

(12)

Patentschrift

(21)

Anmeldenummer:

A 50606/2019

(22)

Anmeldetag:

04.07.2019

(45)

Veröffentlicht am:

15.11.2020

(51)

Int. Cl.:

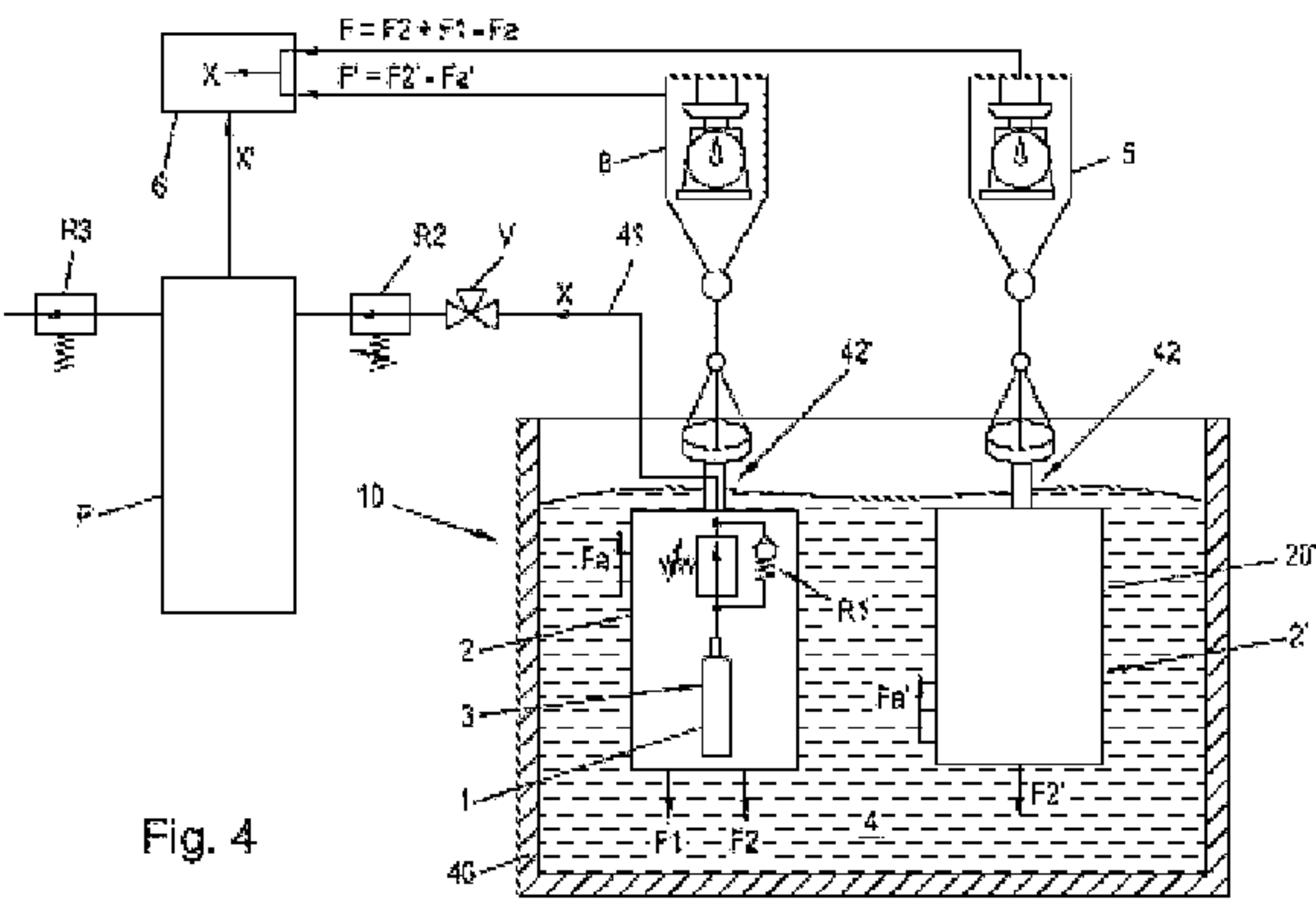
G01F 25/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen: US 3068683 A EP 3299778 A1 RU 2097707 C1	(73) Patentinhaber: AVL List GmbH 8020 Graz (AT) (72) Erfinder: Buchner Michael Dipl.Ing. 8010 Graz (AT) Sammer Michael Ing. BSc 8342 Gnas (AT) (74) Vertreter: Patentanwälte Pinter & Weiss OG 1040 Wien (AT)
--	--

(54)

Messverfahren und Messvorrichtung zur Ermittlung eines Durchflusses eines Prozessgases

(57) Um den Durchflusses (X) eines Prozessgases (1) aus einem Gasdruckbehälter (3) mit einer sehr hohen Genauigkeit und einem geringen Messfehler anzugeben wird erfindungsgemäß der Gasdruckbehälter (3) innerhalb eines in einem Medium (4) angeordneten Gasdruckgehäuses (2) angeordnet, sodass im Medium (4) eine Behälterauftriebskraft (Fa) auf eine Gehäusehülle (20) des Gasdruckgehäuses (2) wirkt. Es wird zu zumindest zwei Zeitpunkten mittels einer mit dem Gasdruckgehäuse (2) verbundenen Prozesswaage (5) als Messwert (F) eine Behältergewichtskraft (F2) des Gasdruckgehäuses (2) zuzüglich einer Prozessgasgewichtskraft (F1) des Prozessgases (1) abzüglich der Behälterauftriebskraft (Fa) gemessen. Weiters wird zu den zumindest zwei Zeitpunkten mittels einer mit einem Referenzschwimmkörpers (2') verbundenen Referenzwaage (8) als Referenzmesswert (F') eine Referenzgewichtskraft (F2) des Referenzschwimmkörpers (2') abzüglich einer auf eine Referenzhülle (20') des Referenzschwimmkörpers (2') wirkenden Referenzauftriebskraft (Fa') gemessen. Der der Durchfluss (X) des Prozessgases (1) wird unter Verwendung der gemessenen Messwerte (F) und Referenzmesswerte (F') ermittelt.



Beschreibung

MESSVERFAHREN UND MESSVORRICHTUNG ZUR ERMITTLUNG EINES DURCHFLUSSES EINES PROZESSGASES

[0001] Die gegenständliche Erfindung betrifft ein Messverfahren zur Ermittlung eines Durchflusses eines mit Überdruck beaufschlagten und aus einem Gasdruckbehälter entweichenden Prozessgases, wobei der Gasdruckbehälter innerhalb eines in einem Medium angeordneten Gasdruckgehäuses angeordnet ist, sodass im Medium eine Behälterauftriebskraft auf eine Gehäusehülle des Gasdruckgehäuses wirkt, wobei zu zumindest zwei Zeitpunkten mittels einer mit dem Gasdruckgehäuse verbundenen Prozesswaage als Messwert eine Behältergewichtskraft des Gasdruckgehäuses zuzüglich einer Prozessgasgewichtskraft des Prozessgases abzüglich der Behälterauftriebskraft gemessen wird.

[0002] Weiter betrifft die gegenständliche Erfindung eine Messvorrichtung zur Ermittlung eines Durchflusses eines mit Überdruck beaufschlagten aus einem Gasdruckbehälter entweichenden Prozessgases, wobei der Gasdruckbehälter innerhalb eines Gasdruckgehäuses angeordnet ist und das Gasdruckgehäuse in einem Medium angeordnet ist, sodass im Medium eine Behälterauftriebskraft auf eine Gehäusehülle des Gasdruckgehäuses wirkt, wobei eine Prozesswaage vorgesehen ist, welche mit dem Gasdruckgehäuse verbunden ist, um zu zumindest zwei Zeitpunkten als Messwert eine Behältergewichtskraft des Gasdruckgehäuses zuzüglich einer Prozessgasgewichtskraft des Prozessgases abzüglich der Behälterauftriebskraft zu messen.

[0003] Es ist oftmals erforderlich einen Durchfluss eines Prozessgases sehr genau zu ermitteln. Dies kann erfolgen, indem das Prozessgas aus einem Gasbehälter entweicht und die Menge bzw. Masse des im Gasbehälter befindlichen Prozessgases zu mehreren Zeitpunkten bestimmt wird. Der Durchfluss kann aus diesen bestimmten Mengen, bzw. Massen des Prozessgases ermittelt werden, da ein Durchfluss bekanntermaßen einem Massenstrom entspricht.

[0004] Dieser sehr genau ermittelte Durchfluss kann zur Kalibrierung von Durchflussmessgeräten verwendet werden. Allgemein erfolgt im Zuge eines Kalibrierverfahrens ein Abgleich eines Sollwerts mit einem Istwert eines Messgerätes. Dabei dient ein genau bekannter Kalibrierwert als Sollwert und somit als Referenz. Um ein Durchflussmessgerät zu kalibrieren, kann somit der Durchfluss, welcher anhand der Massen des Prozessgases zu verschiedenen Zeitpunkten sehr genau ermittelt wurde, als Sollwert verwendet werden. Das entweichende Prozessgas wird dem Durchflussmessgerät zugeführt. Das Durchflussmessgerät misst den Durchfluss des Prozessgases als Istwert, welcher im Rahmen der Kalibrierung des Durchflussmessgeräts mit dem Sollwert verglichen wird.

[0005] Um das Volumen von Prozessgasen zu verringern und somit eine höhere Menge eines Prozessgases speichern zu können, kann das Prozessgas einem Überdruck ausgesetzt werden und in einem Gasdruckbehälter gespeichert werden. Natürlich entstehen durch den Überdruck erhöhte auf den Gasdruckbehälter wirkende Kräfte, weshalb der Gasdruckbehälter mit einer entsprechend hohen Wandstärke ausgeführt werden muss. Es sind zylindrische oder kugelförmige Gasdruckbehälter vorzuziehen, da diese Geometrien einem höheren Druck gut standhalten können. Üblicherweise werden Gasdruckflaschen mit einem Fassungsvermögen bis etwa 100 Liter als Gasdruckbehälter für die Speicherung von Prozessgasen verwendet. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit einer Speicherung von Prozessgasen in großen Gasspeichern, welche ein Fassungsvermögen von mehreren Hektolitern aufweisen. Es muss bei der Materialwahl des Gasdruckbehälters, sowie von Elementen, die in Kontakt mit dem Prozessgas kommen, z.B. Verschlüsse, Ventile, Leitungen, etc. darauf geachtet werden, dass diese durch das zu verwendende Prozessgas nicht spröde werden oder andersartig degenerieren.

[0006] Es werden in der Durchflussmesstechnik insbesondere CNG („Compressed Natural Gas“), LPG („Liquefied Petroleum Gas“), H₂ („Wasserstoff“) oder N₂ (Stickstoff) als Prozessgase verwendet.

[0007] Compressed Natural Gas wird im umgangssprachlichen Gebrauch als Erdgas bezeichnet

und ist ein primärer fossiler Energieträger. Der Hauptbestandteil von Compressed Natural Gas ist Methan CH_4 . Methan ist bei einer Temperatur von 20°C und einem Druck von 1 bar gasförmig. Die Speicherung von CNG erfolgt mit Überdruck in Gasdruckbehältern. Methan muss allerdings für eine Verflüssigung auf sehr tiefe Temperaturen gekühlt werden, wobei die optimale Temperatur für die Verflüssigung eine Sättigungstemperatur von -161°C darstellt, da ein Gas bei seiner Sättigungstemperatur die kleinste thermische Energie besitzt. Da eine Abkühlung von Methan bzw. CNG auf -161°C einen hohen Aufwand verursacht, wird CNG vorzugsweise in gasförmigem anstatt flüssigem Zustand in Gasdruckbehältern gespeichert. Compressed Natural Gas kann dann beispielsweise bei einer Prozessgastemperatur von 4°C gespeichert werden.

[0008] Liquefied Petroleum Gas (LPG) wird auch Flüssiggas, Autogas oder Treibgas genannt und weist als Hauptbestandteile Propan und Butan auf, wobei das Mischungsverhältnis von Liquefied Petroleum Gas üblicherweise zwischen 60 Prozent Butan und 40 Prozent Propan und 40 Prozent Butan und 60 Prozent Propan variiert. Liquefied Petroleum Gas wird verwendet um die Verbrennung zu optimieren und die Emissionen an Schadstoffen gering zu halten. Die Aufbewahrung von Liquefied Petroleum Gas in Gasdruckbehältern erfolgt stets in flüssiger Form. Der Siedepunkt von Propan liegt bei -42°C , der Siedepunkt von Butan bei $-0,5^\circ\text{C}$. Auf Grund dieser sehr unterschiedlichen Siedepunkte besteht die Möglichkeit, beide Gase bereits bei einem Druck von 20 bar bis 80 bar (abhängig von der vorherrschenden Temperatur) zu verflüssigen.

[0009] Wasserstoff ist bei einer Temperatur von 20°C und einem Druck von 1 bar gasförmig, farblos, geruchslos und ungiftig. Da die Dichte von Wasserstoff bekanntermaßen sehr niedrig ist, ist mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten zu rechnen. Da Wasserstoff leicht diffundiert, ist es technisch herausfordernd Anschlüsse, Leitungen, usw. ausreichend dicht zu gestalten. Wasserstoff ist brennbar und explodiert in Luft schon bei sehr geringen Mischungsanteilen (Knallgas).

[0010] Wie erwähnt weisen Prozessgase eine geringe Dichte auf und werden daher mit einem Überdruck beaufschlagt in Gasdruckbehältern gespeichert. Wasserstoff weist bei Referenzbedingungen (Druck von 1013 hPa und Temperatur von 0°C) eine Dichte von $0,08988\text{ kg/m}^3$ auf, wobei Wasserstoff bei einem Überdruck von 200 bar und einer Temperatur von 20°C eine Dichte von bis zu 16 kg/m^3 erreichen kann. Butan weist bei den oben genannten Referenzbedingungen eine Dichte von $2,3\text{ kg/m}^3$ auf und bei einem Überdruck von 200 bar und einer Temperatur von 20°C eine Dichte von bis zu 476 kg/m^3 auf. Propan weist bei oben genannten Referenzbedingungen eine Dichte von $1,8\text{ kg/m}^3$ und bei einem Überdruck von 200 bar und einer Temperatur von 20°C eine Dichte von bis zu 360 kg/m^3 auf.

[0011] Ein Prozessgas wird daher üblicherweise einem Überdruck von bis zu 250 bar ausgesetzt, kann auch unter noch höheren Überdrücken gespeichert werden. Prozessgasdrücke von über 250 bar sind jedoch oft nicht wirtschaftlich, da der zugehörige Gasdruckbehälter äußerst massiv ausgeführt werden muss und somit eine sehr hohe Masse aufweist. Doch selbst für Prozessgasdrücke von bis zu 250 bar sind Gasdruckbehälter mit einer Masse von bis zu 100 Kilogramm üblich. Einen derartiger Gasdruckbehälter kann jedoch nur ein Prozessgas mit einer Masse von unter einem Kilogramm, für Wasserstoff als Prozessgas lediglich etwa 400 bis 500 Gramm, fassen. Dies führt somit zu einem sehr ungünstigen Verhältnis der Masse von Gasdruckbehälter zu Prozessgas.

[0012] Um zu einem Zeitpunkt die Menge des Prozessgases zu ermitteln, kann bei bekannter Masse des Gasdruckbehälters unter Verwendung einer Prozesswaage das Gesamtgewicht des Gasdruckbehälters samt Prozessgas gemessen werden und die Masse des Prozessgases berechnet werden. Es muss somit eine Prozesswaage gewählt werden, die in der Lage ist die Gesamtmasse von Gasdruckbehälter und Prozessgas zu messen, obwohl das Prozessgas selbst nur einen Bruchteil (üblicherweise ca. ein Zweihundertstel) der Gesamtmasse ausmacht. Prozesswaagen mit einem absoluten Messbereich im Bereich dieser Gesamtmasse weisen jedoch eine eingeschränkte Auflösung auf. Dies führt bei vertretbaren Messgenauigkeiten zu hohen Mindestverbräuchen an Prozessgasen, womit sich lange Messzeiten ergeben. Diese langen Messzeiten führen wiederum zu langen Ausfallzeiten des zu kalibrierenden Durchflussmessgeräts. Für sehr genaue Kalibrierungen kann der Fall eintreten, dass die Menge an gespeichertem Prozess-

gas bei hinreichend langen Messzeiten nicht ausreicht.

[0013] Prozesswaagen mit höherer Auflösung weisen jedoch einen weitaus geringeren Messbereich auf, d.h. sind für weitaus geringere Gesamtmassen ausgelegt. Um derartige Prozesswaagen verwenden zu können, kann somit die Gewichtskraft des Gasdruckbehälters (bei gleichbleibender Masse) zumindest zu einem Großteil kompensiert werden, indem der Gasdruckbehälter in ein Medium eingebracht wird. Im Medium wirkt auf den Gasdruckbehälter eine Behälterauftriebskraft entgegen der Behältergewichtskraft des Gasdruckbehälters und kompensiert diese idealerweise zu einem Großteil. Somit kann die verbleibende Gewichtskraft des im Gasdruckbehälters befindlichen Gases mittels der Prozesswaage gemessen werden. Dabei muss die Prozesswaage lediglich für den absoluten Messbereich im Bereich der Prozessgasgewichtskraft (einige hundert Gramm) ausgelegt werden und nicht im Bereich der Gesamtgewichtskraft des Gasdruckbehälters samt Prozessgas (ca. 100 Kilogramm). Somit kann eine Präzisionswaage als Prozesswaage verwendet werden und die Prozessgasgewichtskraft und damit die Prozessgasmasse direkt gemessen werden.

[0014] Die US 5,335,552 B1 beschreibt einen derartigen Gasdruckbehälter, welcher in einem Medium angeordnet ist. Es wirkt eine Behälterauftriebskraft gegen die Gewichtskraft des Gasdruckbehälters. Der Gasdruckbehälter ist mit einer Prozesswaage verbunden, welche die gesamte Gewichtskraft des Gasdruckbehälters (samt Prozessgasgewichtskraft) abzüglich der Behälterauftriebskraft misst um die Menge des Gases im Gasdruckbehälter zu ermitteln. Ändert sich der Gasdruck im Inneren des Gasdruckbehälters, so ändert sich die von Innen auf den Gasdruckbehälter einwirkende Kraft und damit auch das Volumen und die mittlere Dichte des Gasdruckbehälters und als Konsequenz weiters die Behälterauftriebskraft. Der Gasdruckbehälter der US 5,335,552 B1 ist daher zweiwandig ausgeführt, womit verhindert wird, dass eine Volumensänderung einer inneren Hülle sich auf das Volumen einer äußeren Hülle auswirkt. Da der Auftrieb des Gasdruckbehälters vom Volumen der äußeren Hülle abhängig ist, wird somit verhindert, dass sich der Auftrieb des Gasdruckbehälters bei einer Ausdehnung der inneren Hülle verändert. Es ist in der US 5,335,552 B1 die Ermittlung des Durchflusses eines Prozessgases beschrieben, wobei das Prozessgas auch zur Kalibrierung verwendet wird.

[0015] Bei einer hohen Auflösung entstehen jedoch bereits durch geringfügige Änderungen des Messaufbaus und/oder äußere Einflüsse signifikante Messfehler bei der Bestimmung des Durchflusses des Prozessgases.

[0016] Es ist daher eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung eine Messvorrichtung und ein Messverfahren anzugeben, welche eine Messung eines Durchflusses eines Prozessgases mit einer sehr hohen Genauigkeit und einem geringen Messfehler ermöglicht.

[0017] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Messverfahren gelöst, indem zu den zumindest zwei Zeitpunkten mittels einer mit einem Referenzschwimmkörpers verbundenen Referenzwaage als Referenzmesswert eine Referenzgewichtskraft des Referenzschwimmkörpers abzüglich einer auf eine Referenzhülle des Referenzschwimmkörpers wirkenden Referenzauftriebskraft gemessen wird, wobei der Durchfluss des Prozessgases unter Verwendung der gemessenen Messwerte und Referenzmesswerte ermittelt wird.

[0018] Diese Aufgabe wird ebenso durch eine Messvorrichtung gelöst, wobei ein Referenzschwimmkörper im Medium angeordnet ist, sodass eine Referenzauftriebskraft auf eine Referenzhülle des Referenzschwimmkörpers wirkt, und wobei eine mit dem Referenzschwimmkörper verbundene Referenzwaage vorgesehen ist, um zu den zumindest zwei Zeitpunkten als Referenzmesswert eine Referenzgewichtskraft des Referenzschwimmkörpers abzüglich der Referenzauftriebskraft zu messen, wobei eine Auswerteeinheit vorgesehen ist, welche mit der Prozesswaage und mit der Referenzwaage verbunden ist und ausgestaltet ist unter Verwendung der Messwerte und der Referenzmesswerte den Durchfluss des Prozessgases zu ermitteln. Das Entweichen des Prozessgases kann durch eine Entnahme erfolgen.

[0019] Messwerte und Referenzmesswerte werden während eines Messvorgangs ermittelt. Durch die Verwendung eines Referenzschwimmkörpers können Referenzmesswerte ermittelt

werden. Durch eine Verwendung der Referenzmesswerte zusätzlich zu den Messwerten bei der Ermittlung des Durchflusses, kann ein Messfehler reduziert werden. So können Einflüsse welche sich auf die Behälterauftriebskraft auswirken, kompensiert werden. Dabei wird die Annahme getroffen, dass sich Einflüsse, welche sich auf die Behälterauftriebskraft auswirken, gleichermaßen auf die Referenzauftriebskraft auswirken. Änderungen der Referenzauftriebskraft spiegeln diese Einflüsse wider und können somit bei der Berechnung des Durchflusses verwendet werden. Treten keine derartigen Einflüsse auf, so ändert sich der Referenzmesswert nicht und es kann davon ausgegangen werden, dass der Messwert korrekt ist. Die zumindest zwei Zeitpunkte der Ermittlung des Messwerts und Referenzmesswerts müssen nicht exakt übereinstimmen, wobei eine exakte Übereinstimmung natürlich vorteilhaft ist. Durch Verwendung eines Referenzschwimmkörpers können somit Einflüsse, die sich auf die Behälterauftriebskraft auswirken, kompensiert werden - wenn sich diese Einflüsse gleichermaßen auf die Referenzauftriebskraft auswirken. Dies gilt beispielsweise für eine während des Messvorgangs veränderliche Mediumdichte des Mediums. Für eine Ermittlung des Durchflusses muss die absolute Masse des im Gasdruckbehälter gespeicherten Prozessgases nicht ermittelt werden, sondern lediglich die Relation der Massen zu den zumindest zwei Zeitpunkten.

[0020] Vorteilhafterweise wird zum jeweiligen Zeitpunkt der Referenzmesswert zur Korrektur des Messwerts verwendet. Dies kann erfolgen, indem zu den jeweiligen Zeitpunkten durch die Referenzwaage festgestellte Änderungen des Referenzmesswertes aus dem Messwert herausgerechnet werden. Aus dem unter Verwendung des Referenzmesswerts korrigierten Messwert kann die Masse, bzw. Menge des im Gasdruckbehälter befindlichen Prozessgases zum jeweiligen Zeitpunkt mit einer hohen Präzision bestimmt werden.

[0021] Es kann der Durchfluss aus einem zeitlichen Verlauf des Messwerts unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs der Referenzmesswerte ermittelt werden.

[0022] Besonders vorteilhaft ist jedoch eine Ermittlung des Durchflusses aus einer Differenz der Messwerte zu den zumindest zwei Zeitpunkten unter Berücksichtigung der Referenzmesswerte zu den zumindest zwei Zeitpunkten um noch genauere Ergebnisse für den Durchfluss zu erhalten.

[0023] Wie erwähnt ist für die Ermittlung des Durchflusses der exakte Wert der Masse bzw. Menge des Prozessgases zu den jeweiligen Zeitpunkten nicht relevant, sondern die Differenz oder der Verlauf der Massen bzw. Mengen.

[0024] Eine Gewichtskraft ergibt sich durch die auf eine Masse wirkende Erdbeschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$, wobei die Gewichtskraft dem Produkt der Masse und der Erdbeschleunigung entspricht. Über diese Beziehung kann über die Erdbeschleunigung von einer Masse auf eine Gewichtskraft und umgekehrt umgerechnet werden.

[0025] Als Gehäusegewichtskraft wird die Gewichtskraft, welche auf das Gasdruckgehäuse wirkt, jedoch ohne die Prozessgasgewichtskraft des Prozessgases, angesehen. Die Gehäusegewichtskraft umfasst die Gewichtskraft aufgrund der Masse des Gasdruckgehäuses und des Gasdruckbehälters und kann weitere Gewichtskräfte aufgrund von Massen von mit dem Gasdruckgehäuse verbundenen Elementen (Ventile, Leitungen, Aufhängung, usw.) einschließen. Da die Prozesswaage als Messwert die Behältergewichtskraft zuzüglich der Prozessgasgewichtskraft des Prozessgases, jedoch abzüglich der Behälterauftriebskraft misst, kann als Prozesswaage eine Präzisionswaage mit einem geringen absoluten Messbereich und damit verbundener höherer Auflösung verwendet werden. Somit kann die Menge des Prozessgases zum jeweiligen Zeitpunkt und damit der Durchfluss entsprechend genauer bestimmt werden.

[0026] Vorzugsweise ist das Gasdruckgehäuse derart gestaltet, dass die Behältergewichtskraft abzüglich der Behälterauftriebskraft eine resultierende Gewichtskraft entsprechend einer Masse von 1 g bis 2 kg, vorzugsweise 1 g bis 200 g, besonders vorzugsweise 1 g bis 100 g, ergibt.

[0027] Damit kompensiert die Behälterauftriebskraft die Behältergewichtskraft zu einem Großteil. Da die Prozesswaage als Messwert annähernd die Prozessgasgewichtskraft erhält, kann eine Prozesswaage mit einer maximal möglichen Auflösung gewählt werden und die Menge des Pro-

zessgases sehr genau bestimmt werden. Würde die Behältergewichtskraft (bei einer Behältermasse von bis zu 100 bis 200 kg) nicht zu einem Großteil kompensiert, so müsste eine Prozesswaage mit einem größeren Messbereich und somit einer geringeren Auflösung verwendet werden.

[0028] Würde die Auftriebskraft die Behältergewichtskraft jedoch vollständig kompensieren, so könnte als Messwert die Prozessgasgewichtskraft, d.h. die Prozessgasmasse, direkt gemessen werden. Dadurch würde der Gasdruckbehälter jedoch schweben, was nachteilig sein kann, da einerseits die Prozesswaage bei leerem Gasdruckbehälter eine Gesamtgewichtskraft größer Null messen sollte und andererseits der Gasdruckbehälter durch eine Gesamtgewichtskraft größer Null in Position gehalten werden sollte. Aus diesem Grund kompensiert die Auftriebskraft die Behältergewichtskraft vorzugsweise nicht vollständig.

[0029] Vorteilhafterweise ist der Referenzschwimmkörper derart gestaltet, dass sich ein Referenzmesswert entsprechend einer Masse im Bereich von 1 g bis 2 kg, vorzugsweise 1 g bis 200 g, besonders vorzugsweise 1 g bis 100 g, ergibt. der Referenzmesswert wird durch die Referenzgewichtskraft abzüglich der Referenzauftriebskraft gebildet.

[0030] Damit kompensiert die Referenzauftriebskraft die Referenzgewichtskraft zu einem Großteil und es treten dieselben Vorteile wie oben bezüglich der Kompensation der Behältergewichtskraft durch Behälterauftriebskraft auf. Somit kann eine besonders präzise Referenzwaage mit einem sehr geringen absoluten Messbereich verwendet werden. Die Referenzwaage kann eine höhere Auflösung aufweisen, als die Prozesswaage, da sich die Masse des Referenzschwimmkörpers nicht aufgrund eines entweichenden Prozessgases verändert. Daher kann die Referenzwaage einen geringeren absoluten Messbereich als die Prozesswaage aufweisen, womit eine Präzisionswaage mit sehr hoher Auflösung, beispielsweise um den Faktor 10 größer als die Auflösung der Prozesswaage, als Referenzwaage verwendet werden kann.

[0031] Vorzugsweise ist als Medium ein Medium mit einem temperaturabhängigen Dichtemaximum, vorzugsweise Wasser vorgesehen, wobei eine Konditioniervorrichtung vorgesehen ist, welche ausgestaltet ist das Medium derart zu konditionieren, dass es sich im Dichtemaximum befindet.

[0032] Es wird die Mediumtemperatur des Mediums im Dichtemaximum als kritische Mediumtemperatur bezeichnet. Somit bedeutet das Vorhandensein eines temperaturabhängigen Dichtemaximums, dass die Mediumdichte des Mediums sowohl über als auch unter der kritischen Mediumtemperatur geringer ist als bei der kritischen Mediumtemperatur. Das Medium weist somit einen Ausdehnungskoeffizienten auf, welcher im Dichtemaximum Null ist. Das bedeutet, dass eine (infinitesimale) Änderung der Mediumtemperatur die Mediumdichte möglichst geringfügig ändert.

[0033] Wird beispielsweise Wasser als Medium gewählt, so ändert sich die Mediumdichte bei einer Änderung der Mediumtemperatur ausgehend von der kritischen Mediumtemperatur um Zehnerpotenzen geringer als mit Wasser, das sich nicht bei der kritischen Mediumtemperatur (d.h. nicht im Dichtemaximum) befindet.

[0034] Vorzugsweise wird jedoch bei einem Medium, welches eine kritische Mediumtemperatur aufweist während des Messvorgangs der Mediumdruck im Dichtemaximum konstant gehalten, um eine druckabhängige Dichteänderung zu vermeiden.

[0035] Wenn das Medium grundlegend auf das Dichtemaximum konditioniert ist, folgt somit bei dennoch auftretenden Temperaturschwankungen um dieses Dichtemaximum eine besonders geringe relative Dichteänderung. Insbesondere bei Verwendung von Wasser als Medium hängt die Position des Dichtemaximums lediglich von der Temperatur ab, nicht jedoch vom Mediumdruck. Es ändert sich somit bei verändertem Mediumdruck zwar der absolute Wert der Mediumdichte bei der kritischen Mediumtemperatur, jedoch nicht die Position des kritischen Punkts entlang der Temperaturachse, d.h. die kritische Mediumtemperatur selbst. Der Mediumdruck wirkt sich nur in einem geringen Ausmaß auf die absolute Mediumdichte aus. Deshalb ist der tatsächliche Mediumdruck für die Stabilität der Mediumdichte vorzugsweise vernachlässigbar. Ein konstanter

Mediumdruck ist jedoch förderlich, um ein Schwanken der Mediumdichte zu verhindern. Weiters würde ein veränderter Mediumdruck zu einer Komprimierung des Gasdruckgehäuses führen.

[0036] Grundlegend können Mediumdruck und Mediumtemperatur unabhängig voneinander betrachtet werden. Daher kann für Mediumdruck und Mediumtemperatur ein geeignetes Verfahren zum Konstanthalten der jeweiligen Größe verwendet werden, sofern sich diese Verfahren nicht gegenseitig nachteilig beeinflussen.

[0037] Es kann somit die Mediumtemperatur konstant gehalten, indem das Medium auf das Dichtemaximum konditioniert wird. Somit haben Änderungen der Mediumdichte (aufgrund Änderungen der Mediumtemperatur) während des Messvorgangs einen möglichst geringen Einfluss auf die Behälterauftriebskraft, womit ein Messfehler, der trotz Verwendung eines Referenzschwimmkörpers und Referenzmesswerts basierend auf Änderungen der Mediumdichte auftritt - beispielsweise bei horizontalen Unterschieden in der Mediumdichte -, verringert werden.

[0038] Als Konditionierung des Mediums auf das Dichtemaximum wird die Einstellung der kritischen Mediumtemperatur bezeichnet. Das bedeutet jedoch nicht, dass das Medium während der Messung nicht vom Dichtemaximum abweichen kann. Vielmehr ist als vorteilhafter Effekt der entstehende Messfehler aufgrund einer Dichteänderung ausgehend vom Dichtemaximum geringer als ausgehend von jeder anderen Mediumdichte. Die Position des Dichtemaximums kann bei Kenntnis der Beschaffenheit des Mediums vorab bekannt sein. Es kann jedoch der Fall eintreten, dass die tatsächliche kritische Mediumtemperatur nicht genau bekannt ist, beispielsweise weil Verunreinigungen und/oder Salze im Medium gelöst sind. Daher kann das Dichtemaximum auch mittels der Messvorrichtung ermittelt werden. Beispielsweise kann das Dichtemaximum vor dem eigentlichen Messvorgang unter Verwendung der Prozesswaage, vorzugsweise ohne ein Entweichen des Prozessgases aus dem Gasdruckbehälter bestimmt werden. So kann die Mediumtemperatur beginnend von einer Starttemperatur, welche unter der kritischen Mediumtemperatur liegt, (z.B. 3 °C) erhöht werden. Dabei werden durch die Prozesswaage Dichteänderungen des Mediums registriert. Wird das Dichtemaximum überschritten, so tritt eine negative Dichteänderung auf. Die kritische Temperatur im Umkehrpunkt der Mediumdichte kann in Folge beim Messvorgang als kritische Mediumtemperatur angesehen werden. Die Bestimmung der kritischen Mediumtemperatur kann natürlich noch optimiert werden, indem mehrere derartige Durchläufe durchgeführt werden. So können die Durchläufe anfangs schneller durchgeführt werden um die kritische Mediumtemperatur grob einzugrenzen. In den weiteren Durchläufen kann die Mediumtemperatur immer langsamer variiert werden um die kritische Mediumtemperatur genauer zu bestimmen. Ist die kritische Mediumtemperatur bekannt, so kann das Medium auf diese kritische Mediumtemperatur konditioniert werden.

[0039] Gleichermaßen kann das Dichtemaximum in analoger Weise vor dem Beginn des Messvorgangs unter Verwendung der Referenzwaage ermittelt werden, wie soeben anhand der Prozesswaage beschrieben. Die Ermittlung des Dichtemaximums anhand der Referenzwaage ist vorteilhaft, da diese üblicherweise eine höhere Auflösung als die Prozesswaage aufweist. Wie oben anhand der Prozesswaage beschrieben, kann somit die Mediumtemperatur von einem ausreichend niedrigen Startpunkt erhöht und währenddessen Dichteänderungen des Mediums aufgezeichnet werden um eine Überschreitung des Dichtemaximums zu erkennen. Ebenso können mehrere Durchläufe durchgeführt werden um die kritische Mediumtemperatur genauer bestimmen zu können. Die somit ermittelte kritische Mediumtemperatur kann somit zur Konditionierung verwendet werden.

[0040] Vorzugsweise erfolgt die Konditionierung des Mediums auf das temperaturabhängige Dichtemaximum unter Verwendung des Referenzmesswerts. Es kann somit der Referenzmesswert während des Messvorgangs zur Konditionierung des Mediums verwendet werden und eine Abweichung der Mediumdichte vom Dichtemaximum erkannt und korrigiert werden.

[0041] Vorzugsweise werden insbesondere bei Verwendung von Wasser als Medium Prozessgase verwendet, welche eine Dichte von unter 1000kg/m^3 (was der Dichte von Wasser entspricht) aufweisen, besonders vorzugsweise eine Dichte von unter 500kg/m^3 , um eine ausreichende Prozessgasgewichtskraft im Verhältnis zur Behälterauftriebskraft sicherzustellen. Insbesondere ist

die minimale Dichte des Prozessgases zu beachten, da die maximale Dichte (bei Überdruck) nur zu Anfang des Messvorgangs zur Verfügung steht danach die Dichte des Prozessgases absinkt. Es ist somit ein Prozessgas mit einer besonders geringen Dichte vorteilhaft, womit insbesondere Wasserstoff oder Helium als Prozessgas vorteilhaft sind.

[0042] Vorzugweise wird das entweichende Prozessgas einem Prüfling zugeführt wird und der ermittelte Durchfluss des aus dem Gasdruckgehäuse entweichenden Prozessgases zur Kalibrierung des Prüflings verwendet wird. Als Prüfling dient dabei vorzugsweise ein Durchflussmessgerät. Es wird also der Durchfluss durch den Prüfling ermittelt und mit dem erfindungsgemäßen und hochgenau ermittelten Durchfluss verglichen. Basierend auf diesem Vergleich kann der Prüfling nachjustiert werden.

[0043] Vorzugsweise entspricht das Verhältnis von Außenvolumen zur Höhe der Referenzhülle dem Verhältnis von Außenvolumen zu Höhe der Gehäusehülle des Gasdruckgehäuses. Damit kann auch bei einer inhomogenen vertikalen Verteilung der Mediumdichte die Referenzauftriebskraft an die Behälterauftriebskraft angepasst werden.

[0044] Weiters kann die Referenzhülle dieselbe Außengeometrie wie die Gehäusehülle aufweisen. Damit kann sichergestellt werden, dass sich mechanische und thermische Einflüsse auf Gasdruckgehäuse und Referenzschwimmkörper gleichermaßen auswirken. Damit können derartige Einflüsse auf den Messwert bei der Ermittlung des Durchflusses unter Verwendung des Referenzmesswert korrigiert werden.

[0045] Es kann der Referenzschwimmkörper auch als um das Gasdruckgehäuse geführten Torus ausgestaltet sein. Da sich in dieser Ausführung Referenzschwimmkörper und Gasdruckgehäuse in unmittelbarer Nähe im Medium befinden, wirken sich horizontale Unterschiede in der Mediumdichte möglichst gleich auf den Referenzschwimmkörper und das Gasdruckgehäuse aus.

[0046] Vorteilhafterweise weisen das Material der Referenzhülle und das Material der Gehäusehülle dieselbe Dichte auf, besonders vorteilhafterweise sind das Material der Referenzhülle und das Material der Gehäusehülle identisch. Eine Änderung der Mediumtemperatur bewirkt somit nicht nur eine Änderung der Temperatur und damit des Volumens der Gehäusehülle, sondern auch eine analoge Änderung der Temperatur und damit des Volumens der Referenzhülle. Somit kann eine Änderung der Mediumtemperatur durch die Referenzwaage kompensiert werden.

[0047] Vorzugsweise weist das Gasdruckgehäuse ein Heizelement und/oder ein Kühlelement auf. Einflüsse, welche sich gleichermaßen auf Behälterauftriebskraft und Referenzauftriebskraft auswirken, können wie beschrieben unter Verwendung der Referenzwaage und des Referenzmesswerts kompensiert werden. Ein Einfluss, welcher nur auf die Auftriebskraft des Gasdruckgehäuses wirkt, kann hingegen nicht derart korrigiert werden. Letztgenannte Einflüsse treten üblicherweise innerhalb des Gasdruckgehäuses auf. Beispielsweise kann durch ein Entweichen von Prozessgas eine Änderung der Prozessgastemperatur entstehen, was durch den Joule-Thomson-Effekt beschrieben werden kann. CNG (Compressed Natural Gas) als Prozessgas kühlt bei der Expansion und damit bei Entweichen, bzw. Entnahme aus dem Gasdruckbehälter ab. Der Joule-Thomson-Effekt für CNG beträgt rund 0,5 Grad pro Bar. Sinkt der Gasdruck während des Messvorgangs beispielsweise von 200 bar auf 100 bar, so würde der Joule-Thomson-Effekt eine Temperaturänderung von 50 °C bewirken. Durch Verwendung eines Heizelements kann dem Joule-Thomson-Effekt des Prozessgases, d.h. einer Abkühlung bei Entweichen, bzw. Entnahme aus dem Gasdruckgehäuse, entgegenwirkt werden. Zur Überwachung der Temperatur kann ein Temperatursensor, vorzugsweise ein PT100 Thermoelement vorgesehen sein. Umfasst das Gasdruckgehäuse Material mit einer hohen thermischen Leitfähigkeit, zum Beispiel Kupfer oder pyrolytisches Graphit, so kann das Anbringen eines Temperatursensors ausreichend sein, da das Material des Gasdruckgehäuses wie ein thermischer Kurzschluss wirkt und für eine homogene Temperatur über das gesamte Gasdruckgehäuse sorgt. Vorzugsweise wird die Temperatur im Innenraum des Gasdruckgehäuses an die Temperatur des Mediums angepasst.

[0048] Wasserstoff erwärmt sich im Gegensatz zu CNG (Compressed Natural Gas) bei einer Expansion und somit bei einem Entweichen, bzw. einer Entnahme aus dem Gasdruckbehälter im

Bereich von während einer Durchflussmessung vorherrschenden Temperaturen und Drücke. Um dem entgegen zu wirken kann im Gasdruckgehäuse ein Kühlelement vorgesehen sein. Es sei erwähnt, dass für eine Kühlung von Wasserstoff weniger Energie benötigt wird, als für eine Heizung von Compressed Natural Gas (CNG) oder Stickstoff. Als Kühlelement kann im Gasdruckgehäuse Drucklufteinblasung vorgesehen sein. Hierfür kann eine Kapillare im Gasdruckgehäuse platziert werden. Über die Kapillare kann Luft mit einer vorgesehenen Drucklufttemperatur, vorzugsweise entsprechend der gewünschten Prozessgastemperatur, in den Gasdruckgehäuse induziert werden um eine Kühlung zu bewirken. Es kann weiters im Gasdruckgehäuse eine Austrittsmöglichkeit für die Druckluft vorgesehen sein. Weist das Gasdruckgehäuse ein Heizelement und ein Kühlelement auf, so kann das Gasdruckgehäuse für Prozessgase, welche sich bei Expansion erwärmen, und Prozessgase, welche sich bei Expansion abkühlen, verwendet werden kann.

[0049] Vorzugsweise ist die Gehäusehülle und/oder die Referenzhülle aus Invar gefertigt. Das Material Invar zeichnet durch eine geringe Abhängigkeit des Volumens von der Temperatur aus, womit der Effekt einer Volumensänderung bei einer Temperaturänderung geringgehalten wird.

[0050] Das Gasdruckgehäuse kann einen aus dem Medium ragenden Anschlusskörper umfassen, durch welchen hydraulische und elektrische Anschlüsse aus dem Medium geführt werden. Als Anschlusskörper dient beispielsweise ein Konus vorzugsweise ein Zylinder. Durch die Führung durch den Anschlusskörper können die hydraulischen und elektrischen Verbindungen die Medienoberfläche komprimiert das Gasdruckgehäuse verlassen. Damit kann eine Beeinflussung auf den Messvorgang aufgrund von veränderter Lage der hydraulischen und/oder elektrischen Anschlüsse im Medium minimiert werden. Um weiters Temperatureinflüsse der hydraulischen und/oder elektrischen Anschlüsse auf das Medium und umgekehrt gering zu halten, kann innerhalb des Anschlusskörpers eine Anschlusisolierung der hydraulischen und/oder elektrischen Anschlüsse vorgesehen sein. Weiters kann zumindest die Außenhülle der Anschlusskörpers aus Invar gefertigt sein um temperaturbedingte Veränderungen des Außenvolumens des Anschlusskörpers zu minimieren.

[0051] Vorzugsweise wird eine Position des Gasdruckgehäuses und/oder des Referenzschwimmkörpers ermittelt und/oder ein Füllstand des Mediums überwacht. Fließt diese ermittelte Position Gasdruckgehäuses und/oder des Referenzschwimmkörpers und/oder der Füllstand des Mediums in die Ermittlung des Durchflusses ein, so kann entsprechend auf Änderungen reagiert werden.

[0052] Es ist auch ein Messverfahren und eine Messvorrichtung vorstellbar, wobei zwar ein konditioniertes Medium, jedoch kein Referenzschwimmkörper und kein Referenzmesswert verwendet wird.

[0053] Dies entspricht einem Messverfahren zur Ermittlung eines Durchflusses eines mit Überdruck beaufschlagten und aus einem Gasdruckbehälter entweichenden Prozessgases, wobei der Gasdruckbehälter innerhalb eines in einem Medium angeordneten Gasdruckgehäuses angeordnet ist, sodass im Medium eine Behälterauftriebskraft auf eine Gehäusehülle des Gasdruckgehäuses wirkt, wobei zu zumindest zwei Zeitpunkten mittels einer mit dem Gasdruckgehäuse verbundenen Prozesswaage als Messwert eine Behältergewichtskraft des Gasdruckgehäuses zuzüglich einer Prozessgasgewichtskraft des Prozessgases abzüglich der Behälterauftriebskraft gemessen wird, wobei der Durchfluss des Prozessgases unter Verwendung der gemessenen Messwerte ermittelt wird, und wobei das Medium auf ein temperaturabhängiges Dichtemaximum konditioniert wird.

[0054] Analog entspricht dies einer Messvorrichtung zur Ermittlung eines Durchflusses eines mit Überdruck beaufschlagten aus einem Gasdruckbehälter entweichenden Prozessgases, wobei der Gasdruckbehälter innerhalb eines Gasdruckgehäuses angeordnet ist und das Gasdruckgehäuse in einem Medium angeordnet ist, sodass im Medium eine Behälterauftriebskraft auf eine Gehäusehülle des Gasdruckgehäuses wirkt, wobei eine Prozesswaage vorgesehen ist, welche mit dem Gasdruckgehäuse verbunden ist, um zu zumindest zwei Zeitpunkten als Messwert eine Behältergewichtskraft des Gasdruckgehäuses zuzüglich einer Prozessgasgewichtskraft des Pro-

zessgases abzüglich der Behälterauftriebskraft zu messen, wobei eine Auswerteeinheit vorgesehen ist, welche mit der Prozesswaage verbunden und ausgestaltet ist unter Verwendung der Messwerte den Durchfluss des Prozessgases zu ermitteln, wobei als Medium ein Medium mit einem temperaturabhängigen Dichtemaximum, vorzugsweise Wasser vorgesehen ist, und wobei eine Konditioniervorrichtung vorgesehen ist, welche ausgestaltet ist das Medium derart zu konditionieren, dass es sich im Dichtemaximum befindet.

[0055] Diese Ausgestaltungen unter Verwendung eines konditionierten Medium ohne Referenzschwimmkörper können natürlich alle weiteren hier beschriebenen Merkmale umfassen, selbst wenn diese nur in Verbindung mit einem Referenzschwimmkörper explizit offenbart sind.

[0056] Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 4 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

[0057] Fig. 1 eine erfindungsgemäße Messvorrichtung,

[0058] Fig. 2 eine Messvorrichtung mit einer Konditioniereinheit,

[0059] Fig. 3 das Dichtemaximum von Wasser,

[0060] Fig. 4 eine Messvorrichtung mit Verbindungskörper und ein Aufbau zur Kalibrierung eines Prüflings.

[0061] In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße Messvorrichtung 10 zur Ermittlung eines Durchflusses X eines Prozessgases 1 dargestellt. Das Prozessgas 1 befindet sich mit Überdruck beaufschlagt in einem Gasdruckbehälter 3, welcher in einem Gasdruckgehäuse 2 angeordnet ist. Das Gasdruckgehäuse 2 ist in einem Medium 4 angeordnet, welches sich in einem Behälter 40, hier in einem Becken, befindet. Es ist eine Prozesswaage 5, hier über eine Aufhängung, mit dem Gasdruckgehäuse 2 verbunden. Auf das Gasdruckgehäuse 2 wirkt eine Behältergewichtskraft F2, wobei als Behältergewichtskraft F2 die Gewichtskraft des Gasdruckgehäuses 2 samt Gasdruckbehälter 3 angesehen wird. Zur Behältergewichtskraft F2 können auch auf den Gasdruckbehälter 2 wirkende Gewichtskräfte weiterer mit dem Gasdruckgehäuse 2 verbundener Elemente (Ventile, Leitungen, etc.) zählen. Beispielsweise kann auch eine Gewichtskraft der Aufhängung zur Behältergewichtskraft F2 zählen. Die Prozessgewichtskraft F1 des im Gasdruckgehäuse 2 befindlichen Prozessgases 1 ist jedoch in dieser Betrachtung nicht Teil der Behältergewichtskraft F2. Insgesamt wirkt somit eine Gesamtgewichtskraft, welche sich aus Behältergewichtskraft F1 und Prozessgasgewichtskraft F2 zusammensetzt, als Schwerkraft nach „unten“. Würde sich kein Medium 4 im Behälter 40 befinden, so würde die Prozesswaage 5 diese Gesamtgewichtskraft als Messwert F liefern.

[0062] Das Gasdruckgehäuse 2 weist jedoch eine Gehäusehülle 20 auf, wodurch im Medium 4 eine Behälterauftriebskraft Fa auf die Gehäusehülle 20 und somit auch auf das Gasdruckgehäuse 2 wirkt. Diese Behälterauftriebskraft Fa wird primär durch die Form und das Material der Gehäusehülle 20 bestimmt und wirkt entgegen der Behältergewichtskraft F2 und somit auch entgegen der Prozessgasgewichtskraft F1 nach „oben“.

[0063] Die Prozesswaage 5 misst als Messwert F somit die Behältergewichtskraft F2 des Gasdruckgehäuses 2 samt der Prozessgasgewichtskraft F1 des Prozessgases 1 und abzüglich der im Medium 2 auf die Gehäusehülle 20 wirkenden Behälterauftriebskraft Fa: $F = F2 + F1 - Fa$. Die Gehäusehülle 20 ist derart ausgestaltet, dass die Auftriebskraft Fa die Behältergewichtskraft F2 zu einem Großteil kompensiert. Damit ist der Messwert F geringer, als es ohne Wirken der Behälterauftriebskraft Fa wäre, womit eine Prozesswaage 6 mit einem geringeren absoluten Messbereich und damit höherer Auflösung verwendet werden kann.

[0064] Weiters ist ein Referenzschwimmkörper 2' umfassend eine Referenzhülle 20' im Medium 4 angeordnet und eine mit dem Referenzschwimmkörper 2' verbundene Referenzwaage 8 vorgesehen. Es wirkt aufgrund der Masse des Referenzschwimmkörpers 2' eine nach „unten“ gerichtete Referenzgewichtskraft F2' auf den Referenzschwimmkörper 2'. Weiters wirkt im Medium 4 eine nach „oben“, entgegen der Referenzgewichtskraft F2', gerichtete Referenzauftriebskraft

Fa' auf die Referenzhülle 20' des Referenzschwimmkörpers 2'. Die Referenzwaage 8 misst zu den zumindest zwei Zeitpunkten als Referenzmesswert F' die Referenzgewichtskraft F2' abzüglich der Referenzauftriebskraft Fa'.

[0065] Die Messwerte F und Referenzmesswerte F' werden während eines Messvorgangs ermittelt. Das Prozessgas 1 entweicht aus dem Gasdruckbehälter 3 mit einem Durchfluss X. Dieses Entweichen ist in Fig. 1 und 2 schematisch als Pfeil ausgehend von dem Gasdruckbehälter 3 dargestellt. Üblicherweise erfolgt jedoch eine kontrollierte Entnahme des Prozessgases 1 mit einem Durchfluss X, vgl. Fig. 4. Der Messwert F und der Referenzmesswert F' wird an die Auswerteeinheit 6 übermittelt, welche daraus wiederum den Durchfluss X des aus dem Gasdruckbehälter 3 entweichenden Prozessgases 1 ermittelt. Dies kann erfolgen, indem der Verlauf des Messwerts F und des Referenzmesswerts F' betrachtet wird. Es kann der Durchfluss X auch unter Bildung einer Differenz aus Messwerten F zu zwei oder mehr verschiedenen Zeitpunkten und unter Verwendung von Referenzmesswerten F' zu diesen zwei oder mehr verschiedenen Zeitpunkten ermittelt werden. Die Übermittlung der Messwerte F und der Referenzmesswerte F' kann sofort nach Messung, d.h. jeweils zu den zumindest zwei Zeitpunkten erfolgen, oder zeitverzögert.

[0066] Ändert sich die Referenzauftriebskraft Fa' während des Messvorgangs nicht, so ist der Referenzmesswert F' konstant. Ändert sich die Referenzauftriebskraft Fa' während des Messvorgangs jedoch, so kann auf einen Einfluss auf die Behälterauftriebskraft Fa und einen entsprechend verfälschten Messwert F geschlossen werden. Durch die Ermittlung des Referenzmesswerts F' zusätzlich zum Messwert F können somit Einflüsse, die sich gleichermaßen auf die Behälterauftriebskraft Fa und die Referenzauftriebskraft Fa' auswirken, berücksichtigt und eliminiert werden. Dies kann z.B. erfolgen, indem die Auswerteeinheit 6 beim Verarbeiten des Messwerts F auftretende Änderungen des zugehörigen Referenzmesswerts F' aus dem Messwert F herausrechnet und so den Messwert F korrigiert. Die zu zumindest zwei Zeitpunkten ermittelten und jeweils unter Verwendung der zugehörigen Referenzmesswerte F' korrigierten Messwerte F können somit zur Ermittlung des Durchflusses X verwendet werden. Damit ist der Durchfluss X ebenso korrigiert, womit der Messfehler reduziert wird.

[0067] Zur Ermittlung des Durchflusses X ist es nicht erforderlich die Absolutwerte der Menge des Prozessgases 1 zu bestimmen. Es kann zwar zu einem ersten Zeitpunkt die im Gasdruckgehäuse 2 befindliche Menge des Prozessgases 1 bestimmt werden, diese Menge dient jedoch als Basis für eine zu einem zweiten Zeitpunkt im Gasdruckgehäuse 2 ermittelte Menge des Prozessgases 1. Beispielsweise kann zum ersten Zeitpunkt eine Menge von Null angenommen werden (Tara-Funktion) und zum zweiten Zeitpunkt eine (nun von Null verschiedene) Menge ermittelt werden. Der Durchfluss X ergibt sich dann durch die Auswerteeinheit 6 als Differenz der Menge zum zweiten Zeitpunkt von der Menge am ersten Zeitpunkt, unabhängig von der gewählten Basis zum ersten Zeitpunkt.

[0068] Wäre die Gehäusehülle 20 derart gestaltet, dass die Behälterauftriebskraft Fa die Behältergewichtskraft F2 vollständig kompensiert, so würde das Messwert F direkt die Prozessgasgewichtskraft F1 ergeben. Damit wäre die Masse, bzw. Menge des Prozessgases 1 direkt aus dem Messwert F bekannt. Dadurch würde der Gasdruckbehälter 2 jedoch schweben, womit sich bei leerem Gasdruckbehälter 2 für die Prozesswaage 5 eine Gesamtgewichtskraft von Null ergeben würde. Daher ist die Gehäusehülle 20 vorzugsweise derart gestaltet, dass die Auftriebskraft Fa die Behältergewichtskraft F2 nicht vollständig, sondern nur größtenteils, vorzugsweise auf eine resultierende Gewichtskraft im Bereich von 1g bis 2kg, vorzugsweise 1g bis 200g, besonders vorzugsweise 1g bis 100g kompensiert.

[0069] Auch der Referenzschwimmkörper 2' schwebt vorzugsweise nicht im Medium und ist derart gestaltet, dass die Referenzauftriebskraft Fa' die Referenzgewichtskraft F2' größtenteils kompensiert, vorzugsweise sich als Referenzmesswert F' (Referenzgewichtskraft F2' abzüglich Referenzauftriebskraft Fa) im Bereich von 1g bis 2kg, vorzugsweise 1g bis 200g, besonders vorzugsweise 1g bis 100g, ergibt.

[0070] In welchem Bereich die Behältergewichtskraft F2 durch die Behälterauftriebskraft Fa und die Referenzgewichtskraft F2' durch die Referenzauftriebskraft Fa' kompensiert werden soll, ist

von den voraussichtlich auftretenden äußeren Einflüssen auf den Messwert F und den Referenzmesswert F' abhängig. Sind beispielsweise geringe Schwankungen der Mediumdichte ρ zu erwarten, so ist ein kleinerer Bereich für die Kompensierung ausreichend, womit auch eine Referenzwaage 8 und (eine Prozesswaage 6) mit einem geringeren maximalen Messbereich und damit einer höheren Auflösung gewählt werden.

[0071] Es wird vorzugsweise ein Medium 4 verwendet, welches ein temperaturabhängiges Dichtemaximum x aufweist, wobei das Medium 4 während des Messvorgangs durch eine Konditioniereinheit 9 auf sein Dichtemaximum x konditioniert wird, wie in Fig. 2 dargestellt. Ein temperaturabhängiges Dichtemaximum x bedeutet, dass die Mediumdichte bei einer kritischen Mediumtemperatur T_x größer ist als bei jeder anderen Mediumtemperatur T , sowohl über als auch unter der kritischen Mediumtemperatur T_x .

[0072] Die Konditioniervorrichtung 9 kann beispielsweise Temperaturfühler und Temperiereinheiten zur Regelung der Mediumtemperatur T umfassen, etc. Es kann zur Konditionierung natürlich auch das Medium 4 sukzessive oder in Intervallen gegen bereits vorkonditioniertes Medium 4 ausgetauscht werden. Die Konditioniereinrichtung 9 kann beispielsweise mittels der Anlage AVL FuelExact™ erfolgen, womit Mediumtemperatur T bis auf ein Hundertstel °C konditioniert werden kann.

[0073] Wasser ist beispielsweise sehr gut als Medium 4 geeignet, da Wasser ungiftig und leicht erhältlich ist und ein Dichtemaximum x bei einer Mediumtemperatur T_x aufweist. Der Zusammenhang von Mediumtemperatur T und Mediumdichte ρ kann beispielsweise durch die Thiesen's-Formel beschrieben werden. In Fig. 3 ist eine Dichte-Temperatur-Kurve von Wasser dargestellt, wobei auf der vertikalen Achse die Mediumdichte ρ in kg/m^3 und auf der horizontalen Achse die Mediumtemperatur T in °C aufgetragen ist. Das Dichtemaximum x tritt bei Wasser als Anomalie im Tripelpunkt auf. So ist die Mediumdichte ρ von Wasser bei einer Wassertemperatur (kritische Mediumtemperatur T_x) von 3,983 °C (und einem Wasserdruck (Mediumdruck) von 1013,25 mbar am größten und somit das Mediumvolumen am geringsten. Wird der Mediumdruck erhöht, so erhöht sich die Mediumdichte ρ . Um Konzentrationsunterschiede von Verunreinigungen innerhalb des Mediums 4, welche zu unterschiedlichen lokalen Mediumdichten ρ führen kann, zu vermeiden, kann auch destilliertes Wasser als Medium 4 verwendet werden. Es kann statt Wasser natürlich auch jedes andere geeignete Medium 4, das ein temperaturabhängiges Dichtemaximum x als Extrempunkt aufweist, verwendet werden.

[0074] Erfolgt die Konditionierung des Mediums 4 durch eine Entnahme und ein Hinzufügen von (konditioniertem) Medium 4, so haben Bewegungen des Mediums 4 innerhalb des Behälters 40 natürlich direkten Einfluss auf die Behälterauftriebskraft F_a , bzw. die Referenzauftriebskraft F_a' . Schlimmstenfalls treten dabei unterschiedliche und damit nicht einfach korrigierbare Einflüsse auf die Behälterauftriebskraft F_a und die Referenzauftriebskraft auf, womit der Messfehler erhöht wird. Es kann daher eine indirekte Konditionierung des Mediums 4 vorgesehen sein um Bewegungen im Medium 4 zu vermeiden. Dies kann erfolgen, indem nicht das Medium 4 selbst direkt konditioniert oder ausgetauscht wird, sondern ein weiteres Medium, welches in thermischer Wechselwirkung mit dem Medium 4 steht, konditioniert wird. Bei einer Wärmeübertragung vom konditionierten weiteren Medium auf das Medium sollte das Medium 4 im Behälter 40 selbst nicht bewegt werden. Dies gewährleistet werden, indem ein weiterer Behälter vorgesehen ist, welcher den Behälter 40 umgibt. Das weitere Medium befindet sich zwischen dem Behälter 40 und dem weiteren Behälter und wird konditioniert, bzw. getauscht. Da das Medium 4, z.B. über die Wand des Behälters 40 in thermischen Kontakt mit dem weiteren Medium steht, wird das Medium 4 über das weitere Medium konditioniert, indem die Temperatur des weiteren Mediums sich auf das Medium 4 überträgt. Dies entspricht dem Prinzip eines Wärmetauschers. Anstatt des weiteren Behälters kann das Medium auch beispielsweise durch die Wand des Behälters 40 geführt werden und/oder Bleche in den Behälter 40 ragen, welche vorzugsweise so angeordnet sind das sie möglichst gleichmäßig die Temperatur an das Medium abgeben/entziehen und Strömungen des Mediums möglichst unterbinden. Sind beispielsweise alle Außenwände des Behälters konditioniert, so kann der Behälter 40 mit geringeren Dimensionen vorgesehen sein.

[0075] Das Verhältnis von Außenvolumen zur Höhe der Referenzhülle 20' entspricht vorzugsweise dem Verhältnis von Außenvolumen zu Höhe der Gehäusehülle 20. Damit kann verhindert werden, dass sich vertikale Unterschiede in der Mediumdichte p unterschiedlich auf Behälterauftriebskraft F_a und Referenzauftriebskraft F_a' auswirken. Dies ist insbesondere gewährleistet, wenn Referenzhülle 20' dieselbe Außengeometrie wie die Gehäusehülle 20 aufweist. Stattdessen kann der Referenzschwimmkörper 2' als um das Gasdruckgehäuse 2 geführten Torus ausgestaltet sein, um ein Auswirken horizontaler Unterschiede in der Mediumdichte p auf Behälterauftriebskraft F_a und Referenzauftriebskraft F_a' zu minimieren. Das Material der Referenzhülle 20' und das Material der Gehäusehülle 20 weisen vorzugsweise dieselbe Dichte auf, wobei besonders vorzugsweise das Material der Referenzhülle 20' und das Material der Gehäusehülle 20 identisch ist. Damit ist gewährleistet, dass Behälterauftriebskraft F_a und Referenzauftriebskraft F_a' sich bei etwaigen Einflüssen auf die Mediumdichte p möglichst gleich ändern, womit Messwert F und Referenzmesswert F' sich ebenso gleichermaßen ändern und somit ein Messfehler unter Verwendung des Referenzmesswerts F' minimiert wird.

[0076] Das Gasdruckgehäuse 2 kann ein Heizelement und/oder ein Kühlelement aufweisen. Damit kann einer Abkühlung oder einer Erwärmung des Prozessgases 1 bei dem Entweichen entgegengewirkt werden.

[0077] Das Medium 4 kann im Laufe der Zeit Verunreinigungen, Staub, Salze, etc. aufnehmen. Deshalb sollte eine etwaige Verunreinigung des Mediums 4 und damit verbundene Änderung Mediumdichte p verhindert werden. Somit kann das Medium 4 getauscht werden, wenn es eine zu hohe Verunreinigung aufweist. Dies kann jedoch sehr aufwendig sein, wie auch bereits die Bestimmung des Grads der Verunreinigung. Um den Grad der Verunreinigung gering zu halten, kann anstatt einem Behälter 40 in Form eines offenen Beckens ein Behälter in Form eines geschlossenen Behältnisses verwendet werden. Vorzugsweise ist das geschlossene Behältnis nicht vollständig mit Medium 4 befüllt und mit leichtem Überdruck, z.B. 100 mbar, beaufschlagt. Um diesen Überdruck konstant zu halten, kann ein IP-Wandler und ein Drucksensor werden. Zusätzlich kann eine Drossel vorgesehen sein um eine noch feinere Einstellung des Druckes möglich zu machen. Grundlegend ist es vorteilhaft, wenn der Luftdruck in der Messvorrichtung 10 möglichst konstant gehalten werden.

[0078] Es kann gemeinsam mit dem Behälter 40 auch die Prozesswaage 6 und falls vorgesehen die Referenzwaage 8, vorzugsweise das gesamte Messsystem 1, eingehaust sein und vorzugsweise auf konstantem Luftdruck gehalten werden. Damit kann verhindert werden, dass eine Luftdruckschwankung Auswirkungen auf die Prozesswaage 5 bzw. Referenzwaage 8, hydraulische Leitungen, etc. hat. Weiters kann durch die Einhausung auch die Prozesswaage 5 und/oder Referenzwaage 8 auf konstanter Temperatur gehalten werden, was für die Genauigkeit der Prozesswaage 5 und/oder Referenzwaage 8 selbst zuträglich ist.

[0079] Die Gehäusehülle 20 und der Gasdruckbehälter 3 können durch ein Isoliermedium, vorzugsweise Vakuum oder Luft, voneinander getrennt sein. Damit wirkt sich eine Änderung des Volumens und/oder der Temperatur des Gasdruckbehälters 3 nicht oder nur in verringertem Ausmaß auf die Gehäusehülle 20 aus. Damit wirkt sich zwar eine Änderung des Prozessgasdrucks und/oder der Prozessgastemperatur auf die Dichte/das Volumen und/oder die Temperatur des Gasdruckbehälters 3 aus, jedoch nicht oder nur in verringertem Ausmaß auf die Gehäusehülle 20. Da lediglich die Gehäusehülle 20 des Gasdruckgehäuses 2 mit dem Medium 4 in Kontakt steht und somit die Behälterauftriebskraft F_a bewirkt, ist die Behälterauftriebskraft F_a bei Verwendung eines Isoliermediums ebenso nicht oder nur in verringertem Ausmaß vom Prozessgasdruck und/oder der Prozessgastemperatur abhängig, womit Messfehler und Messungenauigkeiten weiter reduziert werden.

[0080] Das Isoliermedium ist vorzugsweise weich, d.h. leicht komprimierbar, ausgeführt um eine Übertragung von Kräften vom Gasdruckbehälter 3 auf die Gehäusehülle 20 und umgekehrt zu verhindern.

[0081] Weiters ist es vorteilhaft, wenn eine hocheffiziente Isolierung (z.B. Vakuumkieselgurplatten) zumindest an der Innenseite der Gehäusehülle 20 angeordnet ist.

[0082] Es ist zu beachten, dass eine doppelwandige Ausführung gegenüber einer einwandigen Ausführung zu einem vergrößerten Außenvolumen des Gasdruckgehäuses 2, bzw. der Gehäuseschülle 20 führen kann, womit natürlich eine größere Behälterauftriebskraft F_a entsteht. Dem kann beispielsweise durch eine schwere Ausführung des Bodens des Gasdruckgehäuses 2 entgegenwirkt werden. Beispielsweise kann der Boden selbst aus einem Material mit hoher Dichte, beispielsweise Blei, gefertigt sein und/oder zusätzlich mit einem beschwerenden Gewicht versehen sein, wobei auch hier immer auf ein ggf. geändertes Außenvolumen und damit verbundenen veränderten Behälterauftriebskraft F_a geachtet werden muss. Das beschwerende Gewicht ist vorzugsweise innerhalb des Gasdruckgehäuses 2 angeordnet.

[0083] Das Gasdruckgehäuse 3 und der Gasdruckbehälter 2 können durch ein, vorzugsweise aus Keramik gefertigtes, Verbindungselement mit geringer Wärmeleitung und Wärmeausdehnung miteinander verbunden sein. Vorzugsweise ist eine Wärmeleitung von 10 bis $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ und eine Wärmeausdehnung von 10^{-6} bis 10^{-5} K^{-1} vorgesehen. Damit wird ein Einfluss von Temperaturen und Temperaturänderungen vom Gasdruckgehäuse 3 auf Gasdruckbehälter 2 und umgekehrt minimiert. Das Verbindungselement kann auch zur Führung von elektrischen und hydraulischen Anschlüssen zwischen Gasdruckgehäuse 3 und Gasdruckbehälter 2 dienen kann, z.B. zur Entnahme des Prozessgases 1 aus dem Gasdruckbehälter 2.

[0084] Die Verbindung des Gasdruckgehäuses 3 mit der Prozesswaage 5 kann durch die Oberfläche des Mediums 4 ragen, beispielsweise weil das Gasdruckgehäuse 3 komplett in das Medium 4 eingetaucht ist. Daher ist es vorteilhaft, wenn die Verbindung ein geringes Volumen aufweist, um wenig vom Medium 4 zu verdrängen. Befinden sich weiters hydraulische und/oder elektrische Anschlüsse unter der Oberfläche des Mediums 4, so sollte eine Beeinflussung des umgebenden Mediums 4 aufgrund von Druck- und Temperaturänderungen (z.B.: aufgrund des Joule-Thomson-Effekts) auch auf die Anschlüsse vermieden werden. Hierzu können die hydraulische und/oder elektrische Anschlüsse doppelwandig ausgeführt werden, was jedoch einen hohen konstruktiven Aufwand erfordert.

[0085] Das Gasdruckgehäuse 2 und/oder der Referenzschwimmkörper 2' weisen vorzugsweise zumindest im Bereich, welcher die Oberfläche des Mediums 4 durchdringt, die Form eines Konus, z.B. eines Zylinders, auf. Damit wird die Abhängigkeit der Auftriebskraft F_a , bzw. Referenzauftriebskraft F_a' von der Position des Gasdruckgehäuses 2 bzw. Referenzschwimmkörpers 2' im Mediums 4 verringert. Eine auftretende Abhängigkeit kann rechnerisch korrigiert werden, da die Dichte der umgebenden Luft und die Mediumdichte, sowie der Radius, bzw. das Volumen des Gasdruckgehäuses 2 und/oder des Referenzschwimmkörpers 2' bekannt ist, wenn zudem die relative Bewegung des Gasdruckgehäuses 2 und/oder des Referenzschwimmkörpers 2' bekannt ist oder gemessen wird. Es ist daher vorteilhaft, wenn die Abmessungen des Gasdruckgehäuses 2 und des Referenzschwimmkörpers 2' sehr genau bekannt sind.

[0086] Es ist in Fig. 4 eine Verwendung einer Messvorrichtung 10 als Kalibriersystem dargestellt. Es wird zu zumindest zwei Zeitpunkten der Messwert F und der Referenzmesswert F' ermittelt und draus in der Auswerteeinheit 6 der Durchfluss X des aus dem Gasdruckgehäuse 3 entweichenden Prozessgases 1 ermittelt. Der Durchfluss X ist aufgrund der hohen Genauigkeit des erfindungsgemäßen Messverfahrens sehr genau bekannt und kann zur Kalibrierung eines Durchflussmessgeräts als Prüfling P verwendet werden. Hierzu fließt das Prozessgas 1 über eine hydraulische Leitung 41 vom Gasdruckbehälter 2 in den Prüfling P . Der vom Prüfling P ermittelte Durchfluss X' des Prozessgases 1 wird mit dem durch die Auswerteeinheit 6 ermittelten Durchfluss X , verglichen um den Prüfling P zu kalibrieren. Dieser Vergleich kann ebenso in der Auswerteeinheit 6 erfolgen, wie in Fig. 4 angedeutet. Es kann aber auch eine Vergleichseinheit vorgesehen sein, die den vom Prüfling P ermittelten Durchfluss X' und weiters den durch die Auswerteeinheit 6 ermittelten Durchfluss X erhält und miteinander vergleicht.

[0087] Es kann beispielsweise zu Beginn des Messvorgangs durch die Messvorrichtung 10 und durch den Prüfling P eine im Gasdruckbehälter 2 befindliche Menge des Prozessgases 1 ermittelt. Vorzugsweise wird diese Menge am Prüfling P und an der Messvorrichtung 10 jeweils auf Null gesetzt, was einer Realisierung einer „Tara“-Funktion entspricht. Dies ist möglich, da für die Be-

stimmung des Durchflusses X eine Differenz der Mengen des Prozessgases 1 zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt wird. Damit ist es nicht erforderlich, dass zu den zumindest zwei Zeitpunkten die absoluten Mengen des Prozessgases 1 bekannt sind, weshalb auch in einfacher Weise eine Tara-Funktion verwirklicht werden kann. Nach Ermittlung der Menge zu einem ersten Zeitpunkt wird die Messung gestartet, indem - vorzugsweise möglichst rasch - der gewünschte Durchfluss X des Prozessgases 1 erzeugt wird, was durch eine steigende Rampe des Durchflusses X erfolgen kann. Vorzugsweise wird der Durchfluss X während des Messvorgangs konstant gehalten. Zur Kontrolle des aktuellen Durchflusses X kann grundlegend der durch die Messvorrichtung 10 ermittelte Durchfluss X verwendet werden. Es kann jedoch auch der durch den Prüfling P gemessene Durchfluss X' herangezogen werden. Zu Ende des Messvorgangs wird der Durchfluss X , vorzugsweise auf Null, reduziert, was durch eine fallende Rampe des Durchflusses X erfolgen kann. Die steigende und fallende Rampen werden vorzugsweise möglichst kurz gewählt, um ein möglichst großes Verhältnis der Dauer des Messvorgangs zu den Rampen zu erzeugen, womit darauf basierende Messfehler reduziert oder verhindert werden können. Dies kann insbesondere für unbekannte Prüflinge P versuchsweise erfolgen, indem mehrerer Messvorgänge durchgeführt werden, wobei die Dauer des jeweiligen Messvorgangs so lange erhöht wird, bis die gemessenen Abweichungen sich nicht mehr signifikant verändern. Zu Ende des Messvorgangs, vorzugsweise nach Ablauf einer Beruhigungszeit, kann zu einem zweiten Zeitpunkt durch die Messvorrichtung 10 die Menge des im Gasdruckbehälter befindlichen Prozessgases 1 ermittelt werden und daraus der Durchfluss X berechnet werden. Der Prüfling P ermittelt ebenso den Durchfluss X' zwischen dem ersten und zweiten Zeitpunkt. Je nach Abweichung des vom Prüfling P ermittelten Durchflusses X' vom durch die Messvorrichtung ermittelten Durchflusses X kann der Prüfling P kalibriert werden. Dies kann durch Anpassung von Justierparametern des Prüflings P erfolgen. Grundsätzlich sind die Möglichkeiten und Vorgehensweisen einer Kalibrierung eines Prüflings P bekannt, weshalb an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen wird. Wesentlich ist, dass der erfindungsgemäß ermittelte Durchfluss X als Referenzwert für den durch einen Prüfling ermittelten Durchfluss X' verwendet wird, womit der Prüfling P kalibriert wird.

[0088] Um etwaige unbekannte Störfaktoren nach Möglichkeit auszuschließen ist es vorteilhaft den Kalibriervorgang für jeden zu kalibrierenden Durchfluss X' mehrfach, vorzugsweise sechs bis zehn Mal zu wiederholen. Die finale Abweichung des durch den Prüfling P gemessenen Durchflusses X' vom durch die Messvorrichtung 10 ermittelten Durchfluss X kann in Prüflingsprotokollen angegeben werden.

[0089] Vorzugsweise ist ein erster Druckregler $R1$ im Gasdruckgehäuse 2 angeordnet, um einen Leitungsdruck in der hydraulischen Leitung 41 konstant zu halten, um einen darauf basierten Messfehler zu verhindern. Damit kann ebenso verhindert werden, dass sich aufgrund eines veränderlichen Drucks des Prozessgases in der der hydraulischen Leitung 41 das Volumen der hydraulischen Leitung 41 selbst ändert, was ebenso zu einem Messfehler führen könnte. Um trotz Verwendung eines ersten Ausgangsdruckreglers $R1$ ein Füllen des Gasdruckgehäuses 2, bzw. Gasdruckbehälters 1 zu ermöglichen, kann ein (vorzugsweise Null-bar-)Rückschlagventil in den ersten Druckregler $R1$ integriert werden. Vorzugsweise ist weiters ein Ventil V in der hydraulischen Leitung 41 vorgesehen um die Kalibrierung zu starten und zu stoppen. Ist das Ventil V als 2/3-Wege Ventil ausgestaltet, so kann der dritte Pfad zum Befüllen des Gasdruckbehälters 3 mit Prozessgas 1 verwendet werden.

[0090] Der finale Prüfdruck des entweichenden Prozessgases 1 am Prüfling P kann mithilfe eines stromaufwärts des Prüflings P angeordneten zweiten Druckreglers $R2$ und eines stromabwärts des Prüflings P angeordneten dritten Druckreglers $R3$ erzeugt werden. Der Prüfling erzeugt einen Druckabfall des durchfließenden Prozessgases 1. Der dritte Druckregler $R3$ regelt den Druck des Prozessgases auf der hydraulischen Leitung 41 stromabwärts von $R2$. Der maximal verfügbare Druck des Prozessgases 1 am Prüfling P wird durch den hydraulischen Leitungsdruck begrenzt. Der aufgrund des Druckreglers $R2$ in der hydraulischen Leitung 41 und somit am Prüfling zur Verfügung stehende Gasdruck ist somit vorzugsweise an den Prüfling angepasst und kann beispielsweise 20 bar betragen. Vorzugsweise sind erster Druckregler $R1$ und/oder zweiter Druckregler $R2$ und/oder dritter Druckregler $R3$ und/oder Ventil V fernsteuerbar, beispielsweise über

Servomotoren und/oder IP Wandler. Besonders vorteilhaft sind Steuermethoden, die selbst keine, oder nur eine geringe Wärmeentwicklung aufweisen. Der Gasdruckbehälter 2 wird vorzugsweise nicht derart entleert, dass der Prozessgasdruck im Gasdruckbehälter 2 den durch den Druckregler R1 festgelegten Leitungsgasdruck unterschreitet. Es kann ein Präzisions-Drucksensor zum Messen des Leitungsdrucks verwendet werden um auch den Absolutdruck in der hydraulischen Leitung 41 konstant zu halten, wobei die Detektion einer relativen Leitungsdruckänderung ausreichend sein kann.

[0091] Es ist kann auch jeweils eine Drossel anstatt des ersten Druckreglers R1 und/oder zweiten Druckreglers R2 und/oder dritten Druckreglers R3 vorgesehen sein.

[0092] Ist das Gasdruckgehäuse 2 über hydraulische (und/oder elektrische) Verbindungsleitungen 41 mit der Behälterwand des Behälters 40 verbunden, so sind diese vorzugsweise mit hoher Flexibilität bei gleichzeitiger Druckfestigkeit ausgestaltet um mechanische Spannungen zwischen Gasdruckgehäuse 2 und Behälter 40 gering zu halten. Beispielsweise können als Verbindungsleitungen 41 Wellrohre, vorzugsweise aus Edelstahl gefertigt, verwendet werden. Um die Gesamtmasse der Verbindungsleitungen 41 gering zu halten, kann ein möglichst geringer Leitungsdurchmesser, vorzugsweise 8mm, gewählt werden. Im Allgemeinen erfolgt die Auslegung der hydraulischen Verbindungsleitungen 41 derart, dass der Druckabfall bei einem vorgesehenen maximalen Durchfluss kleiner als eine Druckdifferenz zwischen dem Ausgangsdruckregler R1 und weiteren Ausgangsdruckregler R2 ist.

[0093] Vorzugsweise verlassen hydraulische (und/oder elektrische) Verbindungsleitungen 41 das Gasdruckgehäuse 2, bzw. den Anschlusskörper 42 senkrecht und sind in einem möglichst großen Radius Richtung Behälter 40 gebogen, womit das Hebelgesetz ausgenutzt wird, da die Differenzkraft verursacht durch eine Positionsänderung des Gasdruckgehäuses 2 mit der Länge der Verbindungsleitungen 41 sinkt. Weiters können die hydraulischen (und/oder elektrischen) Verbindungsleitungen 41 als Spirale ausgeführt sein.

[0094] Es kann weiters der Füllstand des Mediums 4 überwacht werden. Damit kann eine Verdunstung des Mediums 4 berücksichtigt werden, wie auch Verdrängung durch eine Positionsänderung des Gasdruckgehäuses 2, Referenzschwimmkörpers 2', etc. Die Füllstandüberwachung des Mediums 4 kann beispielsweise erfolgen, indem die Lage eines im Medium 4 treibenden Referenzobjekts mittels eines Positionsmesssystems ermittelt wird. Dieses Referenzobjekt ist vorzugsweise in einem Randbereich des Behälters 40 angeordnet und zum Beispiel durch ein Lochblech vom restlichen Behälter 40 abgegrenzt. Das Verhältnis der Höhe zur Breite des Referenzobjekts kann so gewählt werden, dass sich der größere Teil des Referenzobjekts (vorzugsweise neun Zehntel der Oberfläche) unter der Oberfläche des Mediums 4 befindet. Durch diese Maßnahme wird erreicht, dass sich die Bewegungen des Referenzobjekts während der Messung auf ein Minimum begrenzt werden.

[0095] Vorzugsweise wird ebenso die Position des Gasdruckgehäuses 2 und/oder des Referenzschwimmkörpers 2' ermittelt, um eine relative Bewegung des Gasdruckgehäuses 2 und/oder des Referenzschwimmkörpers 2' zur Oberfläche des Mediums zu bestimmen.

[0096] Eine weitere Reduktion eines Messfehlers kann durch Einführung einer Mindestberuhigungszeit des Durchflusses des entweichenden Prozessgases 1 vor und nach jedem Messvorgang erreicht werden. Es kann somit eine rampenförmige Steigerung des Durchflusses bei Beginn des Messvorgangs und eine rampenförmige Verringerung des Durchflusses bei oder vor dem Ende des Messvorgangs vorgesehen sein, wobei die Rampen Teil des Messvorgangs sein können. Insbesondere durch die rampenförmige Steigerung kann sichergestellt sein, dass der Prüfling P während des konstanten Durchflusses X' korrekte, zu kalibrierende Messergebnisse liefert. Auch die Prozesswaage 8 und/oder die Referenzwaage 5 können nach einer ausreichenden Beruhigungszeit ihre maximale Genauigkeit erzielen.

[0097] Das Gasdruckgehäuse 2 und/oder der Referenzschwimmkörper 2' kann weiters einen aus dem Medium 4 ragenden Anschlusskörper 42, 42', beispielsweise einen Konus vorzugsweise einen Zylinder, umfassen, wie in Fig. 4 dargestellt. Durch den Anschlusskörper 42 des Gasdruck-

gehäuses können hydraulische (und/oder elektrische) Verbindungsleitungen 41 aus dem Medium 4 geführt werden. Somit können die hydraulischen (und/oder elektrischen) Verbindungsleitungen 41 die Oberfläche des Mediums 4 komprimiert verlassen und ein Einfluss der hydraulischen (und/oder elektrischen) Verbindungsleitungen 41 auf den Messvorgang minimiert werden. Der Anschlusskörper 42, 42' des Gasdruckgehäuses 2 und/oder des Referenzschwimmkörpers 2 kann weiters, beispielsweise über eine Aufhängung mit der Prozesswaage 8 bzw. der Referenzwaage 5 verbunden sein.

[0098] Es muss die Messvorrichtung 10 bei Verwendung als Kalibriersystem während seiner Lebensdauer bzw. Einsatzdauer mehrmals auf ein internationales Normal „rückgeführt“ werden, wobei Transfernormale eingesetzt werden. Am oberen Ende des Anschlusskörpers 42, 42' des Gasdruckgehäuses 2 und/oder des Referenzschwimmkörpers 2 kann eine Aufnahme, beispielsweise eine Aufnahmetasse, vorgesehen sein, wie in Fig. 4 angedeutet. Mit Hilfe dieser Aufnahme(n) kann das Messsystem kalibriert werden, beispielsweise indem Präzisionsgewichte in die Aufnahme(n) eingebracht werden. Dies ist einfach durchzuführen, es kann jedoch auch eine automatische Positionierung der Präzisionsgewichte angedacht sein, womit gegenüber manueller Positionierung Einflüsse auf den Messvorgang reduziert werden können.

[0099] Durch eine Verwendung von (Hoch)Präzisionsgewichten als Transfernormale kann eine Kalibrierung der Messvorrichtung 10, z.B. eine Rückführung auf ein staatliches Primärnormal erfolgen. Zur Kalibrierung der Messvorrichtung 10 wird unter Berücksichtigung des Messwerts F und des Referenzmesswerts F' zu einem ersten Zeitpunkt ein von der Messvorrichtung 10 angezeigter Wert ermittelt, analog zur Ermittlung der Menge bzw. Masse eines Prozessgases 1. Anschließend wird ein (Hoch)Präzisionsgewicht in eine Ablage an der der Prozesswaage 8 gelegt. Die Ablage für dieses (Hoch)Präzisionsgewicht, insbesondere am Gasdruckgehäuse 2, ist vorzugsweise so konzipiert, dass sie äquivalent zu einer Änderung der Menge des Prozessgases 1 auf die Prozesswaage 8 wirkt. Nach einer Beruhigungszeit wird zu einem zweiten Zeitpunkt der von der Messvorrichtung 10 angezeigte Wert unter Berücksichtigung des Messwerts F und des Referenzmesswerts F' abermals ermittelt. Die Masse eines (Hoch)Präzisionsgewichts wird also genau so wie der Durchfluss X eines Prozessgases 1 ermittelt. Die Differenz aus beiden angezeigten Werten müsste exakt dem (Hoch)Präzisionsgewicht entsprechen. Weicht die Differenz vom (Hoch)Präzisionsgewicht ab, so sind systematische und/oder statistische Abweichungen vorhanden, welche durch die Kalibrierung der Messvorrichtung 10 aufgezeigt und ausgewiesen werden. Wird konstruktiv sichergestellt, dass sich die Ablage in der Schwerpunktsachse des Gasdruckbehälters befindet, so ist davon auszugehen, dass ein im Gasdruckbehälter 2 befindliches Prozessgas 1 mit derselben Masse dieselben Ergebnisse liefert. Mithilfe unterschiedlicher Präzisionsgewichte können unterschiedliche Durchflüsse X von Prozessgasen 1 kalibriert werden und/oder die Messvorrichtung 10 bei der Inbetriebnahme justiert werden.

[00100] Es könnte für jeden Kalibrierpunkt ein eigenes Transfernormal, welches optimal für diesen Kalibrierpunkt ausgewählt wurde, verwendet werden um eine maximale Genauigkeit der Kalibrierung zu erzielen. Wie oft eine derartige Kalibrierung vorgesehen ist, muss mit dem staatlichen Eichamt abgestimmt werden. Details dazu sind in der Norm ISO 17025 geregelt.

[00101] Als Transfernormal kann auch ein Eichungsdurchflussmessgerät, das anstelle des Prüflings P platziert wird, verwendet werden. Dieses Eichungsdurchflussmessgerät ist vorzugsweise technisch identisch mit einem Prüfling P , weist jedoch grundlegend eine sehr hohe Genauigkeit auf und wird zudem meist nur in jenem Bereich verwendet, in dem es die maximale Genauigkeit aufweist. „Normale“ Prüflinge P werden dagegen von der Messvorrichtung 10 über den gesamten Messbereich des Prüflings P kalibriert. Das Eichungsdurchflussmessgerät als Transfernormal wird somit nicht selbst kalibriert, sondern dient der Kalibrierung der Messvorrichtung 10. Es ist auch möglich die Messvorrichtung 10 mithilfe eines anderen Transfernormals zu überprüfen, z.B. mittels eines Coriolissensors und/oder einer Venturidüse.

Patentansprüche

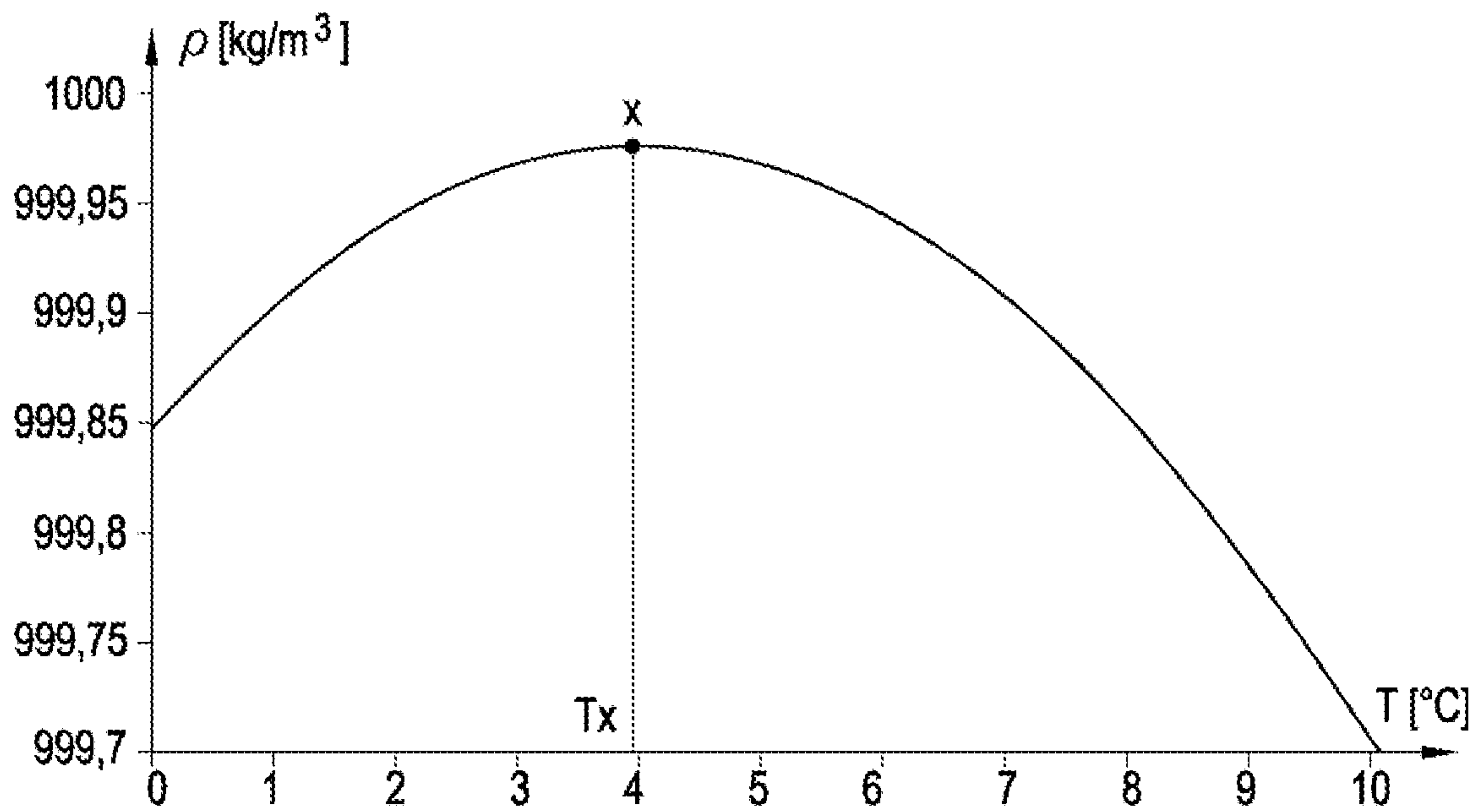
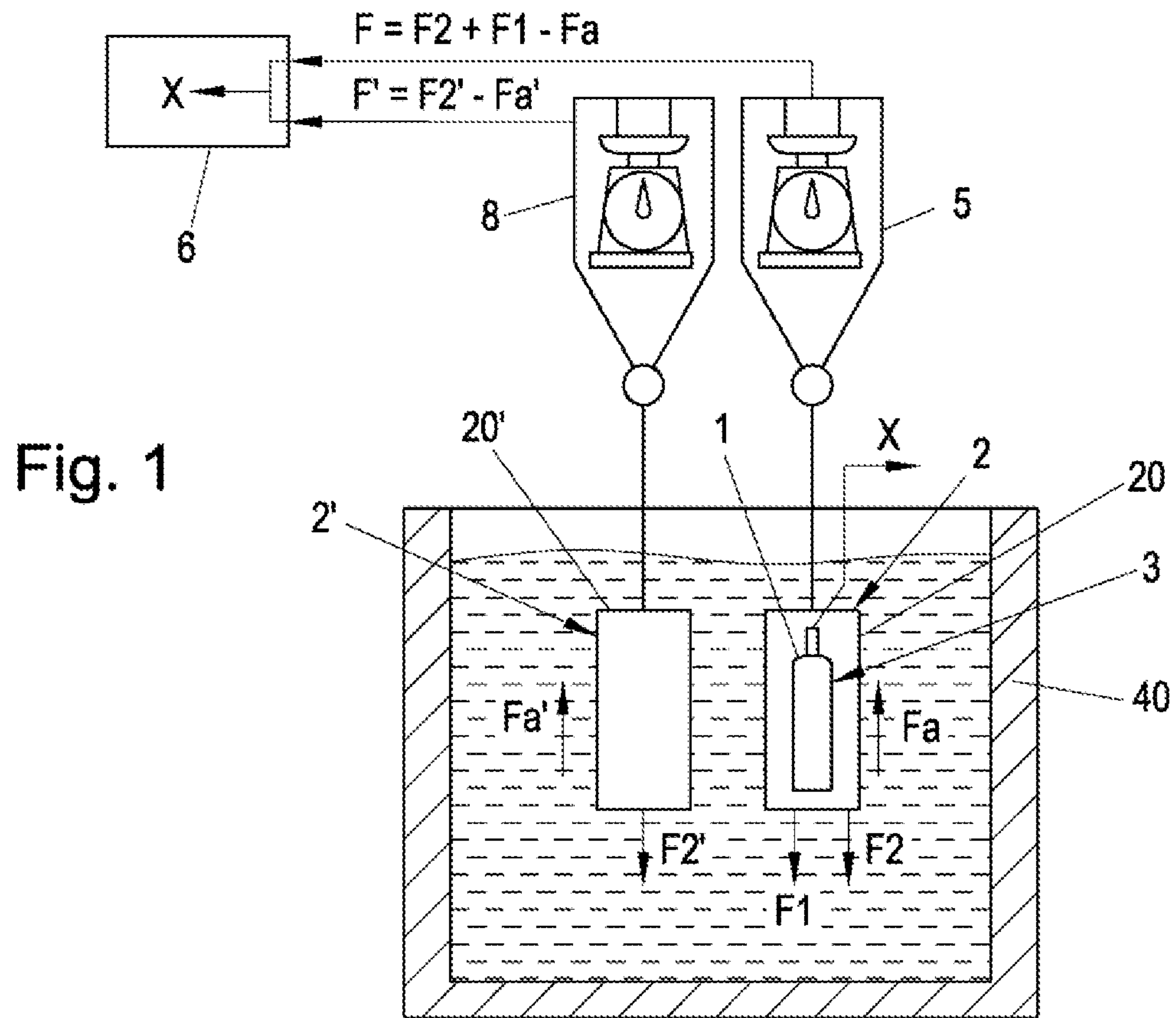
1. Messverfahren zur Ermittlung eines Durchflusses (X) eines mit Überdruck beaufschlagten und aus einem Gasdruckbehälter (3) entweichenden Prozessgases (1), wobei der Gasdruckbehälter (3) innerhalb eines in einem Medium (4) angeordneten Gasdruckgehäuses (2) angeordnet ist, sodass im Medium (4) eine Behälterauftriebskraft (F_a) auf eine Gehäusehülle (20) des Gasdruckgehäuses (2) wirkt, wobei zu zumindest zwei Zeitpunkten mittels einer mit dem Gasdruckgehäuse (2) verbundenen Prozesswaage (5) als Messwert (F) eine Behältergewichtskraft (F_2) des Gasdruckgehäuses (2) zuzüglich einer Prozessgasgewichtskraft (F_1) des Prozessgases (1) abzüglich der Behälterauftriebskraft (F_a) gemessen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass zu den zumindest zwei Zeitpunkten mittels einer mit einem Referenzschwimmkörpers (2') verbundenen Referenzwaage (8) als Referenzmesswert (F') eine Referenzgewichtskraft (F_2) des Referenzschwimmkörpers (2') abzüglich einer auf eine Referenzhülle (20') des Referenzschwimmkörpers (2') wirkenden Referenzauftriebskraft (F_a') gemessen wird, und dass der Durchfluss (X) des Prozessgases (1) unter Verwendung der gemessenen Messwerte (F) und Referenzmesswerte (F') ermittelt wird.
2. Messverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum jeweiligen Zeitpunkt der Referenzmesswert (F') zur Korrektur des Messwerts (F) verwendet wird.
3. Messverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Durchfluss (X) aus einem zeitlichen Verlauf des Messwerts (F) unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs der Referenzmesswerte (F') ermittelt wird.
4. Messverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Durchfluss (X) aus einer Differenz der Messwerte (F) zu den zumindest zwei Zeitpunkten unter Berücksichtigung der Referenzmesswerte (F') zu den zumindest zwei Zeitpunkten ermittelt wird.
5. Messverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Medium (4) auf ein temperaturabhängiges Dichtemaximum (x) konditioniert wird.
6. Messverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Konditionierung auf das temperaturabhängige Dichtemaximum (x) unter Verwendung des Referenzmesswerts (F') erfolgt.
7. Messverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das entweichende Prozessgas (1) einem Prüfling (P) zugeführt wird und dass der ermittelte Durchfluss (X) des aus dem Gasdruckgehäuse (1) entweichenden Prozessgases (1) zur Kalibrierung des Prüflings (P) verwendet wird.
8. Messverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Position des Gasdruckgehäuses (2) und/oder des Referenzschwimmkörpers (2') im Medium (4) ermittelt wird.
9. Messverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Füllstand des Mediums (4) überwacht wird.
10. Messvorrichtung (10) zur Ermittlung eines Durchflusses (X) eines mit Überdruck beaufschlagten aus einem Gasdruckbehälter (3) entweichenden Prozessgases (1), wobei der Gasdruckbehälter (3) innerhalb eines Gasdruckgehäuses (2) angeordnet ist und das Gasdruckgehäuse (2) in einem Medium (4) angeordnet ist, sodass im Medium (4) eine Behälterauftriebskraft (F_a) auf eine Gehäusehülle (20) des Gasdruckgehäuses (2) wirkt, wobei eine Prozesswaage (5) vorgesehen ist, welche mit dem Gasdruckgehäuse (2) verbunden ist, um zu zumindest zwei Zeitpunkten als Messwert (F) eine Behältergewichtskraft (F_2) des Gasdruckgehäuses (2) zuzüglich einer Prozessgasgewichtskraft (F_1) des Prozessgases (1) abzüglich der Behälterauftriebskraft (F_a) zu messen, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Referenzschwimmkörper (2') im Medium (4) angeordnet ist, sodass eine Referenzauftriebskraft (F_a') auf eine Referenzhülle (20') des Referenzschwimmkörpers (2') wirkt, und dass eine mit dem Referenzschwimmkörper (2') verbundene Referenzwaage (8) vorgesehen ist, um zu den zumindest zwei Zeitpunkten als Referenzmesswert (F') eine Referenzgewichtskraft (F_2')

des Referenzschwimmkörpers (2') abzüglich der Referenzauftriebskraft ($F_{a'}$) zu messen, und dass eine Auswerteeinheit (6) vorgesehen ist, welche mit der Prozesswaage (5) und mit der Referenzwaage (8) verbunden ist und ausgestaltet ist unter Verwendung der Messwerte (F) und der Referenzmesswerte (F) den Durchfluss (X) des Prozessgases (1) zu ermitteln.

11. Messvorrichtung (10) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Medium (4) ein Medium mit einem temperaturabhängigen Dichtemaximum (x), vorzugsweise Wasser vorgesehen ist, und dass eine Konditioniervorrichtung (9) vorgesehen ist, welche ausgestaltet ist das Medium (4) derart zu konditionieren, dass es sich im Dichtemaximum (x) befindet.
12. Messvorrichtung (10) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gasdruckgehäuse (2) derart gestaltet ist, dass die Behältergewichtskraft (F_2) abzüglich der Behälterauftriebskraft (F_a) eine resultierende Gewichtskraft entsprechend einer Masse im Bereich von 1 g bis 2 kg, vorzugsweise 1 g bis 200 g, besonders vorzugsweise 1 g bis 100 g, ergibt.
13. Messvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Referenzschwimmkörper (2') derart gestaltet ist, dass sich ein Referenzmesswert (F') entsprechend einer Masse im Bereich von 1 g bis 2 kg, vorzugsweise 1 g bis 200 g, besonders vorzugsweise 1 g bis 100 g, ergibt.
14. Messvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis von Außenvolumen zur Höhe der Referenzhülle (20') dem Verhältnis von Außenvolumen zu Höhe der Gehäusehülle (20) entspricht.
15. Messvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Referenzhülle (20') dieselbe Außengeometrie wie die Gehäusehülle (20) aufweist.
16. Messvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Referenzschwimmkörper (2') als um das Gasdruckgehäuse (2) geführten Torus ausgestaltet ist.
17. Messvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 10 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Material der Referenzhülle (20') und das Material der Gehäusehülle (20) dieselbe Dichte aufweisen, vorzugsweise das Material der Referenzhülle (20') und das Material der Gehäusehülle (20) identisch ist.
18. Messvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 10 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gasdruckgehäuse (2) ein Heizelement und/oder ein Kühlelement aufweist.
19. Messvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gehäusehülle (20) und/oder der Referenzhülle (20') aus Invar gefertigt ist.
20. Messvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 10 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gasdruckgehäuse (2) einen aus der Oberfläche des Mediums (4) ragenden Anschlusskörper (42) umfasst, durch welchen hydraulische und/oder elektrische Anschlüsse (41) aus dem Medium (4) geführt werden.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

1/3



2/3

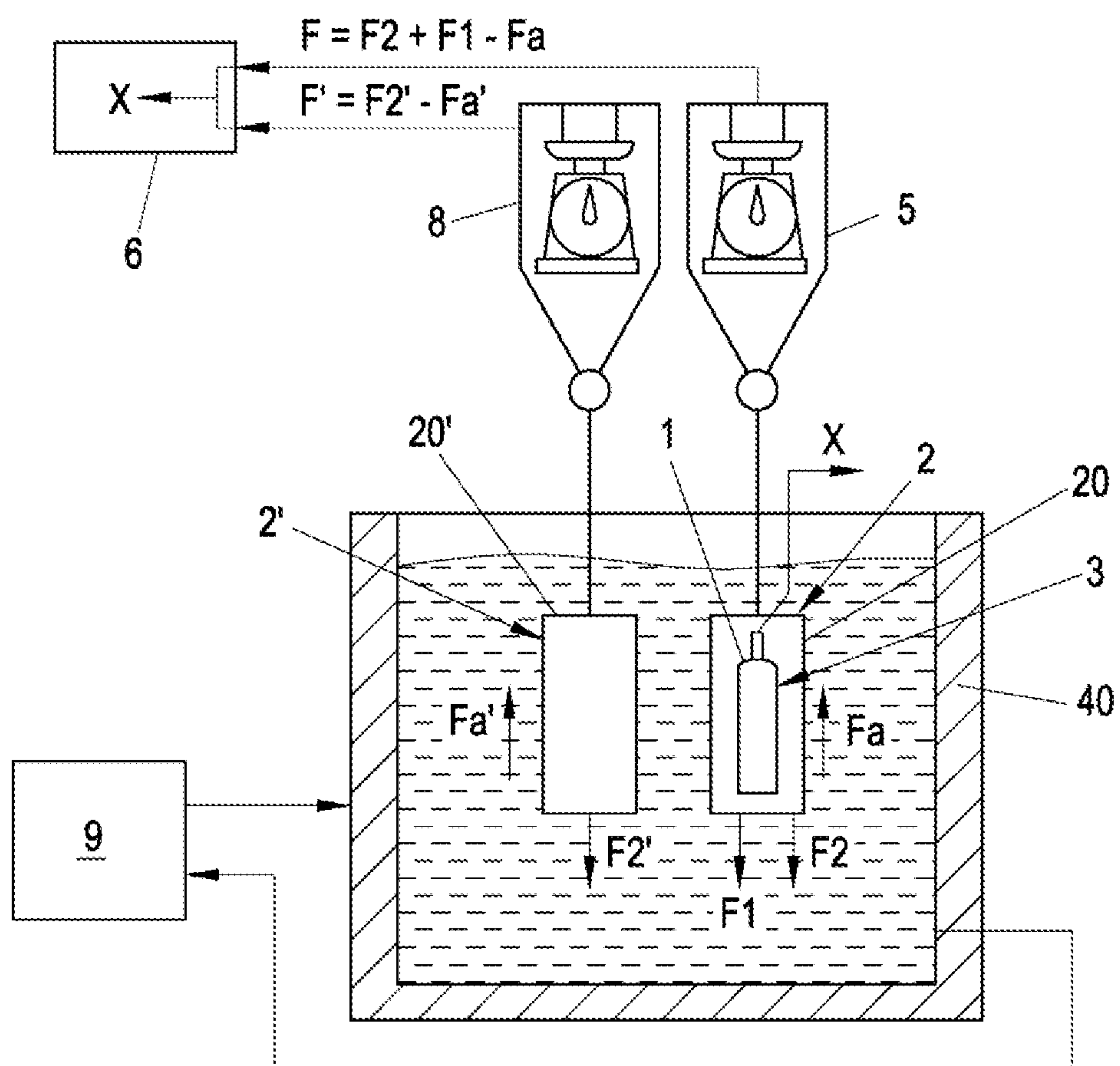


Fig. 2

