm, hier 3 mm. Die Durchbohrungen 25 sind zur Innenwand scharfkantig und entgratet. Die Durchbohrungen 25 sind außen von Rohrnippeln 27, die gasdicht mit dem Rohrabschnitt 11 verbunden sind, überkragt. Der Außendurchmesser der Rohrnippel 27 beträgt beispielsweise 6 mm. Die vier Rohrnippel 27 sind untereinander durch eine Ringleitung 28 verbunden. Von der Ringleitung 28 führt eine Verbindungsleitung 29 zu einem außerhalb der Einströmdüse, und zwar am Grundrahmens 5 unterhalb der Lagerung 2 zwischen den beiden Platten in geschützter Position angeordneten Drucksensor 30.

Im Düsenabschnitt 12 sind in einer zur Ebene A1 parallelen Ebene A2, die sich im Einlaufkegel 20 in der Nähe des Übergangs zum Kreisbogenabschnitt 21 befindet, und in einer Ebene A3 am engsten Durchmesser der Kreisbogenabschnitt 21 ebenfalls jeweils vier, an denselben Winkeln am Umfang wie die Durchbohrungen 25 angeordnete Durchbohrungen 31, 32. Diese Durchbohrungen 31, 32 sind jeweils mit Rohrnippeln, einer Ringleitung, einer Verbindungsleitung versehen. Die Rohrnippel, die Ring- und die Verbindungsleitungen sind nicht eingezeichnet.

Die Verbindungsleitung der Durchbohrungen 32 der Ebene A3 ist auch an den als Differenzdrucksensor ausgebildeten Drucksensor 30 angeschlossen. In der Nähe des Drucksensor 30 befindet sich ein weitere, ebenfalls als Differenzdrucksensor ausgebildeter (nicht eingezeichneter) Drucksensor, an den die Verbindungsleitung der Durchbohrungen 31 der Ebene A2 und die Verbindungsleitung der Durchbohrungen 32 der Ebene A3 angeschlossen sind.

In einer Ebene A4 senkrecht zur Ausströmrichtung 26 und in der Nähe der Ausblasöffnung 22 (im geraden Endbereich des Gehäusesmantels) sind weitere vier, gleichmäßig am Umfang verteilte Durchbohrungen 33, die mit Rohrnippeln, einer Ringleitung, einer Verbindungsleitung versehen sind, angeordnet. Die Rohrnippel, die Ring- und die Verbindungsleitungen sind nicht eingezeichnet. Die Verbindungsleitung ist an einem in der Nähe des Drucksensors 30 angeordneten

und als Differenzdrucksensor ausgebildeter (nicht eingezeichneter) Drucksensor angeschlossen. An diesen Drucksensor ist auch die Verbindungsleitung der Durchbohrungen 25 der Ebene A1 angeschlossen.

In der Nähe des Drucksensors 30 ist ein (nicht eingezeichneter) Absolutdrucksensor zur Messung des Umgebungsdrucks P_a angeordnet. In diesem geschützten Bereich ist auch ein Schaltkasten 34, in dem sich ein Mikrokontroller, Einrichtungen zur Signalkonditionierung, wie Frequenzwandler und Verstärker, und eine Leistungsversorgung, z. B. eine Batterie befinden, angeordnet. Der Mikrokontroller ist über eine BUS-Leitung mit einer Datenverarbeitungseinrichtung, zum Beispiel einem PC, verbunden. Die an die Ebenen A1 bis A4 angeschlossenen Drucksensoren 30 und der Absolutdrucksensor zur Messung des Umgebungsdrucks P_a sind an die mit dem Mikrokontroller verbundenen Einrichtungen zur Signalkonditionierung angeschlossen.

In der Einströmdüse im Rohrabschnitt 11 ist ein Temperatursensor 35 und an der Antriebswelle 6 ein Drehzahlsensor 36, die jeweils durch eine Leitung über das Interface mit dem im Schaltkasten 34 befindlichen Mikrokontroller verbunden sind, angeordnet. Der Drehzahlsensor 36 kann auch am Laufrad des Radialventilators 1 angeordnet sein. Auch die Drehmomentmeßeinrichtung 7 ist über eine Leitung (nicht eingezeichnet) und das Interface mit dem Mikrokontroller verbunden. Der Nenndurchmesser D des Radialventilators 1 ist 800 mm, der Durchmesser des äußeren Anschlußflansches 17 beträgt 800 mm, der Innendurchmesser 788 mm, der engste Durchmesser des Düsenabschnitts 11 577 mm, der Durchmesser der Deckscheibe 12 des Laufrades 629 mm, die axiale Länge des Rohrabschnitts 10 der Einströmdüse 180 mm und die des Düsenabschnitts 12 261 mm. Der Kreisbogenabschnitt 20 entspricht einem Kreisbogen von 72° mit einem Radius von 150 mm. Der Winkel zwischen Rohrabschnitt 10 und dem Einlaufkegel 19 des Düsenabschnitts 11 beträgt 36°. Die Flächenverhältnisse $A1 : A2 : A3$ betragen $1 : 0,81 : 0,52$.

Jeweils im Zentrum der Ebenen A1 bis A3 sind statische Druckentnahmestellen, wobei nur die statische Druckentnahmestelle 37 der Ebene A1 in Figur 2 eingezeichnet ist, angeordnet. Die statische Druckentnahmestelle 37 ist als eine an drei Streben befestigte statische Drucksonde ausgebildet.

Der Speicher des Mikrokontrollers enthält normierte Typenkennlinien $\psi(\phi)$, $\eta(\phi)$, ggf. auch $\lambda(\phi)$, auch Modellkennlinien genannt, für die Typenreihe des Radialventilators 1. Dabei ist ϕ die Durchflaußziffer, $\psi(\phi)$ die Druckziffer, $\eta(\phi)$ der Wirkungsgrad und $\lambda(\phi)$ die Lieferziffer. Die Typenkennlinien wurden aus Prüfstandskennlinien, die für einen geometrisch ähnlichen Modellradialventilator, zum Beispiel mit dem Nenndurchmesser von 400 mm, ermittelt wurden, abgeleitet. Außerdem enthält der Speicher des Mikrokontrollers von der Reynoldzahl Re abhängige dimensionslose Düsenbeiwerte $\alpha(Re)$ für Differenzdrücke zwischen den

Ebenen A1 und A3 und zwischen den Ebenen A2 und A3, und damit Kennlinien für die Einlaufdüse. Diese Durchflußbeiwerte $\alpha(\text{Re})$ wurden von Messungen in einer im Modellradialventilator eingebauten geometrisch ähnlichen Einbaudüse abgeleitet.

Im Speicher sind Kennlinien für den Faktor k zur Berücksichtigung interner Verluste in Abhängigkeit von der Umlaufgeschwindigkeit des Radialventilators 1, die an mehreren Baugrößen der Typenreihe des Radialventilators 1 gemessen wurden, sowie Berechnungsanweisungen für den Faktor f zur Berücksichtigung der Verdichtung des geförderten Gases in Abhängigkeit von der Gesamtdruckdifferenz Δp_t hinterlegt.

Der Speicher des Mikrokontrollers enthält außerdem Konfigurationswerte, wie den Nenndurchmesser D (800 mm), die Einbausituation, die Gasart und die Feststoffbelastung.

Bei einer Variante eines erfindungsgemäßen Radialventilators können in den Ebenen 1, 2, 3 und 4 statt vier Durchbohrungen jeweils nur eine Durchbohrung angebracht sein. Diese Durchbohrung sollte, zum Beispiel zur Vermeidung von Verstopfung durch Kondenswasser, bei den Ebenen 1, 2 und 3 in der oberen Hälfte der Einströmdüse angeordnet sein.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes werden zunächst die Meßwerte für die Druckdifferenz $\Delta p_{w1/3}^M$, gegebenenfalls die Druckdifferenz $\Delta p_{w2/3}^M$, die Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M und gegebenenfalls die Wellenleistung $P_{S_W}^M$ sowie die Meßwerte der Zustandswerte, zum Beispiel des Außendruckes p_a , der Temperatur T , der Drehzahl n des Motors 3 oder des Ventilatorrades n^* , erzeugt.

Der Meßwert für die Wellenleistung $P_{S_W}^M$ wird bei vorhandener Drehmomentmeßeinrichtung 7 aus dem gemessenen Drehmoment M^M berechnet.

Falls neben der ersten Druckdifferenz $\Delta p_{w1/3}^M$ in der Einströmdüse auch eine zweite Druckdifferenz $\Delta p_{w2/3}^M$ gemessen wird, kann das Verhältnis der Druckdifferenzen $\Delta p_{w1/3}^M / \Delta p_{w2/3}^M$ mit dem Quadrat des reziproken Verhältnisses der entsprechenden, mittleren Düsenbeiwerte $(\alpha_{2/3} / \alpha_{1/3})^2$ verglichen werden. Eine Übereinstimmung innerhalb von $\pm 10\%$ deutet auf eine ausreichend ungestörte Strömung in der Einströmdüse und funktionierende Meßstellen, d.h. hier auf freie Durchbohrungen 25, 31, 32, hin.

In diesem Beispiel wird der Volumenstrom V gemäß Gleichung (1) aus der Wirkdruckdifferenz $\Delta p_{w1/3}^M$ ermittelt. Nach dem Wirkdruckverfahren gilt:

$$V = \alpha_{1/3} A_3 \sqrt{((2/\rho) \Delta p_{w1/3}^M)} \quad (1a)$$

wobei $\alpha_{1/3}$ der Düsenbeiwert für die Strömungsverhältnisse zwischen den Ebenen A1 und A3 in der Einströmdüse, A_3 der Querschnitt der Einströmdüse in der Meßebebene A3 und ρ die Dichte des geförderten Gases ist. A_3 ist als einer der Konfigurationswerte bekannt. Die Dichte ρ kann bei der Förderung von Luft aus der in der Einströmdüse gemessenen Temperatur T und dem

gemessenen Außendruck p_a ermittelt werden.

Der Volumenstrom V könnte auch aus der Druckdifferenz $\Delta p_{w2/3}^M$ mit dem entsprechenden Düsenbeiwert $\alpha_{2/3}$ ermittelt werden.

Die Abhängigkeit der Düsenbeiwerte $\alpha_{1/3}$ und $\alpha_{2/3}$ von der Reynoldszahl Re kann berücksichtigt werden, indem die Bestimmung des Volumenstromes V mit einem mittleren Düsenbeiwert α begonnen wird, aus dem ermittelten Volumenstrom V eine Reynoldszahl Re berechnet wird und der dazugehörige Düsenbeiwert α zur erneuten Bestimmung des Volumenstromes V genommen wird. Zur Berechnung der Reynoldszahl Re werden die Konfigurationswerte Einlaufquerschnitt A_D , Nenndurchmesser D sowie die Viskosität ν des geförderten Gases, hier der Luft, benötigt. Nach wenigen Iterationsschritten erhält man übereinstimmende Werte für den Volumenstrom V und den entsprechenden Düsenbeiwert α .

Aus dem so ermittelten Volumenstrom V lassen sich mit Hilfe des Konfigurationswertes Einlaufquerschnitt A_D sowie der aus dem Zustandswert der Drehzahl n des Motors 3 oder des Ventilatorrades n^* und mit Hilfe weiterer Konfigurationswerte berechneten Umlaufgeschwindigkeit u des Ventilatorrades die Durchflußziffer ϕ und aus der Modellkennlinie die Druckziffer $\psi(\phi)$ ermitteln.

Zur Berücksichtigung der vom Betriebszustand des Radialventilators abhängigen internen Verlusten des Radialventilator und/oder der Verdichtung des geförderten Gases können zur genauen Ermittlung des Betriebspunktes die Werte der Modellkennlinien auf- oder abgewertet werden. Zur Berücksichtigung der internen Verluste wird die gemessene Abhängigkeit eines Auf- bzw. Abwertungsfaktor k ($<$ oder $>$ 1) von einer von der Umlaufgeschwindigkeit u des Ventilatorrades, dem Nenndurchmesser D und der Viskosität ν abhängigen Größe herangezogen. Zur Berücksichtigung der Verdichtung des geförderten Gases wird ein Auf- oder Abwertungsfaktor f in Abhängigkeit von der gemessenen Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M herangezogen.

Mit Hilfe der so ermittelten Faktoren k und f wird der aus der Modellkennlinie $\psi(\phi)$ abgeleitete Wert ψ der Druckziffer auf- oder abgewertet und zur Ermittlung des Sollwertes der Gesamtdruckdifferenz Δp_t^S gemäß Gleichung (2) eingesetzt. Dazu wird die Dichte ρ sowie die Umlaufgeschwindigkeit des Ventilatorrades u benötigt.

$$\Delta p_t^S = k f \psi(\rho/2) u \quad (2)$$

Diese Gesamtdruckdifferenz Δp_t^S wird mit der gemessenen Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M verglichen. Bei einer guten Übereinstimmung, $< 2\%$, kann schon auf eine Bestimmung des Betriebspunktes, d. h. des Volumenstromes V und der Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M , mit einer hohen Genauigkeitsklasse geschlossen werden.

Falls auch die Wellenleistung $P_{S_W}^M$ des Radialventi-

lators gemessen wurde, kann aus dem ermittelten Volumenstrom V und der daraus abgeleiteten Druckziffer ϕ ein Wert für den Wirkungsgrad $\eta(\phi)$ aus der Modellkennlinie abgelesen werden. Auch dieser Wert wird gegebenenfalls durch die Faktoren k und f auf- oder abgewertet. Der Sollwert für die Wellenleistung P_{W}^S ergibt sich aus dem Volumenstrom V , der Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M dem Wert für den Wirkungsgrad $\eta(\phi)$ und ggf. den Faktor k und f . Dieser Wert P_{W}^S wird zur Beurteilung der Güte der Betriebspunktbestimmung mit der gemessenen Wellenleistung P_{W}^M verglichen.

Wird die Leistung mit einer Drehmomentmeßvorrichtung gemessen, so wird das gemessene Drehmoment M^M in die Wellenleistung P_{W}^M umgerechnet. Eine gute Übereinstimmung ($< 2\%$ Abweichung) deutet auf eine hohe Genauigkeitsklasse hin.

Statt einer Drehmomentmeßeinrichtung 7 kann auch eine Meßeinrichtung für die Motorleistung P_M^M mit Einrichtungen zum Messen des durch den Motor 3 aufgenommenen Stromes I^M , der Versorgungsspannung U und des Leistungsfaktors $\cos\phi$ eingesetzt werden. Der Meßwert für die Motorleistung P_M^M wird aus der Stromaufnahme I^M des Motors 3, der Spannung U , dem Leistungsfaktor $\cos\phi$ und dem Wirkungsgrad η_m des Motors 3 berechnet und mit Hilfe eines ebenfalls hinterlegten Wirkungsgrades η_a in die Wellenleistung P_{W}^M umgerechnet. Wegen der nur annähernd bekannten Wirkungsgrade η_m kann bei einer Übereinstimmung ausschließlich des Meß- und des Sollwertes P_{W}^M und P_{W}^S nur eine geringere Genauigkeitsklasse zugeordnet werden.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes und einer Zustandsgröße, nämlich der Dichte ρ des geförderten Gases, unterscheidet sich von dem oben beschriebenen Verfahren darin, daß die Bestimmung des Volumenstroms V und der Dichte ρ mit Hilfe einer der Druckdifferenzen $\Delta p_{w\ 1/3}^M$ oder $\Delta p_{w\ 2/3}^M$ und der Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M in mehreren Iterationsschritten durchgeführt wird. Im ersten Iterationsschritt wird mit einer, zum Beispiel aus der Temperatur T und dem Außendruck P_a berechneten, Anfangsdichte ρ begonnen. Die Abhängigkeit des Düsenbeiwertes $\alpha_{1/3}$ oder $\alpha_{2/3}$ von der Reynoldszahl Re wird durch Iteration in jedem Iterationsschritt berücksichtigt.

Als Ergebnis erhält man einen Volumenstrom V , eine entsprechende Durchflußziffer ϕ , Faktoren k , f und die Dichte ρ , aus der ggf. die Luftfeuchte berechnet werden kann. Zur Beurteilung der Güte dieses Ergebnisses wird, wie bereits beschrieben, aus dem vorhandenen Werten die Wellenleistung P_{W}^S ermittelt und mit der gemessenen Wellenleistung P_{W}^M verglichen und eine Genauigkeitsklasse zugewiesen.

Im folgenden sind einige Einbaubeispiele erfindungsgemäßer Radialventilatoren beschrieben. Die Einbausituation ist nicht in der Zeichnung dargestellt.

Einbaubeispiel 1:

Ein erfindungsgemäßer Radialventilator mit einem Nenndurchmesser von 800 mm ist in einer Anlage, die den Staub einer Hobel- und Schleifstraße absaugt, eingebaut. Die Einströmdüse des Radialventilators ist an einen geraden Rohrabchnitt mit einem Durchmesser von 800 mm und einer Länge von 5 m angeflanscht. Vor der Ausströmöffnung 23 ist ein Rechteckkanal und daran über ein Überleitungselement ein zu einem Filter führendes Rohr (mit Regelklappe) angeschlossen.

Der Radialventilator weist statt einer Drehmomentmeßeinrichtung eine Meßeinrichtung für die Motorleistung P_M^M mit Einrichtungen zum Messen des Stromes I , der Spannung U und des Leistungsfaktors $\cos\phi$ auf. Außerdem sind zur Ermittlung der gemessenen Wellenleistung P_{W}^M der Konfigurationwert Wirkungsgrad η_m des Motors 3 und der Wirkungsgrad η_a im Mikrokontroller gespeichert.

Im Betrieb liegen folgende Meßwerte vor:

der Umgebungsdruck P_a , die Temperatur T in der Einströmdüse,
die Drehzahl n^* des Ventilatorrades,
der Differenzdruck $\Delta p_{w\ 1/3}^M$ zwischen den Ebenen A1 und A2,
der Differenzdruck $\Delta p_{w\ 2/3}^M$ zwischen den Ebenen A2 und A3,
die Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M zwischen den Ebenen A1 und A4,
die Stromaufnahme I^M des Motors 3, die Versorgungsspannung U des Motors 3 und der Leistungsfaktor $\cos\phi$.

Die Einbausituation dieses Radialventilators 1 mit einem Rohrabchnitt einer um mehr als 5-fach größeren Länge (5 m) als der Einströmdurchmesser (0,8 m) läßt eine gleichmäßige Anströmung vermuten. Eine Überprüfung der Anströmung durch Vergleich der Verhältnisse der Differenzdrücke $\Delta p_{w\ 1/3}^M / \Delta p_{w\ 2/3}^M$ mit dem bekannten Quadrat des reziproken Verhältnisses der entsprechenden Düsenbeiwerte $(\alpha_{2/3} / \alpha_{1/3})^2$ kann zusätzlich zur Überprüfung der Meßstellen durchgeführt werden.

Der Volumenstrom V wird gemäß Gleichung (1a) aus dem Differenzdruck $\Delta p_{w\ 1/3}^M$ ermittelt, wobei die dazu benötigte Dichte ρ aus der gemessenen Temperatur T und dem gemessenen Außendruck P_a berechnet wird. Die in der Modellkennlinie ermittelte Abhängigkeit des Düsenbeiwertes $\alpha_{1/3}$ von der Reynoldszahl Re wird durch eine iterative Bestimmung des Volumens V und des Düsenbeiwertes $\alpha_{1/3}$, beginnend mit einem mittleren Düsenbeiwert $\alpha_{1/3}$, berücksichtigt.

Aus diesem Volumenstrom V wird mit Hilfe von Konfigurations- und Zustandswerten die Durchflußziffer ϕ und aus der Modellkennlinie die Druckziffer $\psi(\phi)$ ermittelt. Dieser Wert wird durch die ermittelten Faktoren k und f auf- oder abgewertet und zur Ermittlung des

Sollwertes der Gesamtdruckdifferenz Δp_t^S eingesetzt.

Diese Gesamtdruckdifferenz Δp_t^S wird mit der gemessenen Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M verglichen. Die Abweichung der beiden Werte beträgt 0,8 %. Für die Förderung eines unbeladenen Gasstromes könnte schon aufgrund dieser Übereinstimmung auf eine Bestimmung des Betriebspunktes hoher Genauigkeitsklasse geschlossen werden.

In diesem Einbaubeispiel wird zusätzlich aus der oben ermittelten Durchflußziffer ϕ ein Wert für den Wirkungsgrad $\eta(\phi)$ aus der Modellkennlinie abgelesen und durch die Faktoren k und f auf- oder abgewertet. Aus diesem Wert wird der Sollwert der Wellenleistung P_W^S berechnet und mit dem aus der gemessenen Stromaufnahme I^M mit Hilfe der Betriebsspannung U , dem Leistungsfaktor $\cos \Phi$, dem Wirkungsgrad des Motors η_m und dem Wirkungsgrad η_a ermittelten Wert für die Wellenleistung P_W^M verglichen. Die gemessene Wellenleistung P_W^M liegt um 5,6 % über dem aus dem Volumenstrom V abgeleiteten Sollwert der Wellenleistung P_W^S . Der etwas höhere Wert der gemessene Wellenleistung P_W^M könnte auf die zusätzliche Feststoffförderung aufgrund des Hobel- und Schleifstaubs zurückzuführen sein. Außerdem ist die Bestimmung der gemessenen Wellenleistung P_W^M über die Stromaufnahme M wegen des nur annähernd bekannten Wirkungsgrades weniger genau.

Die gering höhere gemessene Wellenleistung P_W^M im Vergleich zum Sollwert P_W^S macht die gute Übereinstimmung der Gesamtdruckwerte Δp_t^S und Δp_t^M plausibel. Der Bestimmung des Betriebspunktes kann eine Genauigkeitsklasse von 0 bis 1 zugeordnet werden.

Einbaubeispiel 2:

Bestimmung des Betriebspunktes und der Dichte ρ

Ein erfindungsgemäßer Radialventilator 1 ebenfalls mit einem Nenndurchmesser von 800 mm ist in einer Trocknungsanlage zur Förderung von Abluft zu einem Wärmetauscher eingebaut. Die Einbausituation führt zu einer drallfreien An- und Abströmung der Abluft, die einen variablen Wasserdampfgehalt und eine variable Temperatur T hat. Die Drehzahl n^* des Ventilatorrades wird von einer Feuchteregelelung über einen Frequenzumrichter eingestellt. Der Radialventilator 1 weist eine Drehmomentmeßeinrichtung 7 und an seinem Motor 3 eine Strommeßvorrichtung auf.

Im Betrieb liegen folgende Meßwerte vor:

der Umgebungsdruck P_a , die Temperatur T in der Einströmdüse,
die Drehzahl n^* des Ventilatorrades,
der Differenzdruck $\Delta p_{w 1/3}^M$ zwischen den Ebenen A1 und A2,
der Differenzdruck $\Delta p_{w 2/3}^M$ zwischen den Ebenen A2 und A3,
die Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M zwischen den Ebe-

nen A1 und A4,

das Drehmoment M^M ,
die Stromaufnahme I^M des Motors 3, die Versorgungsspannung des Motors 3 und der Leistungsfaktor $\cos \phi$.

In diesem Einbaubeispiel wird zunächst zur Überprüfung der Anströmung und der Meßstellen das Verhältnis der Druckdifferenzen $\Delta p_{w 1/3}^M / \Delta p_{w 2/3}^M$ mit dem bekannten Quadrat des reziproken Verhältnisses der entsprechenden Düsenbeiwerte $(\alpha_{2/3} / \alpha_{1/3})^2$ verglichen. Die beiden Werte stimmen innerhalb von 10 % überein. Daraus kann geschlossen werden, daß die Meßstellen funktionieren und die Anströmung, wie durch die Einbausituation vermutet, drallfrei ist.

Die Bestimmung des Volumenstroms V und der dazu notwendigen Dichte ρ erfolgt aus der Druckdifferenz $\Delta p_{w 1/3}^M$ mit Hilfe der gemessenen Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M in Iterationsschritten, wobei in jedem Iterationsschritt die Abhängigkeit des Düsenbeiwerte $\alpha_{1/3}$ von der Reynoldszahl Re iterativ berücksichtigt wird.

Im ersten Iterationsschritt wird mit einem aus der Temperatur T und dem Umgebungsdruck P_a berechneten Wert für die Dichte ρ begonnen. Mit Hilfe dieses Wertes wird aus $\Delta p_{w 1/3}^M$ iterativ ein Wert für den Volumenstrom V und den Düsenbeiwert $\alpha_{1/3}$ ermittelt. Aus dem Volumenstrom V wird die Durchflußziffer ϕ ermittelt und aus der Modellkennlinie der Wert der Druckziffer $\psi(\phi)$ abgeleitet. Außerdem werden die Auf- oder Abwertungsfaktoren k und f ermittelt. Mit Hilfe dieser Werte und der gemessenen Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M wird ein Wert für die Dichte ρ berechnet, mit dem der zweite Iterationsschritt durchgeführt wird. Nach wenigen Iterationsschritten erhält man keine Abweichungen mehr in den Werten des Volumenstromes V und der Dichte ρ .

Neben der Dichte ρ , aus der nach Bedarf die Luftfeuchte berechnet werden kann, und dem Volumenstrom V liegt auch der ermittelte Wert der Durchflußziffer ϕ vor. Aus dem daraus abgeleiteten Wert für den Wirkungsgrad $\eta(\phi)$, den bereits bekannten Faktoren k und f und der Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M wird die Wellenleistung P_W^S berechnet und mit der aus dem Drehmoment M^M ermittelten, d.h mit der gemessenen, Wellenleistung P_W^M verglichen. Der Meßwert P_W^M ist nur um 3,5% höher als der berechnete Wert P_W^S . Dies läßt auf eine genaue Bestimmung des Volumenstroms V und der Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M schließen. Die Bestimmung des Betriebspunktes entspricht einer Genauigkeitsklasse von 0.

Gleichzeitig wird die gemessenen Wellenleistung P_W^M mit Hilfe einer Einrichtung zur Messung der Stromaufnahme P_M^M aus der Stromaufnahme des Motors 3 des Radialventilators 1, den Zustandswerten Betriebsspannung U und Leistungsfaktor $\cos \Phi$ und den Konfigurationswerten Wirkungsgrad η_m des Motors 3 und Wirkungsgrad η_a ermittelt. Dieser Meßwert P_W^M liegt um etwa 10 % über dem berechneten Wert P_W^S . Diese

Abweichung sowie die weniger genaue Ermittlung der gemessenen Wellenleistung P^M_W mit Hilfe einer Strommeßvorrichtung würde zur Zuordnung der Betriebspunktbestimmung zu einer Genauigkeitsklasse von 2 für den Fall einer ausschließlichen Ermittlung der gemessenen Wellenleistung P^M_W mit Hilfe einer Strommessung I^M und einer Bestimmung der Motorleistung P^M_M führen.

Einbaubeispiel 3:

Vor der Einströmdüse eines erfindungsgemäßen Radialventilator 1 mit einem Nenndurchmesser von 800 mm ist ein 90°-Krümmer angeordnet.

Im Betrieb liegen folgende Meßwerte vor:

der Umgebungsdruck p_a , die Temperatur T in der Einströmdüse,
die Drehzahl n^* des Ventilatorrades,
der Differenzdruck $\Delta p^M_{w\ 1/3}$ zwischen den Ebenen A1 und A2,
der Differenzdruck $\Delta p^M_{w\ 2/3}$ zwischen den Ebenen A2 und A3,
die Gesamtdruckdifferenz Δp^M_t zwischen den Ebenen A1 und A4,
die Stromaufnahme I , die Versorgungsspannung U und der Leistungsfaktor $\cos\phi$ des Motors 3.

Zur Überprüfung der Anströmung und der Meßstellen wird das Verhältnis der Druckdifferenzen $\Delta p^M_{w\ 1/3} / \Delta p^M_{w\ 2/3}$ mit dem Quadrat des reziproken Verhältnisses der entsprechenden Düsenbeiwerte $(\alpha_{2/3} / \alpha_{1/3})^2$ verglichen. Das Verhältnis der Druckdifferenzen $\Delta p^M_{w\ 1/3} / \Delta p^M_{w\ 2/3}$ ist etwas höher als sein Sollwert, liegt jedoch im Toleranzbereich von $\pm 10\%$ Abweichung. Daraus kann geschlossen werden, daß die Meßstellen funktionieren. Eine völlig drallfreie Anströmung ist jedoch wegen des vorgelagerten Krümmers nicht anzunehmen.

Der Volumenstrom V wird aus der Druckdifferenz $\Delta p^M_{w\ 1/3}$ ermittelt, wobei die Abhängigkeit des Düsenbeiwertes $\alpha_{1/3}$ wie in den vorangegangenen Beispielen durch Iterationsschritte berücksichtigt wurde. Aus dem Volumenstrom V wird die Durchfließzahl ϕ , die Druckziffer $\psi(\phi)$, die Auf- oder Abwertungsfaktoren k und f und schließlich die Gesamtdruckdifferenz Δp^S_t abgeleitet. Der gemessene Wert für die Gesamtdruckdifferenz Δp^M_t liegt (um etwa 8,9 %) deutlich unter diesem berechneten Wert Δp^S_t .

Auch der aus der Stromaufnahme I^M ermittelte Meßwert der Wellenleistung P^M_W liegt (um etwa 6,5%) unter dem aus dem Volumenstrom V , der Durchfließzahl ϕ , dem Wirkungsgrad $\eta(\phi)$, den Faktoren k und f und der gemessenen Gesamtdruckdifferenz Δp^M_t berechneten Sollwert für die Leistung P^S_W .

Da ausgehend von dem ermittelten Volumenstrom V sowohl die ermittelte Gesamtdruckdifferenz Δp^S_t als auch die ermittelte Leistung P^S_W höher sind als ihre

Meßwerte kann man schließen, daß ein geändertes Strömungsprofil der Anströmung durch den vor der Einströmdüse angeordneten Krümmer zu diesen niedrigen Meßwerten führt.

Dem ermittelten Betriebspunkt mit dem berechneten Volumenstrom V und der gemessenen Gesamtdruckdifferenz Δp^M_t wird wegen der Ungenauigkeit durch das geänderte Strömungsprofil eine Genauigkeitsklasse von 2 zugeordnet. Da beide Sollwerte Δp^S_t und P^S_W höher sind als ihre Meßwerte, läßt sich die Strömung durch zu niedrigeren Werten verschobene Kennlinien beschreiben. Eine höhere Genauigkeit der Bestimmung des Betriebspunktes mit V und Δp^M_t ist wahrscheinlich.

Einbaubeispiel 4:

Vor der Einströmdüse eines erfindungsgemäßen Radialventilator 1 mit einem Nenndurchmesser von 800 mm und einer Strommeßvorrichtung ist ein für eine drallfreie Anströmung ausreichend langes Anströmröhr angeordnet.

Im Betrieb liegen folgende Meßwerte vor:

der Umgebungsdruck p_a , die Temperatur T in der Einlaufdüse,
die Drehzahl n^* des Ventilatorrades,
der Differenzdruck $\Delta p^M_{w\ 1/3}$ zwischen den Ebenen A1 und A2,
der Differenzdruck $\Delta p^M_{w\ 2/3}$ zwischen den Ebenen A2 und A3,
die Gesamtdruckdifferenz Δp^M_t zwischen den Ebenen A1 und A4,
die Stromaufnahme I^M , die Versorgungsspannung U und der Leistungsfaktor $\cos\phi$ des Motors 3.

Zur Überprüfung der Anströmung und der Meßstellen wird das Verhältnis der Druckdifferenzen $\Delta p^M_{w\ 1/3} / \Delta p^M_{w\ 2/3}$ mit dem Quadrat des reziproken Verhältnisses der entsprechenden Düsenbeiwerte $(\alpha_{2/3} / \alpha_{1/2})^2$ verglichen. Das Verhältnis der Druckdifferenzen $\Delta p^M_{w\ 1/3} / \Delta p^M_{w\ 2/3}$ ist um etwa 20 % geringer als sein Sollwert. Daraus kann schon auf eine Störung geschlossen werden.

Aus dem Volumenstrom V , der aus der Druckdifferenz $\Delta p^M_{w\ 1/3}$ und unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Düsenbeiwertes $\alpha_{1/3}$ von der Reynoldszahl Re ermittelt wird, werden die Sollwerte der Gesamtdruckdifferenz Δp^S_t und der Wellenleistung P^M_W berechnet. Ein Vergleich mit den Meßwerten Δp^M_t und P^M_W zeigt, daß die beiden berechneten Werte Δp^S_t und P^S_W unter den entsprechenden Meßwerten Δp^M_t und P^M_W liegen. Dies deutet auf einen, wahrscheinlich aufgrund einer verstopften Meßstelle in der Ebene A3 zu gering ermittelten Volumenstrom V hin. Aufgrund der Meßwerte Δp^M_t und P^M_W kann mit Hilfe der Modellkennlinien auf einen erhöhten Volumenstrom V geschlossen werden. Dieser Bestimmung des Betriebs-

punktes aus Volumenstrom V und gemessener Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M wird eine Genauigkeitsklasse von 3 zugeordnet.

Der Volumenstrom V wird außerdem aus der Druckdifferenz $\Delta p_{w\ 2/3}^M$ ermittelt. Dieser Volumenstrom V und die daraus abgeleiteten Werte für die Gesamtdruckdifferenz Δp_t^S und die Leistung P_M^S stimmen gut mit den entsprechenden Meßwerten Δp_t^M und P_W^M überein. Dieser Bestimmung wird die Genauigkeitsklasse von 0 bis 1 zugeordnet. Diese Information wird mit einer entsprechenden Warnung versehen gespeichert und ggf. angezeigt.

Ein erfindungsgemäßer Ventilator kann auch ein Axialventilator mit einer Einströmdüse oder vergleichbaren Anordnung zur Messung von Wirkdruckdifferenzen Δp_W^M und einer Abrißsonde sein. Die Bestimmung seines Betriebspunktes erfolgt nur außerhalb des unstetigen Bereichs seiner Kennlinien.

1	Radialventilator	20
2	Lagerung	
3	Motor	
4	Grundrahmen	
5	Motorplatte	
6	Antriebswelle	25
7	Drehmomentmeßeinrichtung	
8	Lager	
9	Deckelverschlußscheibe	
10	Seitenwand	
11	Rohrabschnitt der Einlaufdüse	30
12	Düsenabschnitt	
13	Deckscheibe	
14	Schaufeln	
15	Nabenscheibe	
16	Nabe	35
17	äußerer Anschlußflansch	
18	Einströmöffnung	
19	innere Anschlußflansch	
20	Einlaufkegel	
21	Kreisbogenabschnitt	40
22	Luftspalt	
23	Ausströmöffnung	
24	Einströmrichtung	
25	Durchbohrungen A1	
26	Ausblasrichtung	45
27	Rohnippel	
28	Ringleitung	
29	Verbindungsleitung	
30	Drucksensor	
31	Durchbohrungen A2	50
32	Durchbohrungen A3	
33	Durchbohrungen A4	
34	Schaltkasten	
35	Temperatursensor	
36	Drehzahlsensor	55
37	statische Druckentnahmestelle	

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes eines Ventilators, bei dem eine Wirkdruckdifferenz Δp_W^M mit mindestens einer Meßstelle an einer Einlaufdüse des Ventilators gemessen und daraus der Volumenstrom ermittelt wird, dadurch gekennzeichnet, daß

a) eine Wirkdruckdifferenz Δp_W^M zwischen zwei Ebenen in der Einströmdüse oder zwischen einer Ebene in der Einströmdüse und einer Stelle in der Umgebung sowie eine Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M zwischen Saugseite und Druckseite des Ventilators und gegebenenfalls die Wellenleistung P_W^M des Ventilators gemessen,

b) aus der Wirkdruckdifferenz Δp_W^M der Volumenstrom V ermittelt,

c) eine aus dem Volumenstrom V über eine Betriebskennlinie $\Delta p_t(V)$ ermittelter Sollwert für die Gesamtdruckdifferenz Δp_t^S mit der gemessenen Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M verglichen,

d) gegebenenfalls eine aus dem Volumenstrom V über eine Betriebskennlinie $P_W(V)$ ermittelter Sollwert für die Wellenleistung P_W^S mit gemessenen Leistung P_W^M verglichen und

e) aus den Vergleichen c) und gegebenenfalls d) der Betriebspunkt und seine Güte bestimmt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Volumenstrom V und die Sollwerte der Betriebskennlinien Δp_W^S und P_W^S mit Hilfe von Modellkennlinien $\psi(\phi)$, $\eta(\phi)$ und ggf. $\lambda(\phi)$ Konfigurationswerten und Zustandswerten des Ventilators ermittelt werden.

3. Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes eines Ventilators nach Anspruch 2 und eines Zustandswertes, wie zum Beispiel die Dichte ρ des geförderten Gases, bei dem eine Wirkdruckdifferenz Δp_W^M mit mindestens einer Meßstelle an einer Einlaufdüse des Ventilators gemessen und daraus der Volumenstrom V ermittelt wird, dadurch gekennzeichnet, daß

a) eine Wirkdruckdifferenz Δp_W^M zwischen zwei Ebenen in der Einströmdüse, oder zwischen einer Ebene in der Einströmdüse und einer Stelle in der Umgebung sowie eine Gesamtdruckdifferenz Δp_t^M zwischen Saugseite und Druckseite des Ventilators und die

Wellenleistung P^M_W des Ventilators gemessen,

b) aus der Wirkdruckdifferenz Δp^M_W mit Hilfe von Konfigurations- und am Ventilator gemessenen Zustandswerten der Volumenstrom V ermittelt, 5

c) aus dem Volumenstrom V einen Wert für die Lieferziffer ϕ und daraus einen Wert der Modellkennlinie $\psi(\phi)$ ermittelt, 10

d) den zu bestimmenden Zustandswert mit Hilfe des ermittelten Wertes der Modellkennlinie $\psi(\phi)$, ggf. von Konfigurations- und Zustandswerten sowie der gemessenen Gesamtdruckdifferenz Δp^S_t ermittelt, 15

e) falls bei der Ermittlung des Volumenstromes V aus der Wirkdruckdifferenz Δp^M_W in b) der zu bestimmende Zustandswert notwendig ist, eine Bestimmung des Volumenstromes V und des Zustandswertes durch Iterationsschritte b) bis d) durchgeführt 20

f) aus dem unter b) bis e) ermittelten Volumenstrom V mit Hilfe der Modellkennlinie $\eta(\phi)$, ggf. von Konfigurations- und Zustandsdaten einen Sollwert für die Wellenleistung P^S_W ermittelt und mit der gemessenen Leistung P^M_W verglichen 25 30

g) aus dem Ergebnis von b) bis e) und dem Vergleich f) den Betriebspunkt und seine Güte bestimmt werden. 35

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Ermittlung des Volumenstromes V aus der Wirkdruckdifferenz Δp^M_W die Abhängigkeit des dieser Wirkdruckdifferenz Δp^M_W entsprechenden Düsenbeiwertes α von der Reynoldszahl Re mit Hilfe einer Modellkennlinie $\alpha(Re)$ der Einströmdüse im eingebauten Zustand durch Iterationsschritte berücksichtigt wird 40

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Ermittlung der Sollwerte der Gesamtdruckdifferenz Δp^S_t und ggf. der Wellenleistung P^S_W die aus den Kennlinien ermittelten Werte in Form von vom Betriebszustand des Ventilators abhängigen Faktoren, insbesondere des Faktors k zur Berücksichtigung interner Verluste und/oder des Faktors f zur Berücksichtigung der Verdichtung, auf- oder abgewertet werden. 45 50

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Wirkdruckdifferenz $\Delta p^M_{w\ 1/3}$ zwischen zwei Ebenen A1 und A3 55

und eine Wirkdruckdifferenz $\Delta p^M_{w\ 2/3}$ zwischen einer zwischen den beiden Ebenen A1 und A3 liegenden Ebene A2 und der Ebene A3 gemessen wird, wobei der Volumenstrom V aus der Wirkdruckdifferenz $\Delta p^M_{w\ 1/3}$ oder der Druckdifferenz $\Delta p^M_{w\ 2/3}$ ermittelt wird und gegebenenfalls aus dem Verhältnis der Druckdifferenzen die Güte der Strömung in der Einströmdüse und/oder der Meßstellen abgeleitet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckdifferenzen an jeweils vier in einer der Ebene (A1 bis A4) senkrecht zur Strömungsrichtung verteilte Meßstellen, deren Werte gemittelt werden, gemessen werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß im Zentrum der Ebenen A1, A2 oder A3 in der Einströmdüse, die zur Messung von Wirkdruckdifferenzen herangezogen werden, der statische Druck gemessen wird.

9. Ventilator zur Bestimmung seines Betriebspunktes und gegebenenfalls einer Zustandsgröße nach einem der Verfahren der Ansprüche 1 bis 8 mit einem Motor, einem Laufrad, einem Gehäuse, einer Einströmdüse, die zur Messung einer Wirkdruckdifferenz Δp^M_W , mit mindestens einer Meßstelle versehen ist und mit einer damit verbundenen Einrichtung zur Verarbeitung der Meßwerte, dadurch gekennzeichnet, daß

zur Messung einer oder mehrerer Wirkdruckdifferenzen Δp^M_W

die Einströmdüse in mindestens zwei Ebenen (A1 und/oder A2, A3) senkrecht zur Strömungsrichtung eine oder mehrere Druckmeßstellen aufweist, wobei ggf. die Druckmeßstellen einer Ebene (A1, A2, A3) untereinander verbunden, und die Druckmeßstelle oder die Druckmeßstellen zweier Ebenen (A1 und/oder A2, A3) an einen Drucksensor (30) angeschlossen sind, oder

die Einströmdüse in mindestens einer Ebene senkrecht zur Strömungsrichtung eine oder mehrere Druckmeßstellen aufweist und an einer Stelle in der Umgebung eine Druckmeßstelle angeordnet ist, wobei, ggf. die Druckmeßstellen einer Ebene untereinander verbunden, und die Druckmeßstelle oder die Druckmeßstellen einer Ebene und die Druckmeßstelle in der Umgebung an einen Drucksensor angeschlossen sind

zur Messung einer Gesamtdruckdifferenz Δp^M_t ein Gehäuse des Ventilators in der Nähe seiner Auströmdüse in einer Ebene (A4) senkrecht zur Auströmdüsenrichtung (26) eine oder mehrere Druckmeßstellen aufweist, wobei, ggf. die

Druckmeßstellen miteinander verbunden sind und, die Druckmeßstelle oder die Druckmeßstellen an einen an die Druckmeßstellen der Einströmdüse einer der Ebenen (A1 oder A2, A3) angeschlossenen Drucksensor (30) angeschlossen sind 5

und ggf. zur Messung einer Wellenleistung P_{W}^M eine Leistungsmeßvorrichtung am Ventilator angeordnet ist. 10

10. Ventilator nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch einen Drehzahlmesser (36) zur Messung der Motordrehzahl n , einen Temperatursensor (35) in der Einströmdüse zur Messung der Temperatur T und einem Absolutdrucksensor zur Messung des Umgebungsdruckes P_a . 15

11. Ventilator nach einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Einströmdüse in einer weiteren Ebene (A2) eine oder mehrere Druckmeßstellen, die untereinander verbunden sind und an einen an die Druckmeßstellen einer der Ebenen (A1, A3) der Einströmdüse angeschlossenen Drucksensor (30) angeschlossen sind, aufweist. 20 25

12. Ventilator nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß in den Ebenen (A1 bis A4) der Einlaufdüse und des Gehäuses jeweils vier gleichmäßig verteilte Druckmeßstellen angeordnet sind. 30

13. Ventilator nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß im Zentrum der Ebenen (A1, A2 oder A3) mit Druckmeßstellen jeweils eine statische Druckentnahmestelle (37) angeordnet ist. 35

40

45

50

55

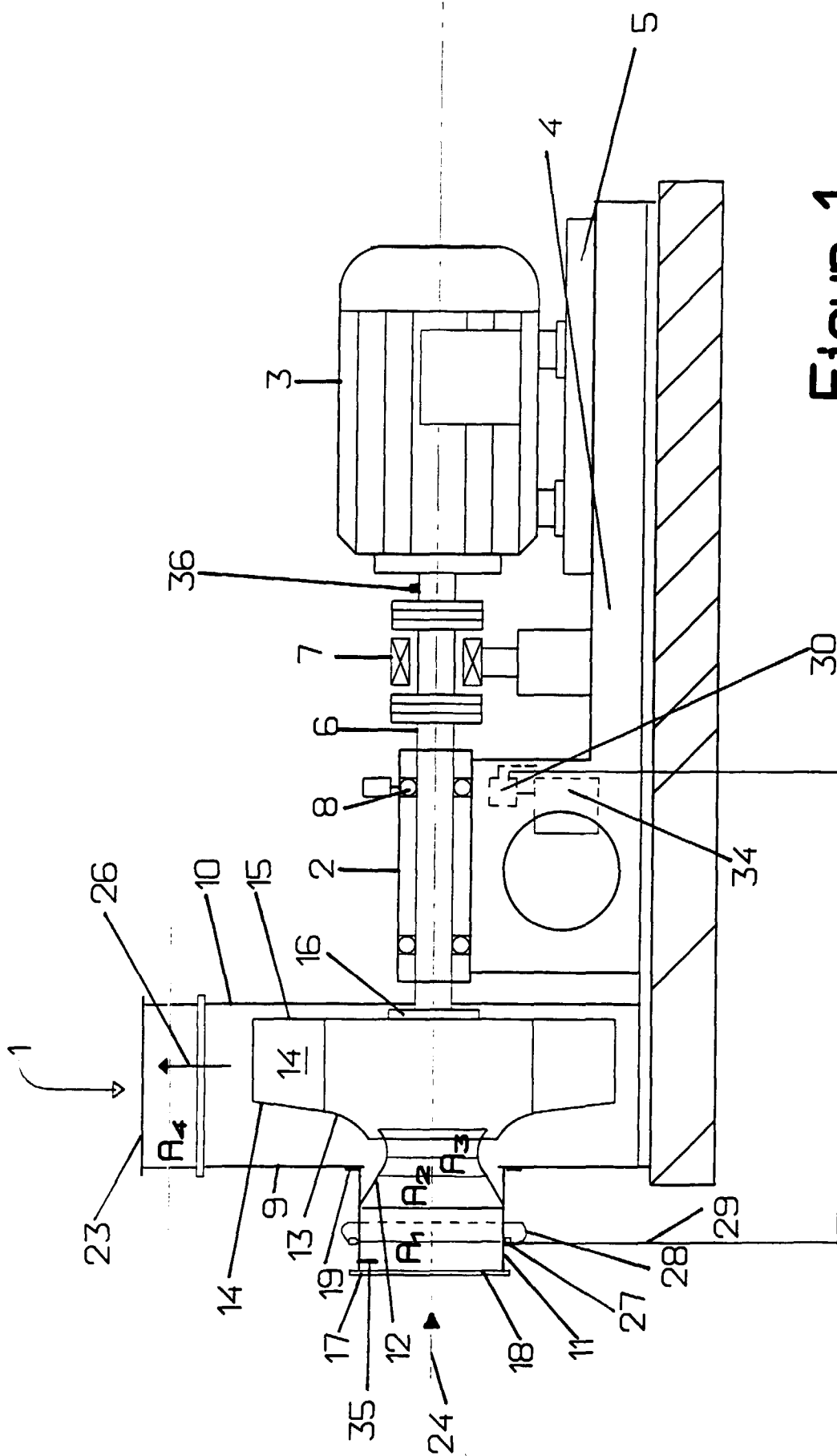
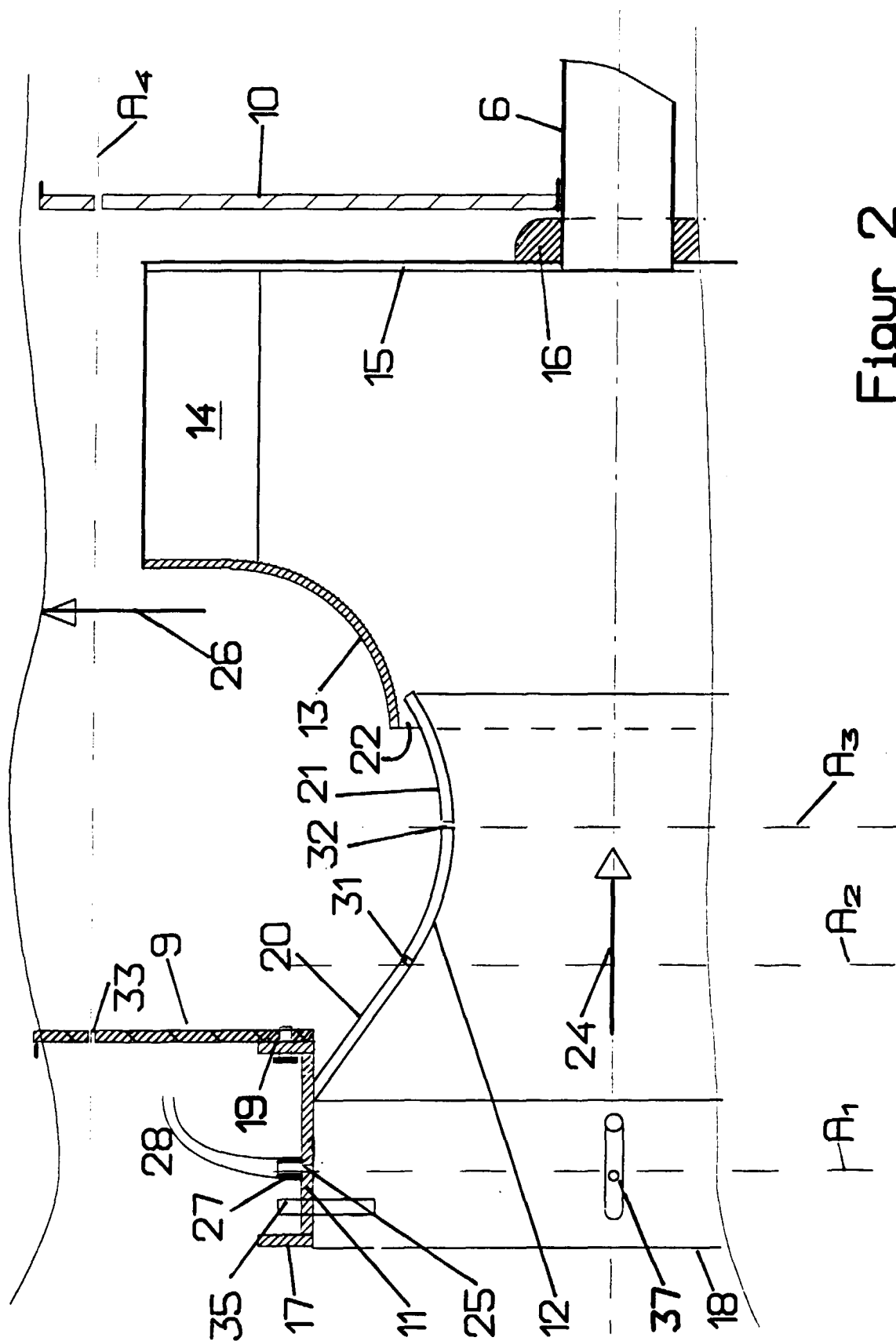


Figure 1



Figur 2



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 98 10 7573

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	EP 0 626 519 A (BROD & MCCLUNG PACE CO) 30. November 1994 * Seite 3, Spalte 3, Zeile 48 - Seite 4, Spalte 6, Zeile 28; Abbildungen 1-4 *	1,3,7,9-12	F04D27/00
A	US 5 365 459 A (PERRY ROBERT E) 15. November 1994 * Spalte 1, Zeile 60 - Spalte 3, Zeile 26; Abbildung 1 *	1,9	
A	US 5 050 092 A (PERRY ROBERT E) 17. September 1991 * Seite 1, Zeile 60 - Seite 3, Zeile 22; Abbildung 1 *	1,9	
A	WO 88 05870 A (AL KO POLAR MASCHF GMBH) 11. August 1988		
A,D	DE 89 11 433 U (GEBHARDT VENTILATOREN)) 23. November 1989		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 8. Oktober 1998	Prüfer Teerling, J
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>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</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument</p> <p>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)