



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 204 649.2**

(22) Anmeldetag: **27.03.2018**

(43) Offenlegungstag: **02.10.2019**

(51) Int Cl.: **C02F 1/44 (2006.01)**

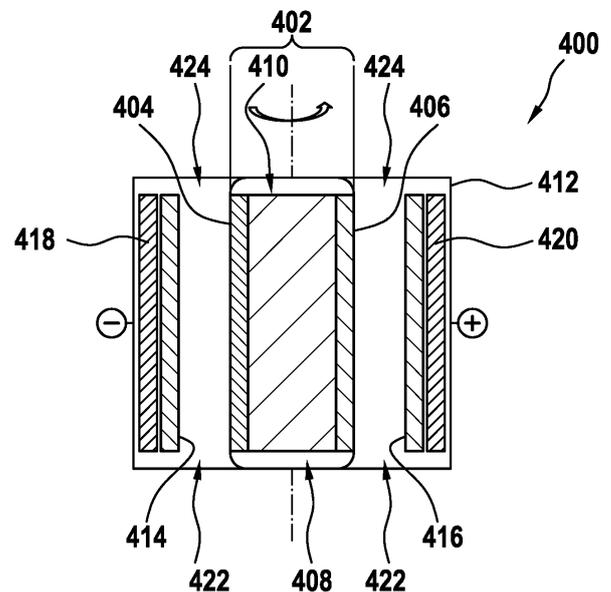
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Steiner, Dietmar, 73642 Welzheim, DE; Mielcarek, Paul, 70565 Stuttgart, DE; Bommer, Lars, 71229 Leonberg, DE; Wang, Ganzhou, 71229 Leonberg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Deionisierungsvorrichtung zum Deionisieren von Flüssigkeiten, Verfahren zum Herstellen einer Deionisierungsvorrichtung und Verfahren zum Betreiben einer Deionisierungsvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Deionisierungsvorrichtung (400) zum Deionisieren von Flüssigkeiten. Die Deionisierungsvorrichtung (400) umfasst zumindest einen Diluatkanal (402) zum Führen eines Diluats (D), wobei der Diluatkanal (402) durch zumindest eine Kationenaustauschermembran (404) und zumindest eine der Kationenaustauschermembran (404) gegenüberliegend angeordnete Anionenaustauschermembran (406) gebildet ist. Des Weiteren umfasst die Deionisierungsvorrichtung (400) zumindest einen Konzentratkanal (412) zum Führen eines Konzentrats (C). Der Konzentratkanal (412) ist durch zumindest eine weitere Kationenaustauschermembran (414) und zumindest eine der weiteren Kationenaustauschermembran (414) gegenüberliegend angeordnete weitere Anionenaustauschermembran (416) gebildet, wobei die weitere Kationenaustauschermembran (414) mit einer ersten Elektrode (418) gekoppelt ist und die weitere Anionenaustauschermembran (416) mit einer zweiten Elektrode (420) gekoppelt ist, um eine elektrische Spannung anlegen zu können. Der Diluatkanal (402) verläuft zwischen der weiteren Kationenaustauschermembran (414) und der weiteren Anionenaustauschermembran (416). Ferner sind der Diluatkanal (402) und der Konzentratkanal (412) zwischen einer Deionisierungsstellung und einer Regenerierungsstellung relativ zueinander beweglich.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung oder einem Verfahren nach Gattung der unabhängigen Ansprüche.

[0002] Eine Wasserenthärtung, insbesondere eine Entfernung von CaCO_3 und Spuren von Magnesium, kann beispielsweise mittels Ionentauscher, Umkehrosmose, Elektrodialyse oder kapazitiver Deionisierung erfolgen.

[0003] Bei der Elektrodialyse fließt Wasser durch Kanäle zwischen zwei Elektroden. Die Kanäle sind beispielsweise aus einander abwechselnden Anionen- und Kationenaustauschermembranen gebildet. Wird eine elektrische Gleichspannung an die Elektroden angelegt, so trennen sich ionische Spezies von Wasser in den Diluatkanälen oder konzentrieren sich in den Konzentratkanälen in einem kontinuierlichen Prozess.

[0004] Bei der kapazitiven Deionisierung, auch Capacitive Deionization oder kurz CDI genannt, wird Wasser durch einen Plattenkondensator geleitet. Die angelegte Spannung saugt die im Wasser gelösten Ionen ab. Dabei ist in der Regel eine periodische Regenerierung der Elektroden erforderlich.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Vor diesem Hintergrund werden mit dem hier vorgestellten Ansatz eine Deionisierungsvorrichtung zum Deionisieren von Flüssigkeiten, ein Verfahren zum Herstellen einer Deionisierungsvorrichtung, ein Verfahren zum Betreiben einer Deionisierungsvorrichtung sowie ein Steuergerät, das dieses Verfahren verwendet, gemäß den Hauptansprüchen vorgestellt. Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der im unabhängigen Anspruch angegebenen Vorrichtung möglich.

[0006] Der hier vorgestellte Ansatz beruht auf der Erkenntnis, dass durch zueinander bewegliches Anordnen eines Konzentratkanals und eines Diluatkanals in einer Wasserenthärtungsvorrichtung ein kontinuierlicher Wasserenthärtungsbetrieb mittels kapazitiver Deionisierung gewährleistet werden kann wie bei der Elektrodialyse. Von Vorteil ist, dass ein solches membranbasiertes CDI-System, in dem beispielsweise eine Batch-weise MCDI-Zelle (MCDI = membrane capacitive deionization) mit einem kontinuierlichen Elektrodialyseprozess kombiniert ist, eine kontinuierliche Entsalzung von Wasser bei besonders niedrigem Energieverbrauch ermöglicht. Der Betrieb mit kontinuierlich hohem Deionisierungsstrom garantiert eine hohe Leistungsdichte, ermöglicht eine kompakte

Bauform und reduziert den Materialeinsatz und somit die Herstellungskosten. Die kombinierte Form profitiert somit sowohl von den Vorteilen der membranbasierten kapazitiven Deionisierung als auch von den Vorteilen der Elektrodialyse.

[0007] Es wird eine Deionisierungsvorrichtung zum Deionisieren von Flüssigkeiten vorgestellt, wobei die Deionisierungsvorrichtung folgende Merkmale aufweist:

zumindest einen Diluatkanal zum Führen eines Diluats, wobei der Diluatkanal durch zumindest eine Kationenaustauschermembran und zumindest eine der Kationenaustauschermembran gegenüberliegend angeordnete Anionenaustauschermembran gebildet ist; und

zumindest einen Konzentratkanal zum Führen eines Konzentrats, wobei der Konzentratkanal durch zumindest eine weitere Kationenaustauschermembran und zumindest eine der weiteren Kationenaustauschermembran gegenüberliegend angeordnete weitere Anionenaustauschermembran gebildet ist, wobei die weitere Kationenaustauschermembran mit einer ersten Elektrode gekoppelt ist und die weitere Anionenaustauschermembran mit einer zweiten Elektrode gekoppelt ist, um eine elektrische Spannung anlegen zu können, wobei der Diluatkanal zwischen der weiteren Kationenaustauschermembran und der weiteren Anionenaustauschermembran verläuft und der Diluatkanal und der Konzentratkanal zwischen einer Deionisierungsstellung und einer Regenerierungsstellung relativ zueinander beweglich sind.

[0008] Unter einer Flüssigkeit kann eine salzhaltige Lösung verstanden werden. Unter einem Diluat kann eine deionisierte, salzarme Lösung verstanden werden. Unter einem Konzentrat kann eine salzreiche Lösung verstanden werden. Unter einer Kationenaustauschermembran kann eine Membran verstanden werden, die Kationen zumindest größtenteils durchlässt und Anionen zumindest größtenteils zurückhält. Unter einer Anionenaustauschermembran kann hingegen eine Membran verstanden werden, die Anionen zumindest größtenteils durchlässt und Kationen zumindest größtenteils zurückhält. Unter einer elektrischen Spannung kann insbesondere eine Gleichspannung verstanden werden. Unter einer Deionisierungsstellung kann eine Stellung verstanden werden, in der bei Anlegen einer entsprechenden Deionisierungsspannung an die beiden Elektroden ein Ionenfluss vom Diluat- in den Konzentratkanal ermöglicht wird, um eine in den Diluatkanal eingeleitete Einspeiselösung zu entsalzen. Unter einer Regenerierungsstellung kann eine Stellung verstanden werden, in der bei Anlegen einer entsprechenden Regenerierungsspannung an die beiden Elektroden ein Ionenfluss von den Elektroden in den Kon-

zentratkanal und somit eine Regenerierung der Elektroden ermöglicht wird, ohne dass dabei die Deionisierung im Diluatkanal unterbrochen wird. Bei der Regenerierungsspannung kann es sich beispielsweise um eine Spannung mit einer zur Deionisierungsspannung entgegengesetzten Polarität handeln. Alternativ können die Deionierungs- und die Regenerierungsspannung identisch sein. Der Konzentratkanal kann beispielsweise einen ringförmigen Außenkanal um den Diluatkanal bilden.

[0009] Gemäß einer Ausführungsform kann in der Deionierungsstellung die Kationenaustauschermembran der weiteren Kationenaustauschermembran gegenüberliegen, während die Anionenaustauschermembran der weiteren Anionenaustauschermembran gegenüberliegt, um bei Anlegen der Deionisierungsspannung einen Ionenfluss vom Diluatkanal in den Konzentratkanal zu bewirken, und in der Regenerierungsstellung die Kationenaustauschermembran der weiteren Anionenaustauschermembran gegenüberliegen, während die Anionenaustauschermembran der weiteren Kationenaustauschermembran gegenüberliegt, um bei Anlegen der Regenerierungsspannung eine Desorption von Ionen an der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode zu bewirken. Dadurch kann eine besonders effiziente Deionisierung erzielt werden.

[0010] Gemäß einer weiteren Ausführungsform können der Diluatkanal und der Konzentratkanal zwischen der Deionierungsstellung und der Regenerierungsstellung relativ zueinander verdrehbar sein. Dadurch kann die Bauform der Deionisierungsvorrichtung möglichst kompakt gehalten werden.

[0011] Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Diluatkanal fixiert ist, wobei der Konzentratkanal um den Diluatkanal verdrehbar ist. Dadurch kann ein Umpolen der Elektroden zum Umschalten in einen Regenerierungsbetrieb entfallen. Zudem können dadurch die Zustände im Diluatkanal konstant gehalten werden.

[0012] Gemäß einer weiteren Ausführungsform können der Diluatkanal und der Konzentratkanal zueinander konzentrisch sein. Insbesondere kann dabei der Diluatkanal einen im Konzentratkanal verlaufenden Innenkanal bilden. Dadurch kann ein einfacher, kompakter Aufbau der Deionisierungsvorrichtung gewährleistet werden.

[0013] Von Vorteil ist auch, wenn die weitere Kationenaustauschermembran auf die erste Elektrode aufgebracht ist oder, zusätzlich oder alternativ, die weitere Anionenaustauschermembran auf die zweite Elektrode aufgebracht ist. Dadurch können zusätzliche Elemente zum Koppeln der Elektroden mit den Ionenaustauschermembranen entfallen. Somit können die Herstellungskosten der Deionisierungsvorrichtung gesenkt werden.

[0014] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann der Diluatkanal und/oder der Konzentratkanal einen kreisrunden Querschnitt aufweisen. Zusätzlich oder alternativ kann die Kationenaustauschermembran, die Anionenaustauschermembran, die weitere Kationenaustauschermembran, die weitere Anionenaustauschermembran, die erste Elektrode, die zweite Elektrode oder zumindest zwei der vorgenannten Elemente einen kreisbogenförmigen Querschnitt aufweisen. Auch durch diese Ausführungsform kann eine kompakte, mit verhältnismäßig geringem Herstellungsaufwand verbundene Bauform der Deionisierungsvorrichtung realisiert werden.

[0015] Beispielsweise kann der Diluatkanal einen Diluatkanaleingang und einen Diluatkanalausgang aufweisen, wobei die Kationenaustauschermembran und die Anionenaustauschermembran zwischen dem Diluatkanaleingang und dem Diluatkanalausgang angeordnet sein können. Ebenso kann der Konzentratkanal einen Konzentratkanaleingang und einen Konzentratkanalausgang aufweisen, wobei die weitere Kationenaustauschermembran und die weitere Anionenaustauschermembran zwischen dem Konzentratkanaleingang und dem Konzentratkanalausgang angeordnet sein können. Der Diluatkanaleingang und der Konzentratkanaleingang können an einer ersten Seite der Deionisierungsvorrichtung angeordnet sein. Der Diluatkanalausgang und der Konzentratkanalausgang können hingegen an einer der ersten Seite gegenüberliegenden zweiten Seite der Deionisierungsvorrichtung angeordnet sein. Durch diese Ausführungsform kann eine einfache und verlustarme Führung von Flüssigkeiten durch die Deionisierungsvorrichtung gewährleistet werden.

[0016] Der hier vorgestellte Ansatz schafft ferner ein Verfahren zum Herstellen einer Deionisierungsvorrichtung gemäß einer der vorgenannten Ausführungsformen, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Bilden des Diluatkanals durch Anordnen der Kationenaustauschermembran gegenüber der Anionenaustauschermembran sowie des Konzentratkanals durch Anordnen der mit der ersten Elektrode gekoppelten weiteren Kationenaustauschermembran gegenüber der mit der zweiten Elektrode gekoppelten weiteren Anionenaustauschermembran; und

Anordnen des Diluatkanals zwischen der weiteren Kationenaustauschermembran und der weiteren Anionenaustauschermembran, sodass der Diluatkanal und der Konzentratkanal zwischen der Deionierungsstellung und der Regenerierungsstellung relativ zueinander beweglich sind.

[0017] Des Weiteren schafft der hier vorgestellte Ansatz ein Verfahren zum Betreiben einer Deionisierungsvorrichtung gemäß einer der vorgenannten

Ausführungsformen, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Deionisieren einer in den Diluatkanal eingeleiteten Flüssigkeit durch Einstellen der Deionisierungsstellung und Anlegen der Deionisierungsspannung; und

Regenerieren der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode durch Einstellen der Regenerierungsstellung und Anlegen der Regenerierungsspannung.

[0018] Beispielsweise kann im Schritt des Regenerierens eine Spannung mit einer zur Deionisierungsspannung entgegengesetzten Polarität als die Regenerierungsspannung angelegt werden. Dadurch kann die Deionisierungsvorrichtung möglichst unterbrechungsfrei in den Regenerierungsbetrieb umgeschaltet werden.

[0019] Dieses Verfahren kann beispielsweise in Software oder Hardware oder in einer Mischform aus Software und Hardware, beispielsweise in einem Steuergerät, implementiert sein.

[0020] Der hier vorgestellte Ansatz schafft ferner ein Steuergerät, das ausgebildet ist, um die Schritte einer Variante eines hier vorgestellten Verfahrens in entsprechenden Einrichtungen durchzuführen, anzusteuern bzw. umzusetzen. Auch durch diese Ausführungsvariante der Erfindung in Form eines Steuergeräts kann die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe schnell und effizient gelöst werden.

[0021] Unter einem Steuergerät kann vorliegend ein elektrisches Gerät verstanden werden, das Signale verarbeitet und in Abhängigkeit davon Steuer- und/oder Datensignale ausgibt. Das Steuergerät kann eine Schnittstelle aufweisen, die hard- und/oder softwaremäßig ausgebildet sein kann. Bei einer hardwaremäßigen Ausbildung können die Schnittstellen beispielsweise Teil eines sogenannten System-ASICs sein, der verschiedenste Funktionen des Steuergeräts beinhaltet. Es ist jedoch auch möglich, dass die Schnittstellen eigene, integrierte Schaltkreise sind oder zumindest teilweise aus diskreten Bauelementen bestehen. Bei einer softwaremäßigen Ausbildung können die Schnittstellen Softwaremodule sein, die beispielsweise auf einem Mikrocontroller neben anderen Softwaremodulen vorhanden sind.

[0022] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer membranbasierten CDI-Apparatur;

Fig. 2 ein Diagramm zur Darstellung einer Strom-Spannungs-Kennlinie einer Deionisierungszelle;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Elektrodialyseapparatur;

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Deionisierungsvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel in der Seitenansicht;

Fig. 5 eine schematische Darstellung der Deionisierungsvorrichtung aus **Fig. 4** in der Draufsicht;

Fig. 6 eine schematische Darstellung der Deionisierungsvorrichtung aus **Fig. 4** in der Deionisierungsstellung;

Fig. 7 eine schematische Darstellung der Deionisierungsvorrichtung aus **Fig. 4** in der Regenerierungsstellung;

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Deionisierungsvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel in der Regenerierungsstellung;

Fig. 9 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen einer Deionisierungsvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel;

Fig. 10 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Betreiben einer Deionisierungsvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel; und

Fig. 11 eine schematische Darstellung eines Steuergeräts gemäß einem Ausführungsbeispiel.

[0023] In der nachfolgenden Beschreibung günstiger Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden für die in den verschiedenen Figuren dargestellten und ähnlich wirkenden Elemente gleiche oder ähnliche Bezugszeichen verwendet, wobei auf eine wiederholte Beschreibung dieser Elemente verzichtet wird.

[0024] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer membranbasierten CDI-Apparatur **100**. Bei dem schematisch gezeigten CDI-Prozess werden in Wasser gelöste Ionen beim Durchfließen durch einen Aufbau ähnlich einem Plattenkondensator abgeschieden. Der Aufbau umfasst zwei einander gegenüberliegend angeordnete, je mit einer Spannungsquelle **101** gekoppelte Elektroden **102**, **104**, wobei die erste Elektrode **102** mit einer Kationenaustauschermembran **106** und die zweite Elektrode **104** mit einer Anionenaustauschermembran **108** beschichtet ist. Die beiden Membranen **106**, **108** bilden einen Kanal zum Leiten einer zu entsalzenden Flüssigkeit zwischen einem Kanaleingang **110** und einem Kanalausgang **112**.

[0025] **Fig. 2** zeigt schematisch eine Strom-Spannungs-Kennlinie **200** beim Deionisieren mittels der Apparatur aus **Fig. 1**. Ein linker Teil zeigt den Verlauf bei Adsorption. Jeweils zeitabhängig ist auf der linken Ordinate die Spannung, auf der rechten Ordinate der

Strom aufgetragen. Typische Zellspannungen liegen bei ca. 1 V, die Stromdichten bei 10 bis 50 mA/cm². Der Beginn der Adsorption ist mit einem Pfeil **202**, der Beginn der Desorption mit einem weiteren Pfeil **204** gekennzeichnet. Der Abstand zwischen den beiden Elektroden, bei denen es sich etwa um poröse Kohlenstoffelektroden handeln kann, ist in der Regel kleiner 1 mm. Nach einer gewissen Zeit sind alle für die Ionen zugänglichen Adsorbatplätze an den Elektroden besetzt, weshalb der Strom kontinuierlich sinkt. Danach ist eine Regenerierung der Zelle erforderlich.

[0026] Wie in **Fig. 1** gezeigt, wird dazu der Frischwasserzustrom abgeschaltet und zu verwerfendes Abwasser durch den Abscheider gepumpt. Die Spannung an der Zelle wird umgepolt und die abgetrennten Ionen werden aus den porösen Kohlenstoffelektroden **102**, **104** zurück ins Abwasser gepumpt, wodurch dessen Ionenkonzentration weiter ansteigt. Auch hier zeigt der abfallende Strom entsprechend dem rechten Teil der Kurve in **Fig. 2**, gekennzeichnet mit dem weiteren Pfeil **204**, dass die Elektrode von den abgelagerten Ionen befreit ist und wieder für die Abscheidung einsetzbar ist. Durch geschickte Auslegung der Apparatur kann eine Wasserregeneration von ca. 85 % erreicht werden, d. h., einlaufendes, hartes Wasser wird in ca. 85 % weiches Produktwasser und in ca. 15 % Wasser mit entsprechend höherer Ionenkonzentration aufgetrennt.

[0027] Bei der CDI-Technologie können eine starke Belastung und eine damit einhergehende Degradation der Elektroden im Wasserstrom auftreten. Durch Oxidation der Oberflächen, zunehmende Verkalkung und Verstopfung der Poren kann Kapazität verloren gehen, bis schließlich keine Entsalzung mehr stattfindet. Die Degradation kann durch Ionenaustauschermembranen, wie in **Fig. 1** gezeigt, verringert werden. Solche Systeme werden auch als membranbasierte CDI-Systeme oder kurz MCDI-Systeme bezeichnet.

[0028] Die in **Fig. 1** gezeigte Apparatur bedingt somit einen diskontinuierlichen Batch-Betrieb, der in der Regel eine komplizierte Strömungsführung, mehrere Umschaltventile und Speichertanks für die unterschiedlich stark konzentrierten Flüssigkeiten erfordert.

[0029] **Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung einer Elektrodialyseapparatur **300**. Schematisch dargestellt ist die Vorgehensweise beim Elektrodialyseprozess. Wird eine elektrische Spannung an zwei Elektroden **302**, **304** angelegt, wandern die in Wasser gelösten Ionen in Zellen mit ungerader Nummer, hier in zwei außenliegende Zellen **306**, **308**, während Zellen mit gerader Nummer, hier eine mittlere Zelle **310** zwischen den Zellen **306**, **308**, an Salz verarmen. Die Zellen sind durch Kationen- und Anionenaustauschermembranen voneinander getrennt. Das Diluat,

gekennzeichnet durch einen Pfeil **312**, wird dadurch kontinuierlich produziert.

[0030] Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass der Energieaufwand der Elektrodialyseprozedur proportional zur Salzkonzentration der Eingangslösung ist und daher bei kleinen Salzkonzentrationen wirtschaftlicher ist. Allerdings wird im Vergleich zur CDI-Technologie deutlich mehr Energie zum Pumpen oder Rezirkulieren der Konzentrate verbraucht. Zudem besteht die Gefahr des Zurückfließens hochkonzentrierter Ionen in den Diluatkanal.

[0031] Demgegenüber schafft der hier vorgestellte Ansatz eine Vorrichtung, die einen kontinuierlichen Deionisierungsprozess mit den Vorteilen beider vorgenannten Verfahren ermöglicht. Entsprechende Ausführungsbeispiele werden nachfolgend näher beschrieben.

[0032] **Fig. 4** zeigt eine schematische Darstellung einer Deionisierungsvorrichtung **400** gemäß einem Ausführungsbeispiel in der Seitenansicht. Die Deionisierungsvorrichtung **400** ist als kontinuierlich betreibbare MCDI-Apparatur realisiert. Dazu umfasst die Deionisierungsvorrichtung **400** zum einen einen Diluatkanal **402**, der durch eine Kationenaustauschermembran **404** und eine gegenüber der Kationenaustauschermembran **404** angeordnete Anionenaustauschermembran **406** gebildet ist. Der Diluatkanal **402** weist einen Diluatkanaleingang **408** zum Einleiten einer zu entsalzenden Einspeiselösung und einen gegenüber dem Diluatkanaleingang **408** angeordneten Diluatkanalausgang **410** zum Ausleiten eines durch Deionisieren der Einspeiselösung gewonnenen Diluats auf. Zum anderen umfasst die Deionisierungsvorrichtung **400** einen Konzentratkanal **412** zum Führen eines Konzentrats. Der Konzentratkanal **412** bildet gemäß diesem Ausführungsbeispiel einen konzentrischen Außenkanal um den Diluatkanal **402**. Analog zum Diluatkanal **402** ist der Konzentratkanal **412** aus einer weiteren Kationenaustauschermembran **414** und einer weiteren Anionenaustauschermembran **416** aufgebaut, wobei der Diluatkanal **402** zwischen den beiden weiteren Ionenaustauschermembranen **414**, **416** angeordnet ist. Zum Anlegen einer elektrischen Spannung ist die weitere Kationenaustauschermembran **414** mit einer ersten Elektrode **418** gekoppelt, während die weitere Anionenaustauschermembran **416** mit einer zweiten Elektrode **420** gekoppelt ist. Beispielhaft sind die beiden Elektroden **418**, **420** mit der jeweiligen Ionenaustauschermembran beschichtet.

[0033] Gemäß dem in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsbeispiel sind die beiden Kanäle **402**, **412** zueinander verdrehbar angeordnet, um ein Verstellen der Deionisierungsvorrichtung **400** zwischen einer Deionisierungsstellung zum Deionisieren der Einspeiselösung

und einer Regenerierungsstellung zum Regenerieren der beiden Elektroden **418**, **420** zu ermöglichen.

[0034] In **Fig. 4** befindet sich die Deionisierungsvorrichtung **400** in der Deionierungsstellung. Dabei sind die beiden Kanäle **402**, **412** so weit zueinander verdreht, dass in einem ersten Längsabschnitt der Deionisierungsvorrichtung **400** die Kationenaustauschermembran **404** der weiteren Kationenaustauschermembran **414** gegenüberliegt und in einem zweiten Längsabschnitt der Deionisierungsvorrichtung **400** die Anionenaustauschermembran **406** der weiteren Anionenaustauschermembran **416** gegenüberliegt. Somit wird bei Anlegen einer geeigneten Deionisierungsspannung mittels der beiden Elektroden **418**, **420** ein Ionenfluss vom Diluatkanal **402** in den den Diluatkanal **402** umgebenden Konzentratkanal **412** bewirkt.

[0035] Analog zum Diluatkanal **402** weist der Konzentratkanal **412** einen Konzentratkanaleingang **422** zum Einleiten einer Einspeiselösung und einen Konzentratkanalausgang **424** zum Ausleiten eines unter Verwendung der Einspeiselösung gewonnenen Konzentrats auf. Beispielfhaft liegt der Konzentratkanaleingang **422** auf der gleichen Seite wie der Diluatkanaleingang **408** und der Konzentratkanalausgang **424** auf der gleichen Seite wie der Diluatkanalausgang **404**.

[0036] **Fig. 5** zeigt eine schematische Darstellung der Deionisierungsvorrichtung **400** aus **Fig. 4** in der Draufsicht. Zu erkennen ist die Zylinderform der beiden Kanäle **402**, **412** mit den entsprechend gekrümmt geformten Ionenaustauschermembranen **404**, **406**, **414**, **416** und Elektroden **418**, **420**. Spalten zwischen Kationen- und Anionenaustauschermembran je eines Kanals sind mit einem Dichtmaterial **500** abgedichtet.

[0037] **Fig. 6** zeigt eine schematische Darstellung der Deionisierungsvorrichtung **400** aus **Fig. 4** in der Deionierungsstellung. Gezeigt ist ein beispielhafter Ionenfluss von Ca^{2+} - und Cl^- -Ionen bei anliegender Deionisierungsspannung mit Wasser als Einspeiselösung, gekennzeichnet mit dem Buchstaben F. Das resultierende Diluat ist mit dem Buchstaben D gekennzeichnet.

[0038] **Fig. 7** zeigt eine schematische Darstellung der Deionisierungsvorrichtung **400** aus **Fig. 4** in der Regenerierungsstellung. Im Unterschied zu den **Fig. 4** bis **Fig. 6** ist der Diluatkanal **402** hier um 180° verdreht angeordnet, sodass im ersten Längsabschnitt nun die Anionenaustauschermembran **406** und die weitere Kationenaustauschermembran **414** einander gegenüberliegen, während im zweiten Längsabschnitt die Kationenaustauschermembran **404** und die weitere Anionenaustauschermembran **416** einander gegenüberliegen. Eingezeichnet ist wiederum der bei anliegender Regene-

rierungsspannung entstehende Ionenfluss von Ca^{2+} - und Cl^- -Ionen zur Regenerierung der beiden Elektroden **418**, **420**, die hier eine gegenüber der Deionierungsstellung entgegengesetzte Polung aufweisen, um eine Desorption von Ionen an den Elektroden **418**, **420** zu bewirken. Ein durch Desorption der Ionen gebildetes Konzentrat ist mit dem Buchstaben C gekennzeichnet.

[0039] Möglich sind auch andere Verdrehwinkel als 180° zum Umschalten zwischen der Deionierungs- und Regenerierungsstellung. Gemäß einem Ausführungsbeispiel sind die beiden Kanäle **402**, **412** zusätzlich oder alternativ translatorisch bewegbar, um das Umschalten zwischen der Deionierungs- und Regenerierungsstellung zu ermöglichen.

[0040] Gemäß dem in den **Fig. 4** bis **Fig. 7** gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Deionisierungsvorrichtung **400** als MCDI-Zelle in Zylinderform gefertigt. In der Mitte ist der Diluatkanal **402** in Form eines rotierenden Innenrohrs platziert, das durch eine Welle mit einem äußeren Gehäuse angeschlossen ist. Der Diluatkanal **402** umfasst beispielsweise zwei halbkreisförmige Ionenaustauschermembranen **404**, **406**, jeweils anionen- oder kationenselektiv. Optional ist der Hohlraum des Diluatkanals **402** mit Füllmaterial, beispielsweise Glasfaser, oder gemischtem Anionen- und Kationenaustauscherharz befüllt. Im letzteren Fall wird der Ionentransport quer durch den Diluatkanal **402** intensiviert.

[0041] Während der Deionierung, wie sie in **Fig. 6** gezeigt ist, wird der Diluatkanal **402** in eine Position gedreht, in der dessen Ionenaustauschermembranen je einer Ionenaustauschermembran des Konzentratkanals **412** mit gleicher Polarität gegenüberstehen. Wird der Einspeisestrom in den Diluatkanaleingang **408** eingeleitet, wandern die Ionen unter dem Einfluss des elektrischen Felds vom Diluatkanal **402**, d. h. vom Innenrohr, in einen zusammen mit dem Konzentratkanal **412** gebildeten äußeren Hohlraum, wo sie durch die Mechanismen kapazitiver Deionierung auf die Elektroden **418**, **420** selektiv adsorbiert werden. Die Ionenkonzentration im äußeren Hohlraum bleibt niedriger als die im Innenrohr, weil der Ionentransport in der Nähe der Elektroden **418**, **420** stärker ist. Hierdurch wird ein Zurückfließen der Ionen in den Diluatkanal **402** vermieden. Die niedrige Ionenkonzentration im äußeren Konzentratkanal **412** erweist sich auch hinsichtlich des Energieverbrauchs als günstig. Der entsalzte Wasserstrom fließt am Diluatkanalausgang **410** aus.

[0042] In der Regenerationsphase gemäß **Fig. 7** wird eine zur Deionierungsspannung umgekehrte Regenerierungsspannung angelegt. Gleichzeitig wird der Diluatkanal **402** um 180° umgedreht. In dieser Regenerierungsstellung stehen nun die Ionenaustauschermembranen mit entgegengesetzter Polarität

einander gegenüber. Die Ionen im Diluatkanal **402** wandern in den Konzentratkanal **412**. Gleichzeitig werden die Ionen auf den Elektroden **418, 420** desorbiert und im Konzentratkanal **412** freigesetzt. Um die Ionen zu sprühen, ist beispielsweise ein Sprüh-Einpeisestrom in den Konzentratkanal **412** injizierbar.

[0043] Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung einer Deionisierungsvorrichtung **400** gemäß einem Ausführungsbeispiel in der Regenerierungsstellung. Die Deionisierungsvorrichtung **400** entspricht im Wesentlichen der vorangehend anhand der Fig. 4 bis Fig. 7 beschriebenen Deionisierungsvorrichtung, mit dem Unterschied, dass der Diluatkanal **402** gemäß diesem Ausführungsbeispiel fixiert ist, während der Konzentratkanal **412** um den fixierten Diluatkanal **402** drehbar ist. Den beweglichen Teil stellen gemäß Fig. 8 also die mit den Ionenaustauschermembranen beschichteten Elektroden **418, 420** dar. In diesem Fall kann eine Drehung des elektrischen Felds entfallen. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Zustände im Diluatkanal **402** konstant bleiben können, da dieser fixiert ist.

[0044] Alternativ sind beide Kanäle **402, 412** beweglich angeordnet.

[0045] Fig. 9 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens **900** zum Herstellen einer Deionisierungsvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel, beispielsweise einer vorangehend anhand der Fig. 4 bis Fig. 8 beschriebenen Deionisierungsvorrichtung. In dem Verfahren **900** werden in einem ersten Schritt **910** der Diluatkanal durch Anordnen der Kationenaustauschermembran gegenüber der Anionenaustauschermembran und der Konzentratkanal durch Anordnen der mit der ersten Elektrode gekoppelten weiteren Kationenaustauschermembran gegenüber der mit der zweiten Elektrode gekoppelten weiteren Anionenaustauschermembran gebildet. Insbesondere sind die beiden Elektroden mit der zugehörigen Ionenaustauschermembran in einem geeigneten Beschichtungsverfahren beschichtet.

[0046] In einem zweiten Schritt **920** wird der Diluatkanal in den Konzentratkanal eingeführt, sodass der Diluatkanal zwischen den beiden Ionenaustauschermembranen des Konzentratkanals liegt. Der Konzentratkanal bildet dabei beispielsweise einen ringförmigen Außenkanal um den Diluatkanal. Zudem werden die beiden Kanäle relativ zueinander beweglich gelagert, sodass die Deionisierungsvorrichtung durch Bewegen zumindest eines der beiden Kanäle zwischen der Deionisierungsstellung und der Regenerierungsstellung umschaltbar ist.

[0047] Fig. 10 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens **1000** zum Betreiben einer Deionisierungsvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel. Das Verfahren **1000** umfasst einen Schritt **1010** des Deio-

nisierens, in dem die in den Diluatkanal eingeleitete Flüssigkeit durch Einstellen der Deionisierungsstellung und Anlegen der Deionisierungsspannung deionisiert wird. In einem Schritt **1020** des Regenerierens erfolgt durch Einstellen der Regenerierungsstellung und Anlegen der Regenerierungsspannung eine Regenerierung der Elektroden der Deionisierungsvorrichtung.

[0048] Die beiden Schritte **1010, 1020** werden beispielsweise während eines kontinuierlichen Betriebs der Deionisierungsvorrichtung in definierten Intervallen alternierend ausgeführt.

[0049] Fig. 11 zeigt eine schematische Darstellung eines Steuergeräts **1100** gemäß einem Ausführungsbeispiel. Das Steuergerät **1100** ist beispielsweise ausgebildet, um das vorangehend anhand von Fig. 10 beschriebene Verfahren zum Betreiben einer Deionisierungsvorrichtung auszuführen. Dazu umfasst das Steuergerät **1100** eine Ansteuereinheit **1110** zum Ansteuern eines Aktors zum Bewegen der Kanäle der Deionisierungsvorrichtung. Die Ansteuereinheit **1100** ist ausgebildet, um ein erstes Ansteuersignal **1111** zum Bewegen der Kanäle in die Deionisierungsstellung und ein zweites Ansteuersignal **1112** zum Bewegen der Kanäle in die Regenerierungsstellung mittels des Aktors auszugeben. Eine Spannungseinheit **1120** ist ausgebildet, um ansprechend auf das Einstellen der Deionisierungsstellung ein erstes Spannungssignal **1121** zum Beaufschlagen der Elektroden mit der Deionisierungsspannung und ansprechend auf das Einstellen der Regenerierungsstellung ein zweites Spannungssignal **1122** zum Beaufschlagen der Elektroden mit der Regenerierungsspannung auszugeben.

[0050] Umfasst ein Ausführungsbeispiel eine „und/oder“-Verknüpfung zwischen einem ersten Merkmal und einem zweiten Merkmal, so ist dies so zu lesen, dass das Ausführungsbeispiel gemäß einer Ausführungsform sowohl das erste Merkmal als auch das zweite Merkmal und gemäß einer weiteren Ausführungsform entweder nur das erste Merkmal oder nur das zweite Merkmal aufweist.

Patentansprüche

1. Deionisierungsvorrichtung (400) zum Deionisieren von Flüssigkeiten, wobei die Deionisierungsvorrichtung (400) folgende Merkmale aufweist: zumindest einen Diluatkanal (402) zum Führen eines Diluats (D), wobei der Diluatkanal (402) durch zumindest eine Kationenaustauschermembran (404) und zumindest eine der Kationenaustauschermembran (404) gegenüberliegend angeordnete Anionenaustauschermembran (406) gebildet ist; und zumindest einen Konzentratkanal (412) zum Führen eines Konzentrats (C), wobei der Konzentratkanal (412) durch zumindest eine weitere Katio-

nen austauschermembran (414) und zumindest eine der weiteren Kationenaustauschermembran (414) gegenüberliegend angeordnete weitere Anionenaustauschermembran (416) gebildet ist, wobei die weitere Kationenaustauschermembran (414) mit einer ersten Elektrode (418) gekoppelt ist und die weitere Anionenaustauschermembran (416) mit einer zweiten Elektrode (420) gekoppelt ist, um eine elektrische Spannung anlegen zu können, wobei der Diluatkanal (402) zwischen der weiteren Kationenaustauschermembran (414) und der weiteren Anionenaustauschermembran (416) verläuft und der Diluatkanal (402) und der Konzentratkanal (412) zwischen einer Deionisierungsstellung und einer Regenerierungsstellung relativ zueinander beweglich sind.

2. Deionisierungsvorrichtung (400) gemäß Anspruch 1, bei der in der Deionisierungsstellung die Kationenaustauschermembran (404) der weiteren Kationenaustauschermembran (414) gegenüberliegt, während die Anionenaustauschermembran (406) der weiteren Anionenaustauschermembran (416) gegenüberliegt, um bei Anlegen einer Deionisierungsspannung einen Ionenfluss vom Diluatkanal (402) in den Konzentratkanal (412) zu bewirken, und in der Regenerierungsstellung die Kationenaustauschermembran (404) der weiteren Anionenaustauschermembran (416) gegenüberliegt, während die Anionenaustauschermembran (406) der weiteren Kationenaustauschermembran (414) gegenüberliegt, um bei Anlegen einer Regenerierungsspannung eine Desorption von Ionen an der ersten Elektrode (418) und der zweiten Elektrode (420) zu bewirken.

3. Deionisierungsvorrichtung (400) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, bei der der Diluatkanal (402) und der Konzentratkanal (412) zwischen der Deionisierungsstellung und der Regenerierungsstellung relativ zueinander verdrehbar sind.

4. Deionisierungsvorrichtung (400) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, bei der der Diluatkanal (402) fixiert ist.

5. Deionisierungsvorrichtung (400) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, bei der der Diluatkanal (402) und der Konzentratkanal (412) zueinander konzentrisch sind.

6. Deionisierungsvorrichtung (400) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, bei der die weitere Kationenaustauschermembran (414) auf die erste Elektrode (418) aufgebracht ist und/oder die weitere Anionenaustauschermembran (416) auf die zweite Elektrode (420) aufgebracht ist.

7. Deionisierungsvorrichtung (400) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, bei der der Diluatkanal (402) und/oder der Konzentratkanal (412) einen kreisrunden Querschnitt aufweist und/oder

die Kationenaustauschermembran (404) und/oder die Anionenaustauschermembran (406) und/oder die weitere Kationenaustauschermembran (414) und/oder die weitere Anionenaustauschermembran (416) und/oder die erste Elektrode (418) und/oder die zweite Elektrode (420) einen kreisbogenförmigen Querschnitt aufweist.

8. Deionisierungsvorrichtung (400) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, bei der der Diluatkanal (402) einen Diluatkanaleingang (408) und einen Diluatkanalausgang (410) aufweist, wobei die Kationenaustauschermembran (404) und die Anionenaustauschermembran (406) zwischen dem Diluatkanaleingang (408) und dem Diluatkanalausgang (410) angeordnet sind, und der Konzentratkanal (412) einen Konzentratkanaleingang (422) und einen Konzentratkanalausgang (424) aufweist, wobei die weitere Kationenaustauschermembran (414) und die weitere Anionenaustauschermembran (416) zwischen dem Konzentratkanaleingang (422) und dem Konzentratkanalausgang (424) angeordnet sind, wobei der Diluatkanaleingang (408) und der Konzentratkanaleingang (422) an einer ersten Seite der Deionisierungsvorrichtung (400) angeordnet sind und der Diluatkanalausgang (410) und der Konzentratkanalausgang (424) an einer der ersten Seite gegenüberliegenden zweiten Seite der Deionisierungsvorrichtung (400) angeordnet sind.

9. Verfahren (900) zum Herstellen einer Deionisierungsvorrichtung (400) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das Verfahren (900) folgende Schritte umfasst:

Bilden (910) des Diluatkanals (402) durch Anordnen der Kationenaustauschermembran (404) gegenüber der Anionenaustauschermembran (406) sowie des Konzentratkanals (412) durch Anordnen der mit der ersten Elektrode (418) gekoppelten weiteren Kationenaustauschermembran (414) gegenüber der mit der zweiten Elektrode (420) gekoppelten weiteren Anionenaustauschermembran (416); und Anordnen (920) des Diluatkanals (402) zwischen der weiteren Kationenaustauschermembran (414) und der weiteren Anionenaustauschermembran (416), sodass der Diluatkanal (402) und der Konzentratkanal (412) zwischen der Deionisierungsstellung und der Regenerierungsstellung relativ zueinander beweglich sind.

10. Verfahren (1000) zum Betreiben einer Deionisierungsvorrichtung (400) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Verfahren (1000) folgende Schritte umfasst:

Deionisieren (1010) einer in den Diluatkanal (402) eingeleiteten Flüssigkeit durch Einstellen der Deionisierungsstellung und Anlegen der Deionisierungsspannung; und Regenerieren (1020) der ersten Elektrode (418) und der zweiten Elektrode (420) durch Einstellen der Re-

generierungsstellung und Anlegen der Regenerierungsspannung.

11. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 10, bei dem im Schritt des Regenierens (1020) eine Spannung mit einer zur Deionisierungsspannung entgegengesetzten Polarität als die Regenerierungsspannung angelegt wird.

12. Steuergerät (1100) mit Einheiten (1110, 1120), die ausgebildet sind, um das Verfahren (1000) gemäß Anspruch 10 oder 11 auszuführen und/oder anzusteuern.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

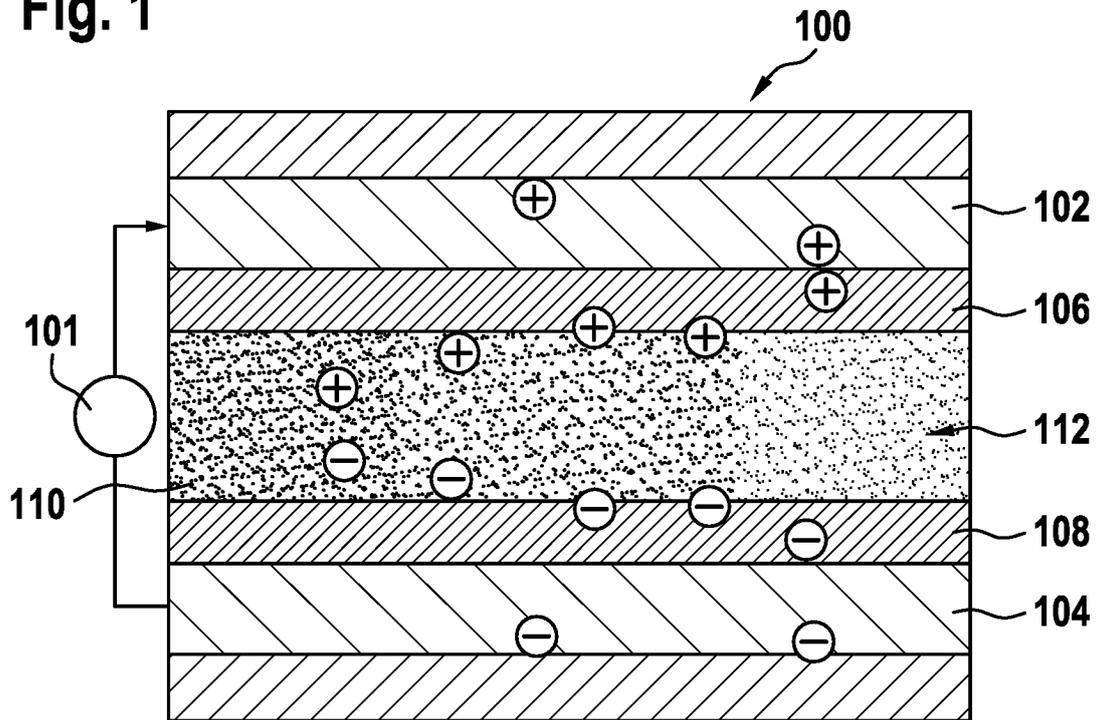


Fig. 2

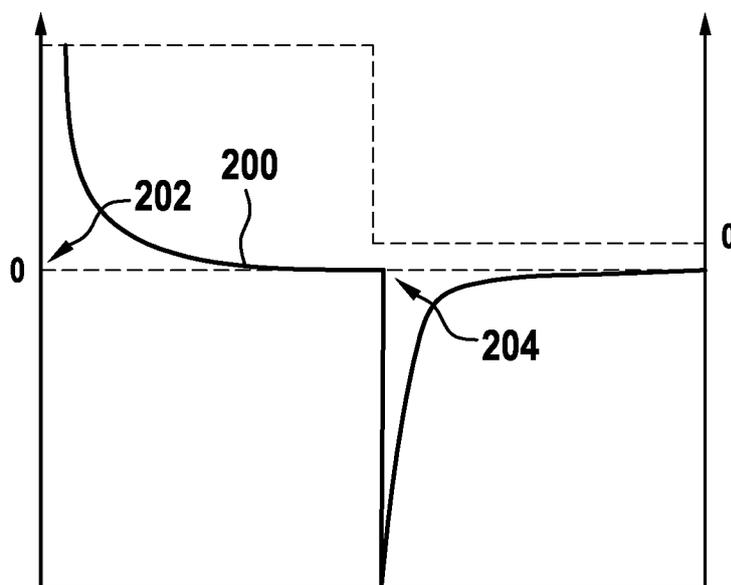


Fig. 5

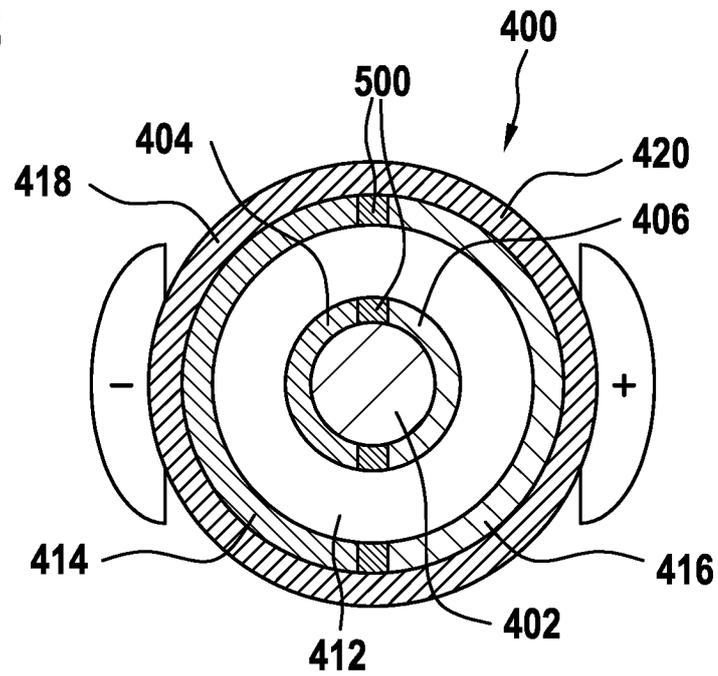


Fig. 6

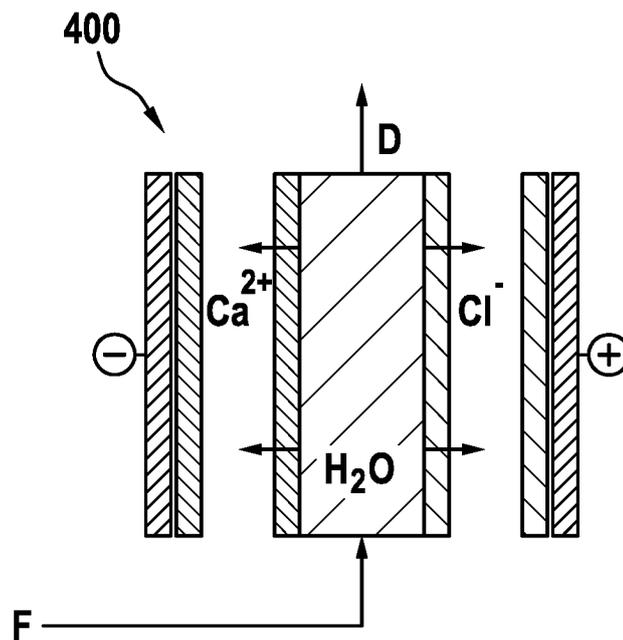


Fig. 7

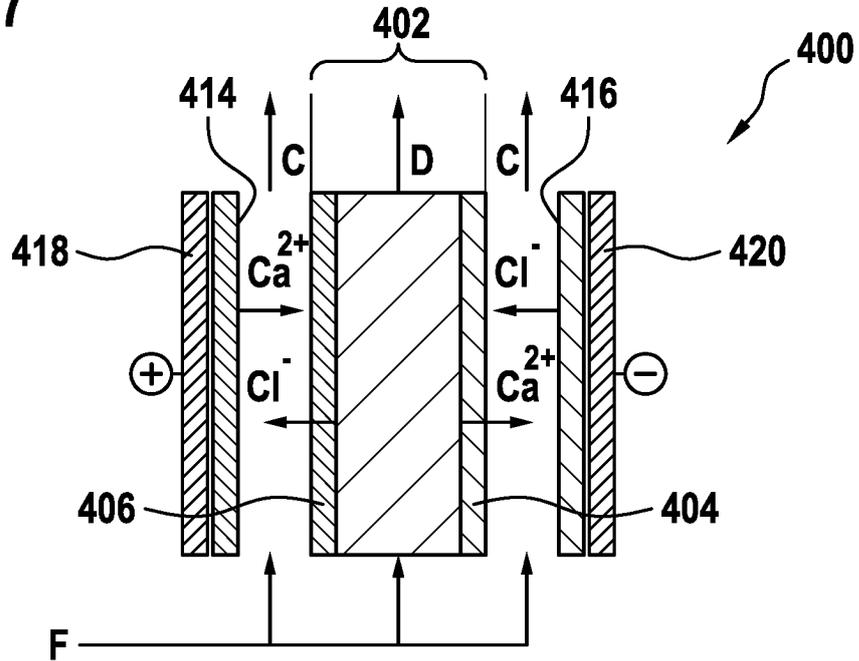


Fig. 8

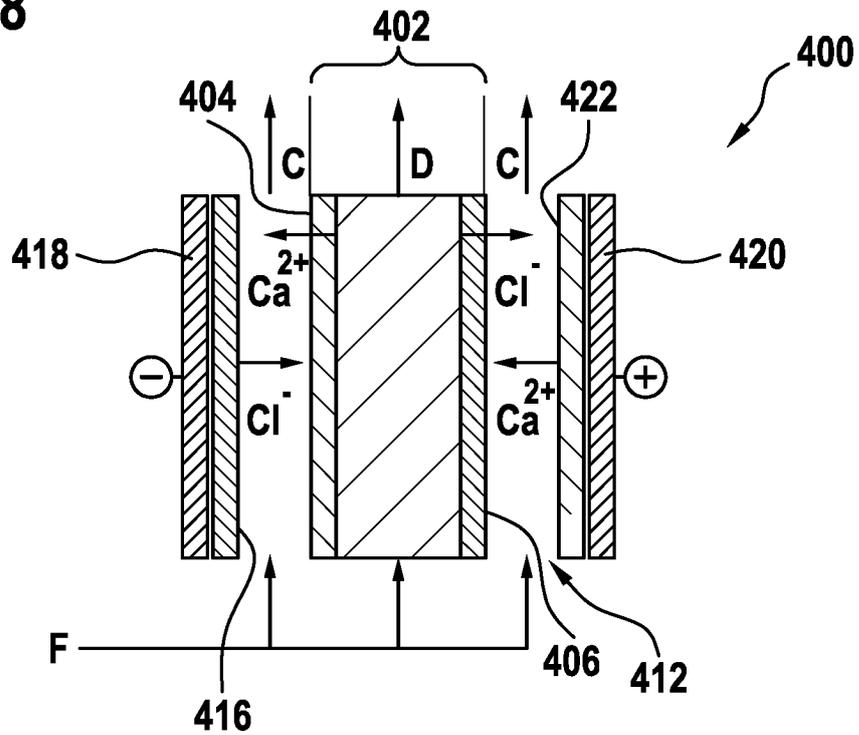


Fig. 9

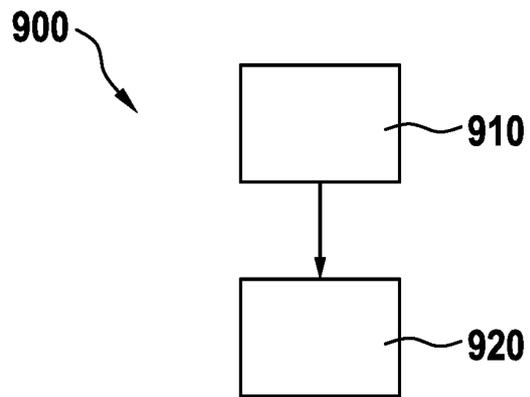


Fig. 10

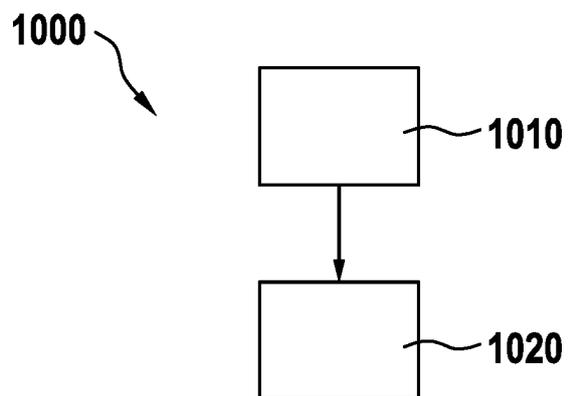


Fig. 11

