

Verfahren zur Filtration einer Flüssigkeit und Filtereinrichtung

Die Erfindung betrifft zunächst ein Verfahren zur Filtration einer Flüssigkeit in einem in die Flüssigkeit getauchten Membranfilter mit Membranen, wobei zum Reinigen der Membranen mittels einer Begasungseinrichtung Gas in aufeinanderfolgenden Pulsen unten in den Membranfilter eingeleitet wird, indem jeweils zunächst ein unterhalb einer Oberfläche der Flüssigkeit angeordnetes und nach unten durch einen Pegel der Flüssigkeit begrenztes Gasvolumen mit dem Gas aufgefüllt wird, wobei das Gas zugleich die Flüssigkeit von oben nach unten aus einem Gasheberkanal verdrängt, bis der Pegel einen Einlassquerschnitt eines Gas-Ausströmkanals unterschreitet, dann das Gas aus dem Gasvolumen in Folge nach unten durch den Gasheberkanal, einen sich an diesen unten anschließenden Umlenkungsbereich, nach oben durch den Einlassquerschnitt und den sich an diesen oben anschließenden Gas-Ausströmkanal zu der Oberfläche strömt.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Filtereinrichtung, die einen Membranfilter zur Filtration einer Flüssigkeit mit Membranen und eine unterhalb der Membranen angeordnete Begasungseinrichtung aufweist mit einem nach unten offenen Gas-Sammelraum, der durch eine obere Wandung und eine seitliche Wandung begrenzt wird, einem Gaseinlass zum Einlassen eines Gases in den Gas-Sammelraum, einem Gasheberkanal zum Leerhebern des Gas-Sammelraumes, der oben einen Gashebereinlass im Gas-Sammelraum aufweist, einem Umlenkungsbereich unten an dem Gasheberkanal, und einem Einlassquerschnitt oben an dem Umlenkungsbereich, an den oben ein Gas-Ausströmkanal anschließt.

Ein solches Verfahren und eine solche Begasungseinrichtung sind bekannt aus US 2015/0265973 A1, CN104084049 A und CN105854619 A.

Die bekannten Verfahren und die bekannten Begasungseinrichtungen sind konzipiert für den Einsatz zur Begasung von Membranfiltern, wie sie beispielsweise bei Membranbioreaktoren (MBR) anzutreffen sind. Die Begasungseinrichtung wird unterhalb der Membranfilter positioniert und mit einem

im Wesentlichen konstanten Luft-Volumenstrom beaufschlagt, der dann pulsweise aus der Begasungseinrichtung ausströmt.

Um eine Verstopfung der Membranen durch abfiltrierte Stoffe zu verhindern, wird die Luft von unten in die Membranfilter eingetragen. Auf dem Weg zur Oberfläche der Flüssigkeit durchströmt das Gas die über der Begasungseinrichtung installierten Membranfilter. Die dadurch generierte Scherkraft der Zweiphasenströmung aus Luft und zu filtrierender Flüssigkeit spült die Membranen.

Beim pulsweisen Austreten der Flüssigkeit entstehen höhere Scherkräfte als bei kontinuierlicher Begasung und gleichzeitig wird eine Kanalbildung der Luft vermieden, d. h. die aufsteigenden Luftblasen müssen sich stets neu formieren und finden dabei immer wieder neue Wege durch den Membranfilter.

Man nennt eine solche Begasungseinrichtung, die konstant mit Luft beaufschlagt wird und diese dann pulsweise wieder auslässt, auch einen Geysir.

Durch den an den Einlassquerschnitt angeschlossenen Gasheberkanal wird das im Gas-Sammelraum angestaute Gasvolumen beim Ausströmen des Gases aus der Begasungseinrichtung über das Prinzip der kommunizierenden Röhren herausgesaugt, so dass sich der Gas-Sammelraum weitestgehend entleert.

Während der Entleerung des Gas-Sammelraums saugt der ausströmende Gas-Volumenstrom nach dem Mammutpumpenprinzip Flüssigkeit durch den Kompensationseinlass und transportiert diese mit durch den Ausströmkanal. Dies hat den Vorteil, dass der Gasvolumenstrom nach Entleerung des Gas-Sammelraums schneller zum Erliegen kommt und damit die Begasungseinrichtung mit höherer Gaszufuhr betrieben werden kann.

In den bekannten Verfahren und Filtereinrichtungen strömt die Luft aus dem Geysir (der Begasungseinrichtung) zunächst in einen seitlich offenen Bereich, so dass ein Großteil der von der Luft verdrängten Flüssigkeit aus dem Modul seitlich verdrängt wird und dadurch nicht zur Spülung der Membranen genutzt wird. Zudem entweicht je nach Größe des Luftpulses ein Teil der Luft unten seitlich aus

dem Modul und steigt dann ungenutzt neben dem Membranfilter, d.h. ohne Spülwirkung für die Membranen auf.

Im Hintergrund der Erfindung beschreiben WO 2016/064466 A (Koch Membrane Systems), US 2009/0194477 A1 (Asahi Kasai), US 10,179,311 B2 (Sumitomo Electric), CN104519984B B (Samsung Cheil Industries), KR20190002717 A (Mitsubishi Chemical) und WO 2011/028341 A1 (Zenon Technology Partnership) Begasungseinrichtungen, die keinen Kompensationseinlass aufweisen und daher nur mit relativ geringer Gasvolumen-Zufuhr pulsierend betrieben werden können. Auch bei diesen Filtereinrichtungen strömt die Luft beim Austritt aus dem Geysir in einen seitlich offenen Bereich.

Aufgabe

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Reinigungswirkung der eingebrachten Luft zu verbessern.

Lösung

Ausgehend von dem bekannten Verfahren wird nach der Erfindung vorgeschlagen, dass ein Gehäuse die Membranen seitlich umgibt und oben direkt an die Begasungseinrichtung anschließt.

Vorteil dieser Ausgestaltung des Membranfilters ist es, dass das in den Membranfilter eingetragene Gas diesen aufgrund des an die Begasungseinrichtung lückenlos anschließenden und dann seitlich die Membranen umgebenden Gehäuses nicht verlassen kann und somit effektiv zur Spülung der Membranen genutzt wird.

Vorteil ist dabei, dass auch die durch die Luft verdrängte Flüssigkeit nicht seitlich aus dem Membranfilter entweichen kann, wodurch die Beschleunigung der Flüssigkeitssäule verstärkt wird. Die sich aus dem eingetragenen Gas in dem Gehäuse bildende und dann zunächst zusammenhängend aufsteigende Blase beschleunigt die darüber befindliche Flüssigkeitssäule derart, dass sie gleichfalls mit hoher Geschwindigkeit an den Membranen vorbei strömt und durch die

entstehenden Scherkräfte an diesen angelagerte Verunreinigungen abreißt. Die Reinigungswirkung der eingebrachten Luft wird durch beide Effekte um etwa eine Größenordnung verbessert und die für die Reinigung aufzuwendende Energie entsprechend vermindert.

Vorzugsweise strömt in einem erfindungsgemäßen Verfahren ein Sperrstrom der Flüssigkeit durch einen Kompensationseinlass unterhalb des Gashebereinlasses zu dem Einlassquerschnitt und wird von dem Gas solange mitgerissen, bis die Flüssigkeit den Umlenkungsbereich füllt und dadurch den Einlassquerschnitt für das Gas verschließt.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren steigt der Pegel in der Begasungseinrichtung während der Entleerung des Gasvolumens wieder an, wobei das Gasvolumen durch von unten nachströmende Flüssigkeit verdrängt wird. Dabei bewirkt der Saugeffekt des in dem Ausströmkanal aufsteigenden Gases, dass ein Sperrstrom der Flüssigkeit durch den Kompensationseinlass angesaugt wird und zu dem Einlassquerschnitt strömt. Dieser Sperrstrom der Flüssigkeit wird so lange von dem Gas mitgerissen, bis die Flüssigkeit den Umlenkungsbereich füllt und somit den Einlassquerschnitt füllt und somit wie ein Ventil für das Gas verschließt.

Damit wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren sichergestellt, dass zum Zeitpunkt des weitgehend leergesaugten Gasvolumens auch bei hoher Gasvolumenstrom-Zufuhr die Ausströmung des Gases unterbrochen wird und das Gasvolumen wieder aufgefüllt werden kann. Damit wird das Pulsieren des Gases auch bei hoher Gasvolumenstrom-Zufuhr gesichert.

Vorzugsweise strömt in einem solchen erfindungsgemäßen Verfahren nachdem der Pegel den Einlassquerschnitt unterschritten hat, zunächst allein das Gas durch den Gas-Ausströmkanal, bis der Pegel den Kompensationseinlass übersteigt, und erst dann strömt der Sperrstrom durch den Kompensationseinlass zu dem Einlassquerschnitt. Der Geysir schleppt dann kurz vor der Entleerung auch bei größeren Luftströmen Flüssigkeit mit, so dass das Stoppen des Geysirs sichergestellt ist und eine Neubefüllung beginnen kann.

Das bedeutet, dass sich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zu Beginn der Gasströmung durch den Gas-Ausströmkanal der Kompensationseinlass in Gas-Kommunikation befindet, d.h. er befindet sich im mit Gas gefüllten Gas-Sammelraum. Dadurch wird gewährleistet, dass auch bei extrem geringen Gaszufuhr-Volumenströmen die Entleerung des Gasvolumens sicher startet, da kein Flüssigkeitsstrom den Gassaugeffekt und damit das Leerhebern des Gasvolumens behindert.

Der Geysir beginnt dann auch bei sehr kleinen Luftströmen, sich zu entleeren.

Dabei hat das erfindungsgemäße Verfahren den Vorteil, dass die weitgehend konstante Gasvolumenstrom-Zufuhr in einem weiten Bereich variiert werden kann und stabil pulsierend in den Membranfilter eingeleitet wird. Damit kann der pulsierende Gasvolumenstrom durch den Membranfilter über einen weiten Bereich der Filtrationsleistungs-Variation energiesparend an die jeweilige Filtrationsleistung angepasst werden.

Das heißt, in einem erfindungsgemäßen Verfahren kann der Membranfilter bei variabler Filtrationsleistung auch mit variabler Gasvolumenstrom-Zufuhr sicher pulsierend betrieben und dadurch eine effektive Spülung der Membranen bei niedrigem Energiebedarf realisiert werden.

Ausgehend von der bekannten Filtereinrichtung wird nach der Erfindung vorgeschlagen, dass ein Gehäuse die Membranen seitlich umgibt und oben direkt an die Begasungseinrichtung anschließt. Die erfindungsgemäße Filtereinrichtung erlaubt die Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens und zeichnet sich gleichermaßen durch dessen oben beschriebene Vorteile aus.

Vorzugsweise weist in einer erfindungsgemäßen Filtereinrichtung die Begasungseinrichtung einen Kompensationseinlass unterhalb des Gashebereinlasses auf, der bis zum Einlassquerschnitt durchströmbar ist. Weiter vorzugsweise liegt der Kompensationseinlass auf Höhe des Einlassquerschnittes oder darüber. Der Kompensationseinlass liegt somit unterhalb der oberen Wandung und oberhalb bzw. auf gleicher Höhe des Einlassquerschnittes. Damit

befindet sich der Kompensationseinlass bei mit Gas gefülltem Gas-Sammelraum in Gas-Kommunikation und bei entleertem Gas-Sammelraum in Flüssigkeitskommunikation. Die hat die oben beschriebenen Vorteile für den Start- und Stopp-Vorgang des Geysir-Prozesses der pulsierenden Entleerung und wieder Befüllung des Gas-Sammelraumes.

In einer einfachen Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Filtereinrichtung mündet der Kompensationseinlass in den Gasheberkanal. Da die Flüssigkeit in diesem Fall unmittelbar in den hohen abwärtsströmenden Gas-Volumenstrom in dem Gasheberkanal eingeleitet wird, ist der Mitreißeffekt durch das Gas vergleichsweise hoch, wodurch die Steigerung der Gas-Volumenstrom-Zufuhr begrenzt ist. Diesem Effekt kann dadurch entgegengewirkt werden, dass der Kompensationseinlass vergrößert wird, was jedoch zu einer Einschränkung der Gas-Volumenstrom-Zufuhr nach unten führt, da dann ggf. das Gasvolumen oberhalb des Kompensationseinlasses nicht leergesaugt wird.

In einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Filtereinrichtung schließt sich an den Kompensationseinlass in Richtung des Umlenkungsbereiches ein Kompensationskanal an. Durch diesen werden die Position des Kompensationseinlasses und die Stelle der Einleitung des Flüssigkeitssperrstromes in den ausströmenden Gasstrom entkoppelt, was zu einer Erweiterung der Variation der Gas-Volumenstrom-Zufuhr führt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung einer solchen Filtereinrichtung mündet der Kompensationskanal parallel zum Gasheberkanal in den Umlenkungsbereich. Dadurch wird die Stelle des Einleitens des Sperrflüssigkeitsstromes weitest möglich nach unten verlegt. Dies hat den Vorteil, dass die Flüssigkeit separat von dem Gasvolumenstrom genau an der Stelle zugeführt wird, an der sie die Sperrwirkung für das Gas erzeugen soll, was einen Stopp des Gas-Ausströmens auch bei höherer Gasvolumenstrom-Zufuhr gewährleistet.

Noch weiter gesteigert werden kann die Gas-Volumenstrom-Zufuhr bei gleichzeitig sicherer Aufrechterhaltung der Pulsation durch eine alternative Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Filtereinrichtung dadurch, dass bei paralleler Anbindung des

Kompensationskanals zum Gasheberkanal an den Umlenkungsbereich ein Querschnitt des Kompensationseinlasses größer ist als ein minimaler Querschnitt des Kompensationskanals. Dadurch wird der Sperrstrom der Flüssigkeit erhöht und es kommt auch bei höherer Gasvolumenstrom-Zufuhr zu einem schnelleren und damit sichereren Verschließen des Einlassquerschnittes für das Gas.

Der Membranfilter kann dabei mit verschiedenen Arten von Membranen bestückt sein, wie z. B. Hohlfasermembranen, Plattenmembranen, Kissenmembranen oder zu Vorhängen verbundenen Hohlfasermembranen. Die Membranen gehören bevorzugt zu dem Bereich der Ultra- oder Mikrofiltrationsmembranen mit Porengrößen zwischen 0,02 und 1 µm. Es können jedoch auch andere Membranen aus dem Bereich der Nanofiltration oder Niederdruck-Umkehrosmose eingesetzt werden.

Da während der Spülung der Membranen mit dem Gas gleichzeitig auch das Flüssigkeitsvolumen innerhalb des Membranfilters ausgetauscht werden muss, um ein Aufkonzentrieren der von den Membranen zurückgehaltenen Stoffe im Membranfilter zu verhindern, weist die Begasungseinrichtung einen Flüssigkeits-Strömungskanal auf, der den Gassammelraum vertikal durchdringt, zum Einlassen von Flüssigkeit unten in den Membranfilter.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Filtereinrichtung ist das Gehäuse des Membranfilters als Rohr ausgestaltet. Ein solches Rohr kann einen runden, rechteckigen oder beliebig gestalteten Querschnitt aufweisen. Vorteil des Rohres ist dessen preiswerte Fertigung beispielsweise über Extrusionsverfahren.

Um die aus der Begasungseinrichtung in den Membranfilter eingetragene Luft optimal in diesem zu verteilen, weist eine Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Filtereinrichtung einen Gasverteiler unterhalb der Membranen auf, in den der Ausströmkanal mündet.

Es gehört zum Umfang der erfindungsgemäßen Filtereinrichtung, dass die Strömungskanäle teilweise oder komplett durch Wandungen eines Gehäuses der

Begasungseinrichtung gebildet werden. Zu diesen Strömungskanälen zählen der Ausströmkanal, der Gasheberkanal, Kompensationskanal sowie auch der Umlenkungsbereich.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen erläutert. Es zeigen

Fig. 1a bis i Prozess-Schritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens in einer Prinzipskizze der Begasungseinrichtung einer erfindungsgemäßen Filtereinrichtung dargestellt als Schnittbilder und
Fig. 2 eine erfindungsgemäße Filtereinrichtung.

Die in den Figuren dargestellten Zeichnungen sind nicht maßstäblich. Alle nicht angegebenen Details der im Folgenden beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren oder Filtereinrichtungen sind identisch mit den Ausführungen bereits zuvor beschriebener erfindungsgemäßer Filtereinrichtungen.

Die Figur 1a zeigt Prozess-Schritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Einleiten eines Gases 1 in eine Flüssigkeit 2 mit Hilfe einer als Prinzipskizze dargestellten Begasungseinrichtung 3 als Schnittbilder.

Die Begasungseinrichtung 3 beinhaltet ein unterhalb einer Oberfläche 4 der Flüssigkeit 2 angeordnetes und nach unten durch einen Pegel 5 der Flüssigkeit 2 begrenztes Gasvolumen 6. Dieses befindet sich in einem Gas-Sammelraum 7, der durch eine obere Wandung 8 und seitliche Wandung 9 begrenzt wird. Über einen unterhalb des Gas-Sammelraums 7 installierten und von diesem separierten Gaseinlass 10 wird das Gas 1 in den Gas-Sammelraum 7 eingeleitet und füllt dabei das Gasvolumen 6 auf, wodurch der Pegel 5 der Flüssigkeit 2 absinkt. Dabei wird die zu diesem Zeitpunkt in dem Gas-Sammelraum 7 befindliche Flüssigkeit 2 sukzessive durch das einströmende Gas 1 nach unten verdrängt und durch das Gas 1 ersetzt.

Die Begasungseinrichtung 3 weist zudem einen Umlenkungsbereich 11 auf, der oben einen Einlassquerschnitt 12 aufweist, an den sich oben ein Gas-

Ausströmkanal 13 anschließt. In den Umlenkungsbereich 11 münden ein Gasheberkanal 14 und ein Kompensationskanal 15. Der Gasheberkanal 14 hat oben im Gas-Sammelraum 7 einen offenen Gashebereinlass 16 und der Kompensationskanal 15 hat oben, unterhalb der oberen Wandung 8 im Gas-Sammelraum 7 einen Kompensationseinlass 17, wobei der Querschnitt des Kompensationseinlasses 17 größer dimensioniert ist als der minimale Querschnitt des Kompensationskanals 15. Zudem durchdringt der Gas-Ausströmkanal 13 die obere Wandung 8.

Figur 1b bis 1d zeigen die weitere Befüllung des Gas-Sammelraums 7 mit Gas 1 und dadurch eine weitere Auffüllung des Gasvolumens 6 und ein weiteres Absinken des Pegels 5 der Flüssigkeit 2. Wie Fig. 1b zeigt, gelangt bei der Auffüllung des Gasvolumens 6 auch Gas 1 von oben durch den Gashebereinlass 16 in den Gasheberkanal 14, wodurch sich auch dieser von oben nach unten mit Gas 1 auffüllt.

In Figur 1c hat der Pegel 5 den Kompensationseinlass 17 unterschritten und nun gelangt auch Gas 1 von oben in den Kompensationskanal 15. Während der in den Figuren 1a bis 1c dargestellten Verfahrensschritte bleibt der Gas-Ausströmkanal 13 mit Flüssigkeit 2 geflutet, d.h. es strömt kein Gas 1 aus der Begasungseinrichtung 3.

In Figur 1d hat der Pegel 5 der Flüssigkeit 2 den Einlassquerschnitt 12 unterschritten. Ab diesem Moment strömt das Gas 1 aus dem Gasvolumen 6 durch den Gasheberkanal 14 und den Kompensationskanal 15 nach unten zu dem Umlenkungsbereich 11 und dann in Folge nach oben durch den Einlassquerschnitt 12 und den sich an diesen anschließenden Gas-Ausströmkanal 13 zu der Oberfläche 4.

Figur 1e zeigt, wie sich durch das ausströmende Gas 1 das Gasvolumen 6 im Gas-Sammelraum 7 reduziert. Dabei wird das aus dem Gas-Sammelraum 7 ausströmende Gas 1 sukzessive durch von unten nachströmende Flüssigkeit 2 ersetzt, wodurch der Pegel 5 der Flüssigkeit 2 wieder ansteigt.

Das durch den Gas-Ausströmkanal 13 ausströmende Gas 1 erzeugt in dem Gas-Ausströmkanal 13, sowie in dem sich an diesen anschließenden Gasheberkanal 14 und in dem Kompensationskanal 15 eine Sogwirkung. Da sich zu diesem Zeitpunkt sowohl der Gashebereinlass 16 als auch der Kompensationseinlass 17 im mit Gas 1 gefüllten Gasvolumen 6 innerhalb des Gas-Sammelraums 7 befinden, strömt initiiert durch die erzeugte Sogwirkung zunächst allein das Gas 1 durch den Gas-Ausströmkanal 13.

Figur 1f zeigt den Moment, in dem der Pegel 5 der Flüssigkeit 2 den Kompensationseinlass 17 erreicht. Bis zu diesem Zeitpunkt ist nur Gas 1 durch den Gas-Ausströmkanal 13 geströmt.

Figur 1g zeigt, wie beim weiteren Anstieg des Pegels 5 aufgrund des weiterhin durch den Gasheberkanal 14 ausströmenden Gases der Kompensationseinlass 17 mit Flüssigkeit 2 geflutet wird.

Figur 1h zeigt, wie durch den Saugeffekt des aus dem Gas-Ausströmkanals 13 ausströmenden Gases 1 ein Sperrstrom 18 der Flüssigkeit 2 durch den Kompensationseinlass 17 angesaugt wird und durch den Kompensationskanal 15 zu dem Einlassquerschnitt 12 strömt und dort von dem ausströmenden Gas 1 mitgerissen wird bis in Figur 1i der Sperrstrom 18 der Flüssigkeit 2 den Umlenkungsbereich 11 füllt und den Einlassquerschnitt 12 für das Gas 1 wie ein Ventil verschließt.

Figur 2 zeigt einen Schnitt durch eine Begasungseinrichtung 63, die unterhalb eines Membranfilters 64 montiert ist. Die Begasungseinrichtung 63 hat einen Gas-Sammelraum 65, der durch eine seitliche Wandung 66 in Form eines Rechteckrohres mit 20 cm Seitenbreite seitlich begrenzt wird. Der Gas-Sammelraum 65 ist nach unten offen mit einem darunter befindlichen Gaseinlass 67 zur Befüllung des Gas-Sammelraums 65 mit einem Gas im Betrieb. In den Gas-Sammelraum 65 mündet oben, unterhalb einer oberen Wandung 68 ein Gashebereinlass 69, an den sich ein Gasheberkanal 70 anschließt. Der Gasheberkanal 70 mündet unten in einen Umlenkungsbereich 71, an den sich oben ein Einlassquerschnitt 72 anschließt. Der Umlenkungsbereich 71 durchdringt

unten die seitliche Wandung 66. An den Einlassquerschnitt 72 ist oben ein Gas-Ausströmkanal 73 angeschlossen. Zudem weist die Begasungseinrichtung 63 einen Kompensationskanal 74 auf, der innerhalb der seitlichen Wandung 66 liegt. Der Kompensationskanal 74 weist oben im Gas-Sammelraum 65 einen Kompensationseinlass 75 auf und mündet unten in den Umlenkungsbereich 71.

Der Membranfilter 64 weist Membranen 76 in Form von Hohlfasermembranen 77 auf, die unten in einem Fußelement 78 eingegossen sind. Das Fußelement 78 weist einen Permeat-Sammelraum 79 auf, an den die Hohlfasermembranen 77 lumenseitig offen angeschlossen sind zum Abzug eines Filtrates aus dem Lumen der Hohlfasermembranen 77. Die Hohlfasermembranen 77 sind oben einzeln verschlossen und werden von einem Gehäuse 80 seitlich umgeben, das als rechteckiges Rohr 81 mit gleichen Querschnittsabmessungen wie die seitliche Wandung 66 gestaltet ist und oben an die seitliche Wandung 66 anschließt. Unterhalb des Fußelementes 78 weist der Membranfilter 64 einen Gasverteiler 82 auf, in den der Gas-Ausströmkanal 73 mündet. Die Begasungseinrichtung 63 weist darüber hinaus einen Flüssigkeits-Strömungskanal 83 auf, der den Gassammelraum 65 und die obere Wandung 68 vertikal durchdringt, zum Einlassen einer Flüssigkeit unten in den Membranfilter 63.

Die Kombination aus Begasungseinrichtung 63 und Membranfilter 64 bildet gemeinsam eine erfindungsgemäße Filtereinrichtung 84.

In den Figuren sind

- 1 Gas
- 2 Flüssigkeit
- 3 Begasungseinrichtung
- 4 Oberfläche
- 5 Pegel
- 6 Gasvolumen
- 7 Gas-Sammelraum
- 8 obere Wandung
- 9 seitliche Wandung

- 10 Gaseinlass
- 11 Umlenkungsbereich
- 12 Einlassquerschnitt
- 13 Gas-Ausströmkanal
- 14 Gasheberkanal
- 15 Kompensationskanal
- 16 Gashebereinlass
- 17 Kompensationseinlass
- 18 Sperrstrom
- 63 Begasungseinrichtung
- 64 Membranfilter
- 65 Gas-Sammelraum
- 66 seitliche Wandung
- 67 Gaseinlass
- 68 obere Wandung
- 69 Gashebereinlass
- 70 Gasheberkanal
- 71 Umlenkungsbereich
- 72 Einlassquerschnitt
- 73 Gas-Ausströmkanal
- 74 Kompensationskanal
- 75 Kompensationseinlass
- 76 Membranen
- 77 Hohlfasermembranen
- 78 Fußelement
- 79 Permeat-Sammelraum
- 80 Gehäuse
- 81 Rohr
- 82 Gasverteiler
- 83 Flüssigkeits-Strömungskanal
- 84 Filtereinrichtung