



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 020 699.7**
(22) Anmeldetag: **17.05.2010**
(43) Offenlegungstag: **17.11.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.04.2015**

(51) Int Cl.: **G05D 7/00 (2006.01)**
G01F 25/00 (2006.01)
G05D 11/02 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, dieses vertreten durch den Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, DE

(74) Vertreter:
GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122 Braunschweig, DE

(72) Erfinder:
Wendt, Gudrun, Dr., 38179 Schwülper, DE;
Mickan, Bodo, Dr., 38104 Braunschweig, DE;
Mathies, Nicolaus, Dr., 45478 Mülheim, DE; Ehrler, Alois, 74673 Mulfingen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 103 20 840 B4
US 7 111 757 B1

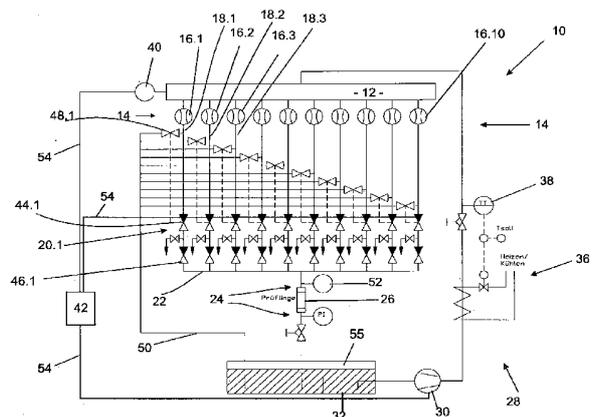
Mollenhauer, K.; Tschöke, H.: Handbuch Dieselmotoren. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2007, 3. Auflage, Kapitel 5.1.2, Seiten 144 bis 146.

WRONA, F.: Simulation von kavitierenden Strömungen in Hochdrucksystemen. Dissertation, Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie, Universität Stuttgart, 2005, Seiten 6 bis 8.

(54) Bezeichnung: **Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur, Mischvorrichtung und Verfahren zum Erzeugen eines Flüssigkeitsstroms definierter Stärke**

(57) Hauptanspruch: Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur mit

- (a) einem Vordruckbehälter (12) für eine Flüssigkeit,
- (b) einer Kavitationsdüsenkaskade (14) mit
 - einer ersten Kavitationsdüse (16.1), die beim Einstellen eines Druckverhältnisses (r) aus einem Vordruck (p_{12}) strömungsseitig vor und einem Hinterdruck (p_{24}) abströmungsseitig hinter der ersten Kavitationsdüse (16.1), das oberhalb von 2 liegt, einen ersten Durchfluss (q_1) hat, und
 - zumindest einer zweiten Kavitationsdüse (16.2), die beim Einstellen dieses Druckverhältnisses einen vom ersten Durchfluss (q_1) verschiedenen zweiten Durchfluss (q_2) hat, und
- (c) einer Sammelleitung (22) zum Sammeln von aus den Kavitationsdüsen (16.1, 16.2) austretender Flüssigkeit.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur und ein Verfahren zum Erzeugen eines Flüssigkeitsstroms definierter Stärke.

[0002] Flüssigkeitsmengenmessgeräte sind in millionenfacher Ausführung im Einsatz, beispielsweise sind sie als Wasserzähler in fast allen Haushalten vorhanden. Damit diese Wasserzähler wie auch alle anderen Flüssigkeitsmengenmesser die durchgeflossene Flüssigkeitsmenge stets richtig anzeigen, muss jedes Messgerät individuell vor seiner ersten Verwendung und danach in regelmäßigen Abständen kalibriert bzw. geeicht werden. Das geschieht bislang mit Hilfe von gravimetrischen oder volumetrischen Normalmesseinrichtungen, in die das zu prüfende Messgerät (Prüfling) eingebaut wird. Dort wird es bei verschiedenen festgelegten Durchflüssen mit Flüssigkeit durchströmt, die danach auf das eigentliche Normal geleitet wird. Bei der gravimetrischen Messung wird eine Flüssigkeitsmenge anhand ihrer Masse charakterisiert und durch den Flüssigkeitsmengenmesser geleitet. Bei der Verwendung einer volumetrischen Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur wird ein Behälter bekannten Volumens verwendet, um die Flüssigkeitsmenge zu charakterisieren, die vorher den Flüssigkeitsmengenmesser passiert hat.

[0003] Nachteilig an den bekannten Flüssigkeitsmengenreferenzapparaturen und Verfahren zum Erzeugen eines Flüssigkeitsstroms definierter Stärke ist, dass sie aufwändig sind. Neben den Waagen oder Behältern zur genauen Bestimmung der Flüssigkeitsmenge sind zusätzlich umfangreiche Maßnahmen und Einrichtungen zur Erzeugung und Stabilisierung der verschiedenen, für die jeweiligen messtechnischen Prüfungen vorgeschriebenen Durchflüsse erforderlich.

[0004] Bislang existieren keine Apparaturen zum Erzeugen eines definierten Flüssigkeitsstroms. Die vorhandenen Normalmesseinrichtungen sind vordergründig zum Messen da, wozu sie in der Regel definierte und konstante Flüssigkeitsströme benötigen. Wünschenswert ist eine Referenzapparatur, die nicht misst, sondern nur einen Flüssigkeitsstrom erzeugt, der aber so genau definiert und konstant ist, dass er nicht mehr gemessen werden muss.

[0005] Wünschenswert ist, Flüssigkeitsmengenmessgeräte wie Wasserzähler mittels einer Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur zu kalibrieren, die direkt auf ein nationales Primärnormal rückführbar ist.

[0006] Aus der Dissertation „Simulation von kavitierenden Strömungen in Hochdrucksystemen“ von Frank Wrona, Universität Stuttgart, 2005 ist auf den Seiten 6 bis 8 bekannt, dass der Massenstrom an Dieseldieselkraftstoff durch eine Doppeldrossel ab einer

gewissen Druckdifferenz stagniert. Aus dem Handbuch Dieselmotoren von K. Mollenhauer und H. Tschöke [Hrsg.], 3. Auflage ist bekannt, dass Drosseln vor den Magnetventilen von Einspritzsystemen angeordnet werden, um die Mengenkonzanz bei der Einspritzung zu verbessern.

[0007] Aus der DE 103 20 840 A1 sind eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Einbringen einer ersten Flüssigkeit mittels einer Venturi-Düse in eine zweite Flüssigkeit bekannt, wobei die zweite Flüssigkeit in die Venturi-Düse eingebracht wird.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Flüssigkeitsströmungen bekannter Stärke auf einfache Weise mit hoher Genauigkeit herzustellen.

[0009] Die Erfindung löst das Problem durch eine Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur gemäß Anspruch 1 und eine Mischvorrichtung nach Anspruch 6. Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch ein Verfahren zum Kalibrieren eines Flüssigkeitsmengenmessgeräts gemäß Anspruch 7.

[0010] Vorteilhaft an der Erfindung ist der geringe Aufwand zum Einstellen des Flüssigkeitsstroms definierter Stärke. So ist es lediglich notwendig, ein von der jeweiligen Kavitationsdüse abhängiges Druckverhältnis zwischen einem Vordruck zuströmungsseitig vor der Kavitationsdüse und einem Hinterdruck abstromseitig hinter der Kavitationsdüse zu überschreiten. Das kann beispielsweise durch eine Druckpumpe oder einen einfachen Hochbehälter zum Erhöhen des Vordrucks und/oder eine Vakuumeinrichtung zum Erniedrigen des Hinterdrucks realisiert sein. Schwankungen oder Änderungen des Hinterdrucks führen, solange das Druckverhältnis ausreichend groß ist, zu keinerlei Änderungen des Flüssigkeitsstroms.

[0011] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter einer Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur eine Maßverkörperung für einen Flüssigkeitsstrom charakterisierende physikalische Größe verstanden. Unter einer Maßverkörperung wird eine Lehre, ein Messgerät oder ein Bestandteil davon verstanden, die einzelne Werte der Flüssigkeitsmengen-Messgröße oder eine Abfolge davon darstellt. Die Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur umfasst insbesondere einen Kalibrierschein, auf dem der Durchfluss angegeben ist, der sich bei einer vorgegebenen Temperatur oberhalb eines vorgegebenen Druckverhältnisses einstellt.

[0012] Unter einer Flüssigkeitsmenge wird insbesondere eine Durchflussmenge, die in Volumen oder Masse, pro Zeiteinheit, Masse oder Stoffmenge angegeben werden kann, oder eine Flüssigkeitsmenge, die in Form eines Volumens, einer Masse, eines Gewichts oder einer Stoffmenge angegeben wer-

den kann, verstanden. Bei der Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur handelt es sich insbesondere um eine Durchflussmaßverkörperung, die einen Durchfluss als Volumenstrom in Volumen pro Zeiteinheit verkörpert.

[0013] Unter einer Kavitationsdüse wird insbesondere eine Vorrichtung verstanden, die ausgebildet ist, um von Flüssigkeit in einer vorgegebenen Strömungsrichtung durchströmt zu werden, wobei der Druck der Flüssigkeit in der Kavitationsdüse mit zunehmender Entfernung entlang der Strömungsrichtung zumindest abschnittsweise so stark abnimmt, dass der Dampfdruck der sie durchströmenden Flüssigkeit unterschritten wird, so dass sich Kavitationsblasen bilden.

[0014] Beispielsweise kann es sich bei der Kavitationsdüse um eine Venturi-Düse handeln, deren Querschnitt in Strömungsrichtung gesehen sich zunächst verjüngt und nachfolgend wieder erweitert. Die Kavitationsdüse kann aber auch eine Kapillardüse sein, die zumindest abschnittsweise einen zylinderförmigen Querschnitt definierter Länge aufweist.

[0015] Es ist seit langer Zeit bekannt, Venturi-Düsen als Gasfluss-Maßverkörperungen zu verwenden. Das beruht auf dem physikalischen Effekt, dass bei einem bestimmten Druckverhältnis in der Venturi-Düse die Schallgeschwindigkeit überschritten wird. Störungen auf der abströmseitigen Seite können damit nicht bis in die einströmseitige Seite durchschlagen, so dass der Durchfluss von der Druckdifferenz unabhängig ist, solange diese oberhalb des vorgegebenen Druckverhältnisses liegt. Dieses physikalische Phänomen ist auf Grund der vollkommen unterschiedlichen Stoffeigenschaften beispielsweise hinsichtlich Schallgeschwindigkeit oder Kompressibilität nicht auf Flüssigkeiten übertragbar.

[0016] Es hat sich jedoch überraschend gezeigt, dass ein anderer physikalischer Effekt dazu führt, dass beispielsweise Venturi-Düsen auch als Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur geeignet sind. Wird nämlich das düsenspezifische Druckverhältnis überschritten, so bilden sich in der Kavitationsdüse Kavitationsblasen. Das führt zu einer effektiven Verengung des für den Flüssigkeitstransport zur Verfügung stehenden Querschnittes. Bei Vergrößerung des Druckverhältnisses kommt es zu stärkerer Kavitation, so dass der Durchfluss durch die Kavitationsdüse trotz der höheren Druckdifferenz nicht ansteigt. Dieser physikalische Effekt unterscheidet sich grundlegend von der Funktionsweise einer Venturi-Düse bei der Verkörperung von Gasmengen, da bei Gasen naturgemäß keine Kavitation auftreten kann und in Flüssigkeiten die Schallgeschwindigkeit in der Regel um zumindest eine Größenordnung größer ist als bei Gasen.

[0017] Besonders günstig ist es, wenn die Kavitationsdüsen so ausgebildet sind, dass deren Durchflüsse eine geometrische Reihe bilden, wobei das Verhältnis der Durchflüsse zumindest annähernd 2 beträgt. Hierunter ist zu verstehen, dass ein Verhältnis von genau 2 wünschenswert ist, dass aber auch Abweichungen von beispielsweise 20% zum in dieser Hinsicht gewünschten Wert tolerierbar sind.

[0018] Besonders günstig es, wenn die Kavitationsdüsenkaskade zumindest fünf Kavitationsdüsen umfasst. Auf diese Weise kann eine Vielzahl an unterschiedlichen Durchflüssen eingestellt werden, in der Regel nämlich 2^n , wenn n Kavitationsdüsen vorhanden sind.

[0019] Vorzugsweise ist die Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur als geschlossenes System ausgebildet. Das hat den Vorteil, dass Verluste durch Verdunsten oder Verspritzen vermieden werden und so die Genauigkeit, mit der ein Flüssigkeitsstrom gewünschter Stärke erzeugt werden kann, steigt.

[0020] Besonders bevorzugt ist zumindest eine Kavitationsdüse so ausgebildet, dass bei einem Druckverhältnis von zumindest 2 der Durchfluss höchstens 1 m^3 pro Stunde beträgt. Derartige kleine Flüssigkeitsströme sind bislang nur mit verhältnismäßig großem Aufwand volumetrisch bzw. gravimetrisch bestimmbar. Besonders günstig ist es, wenn zumindest eine Kavitationsdüse so ausgebildet ist, dass bei dem Druckverhältnis von zumindest 2 der Durchfluss höchstens 1 Liter pro Stunde beträgt. Bei derartigen kleinen Flüssigkeitsmengen ist insbesondere der Aufwand zur exakten Einstellung des Durchflusses sehr hoch und zeitintensiv. Reproduzierbarkeit, Stabilisierung und Konstanthaltung eines solch kleinen Durchflusses sind besonders schwierig und die Messgenauigkeit bei existierenden Verfahren besonders schlecht, so dass die Verwendung einer derartigen Kavitationsdüse eine besonders große Verbesserung darstellt.

[0021] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist die Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur eine Überbrückungsleitung, eine erste Ventileinrichtung zum alternativen Leiten eines ersten Flüssigkeitsstroms abströmseitig hinter der ersten Kavitationsdüse in die Sammelleitung oder in die Überbrückungsleitung und zumindest eine zweite Ventileinrichtung zum alternativen Leiten eines zweiten Flüssigkeitsstroms abströmseitig hinter der zweiten Kavitationsdüse in die Sammelleitung oder die Überbrückungsleitung auf. Das führt dazu, dass jede Kavitationsdüse stets von Flüssigkeit durchströmt wird. Das wiederum führt dazu, dass der Druck, der in Strömungsrichtung vor der Kavitationsdüsenkaskade anliegt, durch das Zu- oder Abschalten einzelner Kavitationsdüsen unbeeinflusst bleibt. Das erhöht die Stabilität des Durchflusses und die Messgenauigkeit in hohem Maße. Es

ist die der Erfindung zugrunde liegende Erkenntnis, dass der Druck trotz Durchflussänderung am Prüfling absolut konstant bleibt. Dazu gehört auch, dass der Prüfling nach den Düsen, also nah der Referenz/dem Normal, angeordnet ist, was normalerweise nicht üblich ist.

[0022] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist jedes Sammelleitungsventil doppelt ausgeführt, wobei die beiden zusammengehörenden Ventile in Strömungsrichtung jeweils hintereinander angeordnet sind und der Zwischenraum zwischen beiden mit einem Zugang für eine Kontrolle der Dichtheit zwischen Überbrückungsleitung und Prüfling für den Fall ausgerüstet ist, so dass die zu dieser Sammelleitung gehörenden Kavitationsdüse abgeschaltet ist, wodurch unkontrollierte Leckagen an der Sammelleitungsabspernung sicher detektiert werden können.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist die Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur eine Umwälzvorrichtung zum Umwälzen der Flüssigkeit in den Vordruckbehälter auf. Diese Umwälzvorrichtung umfasst vorzugsweise eine Pumpe, die abströmseitig hinter der Sammelleitung angeordnet ist. Günstig ist es, wenn die Umwälzvorrichtung so eingerichtet ist, dass sie das Einstellen des Druckverhältnisses über den Kavitationsdüsen auf einen Wert ermöglicht, der so groß ist, dass in zumindest einer der Kavitationsdüsen, insbesondere in allen Kavitationsdüsen, Kavitationsblasen entstehen. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die Umwälzvorrichtung eingerichtet zum Einstellen eines Druckverhältnisses von zumindest 1,8, insbesondere von zumindest 2.

[0024] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Umwälzvorrichtung eine Vorrichtung zum Konstant-Halten des Vordrucks auf einen vorgegebenen Soll-Vordruck umfasst. Bei dieser Vorrichtung zum Konstant-Halten des Vordrucks kann es sich beispielsweise um einen Hochbehälter handeln, der vorzugsweise ein Überlaufwehr aufweist. Auf diese Weise entsteht ein hydrostatischer Druck, der in sehr guter Näherung zeitlich konstant ist.

[0025] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann die Vorrichtung zum Konstanthalten des Vordrucks auch eine Vorrichtung umfassen, die eingerichtet ist, um über der Flüssigkeit im Vordruckbehälter einen konstanten Gasüberdruck zu erzeugen. Beim Fehlen einer kontinuierlich arbeitenden Umwälzeinrichtung wird dieser Gasüberdruck entsprechend dem sinkenden Füllstand der Flüssigkeit im Vordruckbehälter so nachgeregelt, dass der Flüssigkeitsvordruck stets konstant bleibt. Bei kontinuierlicher Nachförderung der Flüssigkeit in den Flüssigkeitsvordruckbehälter kann der Flüssigkeitsstand über ein Überlaufwehr konstant gehalten werden.

[0026] Vorzugsweise ist die Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur mit Wasser gefüllt, beispielsweise mit destilliertem Wasser.

[0027] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur einen Vakuumerzeuger zum Erzeugen eines Unterdrucks abströmseitig hinter der zumindest einen Kavitationsdüse. Dieser Vakuumerzeuger kann Teil der Umwälzvorrichtung sein. Vorteilhaft hieran ist, dass der Vordruck in guter Näherung dem Atmosphärendruck entsprechen kann und trotzdem das Druckverhältnis, bei dem in den Kavitationsdüsen Kavitation entsteht, überschritten werden kann. Es ergibt sich auf diese Weise eine besonders einfach aufgebaute Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur.

[0028] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist die Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur eine Temperiervorrichtung zum Regeln einer Temperatur der Flüssigkeit auf eine vorgegebene Solltemperatur auf. Dichte, Viskosität und vor allem der Dampfdruck der Flüssigkeit, insbesondere des Wassers, hängen von der Temperatur ab. Auf diese Weise hängt auch der Durchfluss durch die Kavitationsdüsen von der Temperatur ab. Durch das Regeln der Temperatur auf die Soll-Temperatur wird die Messgenauigkeit erhöht.

[0029] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur eine Zeitmessvorrichtung, die mit einer elektronischen Steuerung verbunden ist. Die elektronische Steuerung ist zudem mit dem zumindest einen Ventil verbunden. Die Steuerung ist vorzugsweise eingerichtet zum Betätigen des Ventils und zum gleichzeitigen Starten und/Auslesen der Zeitmessvorrichtung. Auf diese Weise kann eine Flüssigkeitsmenge in Form eines Volumens bzw. bei bekannter Dichte eines Gewichts oder einer Masse eingesetzt werden.

[0030] Erfindungsgemäß ist auch eine Kalibrier- vorrichtung für ein Flüssigkeitsmengenmessgerät, die eine erfindungsgemäße Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur und ein in Strömungsrichtung hinter der Sammelleitung angeordneten Flüssigkeitsmengenmessgerät aufweist. Dieses Flüssigkeitsmengenmessgerät ist ein Prüfling, der anhand der Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur kalibriert werden soll.

[0031] Bevorzugt umfasst die Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur eine Gasdruckhaltevorrichtung zum Konstant-Halten eines Gasdrucks eines Gaspolsters in einer Komponente zuströmseitig vor der zumindest einen Kavitationsdüse, wobei insbesondere das Gaspolster im Vordruckbehälter und/oder in einem Sammelbehälter, der in Strömungsrichtung hinter der Sammelleitung und vor einer Umwälzpumpe angeordnet ist. Das Gaspolster wirkt als Puffer, so dass der Flüssigkeitsdruck der Flüssigkeit vor dem

Eintritt in die Kavitationsdüse(n) auch ohne Hochbehälter leicht konstant gehalten werden kann.

[0032] Vorteilhaft an einer erfindungsgemäßen Mischvorrichtung ist, dass die Flüssigkeitsströme durch die beiden Flüssigkeitsmengenreferenzapparaturen mit hoher Genauigkeit bekannt sind, ist auch das Mischungsverhältnis der entstehenden Flüssigkeitsmischung mit hoher Genauigkeit bekannt und einstellbar. Besonders geeignet ist eine solche Mischeinrichtung für die Herstellung von Mischungen aus mehr als zwei Komponenten und bei der Mischung sehr unterschiedlicher Mengenanteile der zu mischenden Flüssigkeiten.

[0033] Vorzugsweise umfasst das erfindungsgemäße Verfahren die Schritte eines Messens einer Zeit und des Berechnens einer Flüssigkeitsmenge, insbesondere eines Flüssigkeitsvolumens, eines Flüssigkeitsgewichts oder einer Flüssigkeitsmasse, aus einer Durchflussmenge durch die Kavitationsdüse und der Zeit.

[0034] Das Verfahren wird bevorzugt so durchgeführt, dass ein Flüssigkeitsstrom, insbesondere ein Wasserstrom, durch das Flüssigkeitsmengenmessgerät höchstens 1 m^3 pro Stunde beträgt, insbesondere höchstens 1 Liter pro Stunde.

[0035] Vorzugsweise werden gemäß einem vorgegebenen Programm automatisch Kavitationsdüsen einer Kavitationsdüsenkaskade so aktiviert und deaktiviert, dass sich unterschiedliche Flüssigkeitsströme einstellen. Beispielsweise ist das Programm in einem digitalen Speicher einer elektrischen oder elektronischen Steuerung gespeichert. Die Steuerung kann so mit den Ventilen verbunden sein, dass das Aktivieren und/oder Deaktivieren der betroffenen Kavitationsdüsen gleichzeitig erfolgt. Vorteilhaft hieran ist, dass sich nach einem Aktivieren oder Deaktivieren einer Kavitationsdüse, beispielsweise mittels Durchschaltens in eine Bypassleitung oder Aufheben einer derartigen Durchschaltung, quasi instantan der gewünschte neue Durchfluss einstellt. Wartezeiten entfallen so.

Patentansprüche

1. Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur mit
(a) einem Vordruckbehälter (12) für eine Flüssigkeit,
(b) einer Kavitationsdüsenkaskade (14) mit
– einer ersten Kavitationsdüse (16.1), die beim Einstellen eines Druckverhältnisses (r) aus einem Vordruck (p_{12}) strömungsseitig vor und einem Hinterdruck (p_{24}) abströmseitig hinter der ersten Kavitationsdüse (16.1), das oberhalb von 2 liegt, einen ersten Durchfluss (q_1) hat, und
– zumindest einer zweiten Kavitationsdüse (16.2), die beim Einstellen dieses Druckverhältnisses einen vom

ersten Durchfluss (q_1) verschiedenen zweiten Durchfluss (q_2) hat, und

(c) einer Sammelleitung (22) zum Sammeln von aus den Kavitationsdüsen (16.1, 16.2) austretender Flüssigkeit.

2. Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Kavitationsdüse (16) so ausgebildet ist, dass bei einem Druckverhältnis von zumindest 2 der Durchfluss höchstens 1 Kubikmeter pro Stunde beträgt.

3. Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 oder 2, gekennzeichnet durch

– eine Überbrückungsleitung,
– eine erste Ventileinrichtung (20.1) zum alternativen Leiten eines ersten Flüssigkeitsstroms abströmseitig hinter der ersten Kavitationsdüse (16) in die Sammelleitung (22) oder in die Überbrückungsleitung (50) und

– zumindest eine zweite Ventileinrichtung (20.1) zum alternativen Leiten eines zweiten Flüssigkeitsstroms abströmseitig hinter der zweiten Kavitationsdüse (16) in die Sammelleitung (22) oder die Überbrückungsleitung (50).

4. Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Vakuumerzeuger (30) zum Erzeugen eines Unterdrucks abströmseitig hinter der zumindest einen Kavitationsdüse (16).

5. Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Gasdruckhaltevorrichtung zum Konstanthalten eines Gasdrucks eines Gaspolster (55) in einer Komponente zuströmseitig vor der zumindest einen Kavitationsdüse (16), wobei insbesondere das Gaspolster im Vordruckbehälter (12) und/oder in einem Sammelbehälter (32), der in Strömungsrichtung hinter der Sammelleitung (22) und vor einer Umwälzpumpe (30) angeordnet ist.

6. Mischvorrichtung zum Mischen einer ersten Flüssigkeit mit einer zweiten Flüssigkeit, gekennzeichnet durch

– eine erste Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur mit mindestens einer Kavitationsdüse, die mit einer ersten Flüssigkeitszufuhrvorrichtung für die erste Flüssigkeit verbunden ist,

– eine zweite Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur mit mindestens einer zweiten Kavitationsdüse, die mit einer zweiten Flüssigkeitszufuhrvorrichtung für die zweite Flüssigkeit verbunden ist, und

– eine abströmseitig hinter den Flüssigkeitsmengenreferenzapparaturen angeordnete Mischeinheit zum Mischen von erster Flüssigkeit aus der ersten Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur mit zweiter Flüssigkeit aus der zweiten Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur.

sigkeit aus der zweiten Flüssigkeitsmengenreferenzapparatur.

7. Verfahren zum Kalibrieren eines Flüssigkeitsmengenmessgeräts (**26**), mit den Schritten
(i) Leiten von Flüssigkeit durch zumindest eine Kavitationsdüse (**16**), so dass Kavitationsblasen entstehen, und einen Flüssigkeitszähler-Prüfling,
(ii) Messen einer Zeit, während der die Flüssigkeit durch die Kavitationsdüse (**16**) und das Flüssigkeitsmengenmessgerät (**26**) strömt, und
(iii) Ermitteln der durch die Kavitationsdüse (**16**) geströmte Flüssigkeitsmenge aus der Zeit (t).

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass gemäß einem vorgegebenen Programm Kavitationsdüsen einer Kavitationsdüsenkaskade so aktiviert und deaktiviert werden, dass sich unterschiedliche Flüssigkeitsströme einstellen.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

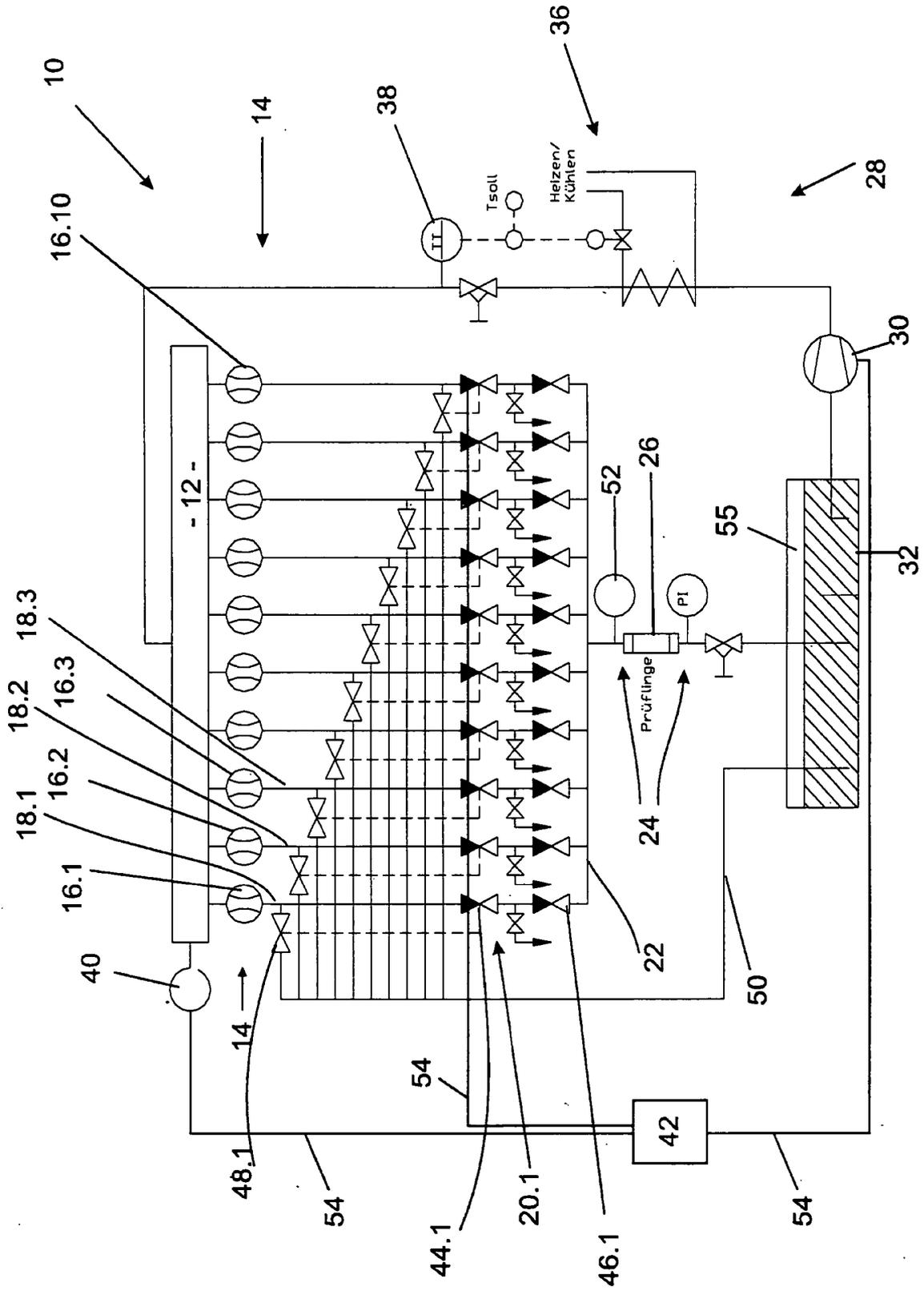
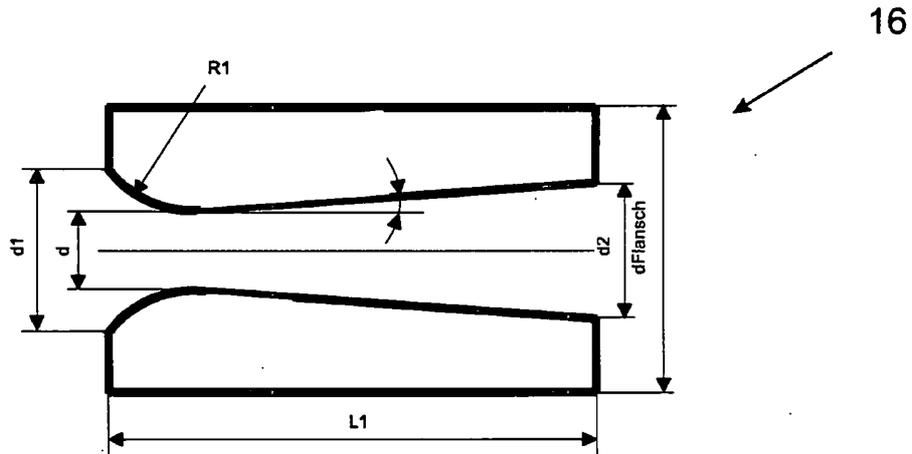


Fig. 1



Durchflussdaten (3 bar, 20 °C, dest. Wasser)

d: 100 mm 690 m³/h

d: 10 mm 6,9 m³/h

d: 1 mm 69 l/h

d: 0,1 mm 0,69 l/h

Fig. 2

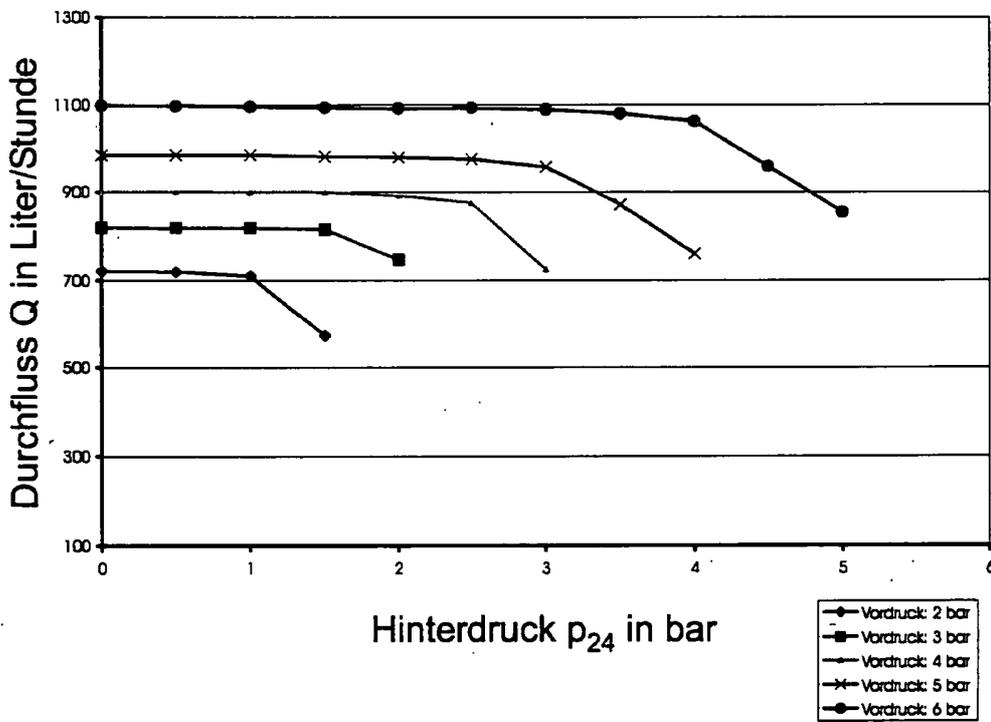


Fig. 3