



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2018/022349**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 003 735.2**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2017/042529**  
(86) PCT-Anmeldetag: **18.07.2017**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **01.02.2018**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **11.04.2019**

(51) Int Cl.: **C02F 9/10 (2006.01)**  
**C02F 1/04 (2006.01)**  
**C02F 1/44 (2006.01)**  
**C02F 103/08 (2006.01)**  
**B01D 61/00 (2006.01)**  
**B01D 61/02 (2006.01)**  
**B01D 61/58 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**62/366,586**                      **25.07.2016**      **US**

(71) Anmelder:  
**Qatar Foundation for Education, Science and  
Community Development, Washington, DC, US**

(74) Vertreter:  
**PATERIS Patentanwälte, PartmbB, 80331  
München, DE**

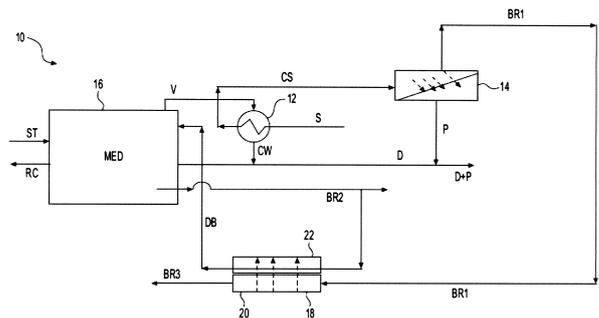
(72) Erfinder:  
**Aboukhlewa, Abdelnassar Abdelkhalek Mabrouk,  
Doha, QA**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Hybrid-Entsalzungssystem**

(57) Zusammenfassung: Das Hybrid-Entsalzungssystem (10) umfasst ein Umkehrosmose-Filtrationssystem (14), ein Vorwärtsosmose-Filtrationssystem (18) und ein Multi-Effekt-Destillationssystem (16). Ein Kondensator (12) nimmt Meerwasser (S) auf und erzeugt gekühltes Meerwasser (CS). Das gekühlte Meerwasser (CS) wird durch das Umkehrosmose-Filtrationssystem (14), das einen ersten Soleausstoßstrom (BR1) und einen Permeatstrom (P) ausgibt, gefiltert. Das Multi-Effekt-Destillationssystem (16) gibt einen zweiten Soleausstoßstrom (BR2) aus. Eine Zulaufseite (20) des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems (18) nimmt den ersten Soleausstoßstrom (BR1) auf, und der zweite Soleausstoßstrom (BR2) wird von der Ablaufseite (22), die verdünnte Sole (DB) ausgibt, aufgenommen. Das Multi-Effekt-Destillationssystem (16) steht mit dem Vorwärtsosmose-Filtrationssystem (18) in Fluidverbindung und recycelt die verdünnte Sole (DB). Das Multi-Effekt-Destillationssystem (16) gibt ein Rücklaufkondensat (RC) und ein Reinwasserdestillat (D) aus.



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung betrifft Entsalzung, und insbesondere ein Hybrid-Entsalzungssystem, das Umkehrosmose-Filtration mit Vorwärtsosmose-Filtration und Multi-Effekt-Destillation kombiniert.

### Hintergrund

**[0002]** Meerwasserentsalzungssysteme sind in vielen Teilen der Welt, wo Süßwasser schwer zugänglich ist, eine wichtige Technologie. Solche Entsalzungssysteme finden ihre größte Zweckmäßigkeit in trockenen Gebieten, die auch in der Nähe vom Meer sind, wie zum Beispiel in vielen Teilen des Nahen Ostens. Es gibt zahlreiche Technologien, die zur Entsalzung oder Reinigung von Wasser verwendet werden, einschließlich der Umkehrosmose-Filtration und der Multi-Effekt-Destillation, die unter den üblichsten Technologien sind. Die Umkehrosmose (RO) ist eine Wasserreinigungstechnologie, die eine semipermeable Membran verwendet, um Ionen, Moleküle und größere Partikel aus Trinkwasser zu entfernen. In der Umkehrosmose wird ein angelegter Druck verwendet, um osmotischen Druck, eine kolligative Eigenschaft, die durch chemische Potentialunterschiede des Lösungsmittels, einen thermodynamischen Parameter, angetrieben wird, zu überwinden. Mit anderen Worten, RO umfasst das Pressen eines Lösungsmittels aus einem Bereich mit hoher Konzentration eines gelösten Stoffs durch eine semipermeable Membran in einen Bereich mit niedriger Konzentration des gelösten Stoffs durch Anlegen eines Drucks, der über dem osmotischen Druck liegt.

**[0003]** Zwei Parameter zum Untersuchen der Effizienz des RO-Prozesses sind die Rückgewinnungsrate für ein typisches RO-Filtrationssystem und der Borgehalt im Permeat des RO-Systems. Bor kommt in Wasser natürlich als Borsäure ( $B(OH)_3$ ) und Borationen ( $B(OH)_2O$ ) vor. Die Richtlinien der Weltgesundheitsorganisation für die Trinkwasserqualität schlagen eine maximal empfohlene Borkonzentration von 0,5 mg/L im Trinkwasser vor. Die Entfernung von Bor aus dem für den Verbrauch bestimmten Wasser ist somit ein Maß für die Wirksamkeit eines Filtrations- und Reinigungsprozesses. Bor ist im Meerwasser in einer durchschnittlichen Konzentration von 4-7 mg/L vorhanden. Es kann jedoch in Regionen mit Wasser mit hohem Salzgehalt in Konzentrationen über 7 mg/L vorkommen, wie beispielsweise im Persischen Golf.

**[0004]** Um ein RO-System für akzeptable Level von Borentfernung mit einer gewünschten Rückgewinnungsrate einzurichten, muss ein RO-System mit zwei Durchgängen verwendet werden. Der erste Durchgang verwendet ein RO-Filtrationssystem mit

einer Meerwasser-Umkehrosmose (SWRO)-Membran und der zweite Durchgang verwendet ein sekundäres RO-Filtrationssystem mit einer Brackwasser-Umkehrosmose (BWRO)-Membran. In einem solchen System beträgt die Rückgewinnungsrate des ersten Durchgangs etwa 35% und die Rückgewinnungsrate des zweiten Durchgangs etwa 90%. Obwohl ein solches RO-System mit zwei Durchgängen für die Entsalzung und Entfernung von Bor wirksam ist, führt der Bedarf eines Filtrationssystems für den zweiten Durchgang zu einem übermäßig hohen Energiebedarf für den Betrieb eines solchen Systems.

**[0005]** Die Multi-Effekt-Destillation (MED) ist ein Wasserentsalzungsverfahren, das Meerwasser destilliert, indem es einen Teil des Wassers in mehreren Stufen, oder „Effekten“, von was im Wesentlichen Gegenstromwärmetauscher sind, in Dampf umwandelt. Multi-Effekt-Destillationsanlagen erzeugen etwa 60% des gesamten entsalzten Wassers der Welt. Obwohl MED weniger Energie als das oben beschriebene RO-Filtrationssystem mit zwei Durchgängen benötigt, kann der Energiebedarf von MED immer noch übermäßig hoch sein, insbesondere da MED hauptsächlich durch Wärmeaustausch arbeitet, d.h. relativ ineffiziente Wärmeenergie den Gesamtenergieverbrauch in MED dominiert. Um Kalkablagerungen in den Effekten zu vermeiden, muss außerdem der Salzgehalt sorgfältig kontrolliert werden, was ein Senken der Rückgewinnungsrate erfordert. Daher ist ein Hybrid-Entsalzungssystem, das die oben genannten Probleme löst, gewünscht.

### Offenbarung

**[0006]** Das Hybrid-Entsalzungssystem kombiniert ein Umkehrosmose-Filtrationssystem und ein Vorwärtsosmose-Filtrationssystem mit einem Multi-Effekt-Destillationssystem. In einem ersten Modus, der für den Betrieb in einer Umgebung mit kühlen Temperaturen (d.h. einem Wintermodus) konfiguriert ist, umfasst das Hybrid-Entsalzungssystem einen Kondensator zum Aufnehmen von Meerwasser und zum Erzeugen von gekühltem Meerwasser daraus. Ein Umkehrosmose-Filtrationssystem steht mit dem Kondensator in Fluidverbindung, um das gekühlte Meerwasser aufzunehmen und daraus einen ersten Soleausstoßstrom zu erzeugen. Ein Multi-Effekt-Destillationssystem nimmt Dampf aus einer externen Quelle auf und gibt einen zweiten Soleausstoßstrom aus.

**[0007]** Ein Vorwärtsosmose-Filtrationssystem steht sowohl mit dem Umkehrosmose-Filtrationssystem als auch mit dem Multi-Effekt-Destillationssystem in Fluidverbindung. Der erste Soleausstoßstrom wird von einer Zulaufseite des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems aufgenommen und der zweite Soleausstoßstrom wird von einer Ablaufseite des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems aufgenommen. Die Zulaufseite des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems

gibt einen dritten Soleausstoßstrom aus und die Ablauflösungsseite des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems gibt verdünnte Sole aus.

**[0008]** Das Multi-Effekt-Destillationssystem steht mit dem Vorwärtsosmose-Filtrationssystem in Fluidverbindung und nimmt die verdünnte Sole von dessen Ablauflösungsseite auf, so dass das Multi-Effekt-Destillationssystem ein Rücklaufkondensat und ein Reinwasserdestillatprodukt ausgibt. Das Multi-Effekt-Destillationssystem steht auch mit dem Kondensator in Fluidverbindung, so dass der Kondensator Wasserdampf, der durch das Multi-Effekt-Destillationssystem erzeugt wird, aufnimmt. Das vom Kondensator erzeugte Kondenswasser wird mit der Reinwasserdestillatausgabe aus dem Multi-Effekt-Destillationssystem vermischt.

**[0009]** In einem zweiten Modus, der für den Betrieb in einer Umgebung mit warmen Temperaturen (d.h. einem Sommermodus) konfiguriert ist, empfängt das Umkehrosmose-Filtrationssystem des Hybrid-Entsalzungssystems das Meerwasser und trennt das Meerwasser in einen ersten Soleausstoßstrom und ein Permeat. Der Kondensator steht mit dem Umkehrosmose-Filtrationssystem in Fluidverbindung, um den ersten Soleausstoßstrom daraus aufzunehmen und gekühlte Sole zu erzeugen. Das Multi-Effekt-Destillationssystem nimmt Dampf aus der externen Quelle auf und gibt einen zweiten Soleausstoßstrom aus.

**[0010]** Das Vorwärtsosmose-Filtrationssystem steht sowohl mit dem Kondensator als auch mit dem Multi-Effekt-Destillationssystem in Fluidverbindung, so dass die gekühlte Sole von der Zulaufseite des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems aufgenommen wird und der zweite Soleausstoßstrom von der Ablauflösungsseite des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems aufgenommen wird. Die Zulaufseite des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems gibt einen dritten Soleausstoßstrom aus und die Ablauflösungsseite des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems gibt verdünnte Sole aus.

**[0011]** Das Multi-Effekt-Destillationssystem steht mit dem Vorwärtsosmose-Filtrationssystem in Fluidverbindung und nimmt die verdünnte Sole von dessen Ablauflösungsseite auf. Das Multi-Effekt-Destillationssystem gibt ein Rücklaufkondensat und das Reinwasserdestillatprodukt aus. Das Multi-Effekt-Destillationssystem steht auch mit dem Kondensator in Fluidverbindung. Der Kondensator nimmt Wasserdampf, der durch das Multi-Effekt-Destillationssystem erzeugt wird, auf, und das vom Kondensator erzeugte Kondenswasser wird mit der Reinwasserdestillatausgabe aus dem Multi-Effekt-Destillationssystem vermischt. Diese und andere Merkmale der vorliegenden Offenbarung werden bei der weiteren Durchsicht der folgenden Spezifikation und Figuren leicht ersichtlich werden.

## Figurenliste

**Fig. 1** ist ein schematisches Diagramm eines Hybrid-Entsalzungssystems, das in einem ersten Modus arbeitet.

**Fig. 2** ist ein schematisches Diagramm des Hybrid-Entsalzungssystems, das in einem zweiten Modus arbeitet.

**Fig. 3** ist eine Grafik, die den spezifischen Energieverbrauch in Abhängigkeit von der Rückgewinnungsrate zeigt und die Multi-Effekt-Destillation mit Umkehrosmose und mit dem Hybrid-Entsalzungssystem vergleicht.

**[0012]** Ähnliche Referenzzeichen bezeichnen entsprechende Merkmale in den beigefügten Figuren einheitlich.

## Beste Modi für das Ausführen der Erfindung

**[0013]** Das Hybrid-Entsalzungssystem **10** kombiniert ein Umkehrosmose-Filtrationssystem und ein Vorwärtsosmose-Filtrationssystem mit einem Multi-Effekt-Destillationssystem. **Fig. 1** veranschaulicht das Hybrid-Entsalzungssystem **10**, das in einem ersten Modus, der für den Betrieb in einer Umgebung mit kühlen Temperaturen (d.h. einem Wintermodus) konfiguriert ist, arbeitet. Wie gezeigt umfasst das Hybrid-Entsalzungssystem **10** einen Kondensator zum Aufnehmen von Meerwasser **S** und zum Erzeugen von gekühltem Meerwasser **CS** daraus. Ein Umkehrosmose-Filtrationssystem **14** steht mit dem Kondensator **12** in Fluidverbindung, um das gekühlte Meerwasser **CS** aufzunehmen und daraus einen ersten Soleausstoßstrom **BR1** zu erzeugen. Vorzugsweise wird das gekühlte Meerwasser **CS** vor dem Zuführen zu dem Umkehrosmose-Filtrationssystem **14** chemisch behandelt, wie es im Stand der Technik bekannt ist. Ein Multi-Effekt-Destillations (MED)-System **16** nimmt Dampf **ST** aus einer externen Quelle auf und gibt einen zweiten Soleausstoßstrom **BR2** aus.

**[0014]** Ein Vorwärtsosmose-Filtrationssystem **18** steht sowohl mit dem Umkehrosmose-Filtrationssystem **14** als auch mit dem Multi-Effekt-Destillationssystem **16** in Fluidverbindung. Der erste Soleausstoßstrom **BR1** wird von einer Zulaufseite **20** des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems **18** aufgenommen und der zweite Soleausstoßstrom **BR2** wird von einer Ablauflösungsseite **22** des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems aufgenommen. Die Zulaufseite **20** des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems **18** gibt einen dritten Soleausstoßstrom **BR3** aus und die Ablauflösungsseite **22** des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems **18** gibt verdünnte Sole **DB** aus. In dem Vorwärtsosmose-Filtrationssystem **18** wird aufgrund der osmotischen Druckdifferenz zwischen der hochkonzentrierten Sole (d.h. dem zweiten Soleausstoßstrom **BR2**) und der Zulaufseite **20** (d.h. der Umkehrosmose-Aus-

stoßsole **BR1**) reines Wasser von der Zulaufseite **20** zu der Ablauflösungsseite **22** übertragen. Die Ablauflösung, die Natriumchlorid (NaCl) enthält, wird zusammen mit synthetischen Salzen verwendet, um den Rückfluss des gelösten Stoffs von der Zulaufseite **20** zu der Ablaufwasserseite **22** zu reduzieren.

**[0015]** Das Multi-Effekt-Destillationssystem **16** steht mit dem Vorwärtsosmose-Filtrationssystem **18** in Fluidverbindung und recycelt die verdünnte Sole **DB** aus der Ablauflösungsseite **22**, so dass das Multi-Effekt-Destillationssystem **16** ein Rücklaufkondensat **RC** und ein Reinwasserdestillat **D** ausgibt. Da das Vorwärtsosmose-Filtrationssystem **18** die zweiwertigen Ionen von der Zulaufseite **20** selektiv zurückhält und den Transport von reinem Wasser zur konzentrierten Seite (d.h. Ablaufseite **22**) ermöglicht, kann im Vergleich zu herkömmlichen Destillations- und/oder Filtrationssystemen die obere Soletemperatur (TBT) auf eine Temperatur, die höher als 65°C ist, erhöht werden. Die Erhöhung der TBT erhöht folglich die Destillatproduktion der MED-Einheit und erhöht die Gesamtrückgewinnungsrate.

**[0016]** Das Multi-Effekt-Destillationssystem **16** steht auch mit dem Kondensator **12** in Fluidverbindung, so dass der Kondensator **12** Wasserdampf **V**, der durch das Multi-Effekt-Destillationssystem **16** erzeugt wird, aufnimmt. Das vom Kondensator **12** erzeugte Kondenswasser **CW** wird mit der Ausgabe des Reinwasserdestillats **D** aus dem Multi-Effekt-Destillationssystem **16** vermischt. Ein Permeat **P**, das durch das Umkehrosmose-Filtrationssystem **14** erzeugt wird, wird mit dem Reinwasserdestillat **D** vermischt, um ein Endwasserprodukt zu erhalten. Durch das Vermischen von dem MED-Destillat **D** und dem Umkehrosmose-Permeat **P** ist das System **10** in der Lage, im Vergleich zur herkömmlichen Umkehrosmose-Filtration mit doppeltem Durchgang nur die Umkehrosmose mit einem einzigen Durchgang zu nutzen und so die Betriebskosten zu senken.

**[0017]** Fig. 2 veranschaulicht eine alternative Ausführungsform des Hybrid-Entsalzungssystems **10'**, das in einem zweiten Modus arbeitet (oder des Hybrid-Entsalzungssystems **10** von Fig. 1, das konfiguriert ist, um durch die Verwendung von Ventilen, Pumpen oder dergleichen, um den Durchfluss durch das System **10** zu ändern, im zweiten Modus zu arbeiten). Der zweite Modus ist für den Betrieb in einer Umgebung mit warmen Temperaturen (d.h. im Sommermodus) konfiguriert. Das Umkehrosmose-Filtrationssystem **14'** des Hybrid-Entsalzungssystems **10'** nimmt das Meerwasser **S'** auf und trennt das Meerwasser **S'** in einen ersten Soleausstoßstrom **BR1'** und ein Permeat **P'**. Vorzugsweise wird das Meerwasser **S'** vor dem Zuführen zu dem Umkehrosmose-Filtrationssystem **14** zunächst chemisch behandelt, wie es im Stand der Technik bekannt ist. Der Kondensator **12'** steht mit dem Umkehrosmose-Filtrati-

onssystem **14'** in Fluidverbindung, um den ersten Soleausstoßstrom **BR1'** aufzunehmen und gekühlte Sole **CB** zu erzeugen. Das Multi-Effekt-Destillationssystem **16'** nimmt den Dampf **ST'** aus der externen Quelle auf und gibt einen zweiten Soleausstoßstrom **BR2'** aus.

**[0018]** Das Vorwärtsosmose-Filtrationssystem **18'** steht sowohl mit dem Kondensator **12'** als auch mit dem Multi-Effekt-Destillationssystem **16'** in Fluidverbindung, so dass die gekühlte Sole **CB** von der Zulaufseite **20'** des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems **18'** aufgenommen wird und der zweite Soleausstoßstrom **BR2'** von der Ablauflösungsseite **22'** des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems **18'** aufgenommen wird. Die Zulaufseite **20'** des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems **18'** gibt einen dritten Soleausstoßstrom **BR3'** aus und die Ablauflösungsseite **22'** des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems **18'** gibt verdünnte Sole **DB'** aus. In dem Vorwärtsosmose-Filtrationssystem **18'** wird aufgrund der osmotischen Druckdifferenz zwischen der hochkonzentrierten Sole (d.h. dem zweiten Soleausstoßstrom **BR2'**) und der Zulaufseite **20'** (d.h. der gekühlten Sole **CB**) reines Wasser von der Zulaufseite **20'** zu der Ablauflösungsseite **22'** übertragen. Die Ablauflösung, die Natriumchlorid (NaCl) enthält, wird zusammen mit synthetischen Salzen verwendet, um den Rückfluss des gelösten Stoffs von der Zulaufseite **20'** zu der Ablaufwasserseite **22'** zu reduzieren.

**[0019]** Das Multi-Effekt-Destillationssystem **16'** steht mit dem Vorwärtsosmose-Filtrationssystem **18'** in Fluidverbindung und recycelt die verdünnte Sole **DB'** aus der Ablauflösungsseite **22'**. Das Multi-Effekt-Destillationssystem **16'** gibt ein Rücklaufkondensat **RC'** und Reinwasserdestillat **D'** aus. Da das Vorwärtsosmose-Filtrationssystem **18'** die zweiwertigen Ionen von der Zulaufseite **20'** selektiv zurückhält und den Transport von reinem Wasser zur konzentrierten Seite (d.h. Ablaufseite **22'**) ermöglicht, kann im Vergleich zu herkömmlichen Destillations- und/oder Filtrationssystemen die obere Soletemperatur (TBT) auf eine Temperatur, die höher als 65°C ist, erhöht werden. Die Erhöhung der TBT erhöht folglich die Destillatproduktion der MED-Einheit und erhöht die Gesamtrückgewinnungsrate.

**[0020]** Das Multi-Effekt-Destillationssystem **16'** steht auch mit dem Kondensator **12'** in Fluidverbindung. Der Kondensator **12'** nimmt Wasserdampf **V'**, der durch das Multi-Effekt-Destillationssystem **16'** erzeugt wird, auf und das vom Kondensator **12'** erzeugt Kondenswasser **CW'** wird mit der Ausgabe des Reinwasserdestillats **D'** aus dem Multi-Effekt-Destillationssystem **16'** vermischt. Zusätzlich wird ein Permeat **P'**, das durch das Umkehrosmose-Filtrationssystem **14'** produziert wird, mit dem Reinwasserdestillat **D'** vermischt, um ein Endwasserprodukt zu erhalten. Durch das Vermischen von dem MED-

Destillat **D'** und dem Umkehrosrose-Permeat **P'** ist das System **10'** in der Lage, im Vergleich zur herkömmlichen Umkehrosrose-Filtration mit doppeltem Durchgang nur die Umkehrosrose mit einem einzigen Durchgang zu verwenden und so die Betriebskosten zu senken.

**[0021]** Um die Wirksamkeit des Hybrid-Entsalzungssystems **10** (und des alternativen Modus des Hybrid-Entsalzungssystems **10'**) zu testen, wurden Simulationen mit visueller Design- und Simulations (VDS) -Software durchgeführt, bei denen das vorliegende Hybrid-Entsalzungssystem mit der Umkehrosrose (RO)-Filtration mit einem einzigen Durchgang allein und der Multi-Effekt-Destillation (MED) allein verglichen wurde. Für das simulierte RO-Filtrationssystem mit einem einzigen Durchgang wurden die folgenden Parameter in der Simulation verwendet. Das Meerwasser wurde mit einer feststehenden Rate von 16.000 Tonnen/Stunde und mit einem Salzgehalt von 45 g/L durch das RO-Filtrationssystem geleitet. Dies entspricht dem erwarteten Zulauf von gekühltem Meerwasser **CS** in das RO-Filtrationssystem **14** des Hybrid-Entsalzungssystems **10**. Die simulierte RO-System-Rückgewinnungsrate betrug 30%.

**[0022]** Die RO-Sole hatte einen Salzgehalt von 63 g/L, der im vorliegenden Hybrid-Entsalzungssystem **10** auf die Zulaufseite **20** des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems **18** gerichtet wäre. Die verbleibenden Chemikalien in der Sole (neben dem verfügbaren Druck bei 5,8 bar) würden den FO-Prozess unterstützen. Der Stromverbrauch betrug 3,6 kWh/m<sup>3</sup>. Die niedrige Rückgewinnungsrate des RO-Systems allein würde den Borausfluss in das Permeat verringern. Das Permeat von 4790 Tonnen/Stunde (25 MIGD) und einem Salzgehalt von 450 ppm würde im vorliegenden Hybrid-Entsalzungssystem **10** mit dem MED-Destillat vermischt werden. Ein Druckaustauscher unterstützt die simulierte RO-Hochdruckpumpe und gewinnt 50% der Soleenergie zurück. Der simulierte RO-Abschnitt umfasste sechs Züge, wobei jeder Zug **180** Gefäße enthielt. Jedes Gefäß enthielt sieben Elemente. Das RO-Element wurde simuliert, um 8 Zoll lang und mit einer Oberfläche von 37 m<sup>2</sup> zu sein.

**[0023]** Insgesamt betrug für das RO-System allein die simulierte Rückgewinnungsrate 0,3, der elektrische Energieverbrauch 5,9 kWh/m<sup>3</sup> und der Gesamtenergieverbrauch 5,9 kWh/m<sup>3</sup>. Für ein simuliertes RO-System mit zwei Durchgängen, wie beispielsweise das oben beschriebene, betrug die Rückgewinnungsrate des ersten Durchgangs 30% (wie im RO-System mit einem einzigen Durchgang) und die Rückgewinnungsrate des zweiten Durchgangs betrug 90%. Der Salzgehalt des endgültigen Permeats betrug 25 ppm.

**[0024]** Für das simulierte MED-System betrug die simulierte Rückgewinnungsrate 0,3, der elektrische Energieverbrauch 1,73 kWh/m<sup>3</sup>, der thermische Energieaufwand 6,2 kWh/m<sup>3</sup> und der Gesamtenergieverbrauch 7,93 kWh/m<sup>3</sup>. Im Vergleich dazu betrug für das vorliegende Hybrid-Entsalzungssystem **10** die simulierte Rückgewinnungsrate 0,43, der elektrische Energieverbrauch 3,0 kWh/m<sup>3</sup>, der thermische Energieaufwand 1,2 kWh/m<sup>3</sup> und der Gesamtenergieverbrauch nur 4,2 kWh/m<sup>3</sup>. Somit ist die Rückgewinnungsrate des vorliegenden Hybrid-Entsalzungssystems **10** bis zu 43% höher als bei der eigenständigen RO-Entsalzungsanlage oder dem eigenständigen MED-System. Der spezifische Gesamtenergieverbrauch des vorliegenden Hybrid-Entsalzungssystems ist ebenfalls 45% niedriger als der der simulierten MED-Anlage und 30% niedriger als der der simulierten RO-Entsalzungsanlage.

**[0025]** Für das simulierte Hybrid-Entsalzungssystem **10** wurde ein Destillat von 1940 Tonnen/Stunde (10 MIGD) als Produkt aus dem MED-System simuliert. Die obere Soletemperatur (TBT) stieg auf 85°C, und dieser Temperaturbereich ermöglichte die Verwendung von 16 Effekten im MED-System im Gegensatz zu einer herkömmlichen 10-Effekt-MED-Anlage. Mit zunehmender Anzahl der Effekte steigt das „Gain Output Ratio“ (GOR) von 8,7 auf 13,3 (d.h. 53% höher). Die spezifische Wärmeübertragungsfläche nimmt in der Fläche um 10% ab. Der Dampfdurchsatz betrug 146 Tonnen/Stunde, was 53% niedriger als der einer herkömmlichen MED-Anlage (d.h. 221 Tonnen/Stunde) ist. Durch eine signifikante Reduzierung im Heizdampf sank die äquivalente Wärmeenergie um 34%.

**[0026]** In **Fig. 3** sind die Daten, die dem Hybrid-Entsalzungssystem **10**, das ein Hybrid aus Umkehrosrose (RO), Vorwärtsosmose (FO) und Multi-Effekt-Destillation (MED) ist, entsprechen, als „RO-FO-MED“ beschriftet und sie werden mit den Daten aus dem simulierten RO-System allein und dem simulierten MED-System allein verglichen. Konkret stellt **Fig. 3** die Variation des Energieverbrauchs bei verschiedenen Werten der Rückgewinnungsrate dar. Wie gezeigt nimmt mit zunehmender Rückgewinnungsrate die spezifische Energie ab. Mit zunehmender Rückgewinnungsrate werden die Investitionskosten für den Ansaugbetrieb und den Bau um bis zu 50% sinken, da die gemeinsame Ansaugung verwendet wird. Darüber hinaus ist das vorliegende Hybrid-Entsalzungssystem, wie oben erwähnt, durch das Vermischen von dem MED-Destillat **D** und dem Umkehrosrose-Permeat in der Lage, im Vergleich zur herkömmlichen Umkehrosrose-Filtration mit doppeltem Durchgang nur die Umkehrosrose mit einem einzigen Durchgang zu nutzen und so die Betriebskosten zu senken. Da das RO-Permeat durch das MED-Destillat verdünnt wird, spielt außerdem ein

konzentriertes Soleabfallprodukt mit dem vorliegenden Hybrid-Entsalzungssystem keine Rolle.

**[0027]** Es ist zu verstehen, dass das Hybrid-Entsalzungssystem nicht auf die oben beschriebenen spezifischen Ausführungsformen beschränkt ist, sondern alle Ausführungsformen im Rahmen der allgemeinen Sprache der folgenden Ansprüche umfasst, die durch die hierin beschriebenen Ausführungsformen ermöglicht werden oder anderweitig ausreichend in den Figuren gezeigt oder oben beschrieben sind, um einem Fachmann zu ermöglichen, den beanspruchten Gegenstand herzustellen und zu verwenden.

### Patentansprüche

1. Hybrid-Entsalzungssystem umfassend:  
 einen Kondensator mit:  
 einer Meerwasser-Einlassöffnung, die zum Aufnehmen von Meerwasser eingerichtet ist;  
 einem Dampfeinlass;  
 einer Meerwasser-Auslassöffnung, die eingerichtet ist, daraus gekühltes Meerwasser zu erzeugen; und  
 einem Kondenswasserauslass;  
 ein Umkehrosmose-Filtrationssystem mit einer Einlassseite, die mit der Auslassöffnung des Kondensators zum Aufnehmen des gekühlten Meerwassers verbunden ist, einem Soleauslass und einem Permeatauslass,  
 wobei der Soleauslass eingerichtet ist, daraus einen ersten Soleausstoßstrom zu erzeugen;  
 ein Multi-Effekt-Destillationssystem mit:  
 einem Dampfeinlass, der zum Aufnehmen von Dampf aus einer externen Quelle eingerichtet ist;  
 einem Soleeinlass;  
 einem Destillatauslass, der mit dem Permeatauslass des Umkehrosmose-Filtrationssystems verbunden ist, um eine Ausgabelitung,  
 die zum Ausgeben von kombiniertem entsalzten Wasser eingerichtet ist, zu bilden, wobei der Kondenswasserauslass des Kondensators mit der Ausgabelitung, die zum Ausgeben von kombiniertem entsalzten Wasser eingerichtet ist, verbunden ist;  
 einem Dampfauslass, der mit dem Dampfeinlass des Kondensators verbunden ist;  
 einem Soleauslass, der zum Ausgeben eines zweiten Soleausstoßstroms eingerichtet ist; und  
 einem Rücklaufkondensatauslass; und  
 ein Vorwärtsosmose-Filtrationssystem mit einer Zulaufseite und einer Ablaufseite, wobei die Zulaufseite einen Soleeinlass, der mit dem Soleauslass des Umkehrosmose-Filtrationssystems zum Aufnehmen des ersten Soleausstoßstroms verbunden ist, und einen Soleauslass, der zum Ausgeben eines dritten Soleausstoßstroms eingerichtet ist, aufweist, wobei die Ablaufseite einen Soleeinlass, der mit dem Soleauslass des Multi-Effekt-Destillationssystems zum Aufnehmen des zweiten Soleausstoßstroms verbunden ist, und einen Soleauslass, der mit dem Soleeinlass des Multi-Effekt-Destillationssystems verbunden ist,

um verdünnte Sole aus dem Vorwärtsosmose-Filtrationssystem in das Multi-Effekt-Destillationssystem zu übertragen, aufweist.

2. Hybrid-Entsalzungssystem umfassend:  
 ein Umkehrosmose-Filtrationssystem mit einer Meerwasser-Einlassöffnung,  
 die zum Aufnehmen von Meerwasser eingerichtet ist, einer Soleauslassöffnung, die zum Ausgeben eines ersten Soleausstoßstroms eingerichtet ist, und einer Permeatauslassöffnung;  
 einen Kondensator mit:  
 einer Soleeinlassöffnung, die mit der Soleauslassöffnung des Umkehrosmose-Filtrationssystems zum Aufnehmen des ersten Soleausstoßstroms verbunden ist;  
 einem Dampfeinlass;  
 einer Auslassöffnung, die zum Auslassen von gekühlter Sole eingerichtet ist, und die zum Ausgeben des ersten Soleausstoßstroms als gekühlte Sole eingerichtet ist; und  
 einem Kondenswasserauslass;  
 ein Multi-Effekt-Destillationssystem mit:  
 einem Dampfeinlass, der zum Aufnehmen von Dampf aus einer externen Quelle eingerichtet ist;  
 einem Soleeinlass;  
 einem Destillatauslass, der mit dem Permeatauslass des Umkehrosmose-Filtrationssystems verbunden ist, um eine Ausgabelitung,  
 die zum Ausgeben von kombiniertem entsalzten Wasser eingerichtet ist, zu bilden, wobei der Kondenswasserauslass des Kondensators mit der Ausgabelitung, die zum Ausgeben von kombiniertem entsalzten Wasser eingerichtet ist, verbunden ist;  
 einem Dampfauslass, der mit dem Dampfeinlass des Kondensators verbunden ist;  
 einem Soleauslass, der zum Ausgeben eines zweiten Soleausstoßstroms eingerichtet ist; und  
 einem Rücklaufkondensatauslass; und  
 ein Vorwärtsosmose-Filtrationssystem mit einer Zulaufseite und einer Ablaufseite, wobei die Zulaufseite einen Soleeinlass, der mit der Auslassöffnung des Kondensators, die zum Auslassen von gekühlter Sole eingerichtet ist, zum Aufnehmen des ersten Soleausstoßstroms verbunden ist, und einen Soleauslass, der zum Ausgeben eines dritten Soleausstoßstroms eingerichtet ist, aufweist, wobei die Ablaufseite einen Soleeinlass, der mit dem Soleauslass des Multi-Effekt-Destillationssystems zum Aufnehmen des zweiten Soleausstoßstroms verbunden ist, und einen Soleauslass, der mit dem Soleeinlass des Multi-Effekt-Destillationssystems verbunden ist, um verdünnte Sole aus dem Vorwärtsosmose-Filtrationssystem in das Multi-Effekt-Destillationssystem zu übertragen, aufweist.

3. Verfahren zum Entsalzen von Meerwasser umfassend die Schritte:

Verarbeiten des Meerwassers in einem Kondensator, um einen Strom von gekühltem Meerwasser zu erzeugen;

Filtern des Meerwassers in einem Umkehrosmose-Filtrationssystem, um einen ersten Soleausstoßstrom und einen Permeatstrom zu erzeugen;

Filtern des ersten Soleausstoßstroms durch ein Vorwärtsosmose-Filtrationssystem, um einen Strom verdünnter Sole zu erhalten;

Zuführen des Stroms verdünnter Sole zu einem Multi-Effekt-Destillationssystem, um eine Dampfausgabe und einen Destillatausgabestrom zu erhalten;

Verarbeiten der Dampfausgabe des Multi-Effekt-Destillationssystems durch den Kondensator, um Kondenswasser auszugeben; und Kombinieren des Permeatstroms, des Destillatausgabestroms und des Kondenswassers in einer gemeinsamen Leitung, um eine Ausgabe von kombiniertem entsalzten Wasser bereitzustellen.

4. Verfahren zum Entsalzen von Meerwasser gemäß Anspruch 3, weiter umfassend den Schritt des Recyclens eines zweiten Soleausstoßstroms aus dem Multi-Effekt-Destillationssystem durch eine Ablaufseite des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems.

5. Verfahren zum Entsalzen von Meerwasser gemäß Anspruch 3, weiter umfassend den Schritt des Ausgebens eines dritten Soleausstoßstroms aus einer Zulaufseite des Vorwärtsosmose-Filtrationssystems.

6. Verfahren zum Entsalzen von Meerwasser gemäß Anspruch 3, weiter umfassend den Schritt des Belieferns des Multi-Effekt-Destillationssystems mit Dampf aus einer externen Quelle.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

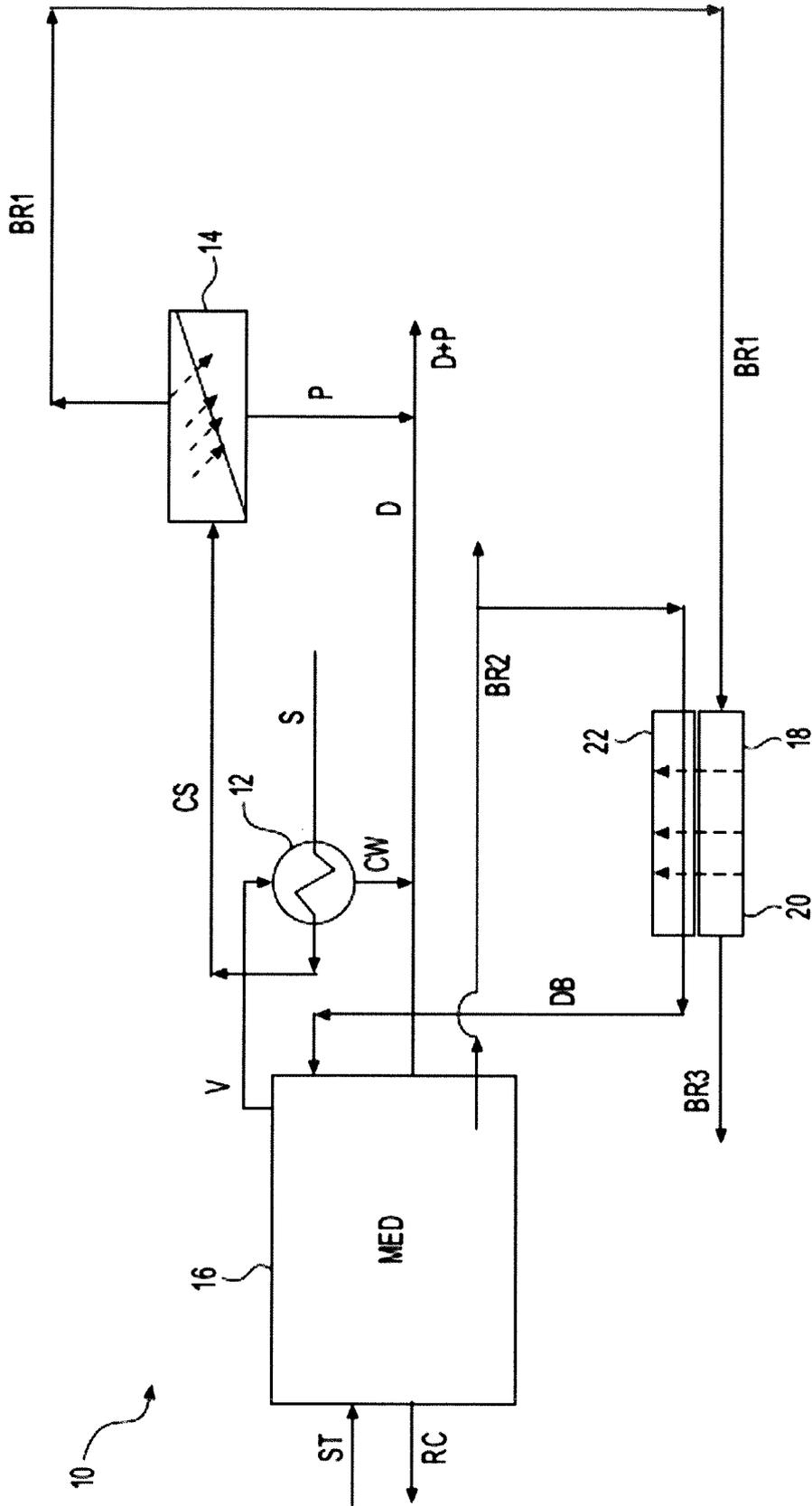


FIG. 1

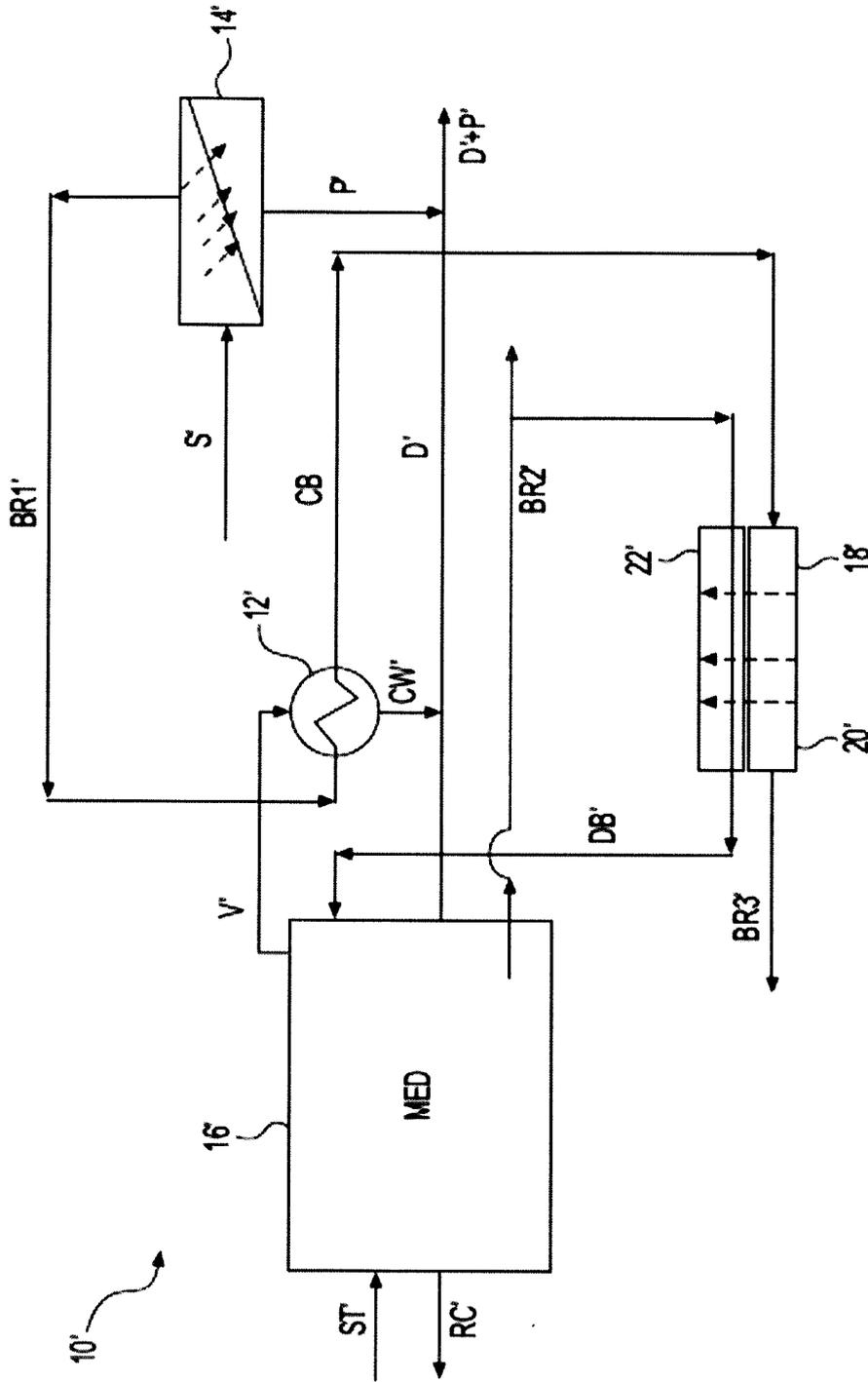


FIG. 2

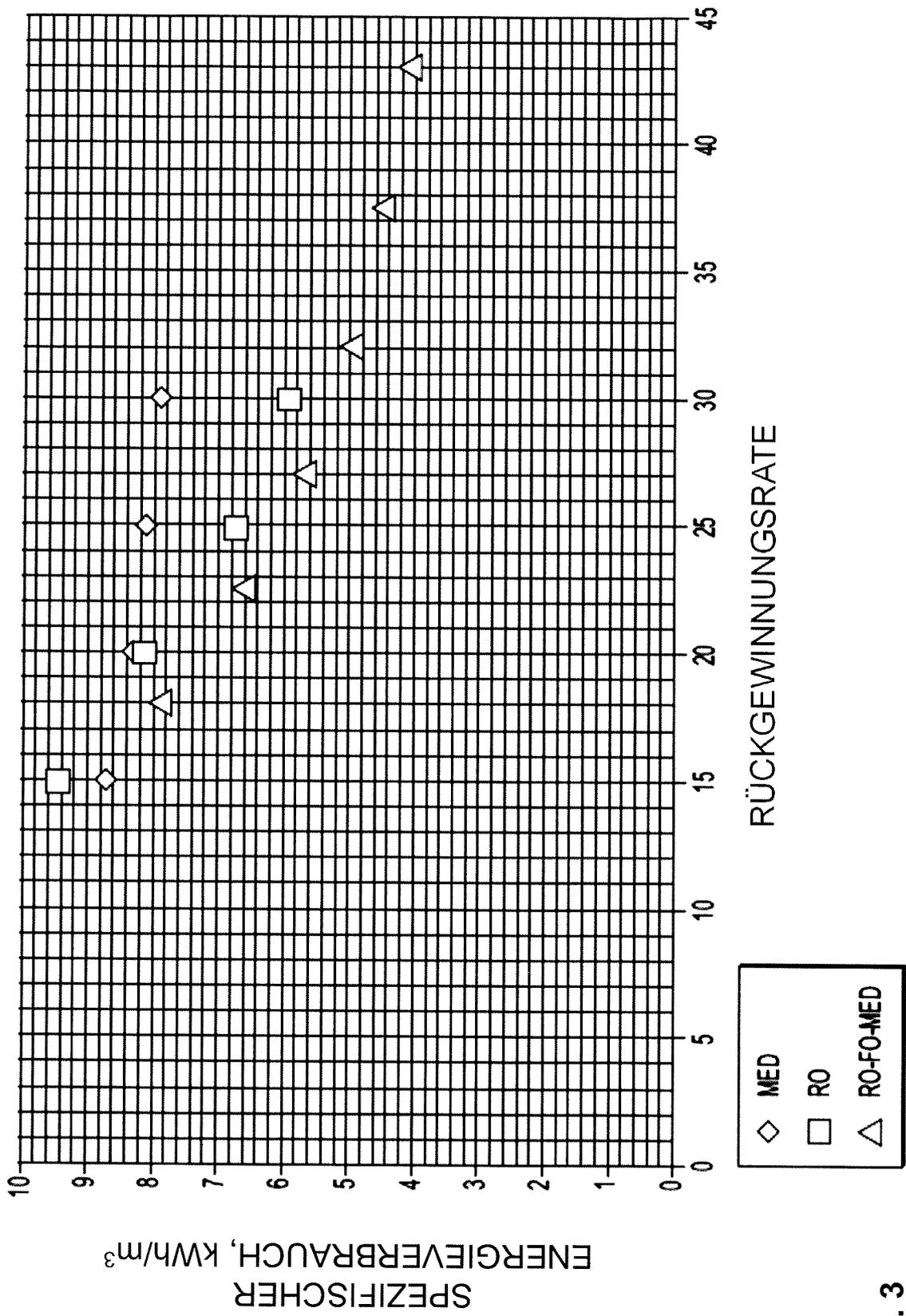


FIG. 3