



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 0 887 555 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**07.04.2004 Patentblatt 2004/15**

(51) Int Cl.7: **F04D 27/00**

(21) Anmeldenummer: **98107573.2**

(22) Anmeldetag: **25.04.1998**

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

Method for determining the operating point of a fan and the fan arrangement

Procédé pour la détermination du point de fonctionnement d'un ventilateur et l'ensemble ventilateur

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH DE ES FR GB IT LI NL SE**

(30) Priorität: **23.06.1997 DE 19726547**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**30.12.1998 Patentblatt 1998/53**

(73) Patentinhaber: **Grenzebach 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**  
**Patentanwältin**  
**Hüttenallee 237b**  
**47800 Krefeld (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 626 519**                      **WO-A-88/05870**  
**DE-U- 8 911 433**                      **US-A- 5 050 092**  
**US-A- 5 365 459**

**EP 0 887 555 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes eines Ventilators gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, und eine Ventilatoranordnung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 10.

**[0002]** Für viele Anwendungen möchte man den Betriebspunkt, d. h. den aktuellen Volumenstrom  $V$  und die Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t$  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.

**[0003]** Aus der EP-B 0 419 798 und aus der EP-A 0 626 519 sind Verfahren und Ventilatoranordnungen zur Bestimmung des Volumenstroms von Radialventilatoren geändert bekannt.

**[0004]** Der aus der EP-B 0 419 798 bekannte Radialventilator weist mindestens eine Durchströmungsöffnung begrenzende und dem zugehörigen Radiallaufrohr vorgeordnete Einströmdüse auf. Zumindest teilweise an einer Meßstelle im Bereich des Innenumfangs 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.

**[0005]** 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  $\Delta p$  ist proportional zum Quadrat des Volumenstroms  $V$ . Aus der gemessenen Differenz der Drücke  $\Delta p$  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.

**[0006]** Bei dem aus der EP-A 0 626 519 bekannten Radialventilator sind die zur Messung der Druckdiffe-

renz vorgesehenen Druckmeßstellen in der Einströmdüse in zwei eingefügt Ebenen angeordnet.

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist, ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und einen entsprechenden Ventilator gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 10 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.

**[0008]** Die Aufgabe ist durch die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 1 und 10 gelöst.

**[0009]** Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes eines Ventilators gemäß Anspruch 1 wird eine Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_w^M$  zwischen zwei Ebenen in der Einströmdüse und zwischen einer Ebene in der Einströmdüse und einer Stelle in der Umgebung, sowie eine Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  zwischen Saugseite und Druckseite des Ventilators gemessen. Aus der Druckdifferenz  $\Delta p_w^M$  geändert wird gemäß

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

der Volumenstrom  $V$  vermittelt, wobei  $\alpha$  ein aus dem Durchflußkoeffizienten  $\alpha'$  und der Expansionszahl  $\epsilon$  zusammengesetzter Düsenbeiwert,  $A$  der Bezugsquerschnitt der Einströmdüse und  $\rho$  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  $\Delta p_t^s$  ermittelt und mit der gemessenen Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  verglichen. Aufgrund der Übereinstimmung oder Abweichung des Sollwertes  $\Delta p_t^s$  mit dem Meßwert  $\Delta p_t^M$  wird der Betriebspunkt und seine Güte bestimmt. Stimmt der Wert gut mit seinem Meßwert überein, so wird der aus dem Volumenstrom  $V$  und dem Gesamtdruck  $\Delta p_t^M$  bestimmte Betriebspunkt mit hoher Genauigkeit bestimmt. Es wird eine entsprechende Genauigkeitsklasse zugeordnet.

**[0010]** Vorteil des 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.

**[0011]** Gemäß Anspruch 2 kann zusätzlich die Wellenleistung  $P_w^M$  gemessen werden. Die Wellenleistung  $P_w^M$  ist ein gutes Maß für die zur Förderung des Gases

aufgebrachte 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 einer vorhandenen eingefügt Betriebskennlinie  $P_W(V)$  wird zusätzlich der zum Volumenstrom  $V$  gehörende Sollwert der Wellenleistung  $P_{W}^S$  ermittelt und mit der gemessenen Wellenleistung  $P_{W}^M$  verglichen. Die Übereinstimmung oder Abweichung des Sollwertes  $P_{W}^S$  verbessert die Bestimmung des Betriebspunktes und seiner Güte.

**[0012]** Die Sollwerte  $\Delta p_t^S$  und  $P_{W}^S$  werden gemäß Anspruch 3 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

**[0013]** Abhängigkeit von der Durchflusziffer  $\phi$  hinterlegt. Die Ermittlung der Sollwerte  $\Delta p_t^S$  und  $P_{W}^S$  aus den Modellkennlinien  $\psi(\phi)$  und  $\eta(\phi)$  für einen aktuellen Einbauzustand ermöglicht den Einsatz eines Ventilators mit einem integrierten, entsprechend programmierten Mikrokontroller und einer Systemschnittstelle.

**[0014]** Zusätzlich zur Bestimmung des Betriebspunktes kann mit einem erfindungsgemäßen Verfahren nach Anspruch 4 eine Zustandsgröße, zum Beispiel die Dichte  $\rho$  des geförderten Gases ermittelt werden, indem neben einer Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_{W}^M$  zwischen zwei Ebenen in der Einströmdüse oder zwischen einer Ebene in der Einströmdüse und einer Stelle in der Umgebung und der Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  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  $\Delta p_t^M$  ermittelt. Falls, wie bei der Dichte  $\rho$ , der zu bestimmende Zustandswert schon zur Ermittlung des Volumenstromes  $V$  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.

**[0015]** Gemäß Anspruch 5 kann bei der Bestimmung des Volumenstromes  $V$  aus der gemessenen Druckdifferenz  $\Delta p_{W}^M$  die Abhängigkeit des dieser Druckdifferenz  $\Delta p_{W}^M$  entsprechenden Düsenbeiwertes  $\alpha$  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  $\alpha$  eingefügt. Aus dem im ersten Iterationsschritt ermittelten Volumenstrom  $V$  läßt sich eine Reynoldszahl  $Re$  ermitteln und aus der Modellkennlinie  $\alpha(Re)$  ein zweiter Düsenbeiwert  $\alpha$  ablesen. Mit dem zweiten Düsenbeiwert  $\alpha$  wird der zweite Iterationsschritt durchgeführt. Es folgen so viele Iterationsschritte bis sich der Volumenstrom  $V$  und der Düsenbeiwert  $\alpha$  bei einem folgenden Iterationsschritt nicht mehr ändert, d. h. bis Abweichungen der Werte folgender Iterationsschritte in vorgegebenen Grenzen bleiben. Die Berücksichtigung der in einer Modellkennlinie  $\alpha(Re)$  hinterlegten Abhängigkeit des Düsenbeiwertes  $\alpha$  von der Reynoldszahl  $Re$  und damit vom Volumenstrom  $V_t$  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.

**[0016]** Gemäß Anspruch 6 können bei der Ermittlung der Sollwerte der Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^S$  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  $\Delta p_t$  hinterlegt. Die Berücksichtigung dieser Auf- oder Abwertung führt zu einer noch genaueren Bestimmung des Betriebspunktes und ist zur Zuordnung einer höheren Genauigkeitsklasse notwendig.

**[0017]** Eine Messung zweier Wirkdruckdifferenzen  $\Delta p_{w1/3}^M$  und  $\Delta p_{w2/3}^M$  in der Einströmdüse gemäß Anspruch 7 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.

**[0018]** Bei einer Messung der Druckdifferenzen in einer Ebene A1 bis A4 an vier Meßstellen kann, wie in Anspruch 8 beschrieben, der Mittelwert zur Bestimmung des Betriebspunktes des Ventilators verwendet

werden.

**[0019]** Mit Hilfe einer Messung des statischen Druckes im Zentrum der Ebenen, die zur Messung der Wirkdruckdifferenz herangezogen werden, gemäß Anspruch 9 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.

**[0020]** Eine Ventilatoranordnung gemäß Anspruch 10 ist zur Durchführung eines Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 9, eine Ventilatoranordnung gemäß Anspruch 11 ist besonders zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 2 oder 3 und Ventilatoranordnungen nach den Ansprüchen 13, 14 und 15 sind besonders zur Durchführung von Verfahren nach den Ansprüchen 7, 8 und 9 geeignet.

**[0021]** Eine Ventilatoranordnung gemäß Anspruch 10 mit einem Ventilator 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  $\Delta p_{M_w}^M$ , Meßstellen zur Messung des Gesamtdruckes  $\Delta p_{M_t}^M$  und ggf. eine Leistungsmeßvorrichtung zur Messung der Wellenleistung  $P_{M_w}^M$  des Ventilators auf. Dadurch wird ein Vergleich gemessener Werte  $\Delta p_{M_t}^M$  und  $P_{M_w}^M$  mit aus den Betriebskennlinien  $\Delta p_t(V)$  und  $P_w(V)$  ermittelten Sollwerten  $\Delta p_{M_t}^S$  und  $P_{M_w}^S$ , die aus der gemessenen Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_{M_w}^M$  und dem daraus abgeleiteten Volumenstrom  $V$  ermittelt wurden, ermöglicht.

**[0022]** Zur Bestimmung von Zustandsdaten weist die Ventilatoranordnung gemäß Anspruch 12 einfache Meßvorrichtungen, nämlich einen Drehzahlmesser, einen Temperatursensor und einen Absolutdrucksensor auf.

**[0023]** Gemäß Anspruch 13 weist die Einströmdüse eine weitere Ebene A2 mit Druckmeßstellen auf und gemäß Anspruch 14 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.

**[0024]** Gemäß Anspruch 15 sind in den Ebenen A1, A2 und A3 im Zentrum statische Druckentnahmestellen, z. B. jeweils eine an drei Streben befestigte statische Drucksonde, angeordnet.

**[0025]** 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 Radialventilators 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.

**[0026]** Figur 1 zeigt einen einseitig saugenden Radialventilator 1 mit einer Lagerung 2 und einem Motor 3. Die Lagerung 2 ist als Lagerblock ausgebildet, mit einer Öffnung versehenen Platten eines Grundrahmens 4 und der Motor 3 über eine Motorplatte 5 auf diesem Grundrahmen 4 befestigt.

**[0027]** Eine vom Motor 3 ausgehende Antriebswelle 6 ist durch eine an beiden Seiten angeflanschte Drehmomentmeßvorrichtung 7 zur Messung der Wellenleistung  $P_{M_w}^M$  unterbrochen. Die Antriebswelle 6 ist hinter der Drehmomentmeßvorrichtung 7 durch Lager 8 der Lagerung 2 geführt.

**[0028]** 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 dieser Nabe 16 ist die durch die Lager 8 geführte Antriebswelle 6 mit Paßsitz gesteckt.

**[0029]** 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.

**[0030]** 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 Kreisbogenabschnitts 21. Der Einlaufkegel 20 schließt tangential an den Kreisbogenabschnitt 21 an.

**[0031]** Das innere Ende des Kreisbogenabschnitts 21 ragt in die Deckscheibe 13. Zwischen Kreisbogenabschnitt 21 des Düsenabschnitts 12 und Deckscheibe 13 bleibt ein kleiner umlaufender, durch die Zentrierung der Einströmdüse mit der Deckscheibe 13 konstant breiter Luftspalt 22 frei.

**[0032]** 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 ei-

nem nicht zu sehenden Gehäusemantel begrenzt ist. Die Querschnittflächen der rechteckigen Auströmöffnung 23 und der runden Einströmöffnung 18 sind gleich groß.

**[0033]** 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 Ausströmrichtung 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 von Durchbohrung 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 Grundrahmen 4 unterhalb der Lagerung 2 zwischen den beiden Platten in geschützter Position angeordneten Drucksensor 30.

**[0034]** 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. vorgesehen Diese Durchbohrungen 31, 32 sind jeweils mit Rohrnippeln, einer Ringleitung und einer Verbindungsleitung versehen. Die Rohrnippel, die Ring- und die Verbindungsleitungen sind nicht eingezeichnet.

**[0035]** 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 weiterer, 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.

**[0036]** in einer Ebene A4 senkrecht zur Ausströmrichtung 26 und in der Nähe der Ausblasöffnung 22 (im geraden Endbereich des Gehäusmantels) sind weitere vier, gleichmäßig am Umfang verteilte Durchbohrungen

33, die mit Rohrnippeln, einer Ringleitung und 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.

**[0037]** In der Nähe des Drucksensors 30 ist ein (nicht eingezeichneter) Absolutdrucksensor zur Messung des Umgebungsdrucks Pa 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 angeschlossen Drucksensoren 30 und der Absolutdrucksensor zur Messung des Umgebungsdrucks Pa sind an die mit dem Mikrokontroller verbundenen Einrichtungen zur Signalkonditionierung angeschlossen.

**[0038]** 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 13 des Laufrades 629 mm, die axiale Länge des Rohrabschnitts 11 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 11 und dem Einlaufkegel 20 des Düsenabschnitts 12 beträgt 36°. Die Flächenverhältnisse A1 : A2 : A3 betragen 1 : 0,81 : 0,52

**[0039]** 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.

**[0040]** 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  $\phi$  die Durchflußziffer,  $\psi(\phi)$  die Druckziffer,  $\eta(\phi)$  der Wirkungsgrad und  $\lambda(\phi)$  die Lieferziffer. Die Typenkennlinien wurden aus Prüfstandskennlinien, die für einen geometrisch ähnlichen Modellradi-

alventilator, zum Beispiel mit dem Nenndurchmesser von 400 mm, ermittelt wurden, abgeleitet. Außerdem enthält der Speicher des Mikrokontrollers von der Reynoldszahl  $Re$  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  $\alpha(Re)$  wurden von Messungen in einer im Modellradialventilator eingebauten geometrisch ähnlichen Einbaudüse abgeleitet.

**[0041]** 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  $\Delta P_t$  hinterlegt.

**[0042]** Der Speicher des Mikrokontrollers enthält außerdem Konfigurationswerte, wie den Nenndurchmesser  $D$  (800 mm), die Einbausituation, die Gasart und die Feststoffbelastung.

**[0043]** 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.

**[0044]** 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  $\Delta p_t^M$  und gegebenenfalls die Wellenleistung  $P_{WV}^S$  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.

**[0045]** Der Meßwert für die Wellenleistung  $P_{WV}^M$  wird bei vorhandener Drehmomentmeßeinrichtung 7 aus dem gemessenen Drehmoment  $M^M$  berechnet.

**[0046]** 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.

**[0047]** In diesem Beispiel wird der Volumenstrom  $V$  gemäß Gleichung (1) aus der Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_{w1/3}^M$  ermittelt. Nach dem Wirkdruckverfahren gilt:

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

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 Meße-bene A3 und  $\rho$  die Dichte des geförderten Gases ist.  $A_3$  ist als einer der Konfigurationswerte bekannt. Die Dichte  $\rho$  kann bei der Förderung von Luft aus der in der Einströmdüse gemessenen Temperatur  $T$  und dem gemessenen Außendruck  $P_a$  ermittelt werden.

**[0048]** Der Volumenstrom  $V$  könnte auch aus der Druckdifferenz  $\Delta p_{w2/3}^M$  mit dem entsprechenden Düsenbeiwert  $\alpha_{2/3}$  ermittelt werden.

**[0049]** 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  $\alpha$  begonnen wird, aus dem ermittelten Volumenstrom  $V$  eine Reynoldszahl  $Re$  berechnet wird und der dazugehörige Düsenbeiwert  $\alpha$  zur erneuten Bestimmung des Volumenstromes  $V$  genommen wird. Zur Berechnung der Reynoldszahl  $Re$  werden die Konfigurationswerte Einlaufquerschnitt  $A_D$ , Nenndurchmesser  $D$  sowie die Viskosität  $\nu$  des geförderten Gases, hier der Luft, benötigt. Nach wenigen Iterationsschritten erhält man übereinstimmende Werte für den Volumenstrom  $V$  und den entsprechenden Düsenbeiwert  $\alpha$ .

**[0050]** 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  $\phi$  und aus der Modellkennlinie die Druckziffer  $\psi(\phi)$  ermitteln.

**[0051]** 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  $\nu$  abhängigen Größe herangezogen. Zur Berücksichtigung der Verdichtung des geförderten Gases wird ein Auf- oder Abwertungsfaktor  $f$  in Abhängigkeit von der gemessenen Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  herangezogen.

**[0052]** Mit Hilfe der so ermittelten Faktoren  $k$  und  $f$  wird der aus der Modellkennlinie  $\psi(\phi)$  abgeleitete Wert  $\psi$  der Druckziffer auf- oder abgewertet und zur Ermittlung des Sollwertes der Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^S$  gemäß Gleichung (2) eingesetzt. Dazu wird die Dichte  $\rho$  sowie die Umlaufgeschwindigkeit des Ventilatorrades  $u$  benötigt.

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

**[0053]** Diese Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^S$  wird mit der gemessenen Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  verglichen. Bei einer guten Übereinstimmung,  $< = 2 \%$ , kann schon auf eine Bestimmung des Betriebspunktes, d. h. des Volumenstromes  $V$  und der Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$ , mit einer hohen Genauigkeitsklasse geschlossen werden.

**[0054]** Falls auch die Wellenleistung  $P_{WV}^M$  des Radialventilators gemessen wurde, kann aus dem ermittelten Volumenstrom  $V$  und der daraus abgeleiteten Druckziffer  $\phi$  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  $P_{WV}^S$  ergibt sich aus dem Volumenstrom  $V$ , der Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  dem Wert für den Wirkungsgrad  $\eta(\phi)$  und ggf. den Faktoren  $k$  und  $f$ . Dieser Wert  $P_{WV}^S$  wird zur Beurteilung der Güte der Betriebspunktbestimmung mit der gemessenen Wellenleistung  $P_{WV}^M$  verglichen.

**[0055]** Wird die Leistung mit einer Drehmomentmeßvorrichtung gemessen, so wird das gemessene Drehmoment  $M^M$  in die Wellenleistung  $P_{WV}^M$  umgerechnet. Eine gute Übereinstimmung ( $< 2 \%$  Abweichung) deutet auf eine hohe Genauigkeitsklasse hin.

**[0056]** 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  $\eta_m$  des Motors 3 berechnet und mit Hilfe eines ebenfalls hinterlegten Wirkungsgrades  $\eta_a$  in die Wellenleistung  $P_{WV}^M$  umgerechnet. Wegen der nur annähernd bekannten Wirkungsgrade  $\eta_m$  kann bei einer Übereinstimmung ausschließlich des Meß- und des Sollwertes  $P_{WV}^M$  und  $P_{WV}^S$  nur eine geringere Genauigkeitsklasse zugeordnet werden.

**[0057]** Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes und einer Zustandsgröße, nämlich der Dichte  $\rho$  des geförderten Gases, unterscheidet sich von dem oben beschriebenen Verfahren darin, daß die Bestimmung des Volumenstroms  $V$  und der Dichte  $\rho$  mit Hilfe einer der Druckdifferenzen  $\Delta p_{w1/3}^M$  oder  $\Delta p_{w2/3}^M$  und der Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  in mehreren Iterationsschritten durchgeführt wird. Im ersten Iterationsschritt wird mit einer, zum Beispiel aus der Temperatur  $T$  und dem Außendruck  $P_a$  berechneten, Anfangsdichte  $\rho$  begonnen. Die Abhängigkeit des Düsenbeiwertes  $\alpha_{1/3}$  oder  $\alpha_{1/3}$  von der Reynoldszahl  $Re$  wird durch Iteration in jedem Iterationsschritt berücksichtigt.

**[0058]** Als Ergebnis erhält man einen Volumenstrom  $V$ , eine entsprechende Durchflußziffer  $\phi$ , Faktoren  $k$ ,  $f$  und die Dichte  $\rho$ , aus der ggf. die Luftfeuchte berechnet werden kann. Zur Beurteilung der Güte dieses Ergeb-

nisses wird, wie bereits beschrieben, aus den vorhandenen Werten die Wellenleistung  $P_{WV}^S$  ermittelt und mit der gemessenen Wellenleistung  $P_{WV}^M$  verglichen und eine Genauigkeitsklasse zugewiesen.

**[0059]** Im folgenden sind einige Einbaubeispiele erfindungsgemäßer Radialventilatoren beschrieben. Die Einbausituation ist nicht in der Zeichnung dargestellt.

Einbaubeispiel 1:

**[0060]** 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 Rohrabschnitt 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.

**[0061]** 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  $P_{WV}^M$  der Konfigurationwert Wirkungsgrad  $\eta_m$  des Motors 3 und der Wirkungsgrad  $\eta_a$  im Mikrocontroller gespeichert.

**[0062]** Im Betrieb liegen folgende Meßwerte vor:

der Umgebungsdruck  $P_a$ , die Temperatur  $T$  in der Einströmdüse,  
die Drehzahl  $n^*$  des Ventilatorrades,  
der Differenzdruck  $\Delta p_{w1/3}^M$  zwischen den Ebenen A1 und A2,  
der Differenzdruck  $\Delta p_{w2/3}^M$  zwischen den Ebenen A2 und A3,  
die Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  zwischen den Ebenen A1 und A4,  
die Stromaufnahme  $I^M$  des Motors 3, die Versorgungsspannung  $U$  des Motors 3 und der Leistungsfaktor  $\cos\phi$ .

**[0063]** Die Einbausituation dieses Radialventilators 1 mit einem Rohrabschnitt 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  $\Delta p_{w1/3}^M / \Delta p_{w2/3}^M$  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.

**[0064]** Der Volumenstrom  $V$  wird gemäß Gleichung (1a) aus dem Differenzdruck  $\Delta p_{w1/3}^M$  ermittelt, wobei die dazu benötigte Dichte  $\rho$  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 Reynolds-

zahl  $Re$  wird durch eine iterative Bestimmung des Volumens  $V$  und des Düsenbeiwertes  $\alpha_{1/3}$ , beginnend mit einem mittleren Düsenbeiwert  $\alpha_{1/3}$ , berücksichtigt.

**[0065]** Aus diesem Volumenstrom  $V$  wird mit Hilfe von Konfigurations- und Zustandswerten die Durchfließziffer  $\phi$  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  $\Delta p_t^S$  eingesetzt.

**[0066]** Diese Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^S$  wird mit der gemessenen Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  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.

**[0067]** In diesem Einbaubeispiel wird zusätzlich aus der oben ermittelten Durchfließziffer  $\phi$  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  $P_{WV}^S$  berechnet und mit dem aus der gemessenen Stromaufnahme  $I^M$  mit Hilfe der Betriebsspannung  $U$ , dem Leistungsfaktor  $\cos \Phi$ , dem Wirkungsgrad des Motors  $\eta_m$  und dem Wirkungsgrad  $\eta_a$  ermittelten Wert für die Wellenleistung  $P_{WV}^M$  verglichen. Die gemessene Wellenleistung  $P_{WV}^M$  liegt um 5,6 % über dem aus dem Volumenstrom  $V$  abgeleiteten Sollwert der Wellenleistung  $P_{WV}^S$ . Der etwas höhere Wert der gemessene Wellenleistung  $P_{WV}^M$  könnte auf die zusätzliche Feststoffförderung aufgrund des Hobel- und Schleifstaubs zurückzuführen sein. Außerdem ist die Bestimmung der gemessenen Wellenleistung  $P_{WV}^M$  über die Stromaufnahme  $M$  wegen des nur annähernd bekannten Wirkungsgrades weniger genau.

**[0068]** Die gering höhere gemessene Wellenleistung  $P_{WV}^M$  im Vergleich zum Sollwert  $P_{WV}^S$  macht die gute Übereinstimmung der Gesamtdruckwerte  $\Delta p_t^S$  und  $\Delta p_t^M$  plausibel. Der Bestimmung des Betriebspunktes kann eine Genauigkeitsklasse von 0 bis 1 zugeordnet werden.

Einbaubeispiel 2:

Bestimmung des Betriebspunktes und der Dichte  $\rho$

**[0069]** 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 Feuchteregelung über einen Frequenzumrichter eingestellt. Der Radialventilator 1 weist eine Drehmomentmeßeinrichtung 7 und an seinem Motor 3 eine Strommeßvorrichtung auf.

**[0070]** 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  $\Delta p_t^M$  zwischen den Ebenen A1 und A4,  
das Drehmoment  $M^M$ ,  
die Stromaufnahme  $I^M$  des Motors 3, die Versorgungsspannung des Motors 3 und der Leistungsfaktor  $\cos \phi$ .

**[0071]** 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.

**[0072]** Die Bestimmung des Volumenstroms  $V$  und der dazu notwendigen Dichte  $p$  erfolgt aus der Druckdifferenz  $\Delta p_{w 1/3}^M$  mit Hilfe der gemessenen Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  in Iterationsschritten, wobei in jedem Iterationsschritt die Abhängigkeit des Düsenbeiwertes  $\alpha_{1/3}$  von der Reynoldszahl  $Re$  iterativ berücksichtigt wird.

**[0073]** Im ersten Iterationsschritt wird mit einem aus der Temperatur  $T$  und dem Umgebungsdruck  $p_a$  berechneten Wert für die Dichte  $p$  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 Durchfließziffer  $\phi$  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  $\Delta p_t^M$  wird ein Wert für die Dichte  $\rho$  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  $\rho$ .

**[0074]** Neben der Dichte  $p$ , aus der nach Bedarf die Luftfeuchte berechnet werden kann, und dem Volumenstrom  $V$  liegt auch der ermittelte Wert der Durchfließziffer  $\phi$  vor. Aus dem daraus abgeleiteten Wert für den Wirkungsgrad  $\eta(\phi)$ , den bereits bekannten Faktoren  $k$  und  $f$  und der Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  wird die Wellenleistung  $P_{WV}^S$  berechnet und mit der aus dem Drehmoment  $M^M$  ermittelten, d.h mit der gemessenen, Wellenleistung  $P_{WV}^M$  verglichen. Der Meßwert  $P_{WV}^M$  ist nur um 3,5% höher als der berechnete Wert  $P_{WV}^S$ . Dies läßt auf eine genaue Bestimmung des Volumenstroms  $V$  und der Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  schließen. Die Bestimmung des Betriebspunktes entspricht einer Genauig-

keitsklasse von 0.

**[0075]** 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  $\eta_m$  des Motors 3 und Wirkungsgrad  $\eta_a$  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  $P_{W}^M$  mit Hilfe einer Strommeßvorrichtung würde zur Zuordnung der Betriebspunktbestimmung zu einer Genauigkeitsklasse von 2 für den Fall einer ausschließlichen Ermittlung der gemessenen Wellenleistung  $P_{W}^M$  mit Hilfe einer Strommessung  $I^M$  und einer Bestimmung der Motorleistung  $P_{M}^M$  führen.

Einbaubeispiel 3:

**[0076]** Vor der Einströmdüse eines erfindungsgemäßen Radialventilator 1 mit einem Nenndurchmesser von 800 mm ist ein 90°-Krümmer angeordnet.

**[0077]** 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  $\Delta p_t^M$  zwischen den Ebenen A1 und A4,  
die Stromaufnahme  $\Delta I$ , die Versorgungsspannung  $U$  und der Leistungsfaktor  $\cos\phi$  des Motors 3.

**[0078]** Zur Überprüfung der Anströmung und der Meßstellen wird das Verhältnis der Druckdifferenzen  $\Delta p_{w\ 1/3}^M / \Delta p_{w\ 2/3}^M$  mit dem Quadrat des reziproken Verhältnisses der entsprechenden Düsenbeiwerte  $(\alpha_{2/3} / \alpha_{1/3})^2$  verglichen. Das Verhältnis der Druckdifferenzen  $\Delta p_{w\ 2/3}^M / \Delta p_{w\ 1/3}^M$  ist etwas höher als sein Sollwert, liegt jedoch im Toleranzbereich von +10 % Abweichung. Daraus kann geschlossen werden, daß die Meßstellen funktionieren. Eine völlig drallfreie Anströmung ist jedoch wegen des vorgelagerten Krümmers nicht anzunehmen.

**[0079]** Der Volumenstrom  $V$  wird aus der Druckdifferenz  $\Delta p_{w\ 1/3}^M$  ermittelt, wobei die Abhängigkeit des Düsenbeiwertes  $\alpha_{1/3}$  wie in den vorangegangenen Beispielen durch Iterationsschritte berücksichtigt wurde. Aus dem Volumenstrom  $V$  wird die Durchfließziffer  $\phi$ , die Druckziffer  $\psi(\phi)$ , die Auf- oder Abwertungsfaktoren  $k$  und  $f$  und schließlich die Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^S$  abgeleitet. Der gemessene Wert für die Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  liegt (um etwa 8,9 %) deutlich unter diesem berechneten Wert  $\Delta p_t^S$ .

**[0080]** Auch der aus der Stromaufnahme  $I^M$  ermittelte Meßwert der Wellenleistung  $P_{W}^M$  liegt (um etwa 6,5%) unter dem aus dem Volumenstrom  $V$ , der Durchfließziffer  $\phi$ , dem Wirkungsgrad  $\eta(\phi)$ , den Faktoren  $k$  und  $f$  und der gemessenen Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  berechneten Sollwert für die Leistung  $P_{W}^S$ .

**[0081]** Da ausgehend von dem ermittelten Volumenstrom  $V$  sowohl die ermittelte Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^S$  als auch die ermittelte Leistung  $P_{W}^S$  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.

**[0082]** Dem ermittelten Betriebspunkt mit dem berechneten Volumenstrom  $V$  und der gemessenen Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  wird wegen der Ungenauigkeit durch das geänderte Strömungsprofil eine Genauigkeitsklasse von 2 zugeordnet. Da beide Sollwerte  $\Delta p_t^S$  und  $P_{W}^S$  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  $\Delta p_t^M$  ist wahrscheinlich.

25 Einbaubeispiel 4:

**[0083]** 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.

**[0084]** Im Betrieb liegen folgende Meßwerte vor:

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

**[0085]** Zur Überprüfung der Anströmung und der Meßstellen wird das Verhältnis der Druckdifferenzen  $\Delta p_{w\ 1/3}^M / \Delta p_{w\ 2/3}^M$  mit dem Quadrat des reziproken Verhältnisses der entsprechenden Düsenbeiwerte  $(\alpha_{2/3} / \alpha_{1/2})^2$  verglichen. Das Verhältnis der Druckdifferenzen  $\Delta p_{w\ 1/3}^M / \Delta p_{w\ 2/3}^M$  ist um etwa 20 % geringer als sein Sollwert. Daraus kann schon auf eine Störung geschlossen werden.

**[0086]** Aus dem Volumenstrom  $V$ , der aus der Druckdifferenz  $\Delta p_{w\ 1/3}^M$  und unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Düsenbeiwertes  $\alpha_{1/3}$  von der Reynoldszahl  $Re$  ermittelt wird, werden die Sollwerte der Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^S$  und der Wellenleistung  $P_{W}^M$  berech-

net. Ein Vergleich mit den Meßwerten  $\Delta p_t^M$  und  $P_w^M$  zeigt, daß die beiden berechneten Werte  $\Delta p_t^S$  und  $P_w^S$  unter den entsprechenden Meßwerten  $\Delta p_t^M$  und  $P_w^M$  liegen. Dies deutet auf einen, wahrscheinlich aufgrund einer verstopften Meßstelle in der Ebene A3, zu gering ermittelten Volumenstrom  $V$  hin. Aufgrund der Meßwerte  $\Delta p_t^M$  und  $P_w^M$  kann mit Hilfe der Modellkennlinien auf einen erhöhten Volumenstrom  $V$  geschlossen werden. Dieser Bestimmung des Betriebspunktes aus Volumenstrom  $V$  und gemessener Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  wird eine Genauigkeitsklasse von 3 zugeordnet.

**[0087]** 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  $\Delta p_t^S$  und die Leistung  $P_w^S$  stimmen gut mit den entsprechenden Meßwerten  $\Delta p_t^M$  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.

**[0088]** Ein erfindungsgemäßer Ventilator kann auch ein Axialventilator mit einer Einströmdüse oder vergleichbaren Anordnung zur Messung von Wirkdruckdifferenzen  $\Delta p_w^M$  und einer Abrißsonde sein. Die Bestimmung seines Betriebspunktes erfolgt nur außerhalb des unstetigen Bereichs seiner Kennlinien.

- 1 Radialventilator
- 2 Lagerung
- 3 Motor
- 4 Grundrahmen
- 5 Motorplatte
- 6 Antriebswelle
- 7 Drehmomentmeßeinrichtung
- 8 Lager
- 9 Deckelverschlussscheibe
- 10 Seitenwand
- 11 Rohrabschnitt der Einlaufdüse
- 12 Düsenabschnitt
- 13 Deckscheibe
- 14 Schaufeln
- 15 Nabenscheibe
- 16 Nabe
- 17 äußerer Anschlußflansch
- 18 Einströmöffnung
- 19 innere Anschlußflansch
- 20 Einlaufkegel
- 21 Kreisbogenabschnitt
- 22 Luftspalt
- 23 Ausströmöffnung
- 24 Einströmrichtung
- 25 Durchbohrungen A1
- 26 Ausblasrichtung
- 27 Rohmippel
- 28 Ringleitung
- 29 Verbindungsleitung
- 30 Drucksensor
- 31 Durchbohrungen A2

- 32 Durchbohrungen A3
- 33 Durchbohrungen A4
- 34 Schaltkasten
- 35 Temperatursensor
- 5 36 Drehzahlsensor
- 37 statische Druckentnahmestelle

## Patentansprüche

- 10 1. Verfahren zur Bestimmung des Betriebspunktes eines Ventilators, bei dem eine Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_w^M$  mit mindestens einer Meßstelle an einer Einlaufdüse des Ventilators gemessen und daraus der Volumenstrom  $V$  ermittelt wird, wobei die Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_w^M$  zwischen zwei Ebenen in der Einströmdüse oder zwischen einer Ebene in der Einströmdüse und einer Stelle in der Umgebung gemessen wird  
**dadurch gekennzeichnet, daß** zusätzlich eine Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  zwischen Saugseite und Druckseite des Ventilators gemessen wird,  
ein aus dem Volumenstrom  $V$  über eine Betriebskennlinie  $\Delta p_t(V)$  ermittelter Sollwert für die Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^S$  mit der gemessenen Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  verglichen,  
und aus dem Vergleich der Betriebspunkt und seine Güte bestimmt werden.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** zusätzlich die Wellenleistung  $P_w^M$  des Ventilators gemessen,  
ein aus dem Volumenstrom  $V$  über eine Betriebskennlinie  $P_w(V)$  ermittelter Sollwert für die Wellenleistung  $P_w^S$  mit der gemessenen Wellenleistung  $P_w^M$  verglichen und  
der zusätzliche Vergleich zur Bestimmung des Betriebspunktes und seiner Güte herangezogen wird.
- 35 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Volumenstrom  $V$  und die Sollwerte der Betriebskennlinien  $\Delta p_t^S$  und  $P_w^S$  mit Hilfe von Modellkennlinien  $\psi(\phi)$ ,  $\eta(\phi)$  und ggf.  $\lambda(\phi)$ , Konfigurationswerten und Zustandswerten des Ventilators ermittelt werden.
- 40 4. Verfahren nach Anspruch 3 zur Bestimmung des Betriebspunktes eines Ventilators und eines Zustandswert, wie zum Beispiel der Dichte  $p$  des gefördert Gases, bei dem eine Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_w^M$  mit mindestens einer Meßstelle an einer Einlaufdüse des Ventilators gemessen und daraus der Volumenstrom  $V$  bestimmt wird, wobei  
55 a) die Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_w^M$  zwischen zwei Ebenen in der Einströmdüse, oder zwischen ei-

- ner Ebene in der Einströmdüse und einer Stelle in der Umgebung gemessen und
- b) aus der Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_{w}^M$  mit Hilfe von Konfigurations- und am Ventilator gemessenen Zustandswerten der Volumenstrom  $V$  ermittelt wird,  
**dadurch gekennzeichnet, daß**
- c) zusätzlich eine Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$  zwischen Saugseite und Druckseite des Ventilators und die Wellenleistung  $P_{w}^M$  des Ventilators gemessen,
- d) aus dem Volumenstrom  $V$  ein Wert für die Lieferziffer  $\phi$  und daraus ein Wert der Modellkennlinie  $\psi(\phi)$  ermittelt,
- e) der zu bestimmenden Zustandswert mit Hilfe des ermittelten Wertes der Modellkennlinie  $\psi(\phi)$ , ggf. von Konfiguration- und Zustandswerten sowie der gemessenen Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^S$  ermittelt,
- f) falls bei der Ermittlung des Volumenstromes  $V$  aus der Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_{w}^M$  in b) der zu bestimmende Zustandswert notwendig ist, eine Bestimmung des Volumenstromes  $V$  und des Zustandswertes durch Iterationsschritte b), d) und e) durchgeführt,
- g) aus dem unter b), d) und e) ermittelten Volumenstrom  $V$  mit Hilfe der Modellkennlinie  $\eta(\phi)$ , ggf. von Konfigurations- und Zustandsdaten ein Sollwert für die Wellenleistung  $P_{w}^S$  ermittelt und mit der gemessenen Leistung  $P_{w}^M$  verglichen und
- h) aus dem Ergebnis von b), d) bis f) und dem Vergleich g) der Betriebspunkt und seine Güte bestimmt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei der Ermittlung des Volumenstromes  $V$  aus der Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_{w}^M$  die Abhängigkeit des dieser Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_{w}^M$  entsprechenden Düsenbeiwertes  $\alpha$  von der Reynoldszahl  $Re$  mit Hilfe einer Modellkennlinie  $\alpha(Re)$  der Einströmdüse im eingebauten Zustand durch Iterationsschritte berücksichtigt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei der Ermittlung der Sollwerte der Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^S$  und ggf. 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, aufoder abgewertet werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_{w 1/3}^M$  zwischen zwei Ebenen (A1 und A3) und eine Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_{w 2/3}^M$  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  $\Delta p_{w 1/3}^M$  oder der Druckdifferenz  $\Delta p_{w 2/3}^M$  ermittelt wird und gegebenenfalls aus dem Verhältnis der Druckdifferenzen die Güte der Strömung in der Einströmdüse und/oder der Meßstellen abgeleitet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Druckdifferenzen an jeweils vier in einer der Ebene (A1 bis A4) senkrecht zur Strömungsrichtung verteilte Meßstellen, deren Werte ermittelt werden, gemessen werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **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.
10. Ventilatoranordnung zur Bestimmung des Betriebspunktes eines Ventilators nach einem der Verfahren der Ansprüche 1 bis 9 mit einem Ventilator mit einem Motor, einem Laufrad, einem Gehäuse, einer Einströmdüse, die zur Messung einer Wirkdruckdifferenz  $\Delta p_{w}^M$  mit mindestens einer Meßstelle versehen ist, und mit einer damit verbundenen Einrichtung zur Verarbeitung der Meßwerte, wobei zur Messung einer oder mehrerer Wirkdruckdifferenzen  $\Delta p_{w}^M$  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,  
**dadurch gekennzeichnet, daß**
- zur Messung einer Gesamtdruckdifferenz  $\Delta p_t^M$

ein Gehäuse des Ventilators in der Nähe seiner Auströmöffnung in einer Ebene (A4) senkrecht zur Auströmungsrichtung (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.

11. Ventilatoranordnung nach Anspruch 10 zur Bestimmung des Betriebspunktes des Ventilators und ggf. einer Zustandsgröße, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Messung einer Wellenleistung  $P_w^M$  eine Leistungsmeßvorrichtung am Ventilator angeordnet ist.
12. Ventilatoranordnung nach Anspruch 10 oder 11, **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  $p_a$ .
13. Ventilatoranordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **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.
14. Ventilatoranordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** in den Ebenen (A1 bis A4) der Einlaufdüse und des Gehäuses jeweils vier gleichmäßig verteilte Druckmeßstellen angeordnet sind.
15. Ventilatoranordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** im Zentrum der Ebenen (A1, A2 oder A3) mit Druckmeßstellen jeweils eine statische Druckentnahmestelle (37) angeordnet ist.

## Claims

1. A method of determining the operating point of a fan, in which an effective-pressure difference  $\Delta p_w^M$  is measured with at least one measurement point at an inlet nozzle of the fan and the volume flow  $V$  is established from it, wherein the effective-pressure difference  $\Delta p_w^M$  between two planes in the inflow nozzle or between one plane in the inflow nozzle and a point in the environment is measured,

## characterized in that

a total-pressure difference  $\Delta p_t^M$  between the suction side and the pressure side of the fan is additionally measured,

a nominal value, established from the volume flow  $V$  by way of an operating characteristic  $\Delta p_t(V)$ , for the total-pressure difference  $\Delta p_t^S$  is compared with the total-pressure difference  $\Delta p_t^M$  measured, and the operating point and its quality are determined from the comparison.

2. A method according to Claim 1, **characterized in that** the shaft power  $P_w^M$  of the fan is additionally measured, a nominal value, established from the volume flow  $V$  by way of an operating characteristic  $P_w(V)$ , for the shaft power  $P_w^S$  is compared with the shaft power  $P_w^M$  measured, and the additional comparison is used to determine the operating point and its quality.
3. A method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the volume flow  $V$  and the nominal values of the operating characteristics  $\Delta p_t^S$  and  $P_w^S$  are established with the aid of model characteristics  $\psi(\phi)$ ,  $\eta(\phi)$  and optionally  $\lambda(\phi)$ , configuration values and status values of the fan.
4. A method according to Claim 3 for determining the operating point of a fan and a status value, such as for example the density  $\rho$  of the gas conveyed, in which an effective-pressure difference  $\Delta p_w^M$  is measured with at least one measurement point at an inlet nozzle of the fan and the volume flow  $V$  is established from it, wherein
  - a) the effective-pressure difference  $\Delta p_w^M$  between two planes in the inflow nozzle, or between one plane in the inflow nozzle and a point in the environment is measured, and
  - b) the volume flow  $V$  is established from the effective-pressure difference  $\Delta p_w^M$  with the aid of configuration values and of status values measured at the fan,
 

### characterized in that

    - c) a total-pressure difference  $\Delta p_t^M$  between the suction side and the pressure side of the fan and the shaft power  $P_w^M$  of the fan are additionally measured,
    - d) a value for the delivery figure  $\phi$  is established from the volume flow  $V$  and a value of the model characteristic  $\psi(\phi)$  is established from it,
    - e) the status value to be determined is established with the aid of the established value of the model characteristic  $\psi(\phi)$  and optionally of configuration values and status values as well as of the total-pressure difference  $\Delta p_t^S$  meas-

ured,

f) if the status value to be determined is required during the establishment of the volume flow  $\mathbf{V}$  from the effective-pressure difference  $\Delta p_{\mathbf{w}}^{\mathbf{M}}$  in b), a determination of the volume flow  $\mathbf{V}$  and of the status value is carried out by iteration steps b), d) and e),

g) a nominal value for the shaft power  $\mathbf{P}_{\mathbf{w}}^{\mathbf{S}}$  is established with the aid of the model characteristic  $\eta(\phi)$ , and optionally of configuration values and status values, from the volume flow  $\mathbf{V}$  established during b), d) and e), and is compared with the power  $\mathbf{P}_{\mathbf{w}}^{\mathbf{S}}$  measured, and

h) the operating point and its quality are determined from the result of b), d) to f) and the comparison g).

5. A method according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that**, during the establishment of the volume flow  $\mathbf{V}$  from the effective-pressure difference  $\Delta p_{\mathbf{w}}^{\mathbf{M}}$ , the dependency of the nozzle coefficient  $\alpha$  corresponding to the said effective-pressure difference  $\Delta p_{\mathbf{w}}^{\mathbf{M}}$  upon the Reynolds' number  $\mathbf{Re}$  is taken into consideration with the aid of a model characteristic  $\alpha(\mathbf{Re})$  of the inflow nozzle in the fitted state by iteration steps.

6. A method according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that**, during the establishment of the nominal values of the total-pressure difference  $\Delta p_{\mathbf{t}}^{\mathbf{S}}$  and optionally the shaft power  $\mathbf{P}_{\mathbf{w}}^{\mathbf{S}}$ , the values, established from the characteristics, in the form of factors dependent upon the operating state of the fan, in particular the factor  $\mathbf{k}$  for taking into consideration internal losses and/or the factor  $\mathbf{f}$  for taking into consideration the compression, are valued up or down.

7. A method according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** an effective-pressure difference  $\Delta p_{\mathbf{w} \ 1/3}^{\mathbf{M}}$  between two planes (**A1** and **A3**) is measured and an effective-pressure difference  $\Delta p_{\mathbf{w} \ 2/3}^{\mathbf{M}}$  between a plane (**A2**) situated between the two planes (**A1** and **A3**) and the plane (**A3**) is measured, wherein the volume flow  $\mathbf{V}$  is established from the effective-pressure difference  $\Delta p_{\mathbf{w} \ 1/3}^{\mathbf{M}}$  or from the pressure difference  $\Delta p_{\mathbf{w} \ 2/3}^{\mathbf{M}}$  and the quality of the flow in the inflow nozzle and/or of the measurement points is optionally derived from the ratio of the pressure differences.

8. A method according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the pressure differences are measured in each case at four measurement points which are distributed in one of the planes (**A1** to **A4**) at right angles to the direction of flow and the values of which are established.

9. A method according to one of Claims 1 to 8, **char-**

**acterized in that** the static pressure is measured in the centre of the planes (**A1**, **A2** or **A3**) in the inflow nozzle, which are used for measuring effective-pressure differences.

10. A fan arrangement for determining the operating point of a fan according to one of the methods of Claims 1 to 9, having a fan with a motor, an impeller, a housing, an inflow nozzle which is provided with at least one measurement point in order to measure an effective-pressure difference  $\Delta p_{\mathbf{w}}^{\mathbf{M}}$ , and with a device connected to the said measurement point in order to process the measurement values, wherein, in order to measure one or more effective-pressure differences  $\Delta p_{\mathbf{w}}^{\mathbf{M}}$ ,

the inflow nozzle has one or more pressure-measurement points in at least two planes (**A1** and/ or **A2**, **A3**) at right angles to the direction of flow, wherein the pressure-measurement points of one plane (**A1**, **A2**, **A3**) are optionally connected between themselves, and the pressure-measurement point or the pressure-measurement points of two planes (**A1** and/ or **A2**, **A3**) are connected to a pressure sensor (30), or

the inflow nozzle has one or more pressure-measurement points in at least one plane at a right angle to the direction of flow, and a pressure-measurement point is arranged at a point in the surroundings, wherein the pressure-measurement points of one plane are optionally connected between themselves, and the pressure-measurement point or the pressure-measurement points of one plane and the pressure-measurement point in the surroundings are connected to a pressure sensor,

**characterized in that**,

in order to measure a total-pressure difference  $\Delta p_{\mathbf{t}}^{\mathbf{M}}$ , a housing of the fan has one or more pressure-measurement points in the vicinity of its outflow opening in a plane (**A4**) at a right angle to the direction of flow (26), wherein the pressure-measurement points are optionally connected to one another, and the pressure-measurement point or the pressure-measurement points is or are connected to a pressure sensor (30) connected to the

pressure-measurement points of the inflow nozzle of one of the planes (**A1** or **A2**, **A3**).

11. A fan arrangement according to Claim 10 for determining the operating point of the fan and optionally a state variable, **characterized in that** a power-measurement device is arranged on the fan in order to measure a shaft power  $\mathbf{P}_{\mathbf{w}}^{\mathbf{M}}$ .

12. A fan arrangement according to Claim 10 or 11, **characterized by** a revolution counter (36) for measuring the rotational speed  $n$  of the motor, a

temperature sensor (35) in the inflow nozzle for measuring the temperature  $T$  and an absolute-pressure sensor for measuring the surrounding pressure  $P_a$ .

13. A fan arrangement according to one of Claims 10 to 12, **characterized in that** the inflow nozzle in a further plane (**A2**) has one or more pressure-measurement points which are connected to one another and are connected to a pressure sensor (30) connected to the pressure-measurement points of one of the planes (**A1, A3**) of the inflow nozzle.
14. A fan arrangement according to one of Claims 10 to 13, **characterized in that** four uniformly distributed pressure-measurement points are arranged in the planes (**A1 to A4**) of the inflow nozzle and the housing in each case.
15. A fan arrangement according to one of Claims 10 to 14, **characterized in that** a static pressure-removal point (37) is arranged in each case in the centre of the planes (**A1, A2** or **A3**) with pressure-measurement points.

#### Revendications

1. Procédé pour déterminer le point de fonctionnement d'un ventilateur dans lequel une différence de pression effective  $\Delta p_{W}^M$  est mesurée avec au moins un point de mesure sur une buse d'entrée du ventilateur et le débit volumique  $V$  est calculé à partir de là, la différence de pression effective  $\Delta p_{W}^M$  étant mesurée entre deux plans de la buse d'entrée ou entre un plan de la buse d'entrée et un point dans l'environnement,  
**caractérisé en ce que**  
une différence de pression totale  $\Delta p_t^M$  est, en outre, mesurée entre le côté aspiration et le côté refoulement du ventilateur,  
une valeur de consigne établie à partir du débit volumique  $V$  via une caractéristique de fonctionnement  $\Delta p_t(V)$  pour la différence de pression totale  $\Delta p_t^S$  est comparée avec la différence de pression totale  $\Delta p_t^M$  mesurée,  
et le point de fonctionnement et sa qualité sont déterminés à partir de la comparaison.
2. Procédé selon la revendication 1 **caractérisé en ce que**  
la puissance à l'arbre  $P_W^M$  du ventilateur est, en outre, mesurée,  
une valeur de consigne établie à partir du débit volumique  $V$  via une caractéristique de fonctionnement  $P_W(V)$  pour la puissance à l'arbre  $P_W^S$  est comparée avec la puissance à l'arbre  $P_W^M$  mesurée et

la comparaison supplémentaire est utilisée pour déterminer le point de fonctionnement et sa qualité.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce que** le débit volumique  $V$  et les valeurs de consigne des caractéristiques de fonctionnement  $\Delta p_t^S$  et  $P_W^S$  sont établies à l'aide des caractéristiques modèles  $\Psi(\phi)$ ,  $\eta(\phi)$  et, le cas échéant de  $\lambda(\phi)$ , de valeurs de configuration et de valeurs d'état du ventilateur.
4. Procédé selon la revendication 3 pour déterminer le point de fonctionnement d'un ventilateur et sa valeur d'état, comme par exemple la densité  $p$  du gaz transporté pour lequel une différence de pression effective  $\Delta p_{W}^M$  est mesurée avec au moins un point de mesure sur une buse d'entrée du ventilateur et le débit volumique  $V$  est déterminé à partir de là,
- a) la différence de pression effective  $\Delta p_{W}^M$  étant mesurée entre deux plans de la buse d'entrée ou entre un plan de la buse d'entrée et un point dans l'environnement et
- b) le débit volumique  $V$  étant calculé à partir de la différence de pression effective  $\Delta p_{W}^M$  à l'aide de valeurs de configuration et de valeurs d'état mesurées sur le ventilateur,  
**caractérisé en ce que**
- c) une différence de pression totale  $\Delta p_t^M$  entre le côté aspiration et le côté refoulement du ventilateur et la puissance à l'arbre  $P_W^M$  du ventilateur sont, en outre, mesurées,
- d) une valeur pour l'indice d'alimentation  $\phi$  est établie à partir du débit volumique  $V$  et une valeur de la caractéristique modèle  $\Psi(\phi)$  est calculée à partir de là,
- e) la valeur d'état à déterminer est établie à l'aide de la valeur calculée de la caractéristique modèle  $\Psi(\phi)$ , le cas échéant, de valeurs de configuration et de valeurs d'état ainsi que de la différence de pression totale  $\Delta p_t^S$  mesurée,
- f) si, lors du calcul du débit volumique  $V$  à partir de la différence de pression effective  $\Delta p_{W}^M$  en b), la valeur d'état à déterminer est nécessaire, une détermination du débit volumique  $V$  et de la valeur d'état est effectuée par les étapes d'itération b), d) et e),
- g) une valeur de consigne pour la puissance à l'arbre  $P_W^S$  est établie à partir du débit volumique  $V$  calculé sous b), d) et e) à l'aide de la caractéristique modèle  $\eta(\phi)$ , le cas échéant, de données de configuration et de données d'état et est comparée avec la puissance  $P_W^M$  mesurée et
- h) le point de fonctionnement et sa qualité sont déterminés à partir du résultat de b), d) à f) et de la comparaison g).

5. Procédé selon une des revendications 1 à 4 **caractérisé en ce que** pour le calcul du débit volumique  $V$  à partir de la différence de pression effective  $\Delta p_{W}^M$ , il est tenu compte de la dépendance du coefficient  $\alpha$  de la buse correspondant à cette différence de pression effective  $\Delta p_{W}^M$  par rapport au nombre de Reynold à l'aide d'une caractéristique modèle  $\alpha$  (Re) de la buse d'entrée à l'état monté par les étapes d'itération.
6. Procédé selon une des revendications 1 à 5 **caractérisé en ce que** pour le calcul des valeurs de consigne de la différence de pression totale  $\Delta p_{t}^S$  et, le cas échéant, de la puissance à l'arbre  $P_{W}^S$ , les valeurs établies à partir des caractéristiques sous la forme de facteurs dépendant de l'état de fonctionnement du ventilateur, en particulier du facteur  $k$ , sont réévaluées ou dévaluées pour tenir compte de pertes internes et / ou du facteur  $f$  pour tenir compte de la densification.
7. Procédé selon une des revendications 1 à 6 **caractérisé en ce que** une différence de pression effective  $\Delta p_{W 1/3}^M$  entre deux plans (A1 et A3) et une différence de pression effective  $\Delta p_{W 2/3}^M$  entre un plan (A2) se trouvant entre les deux plans (A1 et A3) et le plan (A3) sont mesurées, le débit volumique  $V$  étant calculé à partir de la différence de pression effective  $\Delta p_{W 1/3}^M$  ou de la différence de pression effective  $\Delta p_{W 2/3}^M$  et la qualité du courant dans la buse d'entrée et / des points de mesure étant déduite, le cas échéant, du rapport des différences de pression.
8. Procédé selon une des revendications 1 à 7 **caractérisé en ce que** les différences de pression sont mesurées chaque fois en quatre points de mesure répartis dans un des plans (A1 à A4) perpendiculaires au sens du courant.
9. Procédé selon une des revendications 1 à 8 **caractérisé en ce que** la pression statique est mesurée au centre des plans (A1, A2 ou A3) dans la buse d'entrée qui sont utilisés pour mesurer les différences de pression.
10. Ensemble ventilateur pour déterminer le point de fonctionnement d'un ventilateur selon le procédé des revendications 1 à 9 comprenant un ventilateur avec un moteur, une roue mobile, un logement, une buse d'entrée, qui est pourvu d'au moins un point de mesure pour mesurer une différence de pression effective  $\Delta p_{W}^M$  et d'un dispositif qui y est relié pour traiter les valeurs mesurées, dans lequel pour mesurer une ou plusieurs différences de pression effectives  $\Delta p_{W}^M$ , la buse d'entrée présente un ou plusieurs points de mesure de pression dans au moins deux plans (A1 et / ou A2, A3) perpendiculaires au sens du courant, les points de mesure de pression d'un plan (A1, A2, A3) étant, le cas échéant, reliés entre eux et le point de mesure de pression ou les points de mesure de pression de deux plans (A1 et / ou A2, A3) étant raccordés à un capteur de pression (30), ou la buse d'entrée présente un ou plusieurs points de mesure de pression dans au moins un plan perpendiculaire au sens du courant et un point de mesure de pression est disposé en un point dans l'environnement, les points de mesure de pression d'un plan étant, le cas échéant, reliés entre eux et le point de mesure de pression ou les points de mesure de pression dans l'environnement étant raccordés à un capteur de pression,
- caractérisé en ce que** pour mesurer une différence de pression totale  $\Delta p_{t}^M$ , un logement présente un ou plusieurs points de mesure de pression à proximité de son orifice d'évacuation dans un plan (A4) perpendiculaire au sens d'évacuation (26), les points de mesure de pression étant, le cas échéant, reliés entre eux et le point de mesure de pression ou les points de mesure de pression étant raccordés à un capteur de pression (30) raccordé aux points de mesure de pression de la buse d'entrée d'un des plans (A1 ou A2, A3).
11. Ensemble ventilateur selon la revendication 10 pour déterminer le point de fonctionnement du ventilateur et, le cas échéant, une grandeur d'état, **caractérisé en ce que** un dispositif de mesure de puissance est disposé sur le ventilateur pour mesurer une puissance à l'arbre  $P_{W}^M$ .
12. Ensemble ventilateur selon la revendication 10 ou 11 **caractérisé par** un compte-tours (36) pour mesurer la vitesse du moteur  $n$ , un capteur de température (35) dans la buse d'entrée pour mesurer la température  $T$  et un capteur de pression absolue pour mesurer la pression de l'environnement  $P_a$ .
13. Ensemble ventilateur selon une des revendications 10 à 12, **caractérisé en ce que** la buse d'entrée présente, dans un autre plan (A2), un ou plusieurs points de mesure de pression qui sont reliés entre eux et sont raccordés à un capteur de pression (30) raccordé aux points de mesure de pression d'un des plans (A1, A3) de la buse d'entrée.
14. Ensemble ventilateur selon une des revendications 10 à 13, **caractérisé en ce que** quatre points de mesure de pression répartis uniformément sont chaque fois disposés dans les plans (A1 à A4) de la buse d'entrée et du logement.
15. Ensemble ventilateur selon une des revendications

10 à 14, **caractérisé en ce qu'**un point d'échantillonnage de pression statique (37) est chaque fois disposé au centre des plans (A1, A2 ou A3) avec des points de mesure de pression.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

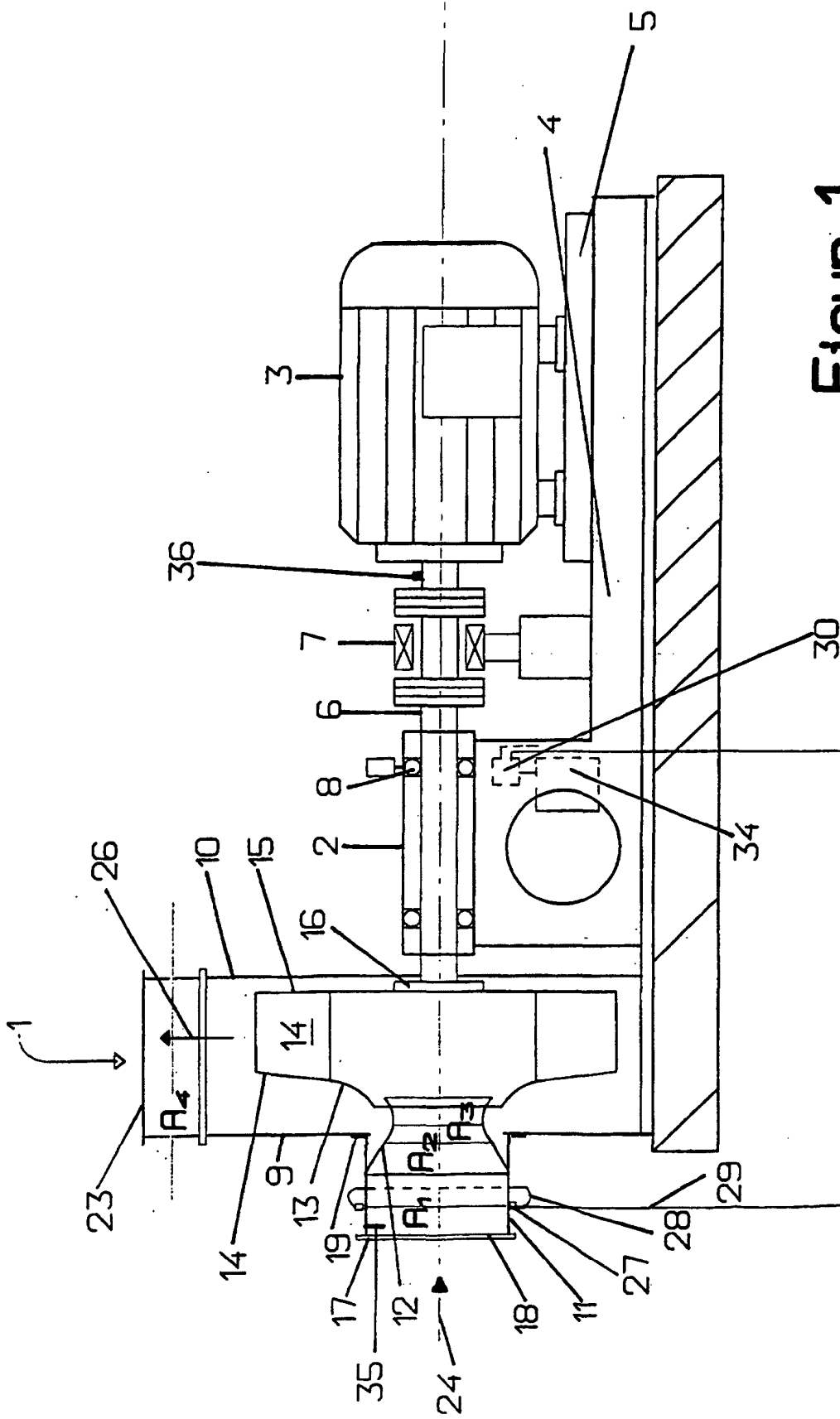


Figure 1

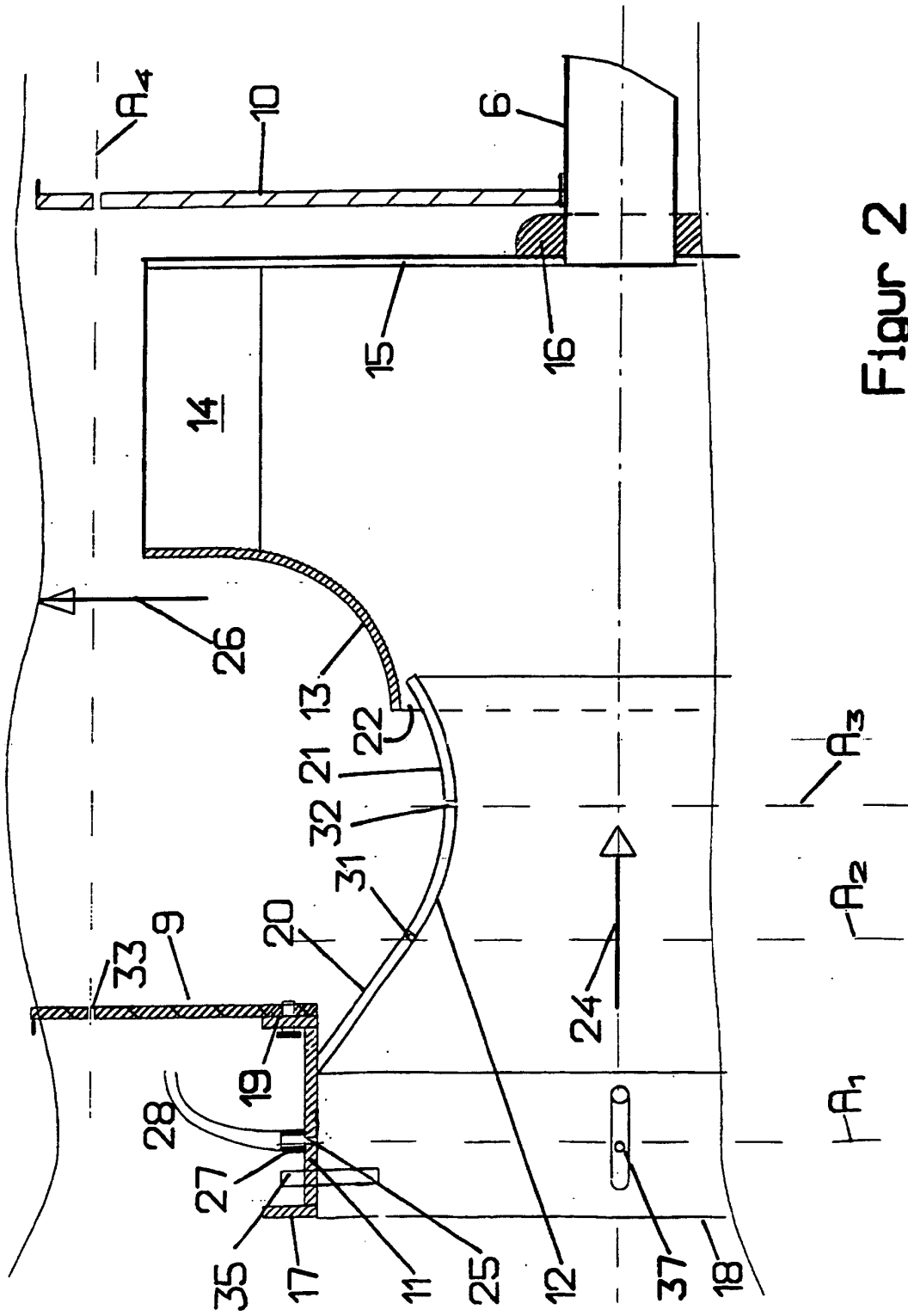


Figure 2