

①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**
⑩ **DE 197 24 167 C 2**

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 01 F 1/74
G 01 F 1/86
F 17 D 3/03

⑳1 Aktenzeichen: 197 24 167.0-52
⑳2 Anmeldetag: 7. 6. 97
⑳3 Offenlegungstag: 10. 12. 98
⑳4 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 15. 7. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦1 Patentinhaber:
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
53175 Bonn, DE; Forschungszentrum Rossendorf
eV, 01474 Schönfeld-Weißig, DE

⑦4 Vertreter:
HOEGER, STELLRECHT & PARTNER
PATENTANWÄLTE GBR, 70182 Stuttgart

⑦2 Erfinder:
Eck, Markus, 71229 Leonberg, DE; Geskes, Peter,
Dipl.-Ing., 70469 Stuttgart, DE; Prasser,
Horst-Michael, Dr., 01324 Dresden, DE; Kossok,
Norbert, Dr., 14089 Berlin, DE; Schütz, Peter, 01324
Dresden, DE

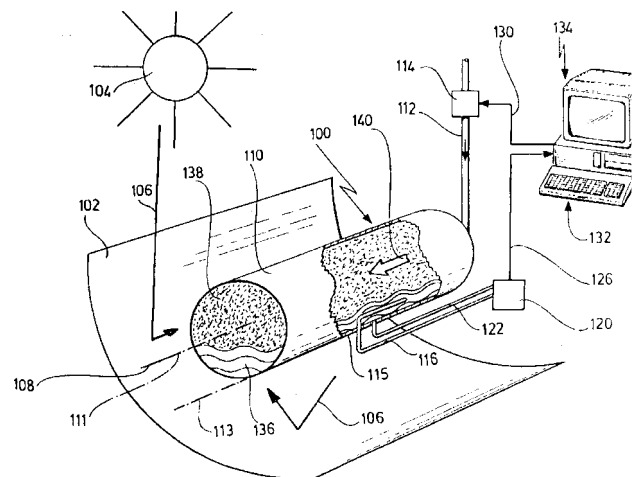
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
GB 22 21 042
US 50 51 922
US 43 97 190
DE-Z.: BKW, Bd. 45 (1993), Nr.12, S.510-514;

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln eines Meßwerts einer Zielmeßgröße einer Mehr-Phasen-Strömung

⑤7 Verfahren zum Ermitteln eines Meßwerts einer Zielmeßgröße einer Mehr-Phasen-Strömung, insbesondere einer Zwei-Phasen-Strömung, bei dem ein Wert eines Druckes der Mehr-Phasen-Strömung als einer primären Meßgröße mittels einer Meßeinrichtung gemessen wird, wobei

- ein zeitlicher Verlauf der primären Meßgröße gemessen wird,
- der gemessene zeitliche Verlauf der primären Meßgröße mit zeitlichen Referenzverläufen der primären Meßgröße, denen jeweils ein Referenzwert der Zielmeßgröße zugeordnet ist, verglichen wird und
- in Abhängigkeit von dem Ergebnis des Vergleichs des gemessenen Verlaufs der primären Meßgröße mit den Referenzverläufen der primären Meßgröße der Meßwert der Zielmeßgröße aus den Referenzwerten der Zielmeßgröße ermittelt wird,

dadurch gekennzeichnet, daß der Druck der Mehr-Phasen-Strömung an einer Stelle eines von der Mehr-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts eines horizontalen oder geneigten Rohrs gemessen wird, die im wesentlichen stets mit derselben Phase der Mehr-Phasen-Strömung in Kontakt steht.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines Meßwerts einer Zielmeßgröße einer Mehr-Phasen-Strömung, insbesondere einer Zwei-Phasen-Strömung, bei dem ein Wert eines Druckes der Mehr-Phasen-Strömung als einer primären Meßgröße mittels einer Meßeinrichtung gemessen wird.

Ferner betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zum Ermitteln eines Meßwerts einer Zielmeßgröße einer Mehr-Phasen-Strömung, insbesondere einer Zwei-Phasen-Strömung, die eine Meßeinrichtung zum Messen eines Druckes der Mehr-Phasen-Strömung als einer primären Meßgröße umfaßt.

Ein solches Verfahren und eine solche Vorrichtung sind beispielsweise aus dem Artikel „Verbesserte Speisewasserregelung durch kompaktes Meßsystem zur Massenstrom- und Dampfgehaltsbestimmung“ von W. Kastner, C. Fischer und W. Krätzer, Erlangen, erschienen in der Zeitschrift BWK, Band 45 (1993), Heft Nr. 12, Seiten 510 bis 514, bekannt. Die genannte Druckschrift offenbart ein Meßsystem zum Ermitteln eines Meßwerts des Gesamtmassenstroms und eines Meßwerts des Dampfgehalts einer Wasser-Dampf-Strömung in einem Dampferzeuger, die eine Meßeinrichtung zum Messen eines Wirkdrucks der Wasser-Dampf-Strömung (ein Venturi-Rohr) und zusätzlich eine Meßeinrichtung zum Messen der Gemischdichte der Wasser-Dampf-Strömung (ein Gammadensitometer) umfaßt.

Bei diesem Meßsystem wird der momentane Dampfmasseanteil aus dem Momentanwert der mit dem Gammadensitometer gemessenen Gemischdichte und der Momentanwert des Gesamtmassenstroms aus dem Momentanwert des an dem Venturi-Rohr gemessenen Wirkdrucks und dem Momentanwert der mit dem Gammadensitometer gemessenen Gemischdichte ermittelt.

Bei dem aus der genannten Druckschrift bekannten Meßvorrichtung und dem damit durchgeführten Meßverfahren ist von Nachteil, daß zur Ermittlung eines Meßwerts einer gewünschten Zielmeßgröße, nämlich des Gesamtmassenstroms, zwei primäre Meßgrößen, nämlich der Wirkdruck am Venturi-Rohr und die Gemischdichte, mit zwei unterschiedlichen primären Meßeinrichtungen, nämlich einem Venturi-Rohr und einem Gammadensitometer, gemessen werden müssen. Die Notwendigkeit zweier primärer Meßeinrichtungen erhöht den Platzbedarf der Meßvorrichtung, den erforderlichen Wartungsaufwand und die Kosten der Meßvorrichtung erheblich.

Außerdem ist das bei dem bekannten Meßsystem verwendete Gammadensitometer eine sehr teure und aufwendige Meßeinrichtung, die überdies, aufgrund der Verwendung radioaktiven Materials, besondere Sicherheitsvorkehrungen erforderlich macht.

Aus der US-Patentschrift 4,397,190 ist ein Verfahren zur Bestimmung von Strömungscharakteristika von Mehr-Phasen-Strömungen bekannt, bei dem Druckdifferenzen zwischen längs der Strömungsrichtung der Mehr-Phasen-Strömung voneinander beabstandeten Meßpunkten gemessen werden.

Im Verfahren mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1 und eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 25 sind aus der Druckschrift GB 2 221 042 A und aus der US-Patentschrift 5 051 922 bekannt.

Bei dem in diesen Druckschriften beschriebenen Verfahren wird der Wert eines Druckes einer Mehr-Phasen-Strömung mittels eines Meßrohrs gemessen, das an seinem Einlaß mit einem Strömungsmischer versehen ist, um die Mehr-Phasen-Strömung zu homogenisieren. Am Auslaß des Meßrohrs ist ein weiterer Strömungsmischer vorgesehen, um Einflüsse von stromabwärts des Meßrohrs gelegenen Punkten zu eliminieren. Die Druckmeßsensoren selbst werden innerhalb des Meßrohrs zwischen dem Einlaß-Strömungsmischer und dem Auslaß-Strömungsmischer zu beiden Seiten einer Blendenöffnung angeordnet, um den Druckabfall an der Blende zu messen.

Bei diesem Verfahren ist von Nachteil, daß die Homogenisierung der Mehr-Phasen-Strömung einen erheblichen konstruktiven Aufwand bedingt und die zur Homogenisierung und zur Ausschaltung von Störeinflüssen erforderlichen Strömungsmischer sowie die zur Druckmessung vorgesehene Blende einen hohen Druckverlust in der Mehr-Phasen-Strömung verursachen, so daß der von der Mehr-Phasen-Strömung zu überwindende Strömungswiderstand durch die verwendete Meßeinrichtung erheblich erhöht wird.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 so zu verbessern, daß eine zuverlässige Ermittlung des Meßwerts der Zielmeßgröße mit vergleichsweise geringem konstruktivem Aufwand ermöglicht wird.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst, wobei erfindungsgemäß der Druck der Mehr-Phasen-Strömung an einer Stelle eines von der Mehr-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts eines horizontalen oder geneigten Rohrs gemessen wird, die im wesentlichen stets mit derselben Phase der Mehr-Phasen-Strömung in Kontakt steht.

Dadurch, daß der Druck der Mehr-Phasen-Strömung an einer Stelle gemessen wird, die im wesentlichen stets mit derselben Phase der Mehr-Phasen-Strömung in Kontakt steht, wird ein einen bestimmten Strömungszustand der Mehr-Phasen-Strömung besonders gut charakterisierender zeitlicher Verlauf des als primäre Meßgröße gewählten Druckes erhalten.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann jeder Zustand der Mehr-Phasen-Strömung durch das Fluktuationmuster einer primären Meßgröße, also anhand deren zeitlichen Verlaufs, charakterisiert werden. Anhand des Fluktuationmusters der primären Meßgröße können daher unterschiedliche Strömungszustände der Mehr-Phasen-Strömung eindeutig voneinander unterschieden werden, während eine solche Unterscheidung anhand des jeweiligen Durchschnittswerts der primären Meßgröße alleine nicht möglich wäre, da zu jedem Durchschnittswert der primären Meßgröße eine Vielzahl von Strömungszuständen existiert, die diesen Durchschnittswert aufweisen, so daß eine eindeutige Zuordnung eines Durchschnittswerts der primären Meßgröße zu einem bestimmten Zustand der Mehr-Phasen-Strömung nicht möglich ist.

Aufgrund des Vergleichs des gemessenen Verlaufs der primären Meßgröße mit den vorher bestimmten Referenzverläufen der primären Meßgröße kann derjenige Referenzzustand der Mehr-Phasen-Strömung ermittelt werden, der am besten zu dem aktuellen Strömungszustand paßt. Der diesem Referenzzustand zugeordnete Referenzwert der Zielmeßgröße kommt dem aktuellen Wert der Zielmeßgröße am nächsten.

Das erfindungsgemäße Verfahren weist eine hohe Flexibilität auf, da, unabhängig von der Art der primären Meßgröße,

beliebige Zielmeßgrößen der Mehr-Phasen-Strömung ermittelbar sind, da die Messung der primären Meßgröße nicht unmittelbar zur Berechnung des Meßwerts der Zielmeßgröße herangezogen wird, sondern lediglich der Identifizierung des aktuellen Zustands der Mehr-Phasen-Strömung dient.

Ferner ist von Vorteil, daß zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens lediglich eine Meßeinrichtung zum Messen einer einzigen primären Meßgröße erforderlich ist. 5

Das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere zur Überwachung von Strömungen in horizontalen oder geneigten Dampferzeugern oder bei der Öl- und Gasförderung in horizontalen oder geneigten Rohrabschnitten eingesetzt werden.

Ein weiterer Vorteil resultiert daraus, daß ein Druck der Mehr-Phasen-Strömung als primäre Meßgröße gemessen wird, da Druckmeßeinrichtungen wenig aufwendig und wartungsarm realisierbar sowie weitgehend temperatur- und druckbeständig sind. 10

Der als primäre Meßgröße gemessene Druck der Mehr-Phasen-Strömung kann ein statischer Druck, ein Pitotdruck oder ein Staudruck der Mehr-Phasen-Strömung sein. Auch weitere Drücke oder Druckdifferenzen der Mehr-Phasen-Strömung kommen in Betracht, beispielsweise der mittels eines Venturi-Rohrs bestimmte Wirkdruck der Strömung.

Die Verwendung eines Staudrucks der Mehr-Phasen-Strömung als primäre Meßgröße ist besonders bevorzugt, da aus dem Staudruck in einer Phase der Mehr-Phasen-Strömung unmittelbar auf die Strömungsgeschwindigkeit dieser Phase geschlossen werden kann. Es ist daher möglich, das korrekte Funktionieren des erfindungsgemäßen Verfahrens zu überprüfen, indem die Strömungsgeschwindigkeit der betreffenden Phase als Zielmeßgröße oder als eine von mehreren Zielmeßgrößen gewählt wird und der mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens ermittelte Meßwert dieser Zielmeßgröße mit dem aus dem Durchschnittswert des Staudrucks in der betreffenden Phase ermittelten Meßwert verglichen wird. 15 20

Handelt es sich bei der Mehr-Phasen-Strömung um eine Strömung, die eine gasförmige und mindestens eine flüssige Phase umfaßt, so wird der als primäre Meßgröße gewählte Druck vorzugsweise in der flüssigen Phase gemessen.

Um den Druck im wesentlichen stets in einer Phase der Mehr-Phasen-Strömung messen zu können, die ein hohes spezifisches Gewicht aufweist, kann vorgesehen sein, daß der Druck der Mehr-Phasen-Strömung im unteren Drittel, vorzugsweise nahe der tiefsten Stelle, des von der Mehr-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts des horizontalen oder geneigten Rohres gemessen wird. 25

Um andererseits den Druck der Mehr-Phasen-Strömung im wesentlichen stets in einer Phase der Mehr-Phasen-Strömung die ein geringes spezifisches Gewicht aufweist, messen zu können, kann vorgesehen sein, daß der Druck der Mehr-Phasen-Strömung im oberen Drittel, vorzugsweise nahe der höchsten Stelle, des von der Mehr-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts des horizontalen oder geneigten Rohres gemessen wird. 30

Der Vergleich des gemessenen Verlaufs der primären Meßgröße mit den Referenzverläufen der primären Meßgröße kann dadurch erfolgen, daß ein Grad der Ähnlichkeit zwischen dem gemessenen zeitlichen Verlauf der primären Meßgröße und jeweils einem der zeitlichen Referenzverläufe der primären Meßgröße ermittelt wird.

Der Meßwert der Zielmeßgröße kann dann gleich dem Referenzwert der Zielmeßgröße gesetzt werden, der demjenigen zeitlichen Referenzverlauf zugeordnet ist, welcher den höchsten Grad der Ähnlichkeit zu dem gemessenen zeitlichen Verlauf der primären Meßgröße aufweist. 35

Alternativ hierzu kann, insbesondere, wenn nur wenige zeitliche Referenzverläufe der primären Meßgröße und denselben zugeordnete Referenzwerte der Zielmeßgröße zur Verfügung stehen, vorgesehen sein, daß der Meßwert der Zielmeßgröße gleich einem gewichteten Mittel der Referenzwerte der Zielmeßgröße gesetzt wird, wobei das Gewicht jedes der Referenzwerte in Abhängigkeit von dem Grad der Ähnlichkeit zwischen dem gemessenen zeitlichen Verlauf der primären Meßgröße und demjenigen zeitlichen Referenzverlauf, dem der Referenzwert der Zielmeßgröße zugeordnet ist, bestimmt wird. 40

Der Grad der Ähnlichkeit zwischen dem gemessenen zeitlichen Verlauf und jeweils einem der zeitlichen Referenzverläufe der primären Meßgröße kann mittels eines geeigneten Mustererkennungsverfahrens ermittelt werden.

Insbesondere kann der Grad der Ähnlichkeit zwischen dem gemessenen zeitlichen Verlauf der primären Meßgröße und einem der zeitlichen Referenzverläufe dadurch ermittelt werden, daß aus dem gemessenen zeitlichen Verlauf der primären Meßgröße ein Meßwert einer Kenngröße und aus dem zeitlichen Referenzverlauf ein Referenzwert der Kenngröße ermittelt wird und ein Abstand des Meßwertes der Kenngröße von dem Referenzwert der Kenngröße bestimmt wird. Der Kehrwert des bestimmten Abstandes des Meßwertes der Kenngröße von dem Referenzwert der Kenngröße kann als quantitatives Maß für den Grad der Ähnlichkeit zwischen dem gemessenen Verlauf und dem, jeweiligen Referenzverlauf der primären Meßgröße dienen. 45 50

In einfach gelagerten Fällen, wenn nur wenige Referenzzustände der Mehr-Phasen-Strömung voneinander zu unterscheiden sind, kann es genügen, als Kenngröße eine skalare Größe, beispielsweise die Varianz der Werte der primären Meßgröße, zu verwenden.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird jedoch als Kenngröße eine vektorielle Größe mit mehreren Komponenten verwendet, um eine Vielzahl möglicher Referenzverläufe der primären Meßgröße charakterisieren und voneinander unterscheiden zu können. 55

Als Komponenten einer vektoriellen Kenngröße kommen alle Parameter in Betracht, die zur Beschreibung des Fluktuationmusters der primären Meßgröße geeignet sind. Beispielsweise wäre es möglich, die Frequenz und/oder Amplitude von Extremwerten des zeitlichen Verlaufs der primären Meßgröße als Komponente der Kenngröße heranzuziehen. 60

Besonders bewährt hat es sich allerdings, wenn die Komponenten der Kenngröße Parameter einer Anpaßfunktion sind, welche an den gemessenen zeitlichen Verlauf beziehungsweise den zeitlichen Referenzverlauf der primären Meßgröße angepaßt wird.

Diese Anpaßfunktion kann beispielsweise mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate an den gemessenen zeitlichen Verlauf beziehungsweise an den zeitlichen Referenzverlauf der primären Meßgröße angepaßt werden, was den Vorteil hat, daß für die Durchführung einer Anpassung mittels dieser Methode auf einem Meßrechner bereits fertige Programmpakete zur Verfügung stehen. 65

Zu dem für die Anpaßfunktion verwendeten Ansatz wurden vorstehend noch keine näheren Angaben gemacht.

Wird eine Anpaßfunktion gewünscht, die sehr flexibel ist und eine gute Anpassung an nahezu beliebige zeitliche Verläufe der primären Meßgröße erlaubt, so kann eine Anpaßfunktion verwendet werden, deren Funktionswert zu einem Zeitpunkt t eine Linearkombination der Funktionswerte der Anpaßfunktion zu anderen Zeitpunkten darstellt, wobei die Koeffizienten der Funktionswerte der Anpaßfunktion zu den anderen Zeitpunkten die Komponenten der Kenngröße sind.

5 Eine solche Anpaßfunktion wird als lineares Vorhersagemodell bezeichnet.

Die Anzahl der in der Linearkombination berücksichtigten anderen Zeitpunkte (und damit die Anzahl der Komponenten der Kenngröße) wird vorzugsweise so gewählt, daß der Funktionswert der Anpaßfunktion zu dem Zeitpunkt t eine Linearkombination der Funktionswerte der Anpaßfunktion zu mindestens fünf, insbesondere mindestens sieben, vorzugsweise elf anderen Zeitpunkten darstellt. Bevorzugt wird also ein lineares Vorhersagemodell mindestens fünfter, insbesondere mindestens siebter, vorzugsweise elfter Ordnung. Dadurch ist gewährleistet, daß die vektorielle Kenngröße eine hinreichend hohe Dimension aufweist, um auch bei komplizierten Strömungsverhältnissen jeden Zustand der Mehr-Phasen-Strömung eindeutig charakterisieren zu können.

Um den erforderlichen Rechenaufwand zu begrenzen und den Einfluß statistischer Fluktuationen auf den ermittelten Wert der Kenngröße möglichst niedrig zu halten, sollte jedoch die Anpaßfunktion so gewählt werden, daß der Funktionswert der Anpaßfunktion zu dem Zeitpunkt t eine Linearkombination der Funktionswerte der Anpaßfunktion zu höchstens dreizehn anderen Zeitpunkten darstellt. Bevorzugt wird also ein lineares Vorhersagemodell höchstens dreizehnter Ordnung. In diesem Fall weist die Kenngröße höchstens dreizehn Komponenten auf.

Besonders geeignet ist ein solcher Ansatz für die Anpaßfunktion, bei dem die anderen Zeitpunkte und der Zeitpunkt t äquidistant aufeinanderfolgen.

10 Über die Art und Weise, in der der Abstand zwischen dem Meßwert der Kenngröße und dem Referenzwert der Kenngröße ermittelt wird, wurden vorstehend noch keine näheren Angaben gemacht.

Eine einfache Methode zur Ermittlung dieses Abstands besteht darin, daß der Abstand zwischen dem Meßwert der Kenngröße und dem Referenzwert der Kenngröße über ein Abstandsmaß nach der euklidischen Metrik ermittelt wird.

Alternativ dazu kann der Abstand zwischen dem Meßwert der Kenngröße und dem Referenzwert der Kenngröße über ein Abstandsmaß nach der City-Block-Metrik, der Tschebyschew-Metrik oder der Canberra-Metrik ermittelt werden.

25 Hierbei werden mit der City-Block-Metrik besonders gute Ergebnisse erzielt.

Wie bereits vorstehend ausgeführt, können mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens, unabhängig von der Art der verwendeten primären Meßgröße, beliebige Zielmeßgrößen der Mehr-Phasen-Strömung ermittelt werden. Eine umfassende Information über den aktuellen Zustand der Mehr-Phasen-Strömung kann dadurch erhalten werden, daß Meßwerte mehrerer Zielmeßgrößen ermittelt werden, indem jedem zeitlichen Referenzverlauf der primären Meßgröße Referenzwerte mehrerer Zielmeßgrößen zugeordnet sind.

Insbesondere kann vorgesehen sein, daß eine der weiteren ermittelten Zielmeßgrößen eine Kontrollmeßgröße ist, deren gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelter Meßwert zu Kontrollzwecken mit einem direkt aus der primären Meßgröße ermittelten Meßwert verglichen wird.

35 Vor einem ersten Meßvorgang müssen zunächst zeitliche Referenzverläufe der primären Meßgröße und die denselben zugeordneten Referenzwerte der Zielmeßgröße bereitgestellt werden.

Dies kann auf besonders einfache Weise durch einen sogenannten Anlernvorgang erfolgen, bei dem jeweils ein Zustand der Mehr-Phasen-Strömung eingestellt, der zugehörige Zeitverlauf der primären Meßgröße aufgezeichnet und der zugehörige Referenzwert der Zielmeßgröße gemessen wird. Ein solcher Anlernvorgang ist bei beliebig komplexen Strömungsverhältnissen der Mehr-Phasen-Strömung möglich, unabhängig davon, wie zutreffend diese Strömungsverhältnisse durch theoretische Modelle beschreibbar sind.

In einfach gelagerten Fällen ist jedoch auch denkbar, daß zeitliche Referenzverläufe der primären Meßgröße und die denselben zugeordneten Referenzwerte der Zielmeßgrößen mittels theoretischer Berechnungen auf der Grundlage von Strömungsmodellen oder mittels Computersimulationen der Mehr-Phasen-Strömung bereitgestellt werden.

45 Der Vergleich des gemessenen zeitlichen Verlaufs der primären Meßgröße mit den Referenzverläufen der primären Meßgröße kann mittels eines modernen Meßrechners in Sekundenbruchteilen durchgeführt werden, so daß die zum Ermitteln eines Meßwerts der Zielmeßgröße erforderliche Zeit im wesentlichen durch die Zeitdauer vorgegeben ist, während der der zeitliche Verlauf der primären Meßgröße gemessen werden muß, um ein hinreichend aussagekräftiges Fluktuationenmuster zu erhalten. Diese Zeitdauer liegt in der Regel im Bereich weniger Sekunden.

50 Da das erfindungsgemäße Verfahren somit zur kontinuierlichen zeitnahen Ermittlung von Meßwerten einer Zielmeßgröße der Mehr-Phasen-Strömung geeignet ist, kann dieses Verfahren insbesondere angewandt werden, um eine Flüssigkeitszufuhr in ein von einer Mehr-Phasen-Strömung durchströmtes Rohr, insbesondere in ein Dampferzeugerrohr, in Abhängigkeit von einer Zielmeßgröße der Mehr-Phasen-Strömung zu regeln.

Dabei wird vorteilhafterweise als Zielmeßgröße ein Massenstrom, insbesondere der Gesamtmassenstrom, der Mehr-Phasen-Strömung verwendet.

Der vorliegenden Erfindung liegt die weitere Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Ermitteln eines Meßwerts einer Zielmeßgröße einer Mehr-Phasen-Strömung, insbesondere einer Zwei-Phasen-Strömung, mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 25 so zu verbessern, daß eine zuverlässige Ermittlung des Meßwerts der Zielmeßgröße mit vergleichsweise geringem konstruktiven Aufwand ermöglicht wird.

60 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 25 gelöst, wobei erfindungsgemäß die Einrichtung zum Messen eines Drucks so ausgebildet und angeordnet ist, daß der Druck der Mehr-Phasen-Strömung an einer Stelle eines von der Mehr-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts eines horizontalen oder geneigten Rohrs meßbar ist, die im wesentlichen stets mit derselben Phase der Mehr-Phasen-Strömung in Kontakt steht.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist insbesondere zur Durchführung des vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet und bietet die bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschriebenen Vorteile.

Insbesondere bietet die erfindungsgemäße Vorrichtung den Vorteil, daß zur Ermittlung von Meßwerten für beliebige Zielmeßgrößen der Mehr-Phasen-Strömung lediglich eine Meßeinrichtung zum Messen einer einzigen primären Meß-

größe erforderlich ist.

Die Verarbeitungseinheit der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann als speziell für die Verwendung in der erfindungsgemäßen Vorrichtung aufgebauter Schaltkreis aus diskreten elektronischen Bauelementen oder als universell programmierbarer Meßrechner mit speziell für die Verwendung des Meßrechners in der erfindungsgemäßen Vorrichtung programmierter Software ausgebildet sein. Im letzteren Fall kann der Meßrechner zugleich auch die Speichereinheit zum Abspeichern eines gemessenen zeitlichen Verlaufs der primären Meßgröße und von jeweils einem zeitlichen Referenzverlauf der primären Meßgröße zugeordneten Referenzwerten der Zielmeßgröße umfassen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 26 bis 34, deren Vorteile bereits im Zusammenhang mit den bevorzugten Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert wurden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Ermitteln eines Meßwerts einer Zielmeßgröße einer Mehr-Phasen-Strömung eignet sich insbesondere zur Verwendung in einer Vorrichtung zum Regeln einer Flüssigkeitszufuhr in ein von einer Mehr-Phasen-Strömung durchströmtes Rohr, insbesondere in ein Dampferzeugerrohr, in Abhängigkeit von einer Zielmeßgröße der Mehr-Phasen-Strömung.

Eine solche Regelungsvorrichtung ist Gegenstand des Anspruchs 35.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung und zeichnerischen Darstellung eines Ausführungsbeispiels.

In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine schematische, teilweise geschnittene perspektivische Darstellung eines solarbeheizten Dampferzeugerrohrs mit einer Vorrichtung zum Regeln einer Flüssigkeitszufuhr in das Dampferzeugerrohr;

Fig. 2 einen schematischen Längsschnitt durch das Dampferzeugerrohr aus **Fig. 1**;

Fig. 3 einen schematischen Querschnitt durch das Dampferzeugerrohr aus **Fig. 1**, wobei eine das Dampferzeugerrohr durchströmende Zwei-Phasen-Strömung sich in einem Zustand mit hohem Dampfgehalt befindet.

Fig. 4 einen schematischen Querschnitt ähnlich dem der **Fig. 3**, wobei die das Dampferzeugerrohr durchströmende Zwei-Phasen-Strömung sich in einem Zustand mit einem niedrigeren Dampfgehalt als in **Fig. 3** befindet;

Fig. 5 ein Schaubild, das einen dem in **Fig. 3** dargestellten Zustand der Zwei-Phasen-Strömung zugeordneten zeitlichen Referenzverlauf des in der flüssigen Phase der Zwei-Phasen-Strömung gemessenen Staudrucks sowie einen dem in **Fig. 4** dargestellten Zustand der Zwei-Phasen-Strömung zugeordneten zeitlichen Referenzverlauf des in der flüssigen Phase der Zwei-Phasen-Strömung gemessenen Staudrucks enthält; und

Fig. 6 ein Schaubild, das einen gemessenen zeitlichen Verlauf des in der flüssigen Phase der Zwei-Phasen-Strömung gemessenen Staudrucks enthält.

Gleiche oder funktional äquivalente Elemente sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

Ein in **Fig. 1** dargestellter, als Ganzes mit **100** bezeichneter solarbeheizter Dampferzeuger umfaßt einen Spiegel **102** mit in einer Längsrichtung konstantem, im wesentlichen parabelförmigem Querschnitt, der von der Sonne **104** ausgesandte Lichtstrahlen **106** auf eine parallel zu der Längsrichtung des Spiegels **102** verlaufende Brennlinie **108** fokussiert.

Oberhalb des Spiegels **102** ist ein Dampferzeugerrohr **110** angeordnet, dessen im wesentlichen horizontal ausgerichtete Mittelachse **111** mit der Brennlinie **108** des Spiegels **102** zusammenfällt.

Das Dampferzeugerrohr **110** ist an seinem hinteren Ende geschlossen und über eine Flüssigkeitszuführöffnung mit einer Flüssigkeitszuführleitung **112** verbunden. In der Flüssigkeitszuführleitung **112** ist ein steuerbares Ventil **114**, beispielsweise ein Magnetventil, angeordnet, auf das später näher eingegangen werden wird.

An seinem (nicht dargestellten) vorderen Ende ist das Dampferzeugerrohr **110** ebenfalls geschlossen und über eine Dampfaustrittsöffnung mit einer Dampfzuführleitung verbunden. Über die Dampfzuführleitung kann der in dem Dampferzeugerrohr **110** erzeugte Dampf einer dampfbetriebenen Anlage, beispielsweise einer Turbine, oder einer dampfverbrauchenden Anlage, beispielsweise einem chemischen Reaktor, zugeführt werden.

Die Mantelwand **115** des Dampferzeugerrohrs **110** wird an der unteren Scheitellinie **113** desselben von einer ersten Druckübertragungsleitung **116** durchsetzt, deren innerhalb des Dampferzeugerrohrs **110** angeordneter Bereich so gekrümmt ist, daß eine an dem Ende dieses Bereichs angeordnete Mündungsöffnung **118**, an der die erste Druckübertragungsleitung **116** in das Innere des Dampferzeugerrohrs **110** mündet, im wesentlichen senkrecht zu der Mittelachse **111** des Dampferzeugerrohrs **110** ausgerichtet ist (siehe **Fig. 2**).

An einem weiteren, außerhalb des Dampferzeugerrohrs **110** angeordneten Ende ist die erste Druckübertragungsleitung **116** an einen Eingang eines Differenzdruckmessers **120** angeschlossen.

An einen weiteren Eingang des Differenzdruckmessers **120** ist ein Ende einer zweiten Druckübertragungsleitung **122** angeschlossen, die ebenfalls die Mantelwand des Dampferzeugerrohrs **110** an dessen unterer Scheitellinie **113** durchsetzt, jedoch bereits auf der Innenseite der Mantelwand des Dampferzeugerrohrs **110** in dasselbe mündet, so daß eine an dem dem Differenzdruckmesser **120** abgewandten Ende der zweiten Druckübertragungsleitung **122** angeordnete Mündungsöffnung **124** der zweiten Druckübertragungsleitung **122** im wesentlichen parallel zu der Mittelachse **111** des Dampferzeugerrohrs **110** ausgerichtet ist.

Der Differenzdruckmesser **120** ist über eine Meßsignalleitung **126** für elektrische Meßsignale mit einem Signaleingang eines Meßrechners **128** verbunden, welcher einen Speicher und eine Verarbeitungseinheit umfaßt.

Ein Steuersignalausgang des Meßrechners **128** ist über eine Steuersignalleitung **130** für elektrische Steuersignale mit einem Steuersignaleingang des steuerbaren Ventils **114** verbunden.

Die erste Druckübertragungsleitung **116**, die zweite Druckübertragungsleitung **122**, der Differenzdruckmesser **120**, die Meßsignalleitung **126** und der Meßrechner **128** bilden zusammen eine Vorrichtung **132** zum Ermitteln von Meßwerten von Zielmeßgrößen einer Zwei-Phasen-Strömung durch das Dampferzeugerrohr **110**.

Zusammen mit der Steuersignalleitung **130** und dem steuerbaren Ventil **114** in der Flüssigkeitszuführleitung **112** bildet die Vorrichtung **132** eine Vorrichtung **134** zum Regeln der Flüssigkeitszufuhr in das Dampferzeugerrohr **110**.

Im Betriebszustand des Dampferzeugers **100** wird dem hinteren Ende des Dampferzeugerrohrs **110** über die Flüssigkeitszuführleitung **112** eine zu verdampfende Flüssigkeit, beispielsweise Wasser, zugeführt.

Auf diese Flüssigkeit wird von der Mantelwand **115** des Dampferzeugerrohrs **110**, die sich durch Absorption der von dem Spiegel **102** zu dessen Brennlinie **108** hin reflektierten Sonnenstrahlung aufheizt, Wärme übertragen, so daß sich diese Flüssigkeit erhitzt und schließlich verdampft.

Der sich entwickelnde Dampf strömt im wesentlichen parallel zu der Mittelachse **111** des Dampferzeugerrohrs **110** zu der (nicht dargestellten) Dampfauslaßöffnung des Dampferzeugerrohrs **110** hin. Ein Teil des längs der Mittelachse **111** des Dampferzeugerrohrs **110** gerichteten Impulses des Dampfes wird dabei auf die noch nicht verdampfte Flüssigkeit übertragen, so daß auch diese Flüssigkeit im wesentlichen parallel zur Mittelachse **111** des Dampferzeugerrohrs **110** strömt und sich eine Zwei-Phasen-Strömung, umfassend eine flüssige Phase **136** und eine gasförmige Phase **138**, durch das Dampferzeugerrohr **110** ausbildet, deren Strömungsrichtung **140** parallel zu der Mittelachse **111** des Dampferzeugerrohrs **110** ausgerichtet und in **Fig. 1** durch den mit **140** bezeichneten Pfeil angegeben ist.

In Abhängigkeit von der zugeführten Heizleistung und von der zugeführten Flüssigkeitsmenge kann sich eine Vielzahl unterschiedlicher Zustände dieser Zwei-Phasen-Strömung durch das Dampferzeugerrohr **110** ausbilden, wobei jedem dieser Zustände bestimmte Werte von die Zwei-Phasen-Strömung beschreibenden physikalischen Größen zuzuordnen sind.

In Frage kommende physikalische Größen der Zwei-Phasen-Strömung sind beispielsweise der Gesamtmassenstrom durch einen Querschnitt des Dampferzeugerrohrs **110**, der Flüssigkeitsmassenstrom durch einen Querschnitt des Dampferzeugerrohrs **110**, der Dampfmassenstrom durch einen Querschnitt des Dampferzeugerrohrs **110**, die Strömungsgeschwindigkeit der flüssigen Phase **136** relativ zu dem Dampferzeugerrohr **110**, die Strömungsgeschwindigkeit der gasförmigen Phase **138** relativ zu dem Dampferzeugerrohr **110**, der Dampfmassenanteil an der durch das Dampferzeugerrohr **110** strömenden Gesamtmasse, der Dampfvolumenteil an dem Gesamttinnenvolumen des Dampferzeugerrohrs **110** oder ähnliches.

In **Fig. 3** ist eine Momentaufnahme eines von der Zwei-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts des Dampferzeugerrohrs **110** dargestellt, wobei sich die Zwei-Phasen-Strömung in einem ersten Zustand befindet, in dem der Dampfvolumenteil- und der Dampfmassenanteil groß sind, die Strömungsgeschwindigkeit der gasförmigen Phase **138** vergleichsweise hoch (ungefähr 7 m/s) und der Gesamtmassenstrom durch einen Querschnitt des Dampferzeugerrohrs **110** ebenfalls vergleichsweise hoch (ungefähr 75 g/s) ist. Die Phasengrenzfläche **142** zwischen der flüssigen Phase **136** und der gasförmigen Phase **138** weist in diesem Zustand eine hohe Welligkeit auf.

In **Fig. 4** ist ein weiterer Querschnitt durch die Zwei-Phasen-Strömung in dem Dampferzeugerrohr **110** dargestellt, wobei sich die Zwei-Phasen-Strömung in einem zweiten Zustand befindet, in dem der Dampfvolumenteil geringer sind als in dem in **Fig. 3** dargestellten ersten Zustand und in dem die Strömungsgeschwindigkeit in der gasförmigen Phase **138** (ungefähr 1 m/s) und der Gesamtmassenstrom durch einen Querschnitt des Dampferzeugerrohrs **110** (ungefähr 20 g/s) vergleichsweise niedrig sind. Die Welligkeit der Phasengrenzfläche **142** ist in dem in **Fig. 4** dargestellten zweiten Zustand der Zwei-Phasen-Strömung ebenfalls geringer als in dem in **Fig. 3** dargestellten ersten Zustand.

Unter anderem aufgrund der stark unterschiedlichen Welligkeit der Phasengrenzfläche **142** in den beiden vorstehend beschriebenen Zuständen der Zwei-Phasen-Strömung sind diese Zustände auch deutlich anhand des zeitlichen Verlaufs der in der Zwei-Phasen-Strömung herrschenden Drücke unterscheidbar.

In **Fig. 5** ist ein typischer Verlauf des Staudrucks p in der flüssigen Phase **136** der Zwei-Phasen-Strömung in Abhängigkeit von einer Meßzeit t für den in **Fig. 3** dargestellten ersten Zustand (in durchgezogener Linie gezeichnet) und für den in **Fig. 4** dargestellten zweiten Zustand (gebrochen gezeichnet) dargestellt. Der zeitliche Verlauf des Staudrucks in dem ersten Zustand wird im folgenden als erster Referenzverlauf **144** und der zeitliche Verlauf des Staudrucks in dem zweiten Zustand wird im folgenden als zweiter Referenzverlauf **146** bezeichnet.

Wie aus **Fig. 5** ersichtlich, unterscheiden sich der erste Referenzverlauf **144** und der zweite Referenzverlauf **146** deutlich hinsichtlich des Ausmaßes der Druckfluktuationen, der Häufigkeit und Amplitude von Druckspitzen, der zeitlichen Abstände zwischen aufeinanderfolgenden Druckspitzen sowie der Schwankung des zeitlichen Abstandes zwischen aufeinanderfolgenden Druckspitzen und so weiter. Aufgrund des Fluktuationenmusters des Staudrucks können daher die unterschiedlichen Strömungszustände der Zwei-Phasen-Strömung durch das Dampferzeugerrohr **110** eindeutig voneinander unterschieden werden, während eine solche Unterscheidung anhand des jeweiligen Durchschnittswerts des Staudrucks alleine nicht möglich wäre, da zu jedem Durchschnittsstaudruck eine Vielzahl von Strömungszuständen existiert, die diesen Durchschnittsstaudruck aufweisen, so daß eine eindeutige Zuordnung eines Durchschnittsstaudrucks zu einem bestimmten Zustand der Zwei-Phasen-Strömung nicht möglich ist.

Die Identifizierbarkeit der Zustände der Zwei-Phasen-Strömung anhand ihres Druck-Fluktuationenmusters kann mit den vorstehend beschriebenen Vorrichtungen **132** bzw. **134** für ein Verfahren zum Ermitteln von Meßwerten von Zielmeßgrößen der Zwei-Phasen-Strömung in dem Dampferzeugerrohr **110** und ein Verfahren zum Regeln der Flüssigkeitszufuhr in das Dampferzeugerrohr **110** wie folgt ausgenutzt werden:

Vor dem ersten Meß- oder Regelvorgang müssen zunächst hinreichend viele Referenzverläufe des als primäre Meßgröße dienenden Staudrucks p in der flüssigen Phase **136** sowie diesen Referenzverläufen jeweils zugeordnete Referenzwerte der gewünschten Zielmeßgröße oder der gewünschten Zielmeßgrößen, beispielsweise des Gesamtmassenstroms und des Dampfmassenanteils, bereitgestellt werden.

Diese Bereitstellung erfolgt durch einen sogenannten Anlernvorgang, der wie folgt abläuft:

Ein gewünschter Strömungszustand der Zwei-Phasen-Strömung, der „angelern“ werden soll, wird durch geeignete Variation der die Zwei-Phasen-Strömung in dem Dampferzeugerrohr **110** beeinflussenden Parameter, beispielsweise der Flüssigkeitszufuhr, die mittels des steuerbaren Ventils **114** verändert werden kann, und der Heizleistung, die beispielsweise durch ein Verschieben des Spiegels **102** relativ zu der Einfallsrichtung der Sonnenstrahlen **106** verändert werden kann, eingestellt.

Das innerhalb des Dampferzeugerrohrs **110** angeordnete Ende der ersten Druckübertragungsleitung **116** wird von der flüssigen Phase **136** der Zwei-Phasen-Strömung im wesentlichen senkrecht zu deren Mündungsöffnung **118** angeströmt, so daß in der ersten Druckübertragungsleitung **116** der Pitotdruck der flüssigen Phase **136** herrscht.

Das in den Innenraum des Dampferzeugerrohrs **110** mündende Ende der zweiten Druckübertragungsleitung **122** wird von der flüssigen Phase **136** der Zwei-Phasen-Strömung im wesentlichen parallel zu deren Mündungsöffnung **124** angeströmt, so daß in der zweiten Druckübertragungsleitung **122** der statische Druck der flüssigen Phase **136** herrscht.

Der Differenzdruckmesser **120** erzeugt ein elektrisches Signal, das der Differenz der Drücke, mit denen seine Eingänge beaufschlagt werden, entspricht. Da zumindest für näherungsweise reibungsfreie Strömungen näherungsweise inkompressibler Fluide gilt, das die Differenz zwischen dem Pitotdruck und dem statischen Druck des Fluids dessen Staudruck ist, entspricht das von dem Differenzdruckmesser **120** erzeugte Signal dem Staudruck der flüssigen Phase **136** der Zwei-Phasen-Strömung.

Dieses elektrische Signal wird über die Meßsignalleitung **126** an den Meßrechner **128** übermittelt, von diesem mit einer Frequenz von beispielsweise 1 kHz bis 5 kHz während einer Meßzeit von beispielsweise 27 Sekunden abgetastet und in Form diskreter Datenpunkte in einem Speicher des Meßrechners **128** abgespeichert.

Ferner werden die dem eingestellten Zustand der Zwei-Phasen-Strömung zugeordneten Referenzwerte der gewünschten Zielmeßgrößen, beispielsweise des Gesamtmassenstroms und des Dampfmassenanteils, mit einer herkömmlichen Meßmethode bestimmt und unter Zuordnung zu dem zugehörigen Referenzverlauf des Staudrucks im Speicher des Meßrechners **128** abgelegt.

Alternativ oder ergänzend hierzu können die Referenzwerte der Zielmeßgrößen auch aus den dem eingestellten Zustand der Zwei-Phasen-Strömung zugrundeliegenden Parametern, beispielsweise der Flüssigkeitszufuhr und der Heizleistung, anhand eines theoretischen Modells berechnet und im Speicher des Meßrechners **128** abgelegt werden.

Damit ist der Anlernschritt für den betreffenden Referenzzustand der Zwei-Phasen-Strömung abgeschlossen, und der Anlernvorgang wird durch Einstellen eines weiteren Referenzzustandes fortgesetzt, bis eine hinreichende Anzahl von Referenzzuständen „angelernt“ worden ist.

Ist ein solcher Anlernvorgang für einen baugleichen Dampferzeuger bereits durchgeführt worden, so muß dieser Anlernvorgang nicht wiederholt werden. Vielmehr können die bereits ermittelten Referenzverläufe und die denselben zugeordneten Referenzwerte der Zielmeßgrößen einfach übernommen werden.

Zum Ermitteln von Meßwerten der gewünschten Zielmeßgrößen der Zwei-Phasen-Strömung während des Normalbetriebs des Dampferzeugers wird wie folgt vorgegangen:

Auf die vorstehend beschriebene Weise wird mittels des Differenzdruckmessers **120** der zeitliche Verlauf des Staudrucks in der flüssigen Phase **136** der Zwei-Phasen-Strömung während einer Meßdauer von beispielsweise 6 Sekunden gemessen und im Speicher des Meßrechners **128** abgespeichert. Ein solcher gemessener Verlauf **148** des Staudrucks p in Abhängigkeit von einer Meßzeit t ist in **Fig. 6** dargestellt.

Daraufhin wird der gemessene zeitliche Verlauf **148** des Staudrucks mit den gespeicherten zeitlichen Referenzverläufen des Staudrucks, beispielsweise **144** und **146**, verglichen.

Zum Zwecke dieses Vergleichs wird eine Anpaßfunktion der Form

$$p(t) = \sum_{n=1}^k a_n p(t - n\Delta t)$$

an den gemessenen zeitlichen Verlauf des Staudrucks p angepaßt, wobei t die Meßzeit, Δt eine konstante Zeitdifferenz und die Koeffizienten a_n die Komponenten eines Vektors \underline{a} der Dimension k bezeichnen, der als Kenngröße für den zeitlichen Verlauf des Staudrucks dient.

Die Dimension k des Vektors \underline{a} wird vorzugsweise zu mindestens 5 und höchstens 13 gewählt; besonders gute Ergebnisse lassen sich mit $k = 11$ erzielen.

Die Komponenten a_n des Vektors \underline{a} stellen die Anpassungsparameter dar und werden beispielsweise nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate ermittelt.

Durch Anpassung der oben angegebenen Anpaßfunktion an den gemessenen zeitlichen Verlauf des Staudrucks wird ein Meßwert \underline{a}_M der Kenngröße mit Komponenten $a_{M,n}$ ermittelt.

In entsprechender Weise wird für jeden der gespeicherten Referenzverläufe des Staudrucks ein Referenzwert \underline{a}_R der Kenngröße mit Komponenten $a_{R,n}$ durch Anpassung der oben angegebenen Anpaßfunktion an den jeweiligen Referenzverlauf ermittelt.

Diese Ermittlung der Referenzwerte \underline{a}_R kann bereits während des Anlernvorgangs erfolgen und braucht dann nicht bei jedem Meß- oder Regelvorgang wiederholt zu werden.

In einem weiteren Schritt wird der Abstand des Meßwerts \underline{a}_M der Kenngröße von den Referenzwerten \underline{a}_R der Kenngröße ermittelt. Dieser Abstand d wird als euklidischer Abstand ermittelt nach der Formel

$$\underline{d} = \left[\sum_{n=1}^k (a_{M,n} - a_{R,n})^2 \right]^{1/2}$$

Alternativ dazu kann der Abstand d auch als Abstandsmaß nach der City-Block-Metrik ermittelt werden nach der Formel

$$\underline{d} = \sum_{n=1}^k | a_{M,n} - a_{R,n} |$$

Je kleiner der Abstand d zwischen dem Meßwert \underline{a}_M der Kenngröße und einem Referenzwert \underline{a}_R der Kenngröße ist, umso größer ist der Grad der Ähnlichkeit zwischen dem gemessenen zeitlichen Verlauf des Staudrucks und dem Referenzverlauf des Staudrucks, dem der betreffende Referenzwert \underline{a}_R der Kenngröße zugeordnet ist.

Daher ist davon auszugehen, daß dem aktuellen Zustand der Zwei-Phasen-Strömung derjenige Referenzzustand am

ehesten entspricht, dessen Referenzwert der Kenngröße den geringsten Abstand von dem Meßwert der Kenngröße aufweist. Folglich stellen auch die diesem Referenzzustand zugeordneten Referenzwerte der Zielmeßgrößen die beste Annäherung an die aktuellen Werte dieser Zielmeßgrößen dar. Daher werden die gesuchten Meßwerte der gewünschten Zielmeßgrößen, beispielsweise des Gesamtmassenstroms und des Dampfmassenanteils, gleich den Referenzwerten dieser Zielmeßgrößen gesetzt, die demjenigen Referenzzeitverlauf zugeordnet sind, dessen Referenzwert a_R der Kenngröße den geringsten Abstand d von dem Meßwert a_M der Kenngröße aufweist.

Da der in Fig. 6 dargestellte gemessene zeitliche Verlauf **148** des Staudrucks dem in Fig. 5 in durchgezogener Linie dargestellten ersten Referenzverlauf **144** ähnlicher ist als dem in Fig. 5 in gebrochener Linie dargestellten zweiten Referenzverlauf **146**, würde also beispielsweise der Meßwert des Gesamtmassenstroms gleich dem dem ersten Referenzverlauf **144** zugeordneten Referenzwert des Gesamtmassenstroms (75 g/s) gesetzt werden.

Anzumerken ist, daß die Beschränkung auf nur zwei Referenzverläufe **144**, **146** in Fig. 5 lediglich der Veranschaulichung dient. In der Regel wird eine deutlich größere Anzahl von Referenzverläufen bereitgestellt werden, um eine höhere Auflösung des Meßverfahrens zu erreichen.

Alternativ zu der vorstehend beschriebenen Vorgehensweise ist es auch möglich, den Meßwert der gesuchten Zielmeßgröße gleich einem gewichteten Mittel der Referenzwerte der Zielmeßgröße zu setzen, wobei das Gewicht jedes der Referenzwerte der Zielmeßgröße in Abhängigkeit von dem Abstand d zwischen dem Meßwert a_M der Kenngröße und dem Referenzwert a_R der Kenngröße desjenigen Referenzverlaufs, dem der betreffende Referenzwert der Zielmeßgröße zugeordnet ist, zu bestimmen ist.

Insbesondere kann das Gewicht, mit dem ein Referenzwert der Zielmeßgröße in das gewichtete Mittel eingeht, reziprok zu dem jeweiligen Abstand d gewählt werden.

Der auf die vorstehend beschriebene Weise erhaltene Meßwert der Zielmeßgröße kann zur Regelung der Flüssigkeitszufuhr in das Dampferzeugerrohr **110** verwendet werden.

Wird beispielsweise der Gesamtmassenstrom als Zielmeßgröße verwendet und liegt der ermittelte Meßwert des Gesamtmassenstroms oberhalb eines vorgegebenen Sollwertes, so wird von dem Meßrechner **128** über die Steuersignalleitung **131** ein Steuersignal an das steuerbare Ventil **114** ausgegeben, welches ein Schließen des steuerbaren Ventils **114** bewirkt, so daß die Flüssigkeitszufuhr in das Dampferzeugerrohr **110** gedrosselt und in der Folge der Gesamtmassenstrom durch das Dampferzeugerrohr **110** verringert wird.

Liegt andererseits der erhaltene Meßwert des Gesamtmassenstroms unterhalb des vorgegebenen Sollwertes, so gibt der Meßrechner **128** über die Steuersignalleitung **130** ein Steuersignal an das steuerbare Ventil **114** aus, welches ein Öffnen des steuerbaren Ventils **114** bewirkt, so daß die Flüssigkeitszufuhr in das Dampferzeugerrohr **110** gesteigert und in der Folge der Gesamtmassenstrom durch das Dampferzeugerrohr **110** erhöht wird.

In entsprechender Weise kann die Flüssigkeitszufuhr in das Dampferzeugerrohr **110** geregelt werden, wenn als Zielmeßgröße der Dampfmassenanteil der Zwei-Phasen-Strömung verwendet wird. In diesem Fall kann insbesondere ein Austrocknen des Flüssigkeitsfilms in dem Dampferzeugerrohr **110** auf einfache Weise verhindert werden, indem dann, wenn der erhaltene Meßwert des Dampfmassenanteils nahe bei 100% liegt, vom Meßrechner **128** ein Steuersignal an das steuerbare Ventil **114** ausgegeben wird, welches ein Öffnen des steuerbaren Ventils **114** und damit eine Erhöhung der Flüssigkeitszufuhr in das Dampferzeugerrohr **110** bewirkt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln eines Meßwerts einer Zielmeßgröße einer Mehr-Phasen-Strömung, insbesondere einer Zwei-Phasen-Strömung, bei dem ein Wert eines Druckes der Mehr-Phasen-Strömung als einer primären Meßgröße mittels einer Meßeinrichtung gemessen wird, wobei

– ein zeitlicher Verlauf der primären Meßgröße gemessen wird,

– der gemessene zeitliche Verlauf der primären Meßgröße mit zeitlichen Referenzverläufen der primären Meßgröße, denen jeweils ein Referenzwert der Zielmeßgröße zugeordnet ist, verglichen wird und

– in Abhängigkeit von dem Ergebnis des Vergleichs des gemessenen Verlaufs der primären Meßgröße mit den Referenzverläufen der primären Meßgröße der Meßwert der Zielmeßgröße aus den Referenzwerten der Zielmeßgröße ermittelt wird,

dadurch gekennzeichnet, daß der Druck der Mehr-Phasen-Strömung an einer Stelle eines von der Mehr-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts eines horizontalen oder geneigten Rohrs gemessen wird, die im wesentlichen stets mit derselben Phase der Mehr-Phasen-Strömung in Kontakt steht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein statischer Druck der Mehr-Phasen-Strömung als primäre Meßgröße gemessen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Pitotdruck der Mehr-Phasen-Strömung als primäre Meßgröße gemessen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Staudruck der Mehr-Phasen-Strömung als primäre Meßgröße gemessen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck der Mehr-Phasen-Strömung im unteren Drittel, vorzugsweise nahe der tiefsten Stelle, des von der Mehr-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts des horizontalen oder geneigten Rohrs gemessen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck der Mehr-Phasen-Strömung im oberen Drittel, vorzugsweise nahe der höchsten Stelle, des von der Mehr-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts des horizontalen oder geneigten Rohrs gemessen wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Grad der Ähnlichkeit zwischen dem gemessenen zeitlichen Verlauf der primären Meßgröße und jeweils einem der zeitlichen Referenzverläufe der primären Meßgröße ermittelt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßwert der Zielmeßgröße gleich dem Referenz-

wert der Zielmeßgröße gesetzt wird, der demjenigen zeitlichen Referenzverlauf zugeordnet ist, welcher den höchsten Grad der Ähnlichkeit zu dem gemessenen zeitlichen Verlauf der primären Meßgröße aufweist.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßwert der Zielmeßgröße gleich einem gewichteten Mittel der Referenzwerte der Zielmeßgröße gesetzt wird, wobei das Gewicht jedes der Referenzwerte in Abhängigkeit von dem Grad der Ähnlichkeit zwischen dem gemessenen zeitlichen Verlauf der primären Meßgröße und demjenigen zeitlichen Referenzverlauf, dem der Referenzwert der Zielmeßgröße zugeordnet ist, bestimmt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Grad der Ähnlichkeit zwischen dem gemessenen zeitlichen Verlauf der primären Meßgröße und einem der zeitlichen Referenzverläufe dadurch ermittelt wird, daß aus dem gemessenen zeitlichen Verlauf der primären Meßgröße ein Meßwert einer Kenngröße und aus dem zeitlichen Referenzverlauf hin Referenzwert der Kenngröße ermittelt wird und ein Abstand des Meßwertes der Kenngröße von dem Referenzwert der Kenngröße bestimmt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß als Kenngröße eine skalare Größe verwendet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß als Kenngröße eine vektorielle Größe mit mehreren Komponenten verwendet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Komponenten der Kenngröße Parameter einer Anpaßfunktion sind, welche an den gemessenen zeitlichen Verlauf beziehungsweise den zeitlichen Referenzverlauf der primären Meßgröße angepaßt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Anpaßfunktion mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate an den gemessenen zeitlichen Verlauf beziehungsweise an den zeitlichen Referenzverlauf der primären Meßgröße angepaßt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß eine Anpaßfunktion verwendet wird, deren Funktionswert zu einem Zeitpunkt t eine Linearkombination der Funktionswerte der Anpaßfunktion zu anderen Zeitpunkten darstellt, wobei die Koeffizienten der Funktionswerte der Anpaßfunktion zu den anderen Zeitpunkten die Komponenten der Kenngröße sind.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Funktionswert der Anpaßfunktion zu dem Zeitpunkt t eine Linearkombination der Funktionswerte der Anpaßfunktion zu mindestens 5, insbesondere mindestens 7, vorzugsweise 11 anderen Zeitpunkten darstellt.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Funktionswert der Anpaßfunktion zu dem Zeitpunkt t eine Linearkombination der Funktionswerte der Anpaßfunktion zu höchstens 13 anderen Zeitpunkten darstellt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die anderen Zeitpunkte und der Zeitpunkt t äquidistant aufeinanderfolgen.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen dem Meßwert der Kenngröße und dem Referenzwert der Kenngröße über ein Abstandsmaß nach der euklidischen Metrik ermittelt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen dem Meßwert der Kenngröße und dem Referenzwert der Kenngröße über ein Abstandsmaß nach der City-Block-Metrik ermittelt wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß Meßwerte mehrerer Zielmeßgrößen ermittelt werden, indem jedem zeitlichen Referenzverlauf der primären Meßgröße Referenzwerte mehrerer Zielmeßgrößen zugeordnet sind.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitlichen Referenzverläufe der primären Meßgröße und die denselben zugeordneten Referenzwerte der Zielmeßgröße dadurch bereitgestellt werden, daß jeweils ein Zustand der Mehr-Phasen-Strömung eingestellt, der zugehörige Zeitverlauf der primären Meßgröße aufgezeichnet und der zugehörige Referenzwert der Zielmeßgröße gemessen wird.

23. Verfahren zum Regeln einer Flüssigkeitszufuhr in ein von einer Mehr-Phasen-Strömung durchströmtes Rohr, insbesondere in ein horizontales oder geneigtes Dampferzeugerrohr; in Abhängigkeit von einer Zielmeßgröße der Mehr-Phasen-Strömung, wobei ein Meßwert der Zielmeßgröße durch das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22 ermittelt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß als Zielmeßgröße ein Massenstrom, insbesondere der Gesamtmassenstrom, der Mehr-Phasen-Strömung verwendet wird.

25. Vorrichtung zum Ermitteln eines Meßwertes einer Zielmeßgröße einer Mehr-Phasen-Strömung, insbesondere einer Zwei-Phasen-Strömung umfassend eine Einrichtung (116, 120, 122) zum Messen eines Druckes der Mehr-Phasen-Strömung als einer primären Meßgröße, wobei die Vorrichtung (132)

- eine Speichereinheit zum Abspeichern eines gemessenen zeitlichen Verlaufs der primären Meßgröße (148) und von jeweils einem zeitlichen Referenzverlauf (144, 146) der primären Meßgröße zugeordneten Referenzwerten der Zielmeßgröße und

- eine Verarbeitungseinheit zum Vergleichen des gemessenen zeitlichen Verlaufs (148) der primären Meßgröße mit den zeitlichen Referenzverläufen (144, 146) der primären Meßgröße und zum Ermitteln des Meßwertes der Zielmeßgröße aus den Referenzwerten der Zielmeßgröße in Abhängigkeit von dem Ergebnis des Vergleichs des gemessenen zeitlichen Verlaufs (148) der primären Meßgröße mit den zeitlichen Referenzverläufen (144, 146) der primären Meßgröße

umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (116, 120, 122) zum Messen eines Drucks so ausgebildet und angeordnet ist, daß der Druck der Mehr-Phasen-Strömung an einer Stelle eines von der Mehr-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts eines horizontalen oder geneigten Rohrs meßbar ist, die im wesentlichen stets mit derselben Phase (136) der Mehr-Phasen-Strömung in Kontakt steht.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung eine Einrichtung zum Messen ei-

nes statischen Druckes der Mehr-Phasen-Strömung umfaßt.

27. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung eine Einrichtung zum Messen eines Pitotdrucks der Mehr-Phasen-Strömung umfaßt.

28. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (**132**) eine Einrichtung (**116, 120, 122**) zum Messen eines Staudrucks der Mehr-Phasen-Strömung umfaßt.

29. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (**116, 120, 122**) zum Messen eines Drucks so angeordnet ist, daß der Druck der Mehr-Phasen-Strömung im unteren Drittel, vorzugsweise nahe der tiefsten Stelle, des von der Mehr-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts des horizontalen oder geneigten Rohres meßbar ist.

31. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zum Messen eines Drucks so angeordnet ist, daß ein Druck der Mehr-Phasen-Strömung im oberen Drittel, vorzugsweise nahe der höchsten Stelle, des von der Mehr-Phasen-Strömung durchströmten Querschnitts des horizontalen oder geneigten Rohres meßbar ist.

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Verarbeitungseinheit ein Grad der Ähnlichkeit zwischen dem gemessenen zeitlichen Verlauf (**148**) der primären Meßgröße und jeweils einem der zeitlichen Referenzverläufe (**144, 146**) der primären Meßgröße ermittelbar ist.

32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Verarbeitungseinheit aus dem gemessenen zeitlichen Verlauf (**148**) der primären Meßgröße ein Meßwert einer Kenngröße und aus dem zeitlichen Referenzverlauf (**144, 146**) der primären Meßgröße ein Referenzwert einer Kenngröße ermittelbar, und ein Abstand des Meßwertes der Kenngröße von dem Referenzwert der Kenngröße bestimmbar ist.

33. Vorrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Verarbeitungseinheit eine Anpaßfunktion an den gemessenen zeitlichen Verlauf (**148**) beziehungsweise den zeitlichen Referenzverlauf (**144, 146**) der primären Meßgröße anpaßbar ist, wobei die Parameter der Anpaßfunktion den Komponenten einer vektoriellen Kenngröße entsprechen.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß in der Speichereinheit jedem zeitlichen Referenzverlauf (**144, 146**) der primären Meßgröße Referenzwerte mehrerer Zielmeßgrößen zuordenbar sind.

35. Vorrichtung zum Regeln einer Flüssigkeitszufuhr in ein von einer Mehr-Phasen-Strömung durchströmtes Rohr, insbesondere in ein horizontales oder geneigtes Dampferzeugerrohr, in Abhängigkeit von einer Zielmeßgröße der Mehr-Phasen-Strömung, umfassend eine Vorrichtung zum Ermitteln eines Meßwertes der Zielmeßgröße nach einem der Ansprüche 25 bis 34.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

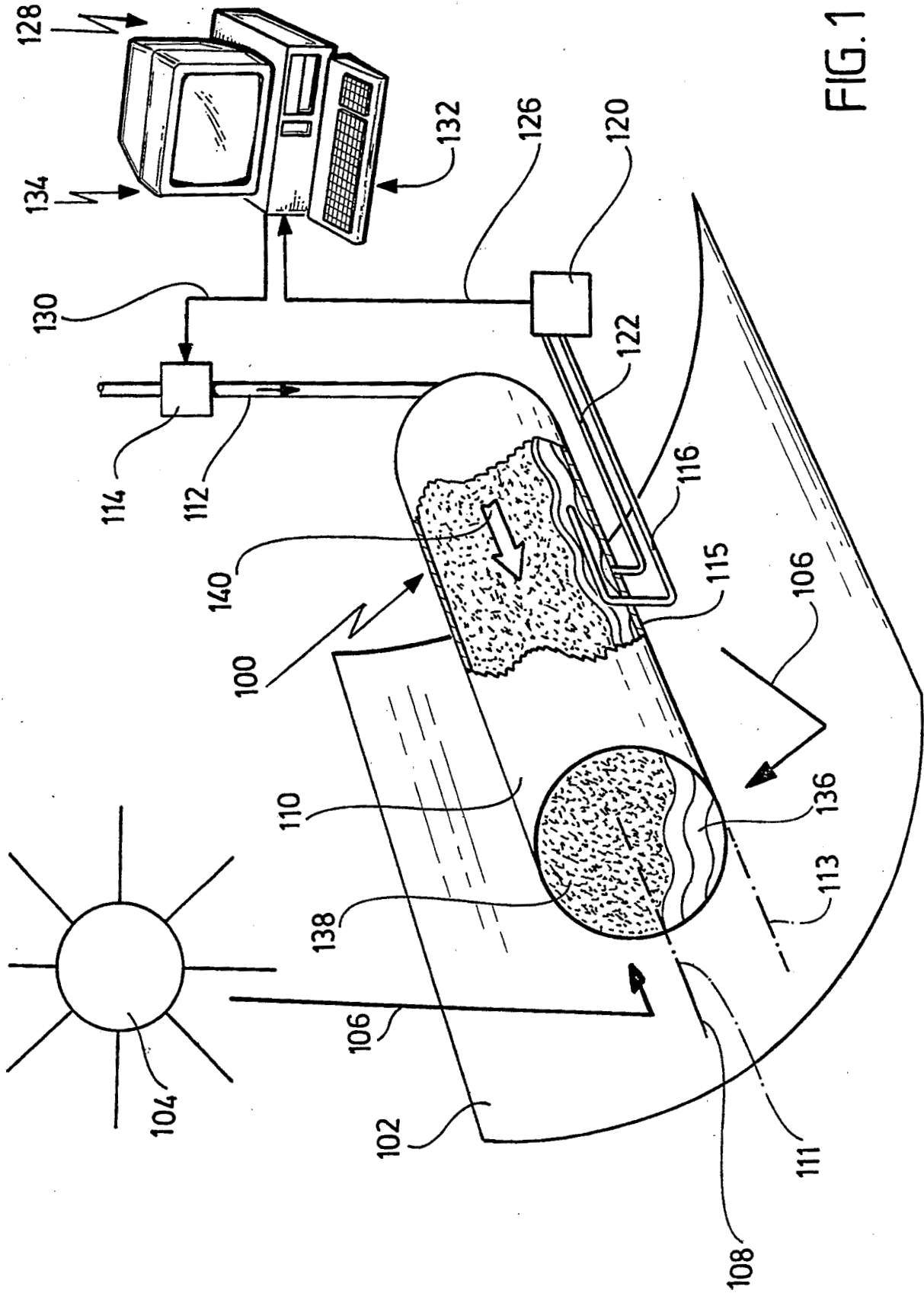


FIG. 1

FIG. 2

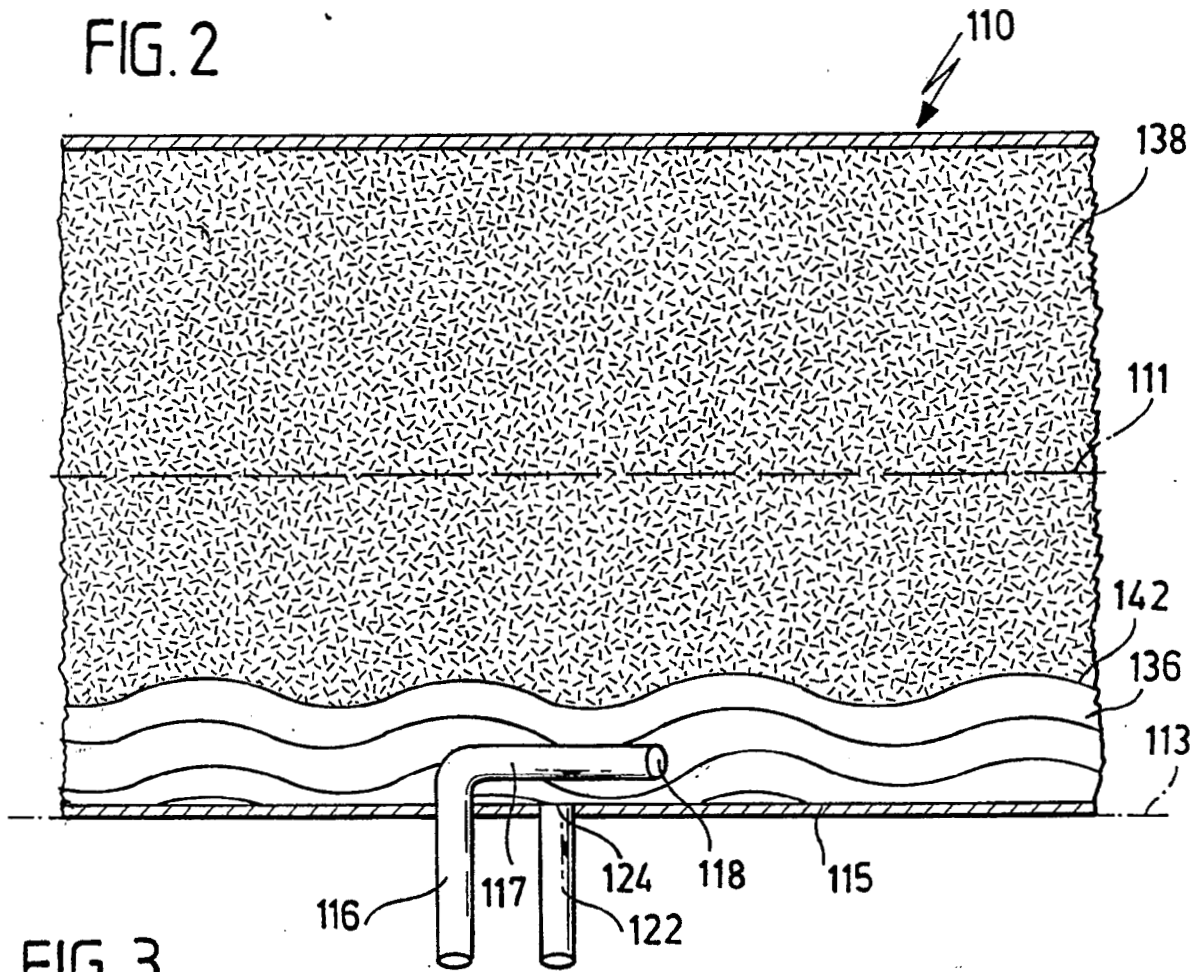


FIG. 3

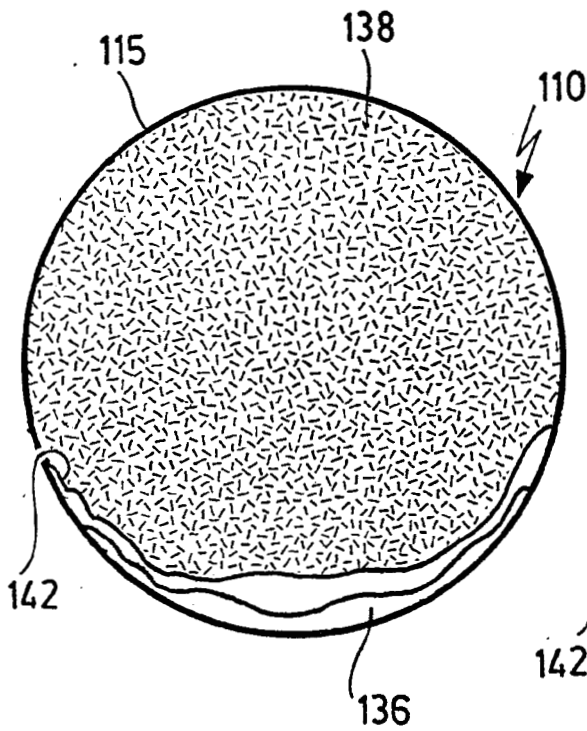


FIG. 4

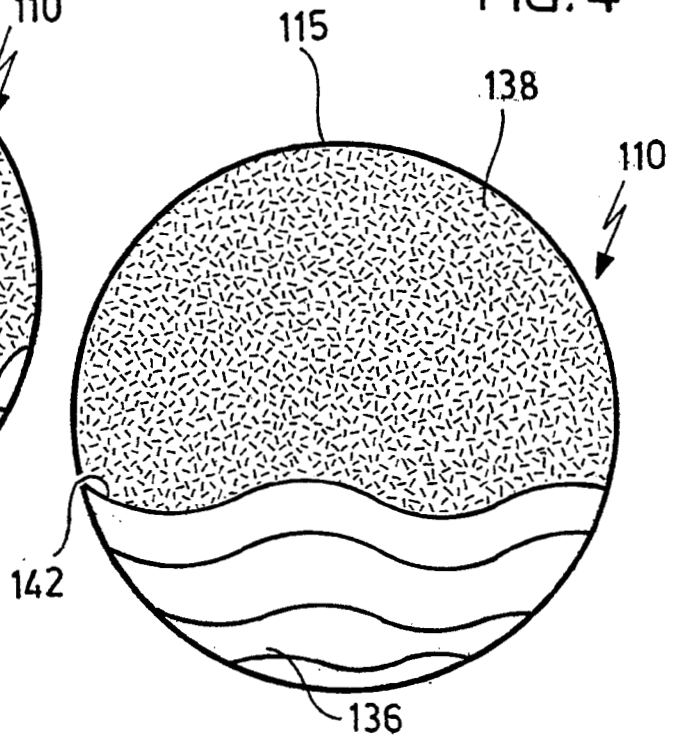


FIG. 5

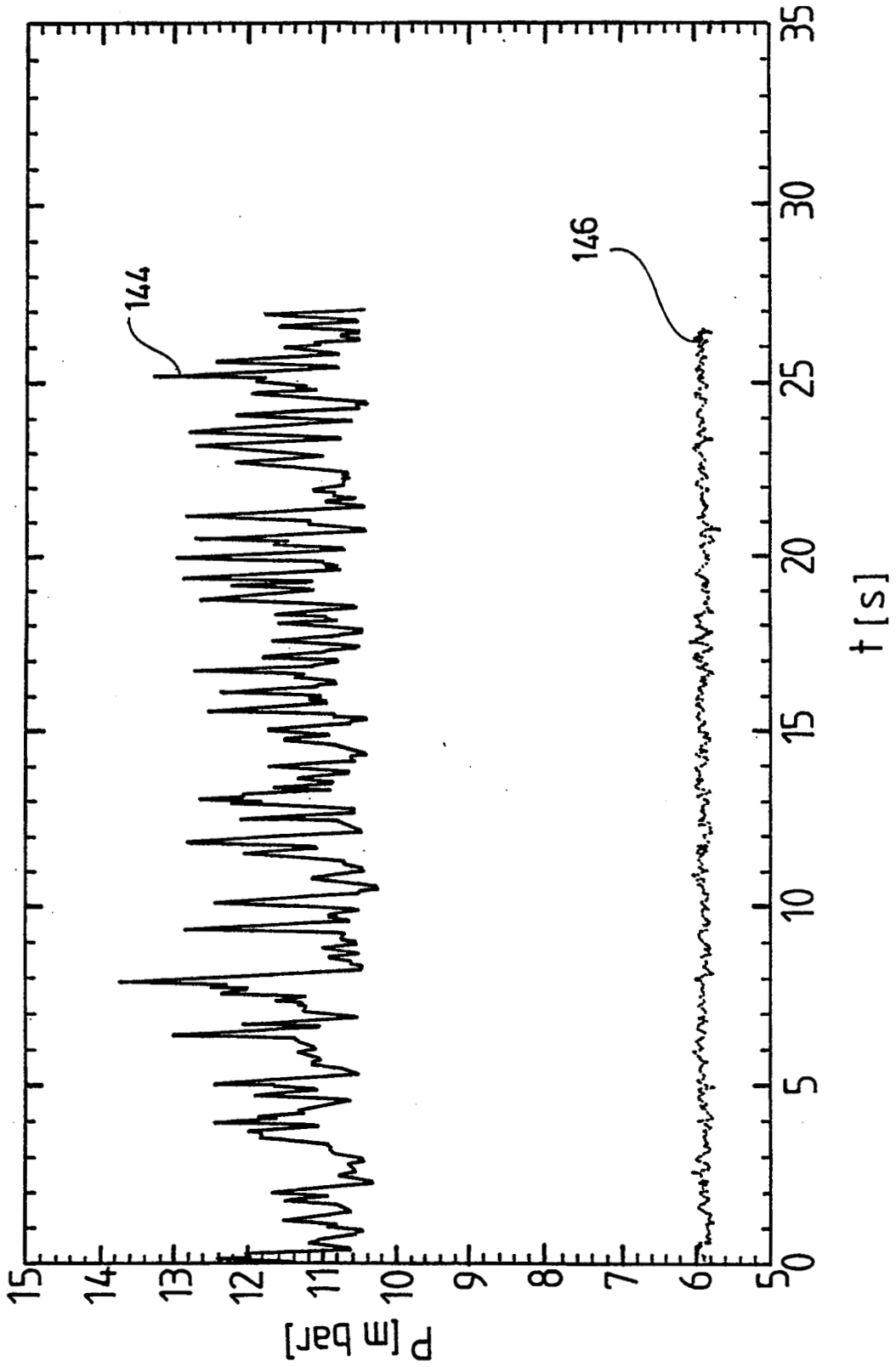


FIG. 6

