

MEHRSTUFIGE MEMBRANDESTILLATIONSVORRICHTUNG

- 5 Die Erfindung betrifft eine mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung mit einer Heizstufe, vorzugsweise mehreren Kondensations-
/Verdampfungsstufen und einer Kondensationsstufe, die nacheinander von einer aufzukonzentrierenden Flüssigkeit durchströmt sind, wobei jede
Kondensations-/Verdampfungsstufe jeweils wenigstens eine Kondensati-
10 onseinheit und wenigstens eine Verdampfereinheit umfasst, eine jeweilige Kondensationseinheit einen zumindest teilweise von einer Kondensationswand begrenzten ersten Dampfraum und eine jeweilige Ver-
dampfereinheit einen zumindest teilweise durch eine dampfdurchlässige flüssigkeitsdichte Membranwand begrenzten zweiten Dampfraum umfasst
15 und in einer jeweiligen Kondensations-/Verdampfungsstufe wenigstens ein zwischen einer solchen Kondensationseinheit und einer solchen an diese angrenzenden Verdampfereinheit gebildeter, die aufzukonzentrierende Flüssigkeit führender Strömungskanal vorgesehen ist, so dass die aufzukonzentrierende Flüssigkeit über die Kondensationswand erhitzt
20 wird und der aus der aufzukonzentrierenden Flüssigkeit entstehende Dampf durch die Membranwand hindurch in den zweiten Dampfraum gelangt.

- In der WO 2007/054311 ist eine zwei Kondensations-
25 /Verdampfungsstufen aufweisende Membrandestillationsvorrichtung dieser Art beschrieben.

Bisher wurde vorgeschlagen, Dampf aus den verschiedenen Stufen in seitlichen Dampfkanälen zu sammeln (vgl. die noch nicht veröffentlichte DE 10 2009 020 128).

- 5 Da in solchen Dampfsammelkanälen sich die Dampfvolumina addieren sowie höhere Strömungsgeschwindigkeiten und Reibungsverluste auftreten, sind einem Aufbau einer Membrandestillationsvorrichtung mit einer größeren Anzahl von Einheiten insbesondere durch die Strömungsgeschwindigkeit Grenzen gesetzt.

10

Der Erfindung liegt im Wesentlichen die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, bei der die zuvor genannten Probleme insbesondere auch bei einer größeren Anzahl von Stufen beseitigt sind.

15

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass der in einer jeweiligen vorangehenden Stufe entstehende Dampf über einen ausschließlich diesen Dampf führenden und diesen ausschließlich an die unmittelbar darauffolgende Stufe weiterführenden Dampfkanal in eine

20 Kondensationseinheit der unmittelbar darauffolgenden Stufe überführt wird.

- Aufgrund dieser Ausbildung sind dem Aufbau einer Membrandestillationsvorrichtung mit einer größeren Anzahl von Einheiten oder Stufen praktisch keine Grenzen durch die Dampfgeschwindigkeit mehr gesetzt.
- 25

Zumindest eine jeweilige Kondensations-/Verdampfungsstufe kann jeweils mehrere Kondensationseinheiten und/oder mehrere Verdampfereinheiten sowie mehrere parallele, jeweils zwischen einer Kondensationseinheit und

einer an diese angrenzenden Verdampfereinheit gebildete, die aufzukonzentrierende Flüssigkeit führende Strömungskanäle aufweisen.

5 Bevorzugt wird der in einem jeweiligen Dampfraum einer jeweiligen vorangehenden Stufe entstehende Dampf über den betreffenden Dampfkanal jeweils in nur eine Kondensationseinheit der unmittelbar darauf folgenden Stufe überführt.

10 Von Vorteil ist insbesondere auch, wenn zur Bildung eines jeweiligen Dampfkanals zwischen einer jeweiligen Verdampfereinheit einer jeweiligen vorangehenden Stufe und einer jeweiligen Kondensationseinheit einer jeweiligen unmittelbar darauf folgenden Stufe die Verdampfereinheit einen Dampfaustrittskanal und die Kondensationseinheit einen Dampfeintrittskanal besitzt und die beiden Einheiten so angeordnet sind, dass sie mit
15 ihren den Dampfaustrittskanal bzw. den Dampfeintrittskanal aufweisenden Seiten einander unmittelbar benachbart und zugewandt sind, wobei dazwischen jedoch noch ein Spalt insbesondere zum Abführen von Destillat verbleiben kann.

20 Gemäß einer bevorzugten praktischen Ausführungsform umfasst die Heizstufe, in der die zugeführte aufzukonzentrierende Flüssigkeit vorgeheizt wird, wenigstens eine Heizeinheit und wenigstens eine Verdampfereinheit, wobei eine jeweilige Heizeinheit einen zumindest teilweise von einer fluiddichten wärmeleitenden Wand begrenzten Heizfluidraum und eine jeweilige
25 ge Verdampfereinheit einen zumindest teilweise durch eine dampfdurchlässige flüssigkeitsdichte Membranwand begrenzten Dampfraum umfasst und in der Heizstufe wenigstens ein zwischen einer Heizeinheit und einer an diese angrenzenden Verdampfereinheit gebildeter, die aufzukonzentrierende Flüssigkeit führender Strömungskanal vorgesehen ist, so dass die
30 aufzukonzentrierende Flüssigkeit über die fluiddichte wärmeleitende

Wand vorgeheizt wird und der aus der aufzukonzentrierenden Flüssigkeit entstehende Dampf durch die Membranwand hindurch in den Dampf-
raum gelangt.

- 5 Dabei wird der Dampf aus dem Dampfraum einer jeweiligen Ver-
dampfereinheit der Heizstufe vorteilhafterweise über einen ausschließlich
diesen Dampf führenden und diesen ausschließlich an die unmittelbar
darauf folgende Kondensations-/Verdampfungsstufe weiterführenden
Dampfkanal in eine Kondensationseinheit dieser unmittelbar darauf fol-
10 genden Kondensations-/Verdampfungsstufe überführt.

- Die Heizstufe kann mehrere Heizeinheiten und/oder mehrere Ver-
dampfereinheiten sowie mehrere parallele, jeweils zwischen einer Heizein-
heit und einer an diese angrenzenden Verdampfereinheit gebildete, die
15 aufzukonzentrierende Flüssigkeit führende Strömungskanäle aufweisen.

- Bevorzugt wird der Dampf aus dem Dampfraum einer jeweiligen Ver-
dampfereinheit der Heizstufe über den betreffenden Dampfkanal jeweils in
nur eine Kondensationseinheit der unmittelbar darauf folgenden Kondens-
20 sations-/Verdampfungsstufe überführt.

- Dabei ist von Vorteil, wenn zur Bildung eines jeweiligen Dampfkanals
zwischen einer jeweiligen Verdampfereinheit der Heizstufe und einer jewei-
ligen Kondensationseinheit der unmittelbar darauf folgenden Kondensati-
25 ons-/Verdampfungsstufe die Verdampfereinheit einen Dampfaustrittska-
nal und die Kondensationseinheit einen Dampfeintrittskanal besitzt und
die beiden Einheiten so angeordnet sind, dass sie mit ihren den Dampf-
austrittskanal bzw. den Dampfeintrittskanal aufweisenden Seiten einan-
der unmittelbar benachbart und zugewandt sind, wobei dazwischen je-

doch noch ein Spalt insbesondere zum Abführen von Destillat verbleiben kann.

5 Bevorzugt wird der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe unmittelbar nachgeordneten Kondensationsstufe der Dampf aus einer jeweiligen Verdampfereinheit der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe zugeführt wird.

10 Dabei umfasst die Kondensationsstufe vorteilhafterweise wenigstens eine Kühleinheit und wenigstens eine Kondensationseinheit, wobei eine jeweilige Kühleinheit einen zumindest teilweise von einer fluiddichten wärmeleitenden Wand begrenzten Kühlfluidraum und eine jeweilige Kondensationseinheit wieder einen zumindest teilweise von einer Kondensationswand begrenzten Dampfraum umfasst, dem über einen jeweiligen Dampfkanal
15 Dampf aus der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe zugeführt wird, und in der Kondensationsstufe wenigstens eine Kühleinheit zumindest einer Kondensationseinheit unmittelbar benachbart ist, so dass die Kondensationswand der jeweiligen Kondensationseinheit über die Kühleinheit gekühlt wird, wobei in der Praxis dazwischen jedoch noch ein
20 Spalt zugelassen sein kann.

Der Dampf aus einer jeweiligen Verdampfereinheit der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe wird zweckmäßigerweise über einen ausschließlich diesen Dampf führenden und diesen ausschließlich an die Kondensationsstufe weiterführenden Dampfkanal in eine Kondensationseinheit der
25 Kondensationsstufe geführt.

Die Kondensationsstufe kann insbesondere mehrere Kühleinheiten und/oder mehrere Verdampfereinheiten umfassen.

Bevorzugt wird der Dampf aus dem Dampfraum einer jeweiligen Verdampfereinheit der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe über den betreffenden Dampfkanal jeweils in nur eine Kondensationseinheit der Kondensationsstufe überführt.

5

Hierbei ist von Vorteil, wenn zur Bildung eines jeweiligen Dampfkanals zwischen einer jeweiligen Verdampfereinheit der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe und einer jeweiligen Kondensationseinheit der unmittelbar darauf folgenden Kondensationsstufe die Verdampfereinheit
10 einen Dampfaustrittskanal und die Kondensationseinheit einen Dampfeintrittskanal besitzt und die beiden Einheiten so angeordnet sind, dass sie mit ihren dem Dampfaustrittskanal bzw. den Dampfeintrittskanal aufweisenden Seiten einander unmittelbar benachbart und zugewandt sind, wobei dazwischen jedoch noch ein Spalt insbesondere zum Abführen von
15 Destillat verbleiben kann.

Gemäß einer bevorzugten praktischen Ausführungsform ist die mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung als modulares Strömungssystem mit einer Vielzahl von Rahmenelementen ausgeführt, wobei die verschiedenen
20 Funktionseinheiten wie insbesondere eine jeweilige Kondensationseinheit, eine jeweilige Verdampfereinheit, eine jeweilige Heizeinheit und/oder eine jeweilige Kühleinheit jeweils in Form eines solchen Rahmenelements vorgesehen sein können. Die Rahmenelemente können mit Stegstrukturen versehen sein, über die sie insbesondere zur Bildung der Heizstufe, einer
25 jeweiligen Kondensations-/Verdampfungsstufe und/oder der Kondensationsstufe miteinander verbindbar sind. Die Rahmenelemente können jeweils einen von einem äußeren Rahmen umschlossenen Innenbereich umfassen, der vorzugsweise mit einem insbesondere gitterartigen Abstandshalter 46 versehen ist, auf dessen beiden Seiten insbesondere zur
30 Bildung eines jeweiligen Dampfraums, eines jeweiligen Heizfluidraums

oder eines jeweiligen Kühlfluidraums insbesondere jeweils eine Funktionsfläche, vorzugsweise eine Folie oder Membran aufgebracht sein kann.

Die mehrstufige bzw. Multieffekt-Membrandestillationsvorrichtung kann
5 also insbesondere aus Rahmenelementen aufgebaut sein. Die Rahmenelemente können aufgetragene Funktionsflächen umfassen. Es sind insbesondere die folgenden Arten von Rahmenelementen denkbar: beidseitig jeweils mit einer Membran versehenes Rahmenelement, beidseitig jeweils mit einer fluiddichten Folie versehenes Rahmenelement, mit einer Folie
10 gespanntes, Fluidkanäle aufweisendes Rahmenelement. Beispielsweise aus solchen Rahmenelementen kann die erfindungsgemäße mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung aufgebaut werden.

Als Heizfluid in der Heizstufe kann beispielsweise Wasser verwendet werden.
15 Grundsätzlich kann jedoch auch eine Beheizung mit Dampf erfolgen. In letzterem Fall erfolgt der Multieffektprozess dann in einer oder mehreren Kondensationseinheiten, denen der Dampf zugeführt wird.

Über die Heizeinheiten wird die aufzukonzentrierende Flüssigkeit auf-
20 heizt. Die aufzukonzentrierende Flüssigkeit kann im Gleichstrom mit dem Dampf, im Gegenstrom zum Dampf und/oder pro Stufe geführt werden.

Bevorzugt befindet sich die aufzukonzentrierende Lösung über alle Stufen auf der zum Absolutdruck im Dampfraum einer jeweiligen angrenzenden
25 Verdampfereinheit korrespondierenden Siedetemperatur, wie dies in der WO 2007/054311 beschrieben ist, die hiermit in den Offenbarungsgehalt der vorliegenden Anmeldung mit einbezogen wird.

Vorteilhafterweise kann die mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung
30 auch eine Vorwärmung für die aufzukonzentrierende Flüssigkeit umfas-

sen, bei der die aufzukonzentrierende Flüssigkeit von der Kondensationsstufe her zuströmt und beispielsweise in mit Folien versehenen Rahmenelementen geführt ist. Dabei wird die aufzukonzentrierende Flüssigkeit bevorzugt über Dampf vorgewärmt. Es kann die gesamte aufzukonzentrierende Flüssigkeit bis zur Heizstufe geführt werden, oder die pro Stufe benötigte Menge an aufzukonzentrierender Flüssigkeit kann in die entsprechende Stufe und in die Strömungskanäle abgeleitet werden.

Die mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung kann ein gegenüber der Umgebung vakuumdichtes Gehäuse umfassen, in der die verschiedenen Stufen untergebracht sind.

Der in die Kondensationseinheiten eintretende Dampf kondensiert an den Kondensationsflächen. Die entsprechende Wärme wird über die betreffende Fläche an die aufzukonzentrierende Flüssigkeit übertragen. Der in dieser entstehende Dampf tritt durch die Membran der angrenzenden Verdampfereinheit hindurch in deren Dampfraum, der mit dem Druck des Dampfraums der jeweiligen Kondensationseinheit der darauf folgenden Kondensations-/Verdampfungsstufe kommuniziert.

Die Heizfluidräume der Heizeinheiten der Heizstufe sind nur über beispielsweise in den betreffenden Rahmenelementen vorgesehene Bohrungen für die nicht kondensierbaren Gase in den Kondensationseinheiten und eine Drossel am Boden zur Führung des Destillats in den Kondensations-/Verdampfungsabschnitt mit dem Kondensations-/Verdampfungsabschnitt verbunden. In dem Kondensations-/Verdampfungsabschnitt ist der Absolutdruck niedriger als in der Heizstufe.

Der im Dampfraum einer jeweiligen Verdampfereinheit der Heizstufe entstehende Dampf kann in den ihm unmittelbar gegenüberliegenden

Dampfraum einer jeweiligen Kondensationseinheit des Kondensations-/Verdampfungsabschnitts eintreten und dort kondensieren, wobei dazwischen jedoch noch ein Spalt insbesondere zum Abführen von Destillat verbleiben kann. Auch hier wird wieder Wärme übertragen, und im

5 Dampfraum der benachbarten Verdampfungseinheit, der mit dem Druckniveau des Dampfraums einer benachbarten Kondensationseinheit des Kondensations-/Verdampfungsabschnitts kommuniziert, entsteht neuer Dampf.

- 10 Bei den Stegstrukturen, über die die einzelnen Rahmenelemente miteinander verbunden werden können, kann es sich beispielsweise um Schweißstegstrukturen oder Klebestrukturen handeln, über die die Rahmenelemente miteinander verschweißt bzw. verklebt werden. Im Fall von Schweißstegstrukturen kann zur Verbindung der Rahmenelemente bei-
- 15 spielsweise ein Reibschweißverfahren, Laserschweißverfahren und/oder Heizelementschweißverfahren angewandt werden.

Mit der erfindungsgemäßen mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung werden unter anderem die folgenden Vorteile erzielt:

20

Es können sehr große Austauschflächen auf kleinem Volumen verbaut werden. Der aus einer jeweiligen Verdampfungseinheit austretende Dampf tritt in der darauf folgenden Stufe in den Dampfraum einer Kondensationseinheit ein. Es werden keine Dampfvolumentströme mehr aufaddiert,

25 so dass keine zunehmenden Strömungsgeschwindigkeiten mehr auftreten, die bisher einen größeren Aufbau thermischer Anlagen limitierten.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert; in dieser zeigen:

30

- Fig. 1 eine schematische Draufsicht einer beispielhaften Ausführungsform einer mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung,
- 5 Fig. 2 eine mit der Ausführungsform gemäß Fig. 1 vergleichbare Ausführungsform der mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung, wobei zusätzlich eine Vorwärmung der aufzukonzentrierenden Flüssigkeit vorgesehen ist,
- 10 Fig. 3 eine beispielhafte Ausführungsform eines als Kondensationseinheit ausgeführten Rahmenelements sowie eine beispielhafte Ausführungsform eines als Verdampfereinheit ausgeführten Rahmenelements in perspektivischer Darstellung,
- 15 Fig. 4 eine schematische Vorderansicht des als Verdampferelement ausgeführten Rahmenelements gemäß Fig. 3,
- 20 Fig. 5 eine schematische Vorderansicht des als Kondensationselement ausgeführten Rahmenelements gemäß Fig. 3,
- 25 Fig. 6 eine schematische Vorderansicht einer beispielhaften Ausführungsform eines Rahmenelements, das sowohl als Heizeinheit als auch als Kühleinheit einsetzbar ist,
- 30 Fig. 7 eine schematische Vorderansicht einer beispielhaften Ausführungsform einer Heizstufe, eine Kondensa-

tions-/Verdampfungsstufe und eine Kondensationsstufe umfassenden mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung, und

- 5 Fig. 8 eine schematische perspektivische Ansicht einer mit der Ausführungsform gemäß Fig. 7 vergleichbaren Ausführungsform der mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung, bei der zusätzlich wieder eine Vorwärmung der aufzukonzentrierenden Flüssigkeit vor-
10 gesehen ist.

Fig. 1 zeigt in schematischer Draufsicht eine beispielhafte Ausführungsform einer mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung 10.

- 15 Wie beispielsweise dieser Darstellung gemäß Fig. 1 entnommen werden kann, umfasst eine solche mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung 10 eine Heizstufe 28, vorzugsweise mehrere Kondensations-/Verdampfungsstufen $12_1 - 12_3$ und eine Kondensationsstufe 36. Die Stufen 28, $12_1 - 12_3$, 36 sind nacheinander von einer aufzukonzentrierenden Flüssigkeit
20 14 durchströmt.

- Jede Kondensations-/Verdampfungsstufe $12_1 - 12_3$ umfasst jeweils wenigstens eine Kondensationseinheit K und wenigstens eine Verdampfereinheit V, wobei eine jeweilige Kondensationseinheit K einen zu-
25 mindest teilweise von einer Kondensationswand 16 begrenzten ersten Dampfraum 18_1 und eine jeweilige Verdampfereinheit V einen zumindest teilweise durch eine dampfdurchlässige flüssigkeitsdichte Membranwand 20 begrenzten zweiten Dampfraum 18_2 umfasst.

In einer jeweiligen Kondensations-/Verdampfungsstufe $12_1 - 12_3$ ist wenigstens ein zwischen einer solchen Kondensationseinheit K und einer solchen an diese angrenzenden Verdampfeinheit V gebildeter, die aufzukonzentrierende Flüssigkeit 14 führender Strömungskanal 22 vorgesehen, so dass die aufzukonzentrierende Flüssigkeit 14 über die Kondensationswand 16 erhitzt wird und der aus der aufzukonzentrierenden Flüssigkeit 14 entstehende Dampf durch die Membranwand 20 hindurch in den zweiten Dampfraum 18_2 gelangt.

- 10 Dabei wird der in einer jeweiligen vorangehenden Stufe 28, $12_1 - 12_3$ entstehende Dampf über einen ausschließlich diesen Dampf führenden und diesen ausschließlich an die unmittelbar darauf folgende Stufe $12_1 - 12_3$, 36 weiterführenden Dampfkanal 24, 26 (siehe z.B. Fig. 3 - 5) in eine Kondensationseinheit K der unmittelbar darauf folgenden Stufe $12_1 - 12_3$, 36 überführt.

Bevorzugt umfasst die mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung 10 mehr als drei Kondensations-/Verdampfungsstufen $12_1 - 12_3$. Grundsätzlich können jedoch auch weniger als drei solche Kondensations-/Verdampfungsstufen vorgesehen sein.

Wie sich beispielsweise aus den Fig. 7 und 8 ergibt, können insbesondere auch mehrere Stufen 28, $12_1 - 12_3$, 36 untereinander angeordnet sein.

- 25 Zumindest eine jeweilige Kondensations-/Verdampfungsstufe $12_1 - 12_3$ kann auch jeweils mehrere Kondensationseinheiten K und/oder mehrere Verdampfeinheiten V sowie mehrere parallele, jeweils zwischen einer Kondensationseinheit K und einer an diese angrenzenden Verdampfeinheit V gebildete, die aufzukonzentrierende Flüssigkeit 14 führende Strömungskanäle 22 aufweisen.

Bevorzugt wird der in einem jeweiligen Dampfraum 18₂ einer jeweiligen vorangehenden Stufe 28, 12₁ - 12₃ entstehender Dampf über den betreffenden Dampfkanal 24, 26 jeweils in nur eine Kondensationseinheit K der
5 unmittelbar darauf folgenden Stufe 12₁ - 12₃, 36 überführt.

Zur Bildung eines jeweiligen Dampfkanals 24, 26 zwischen einer jeweiligen Verdampfereinheit V einer jeweiligen vorangehenden Stufe 28, 12₁ - 12₃ und einer jeweiligen Kondensationseinheit K einer jeweiligen unmittel-
10 telbar darauf folgenden Stufe 12₁ - 12₃, 36 kann die Verdampfereinheit V einen Dampfaustrittskanal 24 (vgl. beispielsweise Fig. 3 und 4) und die Kondensationseinheit K einen Dampfeintrittskanal 26 (vgl. beispielsweise Fig. 5) besitzen. Dabei sind die beiden Einheiten V, K vorzugsweise so
15 angeordnet, dass sie mit ihren dem Dampfaustrittskanal 24 bzw. den Dampfeintrittskanal 26 aufweisenden Seiten einander unmittelbar benachbart und zugewandt sind, wobei dazwischen jedoch noch ein Spalt insbesondere zum Abführen von Destillat verbleiben kann (vgl. beispielsweise Fig. 1).

20 In der Heizstufe 26 kann die zugeführte aufzukonzentrierende Flüssigkeit vorgeheizt werden. Dabei kann eine solche Heizstufe 28 beispielsweise wenigstens eine Heizeinheit 30₁ und wenigstens eine Verdampfereinheit V umfassen, wobei eine jeweilige Heizeinheit 30₁ einen zumindest teilweise von einer fluiddichten wärmeleitenden Wand 32 begrenzten Heizfluidraum
25 34 und eine jeweilige Verdampfereinheit V einen zumindest teilweise durch eine dampfdurchlässige flüssigkeitsdichte Membranwand 20 begrenzten Dampfraum 18₂ umfasst.

Dabei kann in der Heizstufe 28 wenigstens ein zwischen einer Heizeinheit
30 30₁ und einer an diese angrenzenden Verdampfereinheit V gebildeter, die

aufzukonzentrierende Flüssigkeit 14 führende Strömungskanal 22 vorgesehen sein, so dass die aufzukonzentrierende Flüssigkeit 14 über die fluiddichte wärmeleitende Wand 32 vorgeheizt wird und der aus der aufzukonzentrierenden Flüssigkeit 14 entstehende Dampf durch die Membran
5 20 hindurch in den Dampfraum 18₂ gelangt.

Der Dampf aus dem Dampfraum 18₂ einer jeweiligen Verdampfereinheit V der Heizstufe 28 kann über einen ausschließlich diesen Dampf führenden und diesen ausschließlich an die unmittelbar darauf folgende Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₁ - 12₃ weiterführenden Dampfkanal 24, 26 in
10 eine Kondensationseinheit K dieser unmittelbar darauf folgenden Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₁ - 12₃ überführt werden.

Die Heizstufe 28 kann mehrere Heizelemente 30₁ und/oder mehrere Verdampfereinheiten V sowie mehrere parallele, jeweils zwischen einer Heizeinheit 30₁ und einer an diese angrenzenden Verdampfereinheit V gebildete, die aufzukonzentrierende Flüssigkeit 14 führende Strömungskanäle 22 aufweisen.
15

Bevorzugt wird der Dampf aus dem Dampfraum 18₂ einer jeweiligen Verdampfereinheit V der Heizstufe 28 über den betreffenden Dampfkanal 24, 26 jeweils in nur eine Kondensationseinheit K der unmittelbar darauf folgenden Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₁ - 12₃ überführt.
20

Zur Bildung eines jeweiligen Dampfkanals 24, 26 zwischen einer jeweiligen Verdampfereinheit V der Heizstufe 28 und einer jeweiligen Kondensationseinheit K der unmittelbar darauf folgenden Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₁ - 12₃ kann die Verdampfereinheit V einen Dampfaustrittskanal 24 (vgl. z.B. Fig. 3 und 4) und die Kondensationseinheit K einen Dampfeintrittskanal 26 (vgl. z.B. Fig. 5) besitzen. Dabei können die
25
30

beiden Einheiten V, K dann so angeordnet werden, dass sie mit ihren den Dampfaustrittskanal 24 bzw. den Dampfeintrittskanal 26 aufweisenden Seiten einander unmittelbar benachbart und zugewandt sind, wobei dazwischen jedoch noch ein Spalt insbesondere zum Abführen von Destillat verbleiben kann.

Der der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₃ unmittelbar nachgeordneten Kondensationsstufe 36 kann der Dampf aus einer jeweiligen Verdampfereinheit V der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₃ zugeführt werden.

Wie ebenfalls wieder der Fig. 1 entnommen werden kann, kann die Kondensationsstufe 36 wenigstens eine Kühleinheit 30₁ und wenigstens eine Kondensationseinheit K umfassen. Dabei kann eine jeweilige Kühleinheit 30₂ einen zumindest teilweise von einer fluiddichten wärmeleitenden Wand 32 begrenzten Kühlfluidraum 38 und eine jeweilige Kondensationseinheit K insbesondere wieder einem zumindest teilweise von einer Kondensationswand 16 begrenzten Dampfraum 18₁ aufweisen, dem über einem jeweiligen Dampfkanal 24, 26 Dampf aus der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₃ zugeführt wird. In der Kondensationsstufe K ist bevorzugt wenigstens eine Kühleinheit 30₂ zumindest einer Kondensationseinheit K unmittelbar benachbart, so dass die Kondensationswand 16 der jeweiligen Kondensationseinheit K über die Kühleinheit 30₂ gekühlt wird, wobei auch in diesem Fall noch ein Spalt verbleiben kann.

Der Dampf aus einer jeweiligen Verdampfereinheit V der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₃ wird vorzugsweise über einen ausschließlich diesen Dampf führenden und diesen ausschließlich an die Kondensationsstufe 36 weiterführenden Dampfkanal 24, 26 in eine Kondensationseinheit K der Kondensationsstufe 36 geführt.

Die Kondensationsstufe 36 kann mehrere Kühleinheiten 30₂ und/oder mehrere Verdampfereinheit V umfassen.

- 5 Bevorzugt wird der Dampf aus dem Dampfraum 18₂ einer jeweiligen Verdampfereinheit V der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₃ über den betreffenden Dampfkanal 24, 26 jeweils in nur eine Kondensationseinheit K der Kondensationsstufe 36 überführt.
- 10 Zur Bildung eines jeweiligen Dampfkanals 24, 26 zwischen einer jeweiligen Verdampfereinheit V der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₃ und einer jeweiligen Kondensationseinheit K der unmittelbar darauf folgenden Kondensationsstufe 36 kann die Verdampfereinheit V wieder einen Dampfaustrittskanal 24 und die Kondensationseinheit K wieder
- 15 einen Dampfeintrittskanal 26 besitzen. Die beiden Einheiten V, K können dann insbesondere wieder so angeordnet werden, dass sie mit ihren den Dampfaustrittskanal 24 bzw. den Dampfeintrittskanal 26 aufweisenden Seiten einander unmittelbar benachbart und zugewandt sind, wobei dazwischen jedoch noch ein Spalt insbesondere zum Abführen von Destillat
- 20 verbleiben kann.

Auch in allen zuvor genannten Fällen kann ein jeweiliger Dampfkanal 24, 26 insbesondere durch einen Dampfaustrittskanal 24 und einen Dampfeintrittskanal 26 gebildet werden, indem die beiden betreffenden Einheiten V, K relativ zueinander so angeordnet werden, dass sie mit ihren den Dampfaustrittskanal 24 bzw. den Dampfeintrittskanal 26 aufweisenden

25 Seiten einander unmittelbar benachbart und zugewandt sind, wobei dazwischen jedoch noch ein Spalt insbesondere zum Abführen von Destillat verbleiben kann.

Die beiden Einheiten V, K werden im Bereich dieser Dampfaustritts- bzw. Dampfeintrittskanäle 24, 26 dann zweckmäßigerweise so miteinander verbunden, dass Dampf vom Dampfaustrittskanal 24 vorzugsweise zumindest im Wesentlichen unmittelbar in den Dampfeintrittskanal 26 gelangen kann.

In der Heizstufe 28 kann beispielsweise eine Beheizung mit Wasser erfolgen. Grundsätzlich ist jedoch auch ein anderes Heizfluid denkbar.

Die Ableitung nicht kondensierbarer Gase ist durch Pfeile 66 angedeutet.

Der Prozess kann auch mit Dampf beheizt werden, wobei in diesem Fall eine jeweilige Heizeinheit beispielsweise durch eine jeweilige Kondensationseinheit ersetzt werden kann.

Über eine jeweilige Heizeinheit wird die aufzukonzentrierende Flüssigkeit beheizt. Die aufzukonzentrierende Flüssigkeit kann beispielsweise im Gleichstrom mit dem Dampf, im Gegenstrom zum Dampf oder pro Stufe geführt werden.

Wie eingangs bereits ausgeführt, ist für den Multieffektprozess die aufzukonzentrierende Flüssigkeit bevorzugt über alle Stufen auf der zum Absolutdruck im jeweiligen Dampfraum korrespondierenden Siedetemperatur. Dabei wird insbesondere auch nochmals auf die WO 2007/054311 verwiesen, die in den Offenbarungsgehalt der vorliegenden Anmeldung mit einbezogen wird.

Fig. 2 zeigt eine mit der Ausführungsform gemäß Fig. 1 vergleichbare Ausführungsform einer mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung 10, wobei beispielsweise dieser Fig. 2 jedoch entnommen werden kann, dass

in einer jeweiligen zweistufigen Membrandestillationsvorrichtung 10 zusätzlich eine Vorwärmung 68 der aufzukonzentrierenden Flüssigkeit 14 vorgesehen sein kann. Die aufzukonzentrierende Flüssigkeit 14 kann von der Kondensationsstufe 36 zugeführt werden. Dabei kann sie in Vorwär-
5 meinheiten 50 geführt sein. Diese Vorwärmeinheiten 50 können beispielsweise wieder einen zumindest teilweise von einer fluiddichten wärmeleitenden Wand 32 begrenzten Fluidraum 34 aufweisen. Die Vorwärmung kann insbesondere über Dampf erfolgen. Es kann insbesondere die gesamte aufzukonzentrierende Flüssigkeit 14 bis zur Heizstufe 28 geführt
10 werden, oder es kann beispielsweise die pro Stufe benötigte Menge an aufzukonzentrierender Flüssigkeit in die entsprechende Stufe und in die die aufzukonzentrierende Flüssigkeit führenden Strömungskanäle 22 abgeleitet werden.

15 Im Übrigen kann diese eine Vorwärmung umfassende mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung 10 zumindest im Wesentlichen beispielsweise wieder so ausgeführt sein, wie dies anhand der Fig. 1 beschrieben wurde. Einander entsprechenden Teilen sind gleiche Bezugszeichen zugeordnet.

20 Wie beispielsweise auch den Fig. 3 bis 6 entnommen werden kann, kann die mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung 10 insbesondere als modulares Strömungssystem mit einer Vielzahl von Rahmenelementen ausgeführt sein. Dabei können beispielsweise die verschiedenen Funktionseinheiten wie insbesondere eine jeweilige Kondensationseinheit K, eine
25 jeweiliger Verdampfereinheit V, eine jeweilige Heizeinheit 30₁, eine jeweilige Kühleinheit 30₂ und/oder eine jeweilige Vorwärmeinheit 50 jeweils in Form eines solchen Rahmenelements vorgesehen sein.

Die Rahmenelemente sind vorzugsweise mit Stegstrukturen 40 versehen,
30 über die sie insbesondere zur Bildung der Heizstufe 28, einer jeweiligen

Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₁ - 12₃ und/oder der Kondensationsstufe 36 miteinander verbindbar sind. Dabei können die verschiedenen Rahmenelemente über die Stegstrukturen 40 beispielsweise miteinander verschweißt oder verklebt werden. Werden beispielsweise Schweiß-

5 stegstrukturen verwendet, so kann zur Verbindung der Rahmenelemente beispielsweise ein Reibschweißverfahren, Laserschweißverfahren und/oder Heizelementschweißverfahren angewandt werden.

Die Rahmenelemente umfassen jeweils einen von einem äußeren Rahmen

10 42 umschlossenen Innenbereich 44, der vorzugsweise mit einem insbesondere gitterartigen Abstandshalter 46 versehen ist.

Fig. 3 zeigt in perspektivischer Darstellung eine beispielhafte Ausführungsform eines als Kondensationseinheit K ausgeführten Rahmenelements sowie eine beispielhafte Ausführungsform eines als Verdampferein-

15 heit V ausgeführten Rahmenelements.

Insbesondere zur Bildung eines jeweiligen Dampfraums 18₁, 18₂, eines jeweiligen Heizfluidraums 34, eines jeweiligen Kühlfluidraums 38 oder zur

20 Realisierung einer jeweiligen Vorwärmeinheit 50 können auf den beiden Seiten eines solchen, insbesondere gitterartigen Abstandshalters 46 insbesondere jeweils eine Folie oder Membran aufgebracht sein, um die betreffenden Funktionsflächen zu bilden.

25 Dabei werden im Fall einer Kondensationseinheit K vorzugsweise Folien und im Fall einer Verdampfereinheit V vorzugsweise dampfdurchlässige flüssigkeitsdichte Membranen verwendet.

In Fig. 3 sind die beiden in Form einer Kondensationseinheit K bzw. einer

30 Verdampfungseinheit V vorgesehenen Rahmenelemente entsprechend der

zu erfüllenden Funktion relativ zueinander angeordnet, wobei das in Form der Kondensationseinheit K vorgesehene Rahmenelement insbesondere mit Kondensationsfolie und das in Form der Verdampfungseinheit V vorgesehene Rahmenelement insbesondere mit Membran bespannt sein
5 kann. Bei einer Beheizung der mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung kann das in Form einer Kondensationseinheit K vorgesehene Rahmenelement beispielsweise nach links und unten offen sein, so dass Dampf in diese Kondensationseinheit K eintreten und in dieser kondensieren kann. An den geschlossenen Seiten besitzt das in Form einer Kondensationseinheit V vorgesehene Rahmenelement insgesamt vorzugsweise
10 wenigstens eine oder mehrere Durchführungen für die die nicht kondensierbaren Gase.

Durch das Zusammenbringen eines in Form einer Kondensationseinheit K vorgesehenen, mit Folie versehenen Rahmenelements und eines in Form einer Verdampfungseinheit V vorgesehenen, mit Membran versehenen Rahmenelements ergibt sich zwischen Membran und Folie ein jeweiliger
15 die aufzukonzentrierende Flüssigkeit führender Strömungskanal 22.

20 In diesen Strömungskanal 22 kann noch ein Abstandshalter eingelegt werden. Anstelle eines solchen Abstandshalters kann beispielsweise auch der insbesondere gitterartige Abstandshalter 46 so ausgeführt werden, dass sich beim Füllen des Strömungskanals 22 definierte Kanäle zum Führen der Lösung ausbilden.

25 Wie anhand der Fig. 3 zu erkennen ist, können die äußeren Rahmen 42 der beiden jeweils in Form eines Rahmenelements vorgesehenen Einheiten K, V jeweils mit Durchgangsöffnungen 54 insbesondere für Heiz- oder Kühlfluid versehen sein. Wie beispielsweise anhand der Fig. 3 zu erkennen ist, kann dabei beispielsweise in jedem Eckbereich eines jeweiligen
30

Rahmenelements jeweils eine solche Durchgangsöffnung 54 vorgesehen sein. Eine solche Durchgangsöffnung 54 kann zudem, wie ebenfalls beispielsweise der Fig. 1 entnommen werden kann, durch einen Stegabchnitt 56 auch zum Innenbereich 44 hin abgegrenzt sein.

5

Der äußere Rahmen 42 der beispielsweise in Form einer Kondensationseinheit K bzw. einer Verdampfereinheit V vorgesehenen Rahmenelemente kann zudem jeweils mit Durchgangsöffnungen 58 insbesondere für die aufzukonzentrierende Flüssigkeit 14 versehen sein. Diese Durchgangsöffnungen 58 liegen zwar ebenfalls innerhalb des äußeren Teils der Stegstrukturen 40, anders als die Durchgangsöffnungen 54 sind sie jedoch nicht gegenüber dem Innenbereich 44 abgegrenzt. Wie ebenfalls wieder anhand der Fig. 3 zu erkennen ist, kann in den Eckbereichen eines jeweiligen äußeren Rahmens 42 jeweils eine solche Durchgangsöffnung 58 vorgesehen sein.

10

15

Bei einer Beheizung der Membrandestillationsvorrichtung kann die rahmenförmige Kondensationseinheit K nach links unten offen sein, so dass Dampf eintreten und kondensieren kann. An den geschlossenen Seiten kann diese Kondensationseinheit K insgesamt mindestens eine oder mehrere Durchführungen für die nicht kondensierbaren Gase aufweisen.

20

Bei der in der Fig. 3 dargestellten Verdampfereinheit V sind ein nach oben und ein seitlich nach rechts mündender Dampfaustrittskanal 24 zu erkennen.

25

Fig. 4 zeigt in schematischer Vorderansicht das als Verdampfereinheit V ausgeführte Rahmenelement gemäß Fig. 3. Einander entsprechenden Teilen sind gleiche Bezugszeichen zugeordnet.

30

Im vorliegenden Fall ist auf den beiden Seiten des Abstandshalters 46 vorzugsweise jeweils eine Membran angeordnet.

Die rahmenartige Verdampfereinheit V kann z.B. nach rechts und nach
5 oben offen sein, so dass Dampf an der Einheit austreten kann.

Fig. 5 zeigt in schematischer Vorderansicht das als Kondensationseinheit K ausgeführte Rahmenelement gemäß Fig. 3.

10 In der Fig. 5 sind unter anderem wieder die beispielsweise als Wasserkanal dienenden Durchgangsöffnungen 54 und die insbesondere als Kanal für die aufzukonzentrierende Flüssigkeit dienenden Durchgangsöffnungen 58 zu erkennen. Im vorliegenden Fall kann beidseitig des Abstandshalters 46 insbesondere jeweils eine Folie vorgesehen sein.

15

Einander entsprechenden Teilen sind gleiche Bezugszeichen zugeordnet.

Das im vorliegenden Fall beispielsweise beidseitig des Abstandshalters 46 jeweils mit einer Folie versehene Rahmenelement kann insbesondere zur
20 Kondensation von Heizdampf oder aus einer jeweiligen Verdampfereinheit stammendem Dampf eingesetzt werden.

Fig. 6 zeigt in schematischer Vorderansicht eine beispielhafte Ausführungsform eines Rahmenelements, das als Heizeinheit 30₁ oder als Kühleinheit 30₂ eingesetzt werden kann. Der Abstandshalter 46 ist im vorliegenden Fall beidseitig insbesondere jeweils mit einer Folie versehen. Der zwischen den Folien gebildete Heizfluid- oder Kühlfluidraum 34 bzw. 38 wird vom Heiz- bzw. Kühlfluid, z.B. Wasser, durchströmt. Das Heiz- bzw. Kühlfluid wird über Kanäle 60, z.B. Wasserkanäle, dem Heiz- bzw. Kühl-
30 fluidraum 34 bzw. 38 zugeführt und aus diesem wieder entfernt.

In der Fig. 6 sind insbesondere auch wieder die als Kanäle für die aufkonzentrierende Flüssigkeit dienenden Durchgangsöffnungen 58 zu erkennen.

5

Dieses Rahmenelement kann z.B. in der Heizstufe oder als Kühlelement in der Kondensationsstufe eingeätzt werden.

10 Auch in dieser Fig. 6 sind Teile, die denen der anderen Figuren entsprechen, wieder mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Fig. 7 zeigt in schematischer Vorderansicht eine beispielhafte Ausführungsform einer eine Heizstufe 28, eine Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₁ und eine Kondensationsstufe 36 umfassenden mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung 10. Bei der betreffenden mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung kann es sich also insbesondere um eine dreistufige Membrandestillationsvorrichtung handeln.

15

Wie anhand der Fig. 7 zu erkennen ist, können mehrere Reihen von Stufen 28, 12₁, 36 untereinander angeordnet sein.

20

Die Membrandestillationsvorrichtung 10 kann ein Gehäuse 62 umfassen, in dem die verschiedenen Stufen 28, 12₁, 36 aufgenommen sind und das zur Umgebung vorzugsweise vakuumdicht ist.

25

Beim in zur Fig. 7 dargestellten Ausführungsbeispiel sind auf der linken Seite parallel übereinander Heizstufen 28 angeordnet, wobei die Membrandestillationsvorrichtung 10 im vorliegenden Fall beispielsweise über von der linken Seiten zugeführten Prozessdampf beheizt wird. Dieser Dampf kann beispielsweise aus einer Dampfturbine stammen.

30

Der in Kondensationseinheiten K bzw. entsprechende Rahmenelemente der Heizstufe 28 eintretende Dampf kondensiert an den beispielsweise durch Folien gebildeten Kondensationswänden. Die Wärme wird über die
5 Fläche an die aufzukonzentrierende Flüssigkeit übertragen, aus der durch die angrenzende Membran einer benachbarten Verdampfereinheit bzw. eines entsprechenden Rahmenelements in den betreffenden Dampfraum hinein, der mit dem Druck des Dampfraums der jeweiligen Kondensations-
10 einheit bzw. des betreffenden Rahmenelements der nachfolgenden Stufe kommuniziert, Dampf entsteht.

Ein jeweiliger Kühlfluidraum der Heizstufe 28 ist vorzugsweise nur über Bohrungen für die nicht kondensierbaren Gase in den Kondensationseinheiten und eine Drossel am Boden zur Führung des Destillats in der Kon-
15 densations-/Verdampfungsstufe 12₁ mit der Kondensations-/Verdampfungsstufe verbunden. In der Kondensations-/Verdampfungsstufe 12 ist der Absolutdruck niedriger als in der Heizstufe 28.

Der in einem jeweiligen Dampfkanal der Heizstufe 28 entstehende Dampf
20 kann in den jeweiligen unmittelbar gegenüberliegenden Dampfraum einer jeweiligen Kondensationseinheit der Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₁ eintreten und kondensieren, wobei dazwischen jedoch noch ein Spalt insbesondere zum Abführen von Destillat verbleiben kann. Auch hier wird wieder Wärme übertragen und in dem Dampfraum einer jeweiligen be-
25 nachbarten Verdampfereinheit der Kondensations-/Verdampfungsstufe 12₁, der mit dem Druckniveau des Dampfraums der jeweiligen Kondensationseinheit der Kondensationsstufe 36 kommuniziert, entsteht neuer Dampf.

In der Fig. 7 ist überdies eine Kondensatüberführung 64 beispielsweise zwischen untereinander angeordneten Stufen zu erkennen.

5 Teile, die mit denen der anderen Figuren übereinstimmen, sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Fig. 8 zeigt in schematischer perspektivischer Ansicht eine mit der Ausführungsform gemäß Fig. 7 vergleichbare Ausführungsform der mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung 10, bei der jedoch zusätzlich wieder eine Vorwärmung der aufzukonzentrierenden Flüssigkeit vorgesehen ist. Dabei kann diese Vorwärmung beispielsweise wieder so ausgeführt sein, wie dies im Zusammenhang mit der Fig. 2 beschrieben wurde. Einander entsprechenden Teilen sind wieder gleiche Bezugszeichen zugeordnet.

15

Mit der erfindungsgemäßen mehrstufigen Membrandestillationsvorrichtung können sehr große Austauschflächen auf kleinem Volumen verbaut werden. Die verschiedenen Einheiten der Membrandestillationsvorrichtung können insbesondere durch entsprechende Rahmenelemente, die, wie aus den Figuren ersichtlich, insbesondere plattenförmig sein können, realisiert werden. Der aus einer jeweiligen Dampf erzeugenden Einheit austretende Dampf tritt in der unmittelbar darauf folgenden Stufe in einen Kondensationskanal, bzw. den Dampfraum einer Kondensationseinheit ein. Es addieren sich keine Dampf volumenströme und es kommt damit zu keinen zunehmenden Strömungsgeschwindigkeiten, die bisher thermische Anlagen limitierten.

20

25

Bezugszeichenliste

	10	Membrandestillationsvorrichtung
	12 ₁ - 12 ₃	Kondensations-/Verdampfungsstufe
5	14	aufzukonzentrierende Flüssigkeit
	16	Kondensationswand
	18 ₁	erster Dampfraum
	18 ₂	zweiter Dampfraum
	20	Membranwand
10	22	Strömungskanal
	24	Dampfaustrittskanal
	26	Dampfeintrittskanal
	24, 26	Dampfkanal
	28	Heizstufe
15	30 ₁	Heizeinheit
	30 ₂	Kühleinheit
	32	fluiddichte wärmeleitende Wand
	34	Fluidraum
	36	Kondensationsstufe
20	38	Kühlfluidraum
	40	Stegstruktur
	42	äußerer Rahmen
	44	Innenbereich
	46	Abstandshalter
25	50	Vorwärmeinheit
	54	Durchgangsöffnung
	56	Stegabschnitt
	58	Durchgangsöffnung
	60	Kanal, z.B. Wasserkanal
30	62	Gehäuse

64	Kondensatabführung	
66	nicht kondensierbare Gase	
68	Vorwärmung der aufzukonzentrierenden Flüssigkeit	
5	K	Kondensationseinheit
	V	Verdampfereinheit

Patentansprüche

5

1. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung (10) mit einer Heiz-
stufe (28), vorzugsweise mehreren Kondensations-
/Verdampfungsstufen (12₁-12₃) und einer Kondensationsstufe (36),
die nacheinander von einer aufzukonzentrierenden Flüssigkeit (14)
10 durchströmt sind, wobei jede Kondensations-/Verdampfungsstufe
(12₁-12₃) jeweils wenigstens eine Kondensationseinheit (K) und we-
nigstens eine Verdampfeinheit (V) umfasst, eine jeweilige Konden-
sationseinheit (K) einen zumindest teilweise von einer Kondensati-
onswand (16) begrenzten ersten Dampfraum (18₁) und eine jeweilige
15 Verdampfeinheit (V) einen zumindest teilweise durch eine dampf-
durchlässige flüssigkeitsdichte Membranwand (20) begrenzten zwei-
ten Dampfraum (18₂) umfasst und in einer jeweiligen Kondensati-
ons-/Verdampfungsstufe (12₁-12₃) wenigstens ein zwischen einer
solchen Kondensationseinheit (K) und einer solchen an diese an-
20 grenzenden Verdampfeinheit (V) gebildeter, die aufzukonzentrie-
rende Flüssigkeit (14) führender Strömungskanal (22) vorgesehen
ist, so dass die aufzukonzentrierende Flüssigkeit (14) über die Kon-
densationswand (16) erhitzt wird und der aus der aufzukonzentrie-
renden Flüssigkeit (14) entstehende Dampf durch die Membran-
25 wand (20) hindurch in den zweiten Dampfraum (18₂) gelangt,
dadurch gekennzeichnet,
dass der in einer jeweiligen vorangehenden Stufe (28, 12₁-12₃, 36)
entstehende Dampf über einen ausschließlich diesen Dampf füh-
renden und diesen ausschließlich an die unmittelbar darauffolgen-

de Stufe (12₁-12₃, 36) weiterführenden Dampfkanal (24, 26) in eine Kondensationseinheit (K) der unmittelbar darauffolgenden Stufe (12₁-12₃, 36) überführt wird.

- 5 2. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass zumindest eine jeweilige Kondensations-/Verdampfungsstufe
(12₁-12₃) jeweils mehrere Kondensationseinheiten (K) und/oder
mehrere Verdampfeinheiten (V) sowie mehrere parallele, jeweils
10 zwischen einer Kondensationseinheit (K) und einer an diese angren-
zenden Verdampfeinheit (V) gebildete, die aufzukonzentrierende
Flüssigkeit (14) führende Strömungskanäle (22) aufweist.
- 15 3. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach Anspruch 1
oder 2, dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass der in einem jeweiligen Dampfraum (18₂) einer jeweiligen vo-
rangehenden Stufe (28, 12₁-12₃) entstehende Dampf über den be-
treffenden Dampfkanal (24, 26) jeweils in nur eine Kondensations-
einheit (K) der unmittelbar darauffolgenden Stufe (12₁-12₃, 36) über-
20 führt wird.
- 25 4. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach einem der vor-
hergehenden Ansprüche,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass zur Bildung eines jeweiligen Dampfkanals (24, 26) zwischen
einer jeweiligen Verdampfeinheit (V) einer jeweiligen vorangehen-
den Stufe (28, 12₁-12₃) und einer jeweiligen Kondensationseinheit
(K) einer jeweiligen unmittelbar darauffolgenden Stufe (12₁-12₃, 36)
die Verdampfeinheit (V) einen Dampfaustrittskanal (24) und die
30 Kondensationseinheit (K) einen Dampfeintrittskanal (26) besitzt und

die beiden Einheiten (V, K) so angeordnet sind, dass sie mit ihren den Dampfaustrittskanal (24) bzw. den Dampfeintrittskanal (26) aufweisenden Seiten einander unmittelbar benachbart und zugewandt sind.

5

5. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

10

dass die Heizstufe (28), in der die zugeführte aufzukonzentrierende Flüssigkeit (14) vorgeheizt wird, wenigstens eine Heizeinheit (30₁)

und wenigstens eine Verdampfereinheit (V) umfasst, wobei eine jeweilige Heizeinheit (30₁) einen zumindest teilweise von einer fluid-dichten wärmeleitenden Wand (32) begrenzten Heizfluidraum (34)

15

und eine jeweilige Verdampfereinheit (V) einen zumindest teilweise durch eine dampfdurchlässige flüssigkeitsdichte Membranwand (20)

begrenzten Dampfraum (18₂) umfasst und in der Heizstufe (28) wenigstens ein zwischen einer Heizeinheit (30₁) und einer an diese angrenzenden Verdampfereinheit (V) gebildeter, die aufzukonzentrierende Flüssigkeit (14) führender Strömungskanal (22) vorgesehen

20

ist, so dass die aufzukonzentrierende Flüssigkeit (14) über die fluid-dichte wärmeleitende Wand (32) vorgeheizt wird und der aus der aufzukonzentrierenden Flüssigkeit (14) entstehende Dampf durch die Membranwand (20) hindurch in den Dampfraum (18₂) gelangt.

25

6. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,

dass der Dampf aus dem Dampfraum (18₂) einer jeweiligen Verdampfereinheit (V) der Heizstufe (28) über einen ausschließlich diesen Dampf führenden und diesen ausschließlich an die unmittelbar

30

darauffolgende Kondensations-/Verdampfungsstufe (12₁-12₃) wei-

terführenden Dampfkanal (24, 26) in eine Kondensationseinheit (K) dieser unmittelbar darauffolgenden Kondensations-/Verdampfungsstufe (12₁-12₃) überführt wird.

- 5 7. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass die Heizstufe (28) mehrere Heizeinheiten (30₁) und/oder mehrere Verdampfereinheiten (V) sowie mehrere parallele, jeweils zwischen einer Heizeinheit (30₁) und einer an diese angrenzenden Verdampfereinheit (V) gebildete die aufzukonzentrierende Flüssigkeit
10 (14) führende Strömungskanäle (22) aufweist.
8. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass der Dampf aus dem Dampfraum (18₂) einer jeweiligen Verdampfereinheit (V) der Heizstufe (28) über den betreffenden Dampfkanal (24, 26) jeweils in nur eine Kondensationseinheit (K) der unmittelbar darauffolgenden Kondensations-/Verdampfungsstufe (12₁-12₃) überführt wird.
15
9. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung Anspruch 8, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass zur Bildung eines jeweiligen Dampfkanals (24, 26) zwischen einer jeweiligen Verdampfereinheit (V) der Heizstufe(28) und einer jeweiligen Kondensationseinheit (K) der unmittelbar darauffolgenden Kondensations-/Verdampfungsstufe (12₁-12₃) die Verdampfereinheit (V) einen Dampfaustrittskanal (24) und die Kondensationseinheit (K) einen Dampfeintrittskanal (26) besitzt und die beiden Einheiten (V, K) so angeordnet sind, dass sie mit ihren den Dampfaustrittskanal
20
25

(24) bzw. den Dampfeintrittskanal (26) aufweisenden Seiten einander unmittelbar benachbart und zugewandt sind.

10. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
5 dadurch gekennzeichnet,
dass der der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe (12₃) unmittelbar nachgeordneten Kondensationsstufe (36) der Dampf aus einer jeweiligen Verdampfereinheit (V) der letzten Kondensations-
10 /Verdampfungsstufe (12₃) zugeführt wird.
11. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass die Kondensationsstufe (36) wenigstens eine Kühleinheit (30₂) und wenigstens eine Kondensationseinheit (K) umfasst, wobei eine jeweilige Kühleinheit (30₂) einen zumindest teilweise von einer fluid-dichten wärmeleitenden Wand (32) begrenzten Kühlfluidraum (38) und eine jeweilige Kondensationseinheit (K) wieder einen zumindest teilweise von einer Kondensationswand (16) begrenzten Dampfraum
20 (18₁) umfasst, dem über einen jeweiligen Dampfkanal (24, 26) Dampf aus der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe (12₃) zugeführt wird, und in der Kondensationsstufe (K) wenigstens eine Kühleinheit (30₂) zumindest einer Kondensationseinheit (K) unmittelbar benachbart ist, so dass die Kondensationswand (16) der jeweiligen Kondensationseinheit (K) über die Kühleinheit (30₂) gekühlt
25 wird.
12. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,

dass der Dampf aus einer jeweiligen Verdampfereinheit (V) der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe (12₃) über einen ausschließlich diesen Dampf führenden und diesen ausschließlich an die Kondensationsstufe (36) weiterführenden Dampfkanal (24, 26) in eine Kondensationseinheit (K) der Kondensationsstufe (36) geführt wird.

13. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach Anspruch 11 oder 12,

dadurch gekennzeichnet,
dass die Kondensationsstufe (36) mehrere Kühleinheiten (30₂) und/oder mehrere Verdampfereinheiten (V) umfasst.

14. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13,

dadurch gekennzeichnet,
dass der Dampf aus dem Dampfraum (18₂) einer jeweiligen Verdampfereinheit (V) der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe (12₃) über den betreffenden Dampfkanal (24, 26) jeweils in nur eine Kondensationseinheit (K) der Kondensationsstufe (36) überführt wird.

15. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet,

dass zur Bildung eines jeweiligen Dampfkanals (24, 26) zwischen einer jeweiligen Verdampfereinheit (V) der letzten Kondensations-/Verdampfungsstufe (12₃) und einer jeweiligen Kondensationseinheit (K) der unmittelbar darauffolgenden Kondensationsstufe (36) die Verdampfereinheit (V) einen Dampfaustrittskanal (24) und die Kondensationseinheit (K) einen Dampfeintrittskanal (26) besitzt und

die beiden Einheiten (V, K) so angeordnet sind, dass sie mit ihren den Dampfaustrittskanal (24) bzw. den Dampfeintrittskanal (26) aufweisenden Seiten einander unmittelbar benachbart und zugewandt sind.

5

16. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

10

dass sie als modulares Strömungssystem mit einer Vielzahl von Rahmenelementen ausgeführt ist und die verschiedenen Funktionseinheiten wie insbesondere eine jeweilige Kondensationseinheit (K), eine jeweilige Verdampfereinheit (V), eine jeweilige Heizeinheit (30₁) und/oder eine jeweilige Kühleinheit (30₂) jeweils in Form eines solchen Rahmenelements vorgesehen sind, wobei die Rahmenelemente vorzugsweise mit Stegstrukturen (40) versehen sind, über die sie insbesondere zur Bildung der Heizstufe (28), einer jeweiligen Kondensations-/Verdampferstufe (12₁-12₃) und/oder der Kondensationsstufe (36) miteinander verbindbar sind, und jeweils einen von einem äußeren Rahmen (42) umschlossenen Innenbereich (44) umfassen, der vorzugsweise mit einem insbesondere gitterartigen Abstandshalter (46) versehen ist, auf dessen beiden Seiten zur Bildung eines jeweiligen Dampfraums (18₁, 18₂), eines jeweiligen Heizfluidraums (34) oder eines jeweiligen Kühlfluidraums (38) insbesondere jeweils eine Funktionsfläche, vorzugsweise eine Folie oder Membran aufgebracht ist.

15

20

25

17. Mehrstufige Membrandestillationsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

dass sie zumindest drei Kondensations-/Verdampferstufen (12₁-12₃) umfasst.