

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50642/2022
(22) Anmeldetag: 19.08.2022
(43) Veröffentlicht am: 15.09.2023

(51) Int. Cl.: **C25B 1/04** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2021099986 A1
DE 102019129071 A1
EP 3831986 A1
WO 2021043578 A1
WO 2021239674 A1
WO 2011004343 A1
US 2015349368 A1
CA 2914112 C

(71) Patentanmelder:
H2i GreenHydrogen GmbH
4702 Wallern an der Trattnach (AT)

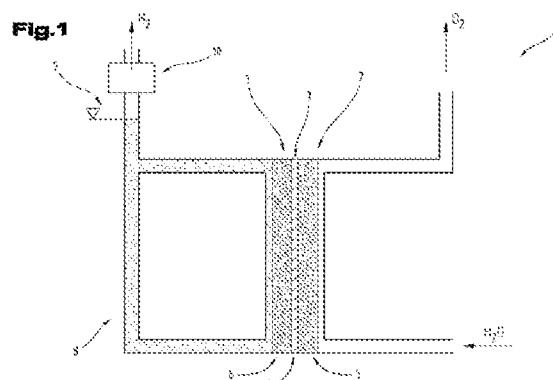
(72) Erfinder:
Grabner Bianca Dipl.-Ing. Dr.techn.
8271 Bad Waltersdorf (AT)
Macherhammer Marie-Gabrielle Dipl.-Ing.
Dr.techn.
8020 Graz (AT)
Ranz Matthias Dipl.-Ing.
8081 Heiligenkreuz am Waasen (AT)
Richter Michael Dipl.-Ing.
8010 Graz (AT)
Trattner Alexander Dipl.-Ing. Dr.techn.
8044 Graz (AT)
Cermenek Bernd Dipl.-Ing. Dr. BSc
8041 Graz (AT)
Schneider Philipp Dipl.-Ing.
8010 Graz (AT)
Neubacher Dietmar Dipl.-Ing. Dr.techn.
8044 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Anwälte Burger und Partner Rechtsanwalt
GmbH
4580 Windischgarsten (AT)

(54) **Elektrolysevorrichtung mit Naturumlauf**

(57) Die Erfindung betrifft eine Elektrolysevorrichtung (1) zur Herstellung von Wasserstoff durch elektrochemische Reaktion aus einer wässrigen, alkalischen Lösung, wobei die Elektrolysevorrichtung (1) eine anodische Halbzelle (2) und eine kathodische Halbzelle (3) umfasst. Die anodische Halbzelle (2) und die kathodische Halbzelle (3) sind mittels einer Membran (4) getrennt und die kathodische Halbzelle (3) ist von der alkalischen Lösung durchflutbar. Die anodische Halbzelle (2) umfasst eine anodische Elektrode (5) und die kathodische Halbzelle (3) umfasst eine kathodische Elektrode (6), wobei die anodische Elektrode (5), die kathodische Elektrode (6) und die Membran (4) eine Membran-Elektroden-Einheit (7) bilden. Weiters ist eine initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1)

ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheit (7) und/oder durch elektrochemische Reaktion der alkalischen Lösung in der Membran-Elektroden-Einheit (7) veränderbar.



Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Erfindung betrifft eine Elektrolysevorrichtung (1) zur Herstellung von Wasserstoff durch elektrochemische Reaktion aus einer wässrigen, alkalischen Lösung, wobei die Elektrolysevorrichtung (1) eine anodische Halbzelle (2) und eine kathodische Halbzelle (3) umfasst. Die anodische Halbzelle (2) und die kathodische Halbzelle (3) sind mittels einer Membran (4) getrennt und die kathodische Halbzelle (3) ist von der alkalischen Lösung durchflutbar. Die anodische Halbzelle (2) umfasst eine anodische Elektrode (5) und die kathodische Halbzelle (3) umfasst eine kathodische Elektrode (6), wobei die anodische Elektrode (5), die kathodische Elektrode (6) und die Membran (4) eine Membran-Elektroden-Einheit (7) bilden. Weiters ist eine initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheit (7) und/oder durch elektrochemische Reaktion der alkalischen Lösung in der Membran-Elektroden-Einheit (7) veränderbar.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft eine Elektrolysevorrichtung zur Herstellung von Wasserstoff durch elektrochemische Reaktion aus einer wässrigen, alkalischen Lösung.

Die EP3831986A1 beschreibt eine Gaserzeugungsvorrichtung, umfassend ein Elektrolysegefäß, umfassend eine Anodenkammer, eine Kathodenkammer und eine ionendurchlässige Trennmembran, die die Anodenkammer und die Kathodenkammer trennt, wobei die Anodenkammer eine Anode aufnimmt, und Sauerstoffgas erzeugt, die Kathodenkammer eine Kathode aufnimmt und Wasserstoffgas erzeugt. Die Gaserzeugungsvorrichtung umfassend weiters ein erstes Elektrolytzirkulationssystem, ein zweites Elektrolytzirkulationssystem und ein Elektrolyttauscher. Das erste Elektrolytzirkulationssystem umfasst einen ersten Umwältz-tank, der einen aus der Anodenkammer ausströmenden ersten Elektrolyten aufnimmt und speichert und eine erste Umwältzpumpe, die den in dem ersten Umwältztank gespeicherten ersten Elektrolyten der Anodenkammer zuführt. Das zweite Elektrolytzirkulationssystem umfasst einen zweiten Umwältztank, der einen aus der Kathodenkammer ausströmenden zweiten Elektrolyten aufnimmt und speichert; und eine zweite Umwältzpumpe, die den in dem zweiten Umwältztank gespeicherten zweiten Elektrolyten der Kathodenkammer zuführt. Der Elektrolyt-austauscher überführt einerseits einen Teil des im ersten Elektrolytkreislauf vorhandenen ersten Elektrolyten in den zweiten Elektrolytkreislauf und überführt andererseits einen Teil des im zweiten Elektrolytkreislauf vorhandenen zweiten Elektrolyten in den ersten Elektrolytkreislauf.

Weiters beschreibt die WO2011004343A1 eine Vorrichtung zur elektrolytischen Herstellung von Wasserstoff aus einer alkalischen, wässrigen Lösung, ausgehend von der trockenen Kathode, wobei die Vorrichtung Folgendes umfasst:

- zwei Halbzellen, eine anodische und eine kathodische, die durch eine Anionenaustauschermembran getrennt sind, deren mit der kathodischen Halbzelle in Kontakt stehende Oberfläche eine Membran-Elektroden-Einheit MEA ist, und
- wobei die alkalische Lösung nur in der anodischen Halbzelle vorhanden ist.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es, die Nachteile des Standes der Technik zu überwinden und eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, mittels welcher insbesondere vorteilhafte Effekte im Hinblick auf die Betriebssicherheit und die Effektivität der Vorrichtung erzielt werden.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung und ein Verfahren gemäß den Ansprüchen gelöst.

Im Unterschied zur Gaserzeugungsvorrichtung, die aus der EP3831986A1 bekannt geworden ist, kann die erfindungsgemäße Elektrolysevorrichtung ohne aktive Mittel zur Strömungserzeugung bzw. Umwälzung betrieben werden. Dies hat mehrere Vorteile und insbesondere überraschende Effekte, die in folgender Beschreibungseinleitung näher erläutert werden.

Konträr zur Vorrichtung der WO2011004343A1 wird die erfindungsgemäße Elektrolysevorrichtung derart betrieben, dass im Betrieb der Elektrolysevorrichtung sowohl in der anodischen Halbzelle als auch in der kathodischen Halbzelle der Vorrichtung ein Elektrolyt vorhanden ist. Dies hat wiederum mehrere Vorteile, die im Folgenden beschrieben werden.

Die erfindungsgemäße Elektrolysevorrichtung zur Herstellung von Wasserstoff durch elektrochemische Reaktion aus einer wässrigen, alkalischen Lösung, umfasst eine anodische Halbzelle und eine kathodische Halbzelle. Die anodische Halbzelle und die kathodische Halbzelle sind mittels einer Membran getrennt und die kathodische Halbzelle ist von der alkalischen Lösung durchflutbar. Die anodische Halbzelle umfasst eine anodische Elektrode und die kathodische Halbzelle umfasst eine kathodische Elektrode, wobei die anodische Elektrode, die kathodische Elektrode und die Membran eine Membran-Elektroden-Einheit bilden. Eine

initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle ist im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheit und/oder durch elektrochemische Reaktion der alkalischen Lösung in der Membran-Elektroden-Einheit veränderbar.

In der anodischen Halbzelle kann, wie auch in der kathodischen Halbzelle eine alkalische Lösung für den Prozess der Elektrolyse verwendet werden. Es ist jedoch denkbar, dass auch Reinstwasser in der anodischen Halbzelle verwendet werden kann, insbesondere mit einer entsprechend adaptierten Membran bzw. einer adaptierten Membran-Elektroden-Einheit.

Unter einer Membran ist in vorliegender Beschreibung eine trennende, aber doch elektrolytisch leitende Scheidewand in der Elektrolysevorrichtung, welche Elektrolysevorrichtung im Wesentlichen eine elektrochemische Zelle ist, zu verstehen. Synonym zur Membran kann im weitesten Sinne in der Elektrochemie beispielsweise das Diaphragma gesehen werden. Die Trennung der Halbzellen durch die Membran erlaubt den Betrieb mit jeweils unterschiedlichen Konzentrationen der alkalischen Lösung oder mit jeweils unterschiedlichen Flüssigkeiten bzw. Elektrolyten in den Halbzellen.

Unter Diffusionsvorgängen sind all jene Transportvorgänge durch die Membran bzw. durch die Membran-Elektroden-Einheit zu verstehen, welche Gasdiffusion, Wassertransportmechanismen, Gaspermeation oder die Diffusion anderer Edukte oder Produkte der elektrochemischen Reaktion der Elektrolysevorrichtung umfassen.

In diesem Sinne wird die Membran bzw. die Membran-Elektroden-Einheit nicht als aktives Mittel zur Strömungserzeugung gesehen. Auch der Eintrag von elektrischer Energie an den Elektroden und das Ausgasen bzw. das Herstellen von Produkten der elektrochemischen Reaktion und die durch die Produkte induzierte Strömung in den Halbzellen werden nicht als aktive Mittel zur Strömungserzeugung gesehen.

Durch den Prozess der Elektrolyse entsteht an der Membran-Elektroden-Einheit ein Stofftransport durch die Membran auf Grund von Diffusionsvorgängen, welcher Stofftransport sich als passiver Effekt der elektrochemischen Reaktion bzw. der sich zwischen anodischer Halbzelle und kathodischen Halbzelle einstellenden Konzentrationsdifferenz der jeweiligen Lösungen oder Flüssigkeiten bzw. Elektrolyten in den Halbzellen und einem daraus resultierenden osmotischen Druck ergibt.

Unter Normalbetrieb ist ein Betriebszustand zu verstehen, bei welchem kontinuierlich ein Produkt wie beispielsweise molekularer Wasserstoff mittels elektrochemischer Reaktion hergestellt wird. Somit sind Betriebszustände wie beispielsweise Wartung, Spülung und dergleichen nicht als Normalbetrieb zu verstehen.

Die Elektrolysevorrichtung kann einen Kathoden-Zulauf und einen Kathoden-Abfluss umfassen, wobei der Kathoden-Zulauf und der Kathoden-Abfluss mit der kathodischen Halbzelle fluidisch koppelbar sind. Der Kathoden-Zulauf und der Kathoden-Abfluss können ebenfalls fluidisch koppelbar sein.

Der Kathodenkreislauf der Elektrolysevorrichtung kann initial mit einem alkalischen Elektrolyten bzw. einer wässrigen, alkalischen Lösung gefüllt werden und dadurch wird die kathodische Halbzelle geflutet. In der anodischen Halbzelle kann die gleiche alkalische Lösung oder einer alkalischen Lösung mit gleich hoher, höherer oder geringerer Stoffmengenkonzentration oder Reinstwasser gefüllt sein.

Im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung kann kathodenseitig Wasser in Wasserstoff und OH-Ionen aufgespalten werden und die OH-Ionen können durch die Membran in die anodische Halbzelle transportiert werden. Dadurch wird im laufenden Normalbetrieb kathodenseitig die Stoffmengenkonzentration der alkalischen Lösung erhöht und es entsteht ein chemischer Gradient zwischen dem anodenseitigen Elektrolyten und dem kathodenseitigen Elektrolyten.

Der Transport der OH-Ionen kann mittels H_2O -Trägermolekülen von der kathodischen Halbzelle zur anodischen Halbzelle gewährleistet sein. Durch Osmose bzw. das Trachten nach einem Konzentrationsausgleich des Systems, da die initiale

Füllmenge an Elektrolyten in der kathodischen Halbzelle im Normalbetrieb nicht durch aktive Mittel verändert wird, wird im Normalbetrieb Reinstwasser bzw. werden Wassermoleküle von der anodischen Halbzelle zur kathodischen Halbzelle durch die Membran transportiert. Somit kann Reinstwasser bzw. können Wassermoleküle als Edukt für die Herstellung von molekularem Wasserstoff in der kathodischen Halbzelle ausschließlich über Diffusionsvorgänge durch die Membran bereitgestellt werden. In weiterer Folge wird im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung das für die Herstellung von Wasserstoff notwendige Reinstwasser ausschließlich der anodischen Halbzelle zugeführt.

Vorteilhaft ist bei der erfindungsgemäßen Elektrolysevorrichtung, dass in der kathodischen Halbzelle im Normalbetrieb eine gegenüber der anodischen Halbzelle erhöhte Stoffmengenkonzentration des Elektrolyten vorliegt, wodurch die Leitfähigkeit des Elektrolyten in der kathodischen Halbzelle und damit der Wirkungsgrad der Elektrolysevorrichtung verbessert sind. Des Weiteren reguliert sich die Elektrolysevorrichtung bei einer Veränderung der beaufschlagten Leistung an den Elektroden selbständig durch einen Angleich der Stoffmengenkonzentrationsdifferenz zwischen dem anodenseitigen Elektrolyten und dem kathodenseitigen Elektrolyten, was in weiterer Folge einen sich selbständig regulierenden Bedarf an Reinstwasser in der kathodischen Halbzelle bewirkt. Damit kann die Zufuhr von Reinstwasser in die kathodische Halbzelle auf einfache und robuste Weise gesteuert bzw. geregelt werden.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Elektrolysevorrichtung ist, dass mittels der vollständigen Füllung der kathodischen Halbzellen mit der alkalischen Lösung im Normalbetrieb eine natürliche Flamm Sperre für den erzeugten Wasserstoff bei einer Wasserstoff-Elektrolyse vorhanden ist. Weiters ist von Vorteil, dass die Membran im Normalbetrieb zu jedem Zeitpunkt vollständig mit der alkalischen Lösung benetzt ist, sodass die Membran nicht der Gefährdung einer Austrocknung oder lokalen Überlastung durch Überhitzung ausgesetzt ist und somit die Lebensdauer der eingesetzten Membran verbessert ist.

Des Weiteren kann es zweckmäßig sein, wenn die Membran als eine Anionenaustauschermembran ausgebildet ist.

Ferner kann vorgesehen sein, dass die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle und in einem, mit der kathodischen Halbzelle fluidisch gekoppelten Fluidkanal und/oder Fluidtank aufnehmbar ist, wodurch ein Aufnahmevolumen definiert ist, wobei für die alkalische Lösung im Aufnahmevolumen im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung keine erzwungene Umwälzung, keinen erzwungenen Kreislauf und/oder keine erzwungene Bewegung, bis auf die, sich durch die elektrochemische Reaktion selbst einstellende Bewegung, erfahrbar ist.

Neben den bereits zuvor erwähnten Vorteilen ist dadurch die Effektivität bzw. der Gesamtwirkungsgrad der Elektrolysevorrichtung verbessert, da keine zusätzliche Energie bereitgestellt werden muss. Es ist beispielhaft denkbar, dass der Kathoden-Zulauf und der Kathoden-Ablauf mittels dem Fluidkanal fluidisch koppelbar sind. Durch das Herstellen von Wasserstoff bei der Wasserstoff-Elektrolyse kann so bei entsprechender Positionierung der Elektrolysevorrichtung ohne aktive Mittel dennoch ein Kreislauf der alkalischen Lösung durch die kathodische Halbzelle entstehen. Dadurch wird insbesondere die thermische Belastung an der Membran verringert und gleichzeitig der Wirkungsgrad der Elektrolysevorrichtung verbessert. Es kann sich ein Naturumlauf während dem Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung einstellen.

Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass keine, im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung aktiven Mittel zum Umwälzen und/oder zum Pumpen der kathoden-seitigen alkalischen Lösung vorgesehen sind. Neben den bereits erwähnten Vorteilen ist dadurch die Effektivität der Elektrolysevorrichtung im Normalbetrieb verbessert. Auch ist dadurch die Sicherheit der Elektrolysevorrichtung im Normalbetrieb verbessert, da diese auf keine aktiven Mittel angewiesen ist und auch mögliche Fehlerquellen bzw. Fehlfunktionen minimiert werden.

Vorteilhaft ist auch eine Ausprägung, gemäß welcher vorgesehen sein kann, dass das Aufnahmevolumen pumpenlos ausgebildet ist. Wiederum werden dadurch Fehlerquellen minimiert und die Effektivität der Elektrolysevorrichtung ist verbessert.

Gemäß einer Weiterbildung ist es möglich, dass die initiale Füllmenge der alkalischen Lösung in der kathodischen Halbzelle derart bemessen ist, dass die kathodische Halbzelle im Betrieb der Elektrolysevorrichtung zu jedem Zeitpunkt vollständig mit der alkalischen Lösung geflutet ist.

Vorteilhaft ist dabei, dass mittels der vollständigen Füllung der kathodischen Halbzellen mit der alkalischen Lösung im Normalbetrieb eine natürliche Flamm Sperre für den erzeugten Wasserstoff bei einer Wasserstoff-Elektrolyse vorhanden ist. Weiters ist von Vorteil, dass die Membran im Normalbetrieb zu jedem Zeitpunkt vollständig mit der alkalischen Lösung benetzt ist, sodass die Membran nicht vom Austrocknen gefährdet ist und somit lokalen Überlastungen durch Überhitzung ausgesetzt ist und somit die Lebensdauer der eingesetzten Membran verbessert ist.

Ferner kann es zweckmäßig sein, wenn das Aufnahmevervolumen derart ausgebildet ist, dass die kathodische Halbzelle der Elektrolysevorrichtung im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung jederzeit vollständig mit alkalischer Lösung geflutet ist, wobei eine Abscheidevorrichtung mit dem Aufnahmevervolumen fluidisch koppelbar ist, sodass das Austragen der alkalischen Lösung aus dem Aufnahmevervolumen beim Abtransport bzw. Abscheiden von Produktgas aus dem Aufnahmevervolumen verhinderbar ist.

Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, dass die alkalische Lösung im dafür vorgesehenen Aufnahmevervolumen verbleibt, wobei gleichzeitig das Produkt der elektrochemischen Reaktion mittels der Abscheidevorrichtung aus der kathodischen Halbzelle entfernbar ist. Vorteilhaft ist auch, dass dadurch ein Druckbetrieb der Elektrolysevorrichtung auf einfache Weise ermöglicht wird, sofern die Abscheidevorrichtung den Gegendruck zum Aufnahmevervolumen bereitstellt. Da das Aufnahmevervolumen zumindest eine bestimmte Mindestmenge an alkalischer Flüssigkeit im Normalbetrieb aufnimmt, sodass die Membran ständig damit benetzt ist, ist der Anteil an Gas im Verhältnis zur alkalischen Flüssigkeit im Aufnahmevervolumen gering, wodurch der Druckbetrieb der Elektrolysevorrichtung eine verbesserte Sicherheit aufweist.

Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass in einem eingeschwungenen und stationären Betriebszustand der Elektrolysevorrichtung die Zufuhr von Edukten für die elektrochemische Reaktion in der kathodischen Halbzelle ausschließlich durch Diffusionsvorgänge der Edukte durch die Membran-Elektroden-Einheit bereitstellbar ist.

Somit ist die konstruktive Ausgestaltung der Elektrolysevorrichtung vereinfacht, da Frischwasser bzw. Reinstwasser im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung ausschließlich über die anodische Halbzelle zugeführt werden muss. Dadurch kann die Elektrolysevorrichtung weiters wirtschaftlicher hergestellt werden, insbesondere wenn diese für den kathodenseitigen Druckbetrieb vorgesehen ist, da weniger Bauteile bzw. drucksichere Komponenten notwendig sind.

Des Weiteren kann vorgesehen sein, dass die kathodische Elektrode und/oder eine kathodenseitige Oberfläche der Membran hydrophil ausgebildet ist bzw. sind. Dadurch werden die bereits beschriebenen Diffusionsvorgänge bzw. der gesamte Ablauf der elektrochemischen Reaktion in der Elektrolysevorrichtung begünstigt, was die Effektivität und in weiterer Folge damit die Wirtschaftlichkeit der Elektrolysevorrichtung erhöht.

Gemäß einer besonderen Ausprägung ist es möglich, dass die anodische Elektrode und/oder die kathodische Elektrode durch Aufbringen von katalytisch aktiven Materialien auf die Membran und/oder durch Aufbringen von katalytisch aktiven Materialien auf mit der Membran kontaktierten porösen Trägerstrukturen ausgebildet ist bzw. sind.

Insbesondere durch die Verwendung eines porösen Trägermaterials wie beispielsweise einem Metallschaum oder Ähnlichem werden die Diffusions- bzw. Transportvorgänge der Edukte und Produkte der elektrochemischen Reaktion in der Elektrolysevorrichtung verbessert.

Entsprechend einer vorteilhaften Weiterbildung kann vorgesehen sein, dass die anodische Elektrode und/oder die kathodische Elektrode edelmetallfrei ist.

Dies bringt den wirtschaftlichen Vorteil mit sich, dass günstigere Materialien als Metalle auf Edelmetallbasis verwendet werden können.

Insbesondere kann es vorteilhaft sein, wenn in der anodischen Halbzelle Reinstwasser oder eine Lauge mit einer ersten Stoffmengenkonzentration im Bereich zwischen 0.1 mol/l und 2 mol/l bzw. insbesondere zwischen 0.5 mol/l und 1 mol/l aufnehmbar ist.

Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass die Lauge eine Kalilauge oder eine Natronlauge ist. Weiters ist es auch denkbar, dass (Bi-) Carbonat-haltige Lösungen verwendet werden.

Ferner kann vorgesehen sein, dass die alkalische Flüssigkeit für die initiale Füllmenge in der kathodischen Halbzelle eine Lauge mit einer zweiten Stoffmengenkonzentration ist, wobei die erste Stoffmengenkonzentration gleich hoch wie oder höher als die zweite Stoffmengenkonzentration ist.

Dadurch wirkt auch in einem Bereitschaftsbetrieb ohne angelegte Spannung an den Elektroden ein osmotischer Druck zwischen den Halbzellen. Somit kann die Elektrolysevorrichtung länger und standfest druckbehaftet betrieben werden und im Bereitschaftsbetrieb bzw. beim Abschalten der Elektrolysevorrichtung wird das Diffundieren des Produktes wie beispielsweise dem molekularen Wasserstoff zumindest teilweise unterbunden bzw. einfacher unterbindbar.

Vorteilhaft ist auch eine Ausprägung, gemäß welcher vorgesehen sein kann, dass von der Membran-Elektroden-Einheit ein Differenzdruck zwischen anodischer Halbzelle und kathodischer Halbzelle aufnehmbar ist, wobei der Differenzdruck im

Bereich zwischen 0 bar und 100 bar, bzw. insbesondere zwischen 5 bar und 30 bar liegt.

Vorteilhaft ist dabei, dass ein bestimmungsgemäßer Druck des Produktes der Elektrolyse nicht mit einem weiteren Mittel erzeugt werden muss, da die Elektrolysevorrichtung bereits druckbehaftet betrieben wird. Dies ist in Bezug auf den Gesamtwirkungsgrad der Elektrolysevorrichtung beim Einbinden in einer Erzeugungsanlage für beispielsweise Wasserstoff vorteilhaft. Im Zusammenwirken mit der erfindungsgemäßen Elektrolysevorrichtung, bei welcher die Halbzellen vollständig mit Elektrolyt geflutet sind, ist dies von Vorteil, da das Gasvolumen in den Halbzellen besonders gering ist und somit die Elektrolysevorrichtung reaktionsschnell und dynamisch betrieben werden kann.

Erfindungsgemäß wird ein Elektrolyse-Zellstapel beansprucht, welcher Elektrolyse-Zellstapel mehrere aneinandergereihte anodische Halbzellen, kathodische Halbzellen und Membran-Elektroden-Einheiten entsprechend der, im Sinne der elektrochemischen Reaktion funktionellen Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Elektrolysevorrichtung umfasst. Die kathodischen Halbzellen sind mittels zumindest einem Strömungskanal fluidisch koppelbar, wobei die kathodischen Halbzellen und der zumindest eine Strömungskanal ein Kathodenvolumen ausbilden, wobei im Betrieb des Elektrolyse-Zellstapels eine initiale Füllmenge an alkalischer Lösung im Kathodenvolumen ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheiten und/oder durch elektrochemische Reaktion von Edukten bzw. der alkalischen Lösung in den Membran-Elektroden-Einheiten veränderbar ist.

Vorteilhaft ist dabei, dass das Kathodenvolumen als Zusammenschluss aller kathodischen Halbzellen des Elektrolyse-Zellstapels zur Aufnahme der alkalischen Lösung bereitstellbar ist. Dadurch werden insbesondere bei einer hohen Leistung der einzelnen Elektrolysevorrichtungen transiente Effekte beim Hochfahren derselben in den Normalbetrieb gedämpft. Dies erhöht die Sicherheit beim Prozess der Elektrolyse.

Erfindungsgemäß wird eine Elektrolyse-Anlage beansprucht, welche Elektrolyse-Anlage mehrere erfindungsgemäße Elektrolyse-Zellstapel umfasst. Die Elektrolyse-Anlage umfasst zumindest eine Verbindungsleitung, wobei die Kathodenvolumina der Elektrolyse-Zellstapel mittels der Verbindungsleitung fluidisch koppelbar sind, wobei die Elektrolyse-Anlage eine Gas-Abscheidevorrichtung umfasst, wobei die Gas-Abscheidevorrichtung mit den Kathodenvolumina fluidisch koppelbar ist und dazu eingerichtet ist, um das mittels elektrochemischer Reaktion erzeugte Produkt aus der alkalischen Lösung abzuscheiden, wobei das Austragen der alkalischen Lösung aus den Kathodenvolumina mittels der Gas-Abscheidevorrichtung verhinderbar ist.

Vorteilhaft ist dabei, dass die fluidisch koppelbaren Kathodenvolumina als Zusammenschluss aller kathodischen Halbzellen der Elektrolyse-Anlage zur Aufnahme der alkalischen Lösung bereitstellbar sind. Dadurch werden insbesondere bei einer hohen Leistung der Elektrolyse-Anlage transiente Effekte beim Hochfahren derselben in den Normalbetrieb gedämpft. Dies erhöht die Sicherheit beim Prozess der Elektrolyse.

Insbesondere ist die Verwendung der erfindungsgemäßen Elektrolyse-Anlage vorteilhaft, wenn das Produkt molekularer Wasserstoff ist.

Erfindungsgemäß wird weiters ein Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff durch elektrochemische Reaktion aus einer wässrigen, alkalischen Lösung, beansprucht, welches Verfahren die folgenden Verfahrensschritte umfasst:

- Bereitstellen einer Elektrolysevorrichtung, wobei die Elektrolysevorrichtung eine anodische Halbzelle und eine kathodische Halbzelle umfasst, wobei die anodische Halbzelle und die kathodische Halbzelle mittels einer Membran getrennt sind und die kathodische Halbzelle von der alkalischen Lösung durchflutbar ist sowie die anodische Halbzelle von einer wässrigen, alkalischen Lösung oder von Reinstwasser durchflutbar ist, wobei die anodische Halbzelle eine anodische Elektrode umfasst und die kathodische Halbzelle eine kathodische Elektrode umfasst, wobei die anodische Elektrode, die kathodische Elektrode und die Membran eine Membran-

Elektroden-Einheit bilden;

- Befüllen der anodischen Halbzelle mit einer wässrigen, alkalischen Lösung oder mit Reinstwasser und Befüllen der kathodischen Halbzelle mit einer initialen Füllmenge an alkalischer Lösung, sodass die Halbzellen vollständig geflutet sind bzw. sodass die Membran-Elektroden-Einheit kathodenseitig vollständig in die alkalische Lösung getaucht ist;

- Anlegen einer Spannung zwischen der anodischen Elektrode und der kathodischen Elektrode;

dadurch gekennzeichnet, dass

die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung bzw. bei angelegter Spannung zwischen der anodischen Elektrode und der kathodischen Elektrode ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheit bzw. durch die Membran und/oder durch elektrochemische Reaktion der alkalischen Lösung in der Membran-Elektroden-Einheit verändert wird.

Insbesondere kann vorgesehen sein, dass als Membran eine Anionenaustauschermembran verwendet wird.

Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle und in einem, mit der kathodischen Halbzelle fluidisch gekoppelten Fluidkanal und/oder Fluidtank aufgenommen wird, wodurch ein Aufnahmevolumen definiert ist, wobei die alkalische Lösung im Aufnahmevolumen im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung keine erzwungene Umwälzung, keinen erzwungenen Kreislauf und/oder keine erzwungene Bewegung, bis auf die, sich durch die elektrochemische Reaktion selbst einstellende Bewegung, erfährt.

Neben den bereits zuvor erwähnten Vorteilen ist dadurch die Effektivität bzw. der Gesamtwirkungsgrad der Elektrolysevorrichtung verbessert, da keine zusätzliche Energie bereitgestellt werden muss. Es ist beispielhaft denkbar, dass der Kathoden-Zulauf und der Kathoden-Ablauf mittels dem Fluidkanal fluidisch koppelbar

sind. Durch das Herstellen von Wasserstoff bei der Wasserstoff-Elektrolyse kann so bei entsprechender Positionierung der Elektrolysevorrichtung ohne aktive Mittel dennoch ein Kreislauf der alkalischen Lösung durch die kathodische Halbzelle entstehen. Dadurch wird insbesondere die thermische Belastung an der Membran verringert und gleichzeitig der Wirkungsgrad der Elektrolysevorrichtung verbessert. Es kann sich ein Naturumlauf während dem Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung einstellen.

Vorteilhaft ist auch eine Ausprägung, gemäß welcher vorgesehen sein kann, dass im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung keine aktiven Mittel zum Erzeugen einer Strömung der kathodenseitigen alkalischen Lösung verwendet werden, wobei die Membran-Elektroden-Einheit davon ausgenommen ist.

Neben den bereits erwähnten Vorteilen ist dadurch die Effektivität der Elektrolysevorrichtung im Normalbetrieb verbessert. Auch ist dadurch die Sicherheit der Elektrolysevorrichtung im Normalbetrieb verbessert, da diese auf keine aktiven Mittel angewiesen ist und auch mögliche Fehlerquellen bzw. Fehlfunktionen minimiert werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann weiters den folgenden Verfahrensschritt umfassen:

- Bemessen der kathodenseitigen alkalischen Lösung derart, dass die kathodische Halbzelle im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung zu jedem Zeitpunkt vollständig mit der alkalischen Lösung geflutet wird.

Vorteilhaft ist dabei, dass mittels der vollständigen Füllung der kathodischen Halbzellen mit der alkalischen Lösung im Normalbetrieb eine natürliche Flamm Sperre für den erzeugten Wasserstoff bei einer Wasserstoff-Elektrolyse vorhanden ist. Weiters ist von Vorteil, dass die Membran im Normalbetrieb zu jedem Zeitpunkt vollständig mit der alkalischen Lösung benetzt ist, sodass die Membran nicht vom Austrocknen gefährdet ist und somit lokalen Überlastungen durch Überhitzung ausgesetzt ist und somit die Lebensdauer der eingesetzten Membran verbessert ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann weiters den folgenden Verfahrensschritt umfassen:

- Zuführen einer Betriebsflüssigkeit in der anodischen Halbzelle, wobei die Betriebsflüssigkeit Reinstwasser und/oder eine wässrige, alkalische Lösung ist, wobei die Betriebsflüssigkeit im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung ausschließlich anodenseitig zugeführt wird.

Dadurch werden die im Normalbetrieb benötigten Armaturen und Leitungen der Elektrolysevorrichtung verringert, was die Sicherheit und die Effektivität der Elektrolysevorrichtung verbessert.

Gemäß einer Weiterbildung ist es möglich, dass als anodische Elektrode eine edelmetallfreie Elektrode verwendet wird und/oder als kathodische Elektrode eine edelmetallfreie Elektrode verwendet wird.

Dies bringt den wirtschaftlichen Vorteil mit sich, dass günstigere Materialien als Metalle auf Edelmetallbasis verwendet werden können.

Ferner kann es zweckmäßig sein, wenn in der anodischen Halbzelle Reinstwasser oder eine Lauge mit einer ersten Stoffmengenkonzentration im Bereich zwischen 0.1 mol/l und 2 mol/l bzw. insbesondere zwischen 0.5 mol/l und 1 mol/l aufgenommen wird.

Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass als alkalische Flüssigkeit für die initiale Füllmenge in der kathodischen Halbzelle eine Lauge mit einer zweiten Stoffmengenkonzentration verwendet wird, wobei die erste Stoffmengenkonzentration gleich hoch wie oder höher als die zweite Stoffmengenkonzentration ist.

Dadurch wirkt auch in einem Bereitschaftsbetrieb ohne angelegte Spannung an den Elektroden ein osmotischer Druck zwischen den Halbzellen. Somit kann die Elektrolysevorrichtung länger und standfest druckbehaftet betrieben werden und im Bereitschaftsbetrieb bzw. beim Abschalten der Elektrolysevorrichtung wird das Rückdiffundieren des Produktes wie beispielsweise dem molekularen Wasserstoff zumindest teilweise unterbunden bzw. einfacher unterbindbar.

Insbesondere kann es vorteilhaft sein, wenn als Lauge eine Kalilauge oder eine Natronlauge verwendet wird.

Zum besseren Verständnis des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nachfolgend eine beispielhafte und ausführliche Beschreibung von möglichen ablaufenden Prozessschritten des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. von in der Elektrolysevorrichtung möglichen ablaufenden Prozessschritten angeführt.

- Initiale Befüllung der kathodischen Halbzelle: kathodische Halbzelle und eventuelle Verbindungsleitungen oder Fluidkanäle bzw. Fluidtanks, im weiteren Verlauf als Kathodenvolumen bezeichnet, werden mit einer bestimmten Menge alkalischer Lösung befüllt.
- Füllmenge und Positionierung Kathodenvolumen: Eventuell vorgesehene Fluidkanäle, Fluidtanks oder Verbindungsleitungen des Kathodenvolumens befinden sich zum größten Teil über dem höchsten Füllniveau der jeweiligen kathodischen Halbzellen. Dadurch ist auch bei minimaler Füllmenge eine vollständige kathodenseitige Benetzung der Membran gewährleistet.
- Inertisierung der kathodischen Halbzelle: Die verbleibende Luft wird mittels Stickstoffs aus dem verbleibenden Kathodenvolumen gespült und das Kathodenvolumen verschlossen, was gegebenenfalls mittels der Abscheidevorrichtung bzw. der Gas-Abscheidevorrichtung umgesetzt werden kann.

Dadurch wird sichergestellt, dass im Kathodenvolumen keine explosionsfähige Atmosphäre entstehen kann.

- Initialer Anodenzustand: In der anodischen Halbzelle befindet sich initial ein alkalischer Elektrolyt bzw. eine alkalische Lösung mit einer ersten Stoffmengenkonzentration die maximal der zweiten Stoffmengenkonzentration des Elektrolyten in der kathodischen Halbzelle entspricht. Es ist auch denkbar, dass die anodische Halbzelle mit Reinstwasser betreibbar ist.
- Anfahren der Elektrolyse: Durch Anlegen von elektrischem Strom an die Elektrolysevorrichtung bzw. an die Elektroden der Elektrolysevorrichtung wird anfänglich Eduktwasser H_2O aus der kathodischen Halbzelle in H^+ und OH^- Ionen gespalten. Während molekularer Wasserstoff H_2 gasförmig in den kathodischen Halbzelle abgeschieden wird, diffundieren OH^- Ionen durch die Membran in die anodische Halbzelle. Die eingesetzte hydrophile Membran ist ausschließlich für OH^- Anionen leitend und für Kationen undurchlässig. Die Membran kann auch als Anionenaustauschermembran bezeichnet werden.
- Anfängliche Verwässerung des Elektrolyten in der anodischen Halbzelle: In der anodischen Halbzelle entsteht aus dem eingetragenen OH^- Ionen ein Teil O_2 und $\frac{1}{2}$ Teile H_2O . Während ersteres gasförmig aus der anodischen Halbzelle abgeschieden wird, senkt H_2O die Stoffmengenkonzentration des Elektrolyten bzw. in der anodischen Halbzelle. Der Elektrolyt in der anodischen Halbzelle wird so verwässert.
- Gasseparation und Elektrolytzirkulation in der kathodischen Halbzelle: Der in der kathodischen Halbzelle hergestellte molekulare Wasserstoff steigt aufgrund seiner geringen Dichte durch die ausgehende Verbindungsleitungen bzw. Strömungsleitungen am höchsten Punkt der Halbzelle im Katho-

denvolumen auf und sammelt sich am höchsten Punkt bzw. kann dort abgeschieden werden, während sich die alkalische Lösung bzw. das mitgeführte KOH durch die Schwerkraft abscheidet, im Kathodenvolumen verbleibt und wieder in die Halbzelle am tiefsten Punkt einströmen kann. Somit kann eine natürliche Zirkulation bzw. ein Naturumlauf entstehen.

- Gasabscheidung aus der kathodischen Halbzelle und Differentialdruck: Am höchsten Punkt des Kathodenvolumens erfolgt die Ausleitung des Produktgases aus dem System. Durch konstruktive Ausgestaltung bzw. mittels der Abscheidevorrichtung oder der Gas-Abscheidevorrichtung wird das Ausleiten der alkalischen Lösung aus dem Kathodenvolumen verhindert. Durch externe Druckhalteeinrichtungen kann das Wasserstoffgas bzw. das gesamte Kathodenvolumen unter Druck gehalten werden. Das Eindringen von höheren externen Systemdrücken in das Kathodenvolumen beim Anfahren der Elektrolysevorrichtung kann durch ein Rückschlagventil in der Gasleitung verhindert werden.
- Anstieg des osmotischen Drucks: Im Betrieb steigt durch die Umsetzung des Eduktwassers kontinuierlich die Stoffmengenkonzentration des alkalischen Elektrolyten in der kathodischen Halbzelle, während in der anodischen Halbzelle durch den Eintrag von H_2O die Stoffmengenkonzentration sinkt bzw. der Elektrolyt in der anodischen Halbzelle verwässert wird. Es stellt sich ein Stoffmengenkonzentrationsgradient zwischen den beiden Halbzellen ein, wodurch ein osmotischer Druck entsteht, welcher den Transport von Wasser durch die Membran von der anodischen Halbzelle zur kathodischen Halbzelle begünstigt.
- Erreichen des Gleichgewichtszustandes: Ist der Massentransport infolge des osmotischen Drucks exakt so groß wie der Verbrauch des Eduktwassers in der kathodischen Halbzelle, wird nur mehr Frischwasser zur Spaltung in H^+ und OH^- Ionen verwendet, welches durch die hydrophile Membran von der anodischen Halbzelle zur kathodischen Halbzelle transportiert

wurde. Ab diesem Zeitpunkt bleibt die Füllmenge bzw. ein Füllstand an Elektrolyten in der kathodischen Halbzelle bzw. die Konzentration im Kathodenvolumen konstant.

- Gleichgewichtszustand unter Differentialdruck: Sollte in der kathodischen Halbzelle molekularer Wasserstoff H_2 unter Druck gehalten werden, dämpft der Druckgradient zwischen kathodischer Halbzelle und anodischer Halbzelle den Massentransport infolge des osmotischen Drucks und der Gleichgewichtszustand wird sich erst bei einer höheren Stoffmengenkonzentration des Elektrolyten in der kathodischen Halbzelle und damit bei einem geringeren Füllstand bzw. einer geringeren Füllmenge an Elektrolyt bzw. alkalischer Lösung im Kathodenvolumen einstellen.
- Konzentrationsanstieg in der anodischen Halbzelle: Ab Erreichen dieses Gleichgewichtszustandes wird ausschließlich Eduktwasser aus der anodischen Halbzelle zur Elektrolyse verwendet, wodurch die Stoffmengenkonzentration in der anodischen Halbzelle zu steigen, bzw. der Füllstand bzw. die Füllmenge an Elektrolyten in der anodischen Halbzelle zu sinken beginnt. Der Stoffmengenkonzentrationsgradient sinkt, damit sinkt auch der osmotische Druck und dies führt dazu, dass weiter Eduktwasser aus der kathodischen Halbzelle verbraucht wird und somit die Stoffmengenkonzentration des Elektrolyten bzw. der alkalischen Lösung in der kathodischen Halbzelle weiter steigt.
- Regulierung der Elektrolytkonzentration in der anodischen Halbzelle: Zur Vermeidung einer unzulässigen Stoffmengenkonzentrationserhöhung wird Frischwasser in die anodischen Halbzelle zugeführt und dadurch die Stoffmengenkonzentration des Elektrolyten in der anodischen Halbzelle konstant auf einem niedrigen Niveau gehalten. Dieses Niveau ist dabei unabhängig vom an die Elektroden angelegten Strom und dem herrschenden Druck in der kathodischen Halbzelle.

- **Selbstregulierendes System:** Im Gegensatz zu bekannten Systemen wird dieser Stoffmengenkonzentrations- und Masseunterschied zwischen anodischer Halbzelle und kathodischen Halbzelle jedoch nicht mittels Pumpen oder Rohrleitungen ausgeglichen, sondern gezielt herbeigeführt. Durch das bewusste Regulieren der Elektrolytkonzentration bzw. der Stoffmengenkonzentration des Elektrolyten in der anodischen Halbzelle stellt sich je nach angelegter elektrischer Leistung und vorherrschendem Differentialdruck zwischen der anodischen Halbzelle und der kathodischen Halbzelle ein bestimmter Flüssigkeitspegel bzw. Füllmenge bzw. eine Elektrolytkonzentration in der kathodischen Halbzelle ein. Durch das Einschließen und Zirkulieren des Flüssigelektrolyten im Kathodenvolumen in Kombination mit dem geregelten Zuführen von Frischwasser in die anodische Halbzelle ist das System nahezu selbstregelnd bzw. selbststabilisierend.
- **Abschalten des Systems:** Sobald der angelegte Strom entfällt, wird kein weiteres Eduktwasser in der kathodischen Halbzelle verbraucht. Der osmotische Druck infolge des Stoffmengenkonzentrationsgradienten und der aufrechte Wassertransport von der anodischen Halbzelle zur kathodischen Halbzelle führt dazu, dass der Füllstand im Kathodenvolumen rasch wieder ansteigt und die Stoffmengenkonzentration des Flüssigelektrolyten sinkt. Da in der anodischen Halbzelle stets Frischwasser nachgefüllt und die Stoffmengenkonzentration in der anodischen Halbzelle konstant gehalten wurde, stellt sich ein Stoffmengenkonzentrationsausgleich zwischen anodischer Halbzelle und kathodischer Halbzelle im Bereich des initialen Zustandes ein. Der Füllstand bzw. die Füllmenge im Kathodenvolumen entspricht dann auch wieder maximal der initialen Füllmenge.
- **Wartung und Service:** In regelmäßigen Wartungsintervallen wird die alkalische Flüssigkeit im Kathodenvolumen getauscht. Hierzu wird die komplette Flüssigkeit am tiefsten Punkte abgelassen und anschließend wird das Kathodenvolumen neu befüllt. Die alkalische Flüssigkeit in der anodischen

Halbzelle wird hingegen bei einer erfindungsgemäßen Elektrolyse-Anlage zentral aufbereitet bzw. getauscht.

Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

Es zeigen jeweils in stark vereinfachter, schematischer Darstellung:

- Fig. 1 eine Elektrolysevorrichtung mit einer anodischen Halbzelle, einer kathodischen Halbzelle;
- Fig. 2 einen Elektrolyse-Zellstapel umfassend mehrere Elektrolysevorrichtungen;
- Fig. 3 eine Elektrolyse-Anlage umfassend mehrere Elektrolyse-Zellstapel;

Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind diese Lageangaben bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

Fig. 1 zeigt eine Elektrolysevorrichtung 1 mit einer anodischen Halbzelle 2 und einer kathodischen Halbzelle 3 in einer stark vereinfachten, schematischen Darstellung. Die kathodische Halbzelle 3 und die anodische Halbzelle 2 sind mittels einer Membran 4 voneinander getrennt. Die anodische Halbzelle 2 umfasst eine anodische Elektrode 5, wobei die anodische Elektrode 5 an die anodenseitige Oberfläche der Membran 4 anschließend angeordnet sein kann. Die kathodische Halbzelle 3 umfasst eine kathodische Elektrode 6, wobei die kathodische Elektrode 6 an die kathodenseitige Oberfläche der Membran 4 anschließend angeordnet sein kann. Die anodische Elektrode 5, die kathodische Elektrode 6 und die Membran 4

bilden gemeinsam eine Membran-Elektroden-Einheit 7, welche Membran-Elektroden-Einheit 7 noch weitere Elemente umfassen kann. Die anodische Halbzelle 3 ist von der kathodischen Halbzelle 2 mittels der Membran 4 getrennt, wobei die Membran 4 als Anionenaustauschermembran ausgebildet sein kann. Die anodische Elektrode 5 und die kathodische Elektrode 6 können von einem porösen metallischen Leiter wie beispielsweise einem Metallschaum gebildet sein oder direkt auf der Membran 4 aufgebracht werden.

Die anodische Halbzelle 2 kann im Betrieb der Elektrolysevorrichtung 1 von einer wässrigen, alkalischen Lösung oder auch von Reinstwasser durchflutbar sein. Die kathodische Halbzelle 3 ist im Betrieb der Elektrolysevorrichtung 1 von einer wässrigen, alkalischen Lösung durchflutbar. Um den Betrieb der Elektrolysevorrichtung 1 zu ermöglichen, wird die kathodische Halbzelle 3 mit einer initialen Füllmenge an alkalischer Lösung gefüllt. Im laufenden Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung 1, das heißt, dass beispielsweise Wartung, Spülung und dergleichen ausgenommen sind, wird der kathodischen Halbzelle 3 keine weitere alkalische Lösung auf aktive Weise zugeführt oder daraus abgeführt. Die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle 3 ist im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung 1 ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheit 7 bzw. durch die Membran 4 und/oder durch elektrochemische Reaktionen der alkalischen Lösung in der Membran-Elektroden-Einheit 7 veränderbar.

In der anodischen Halbzelle 2 kann, wie auch in der kathodischen Halbzelle 3 eine alkalische Lösung für den Prozess der Elektrolyse verwendet werden. Es ist jedoch denkbar, dass auch Reinstwasser in der anodischen Halbzelle 2 verwendet werden kann, insbesondere mit einer entsprechend adaptierten Membran 4 bzw. Membran-Elektroden-Einheit 7.

Unter einer Membran 4 ist in vorliegender Beschreibung eine trennende, aber doch elektrolytisch leitende Scheidewand in der Elektrolysevorrichtung 1, welche im Wesentlichen eine elektrochemische Zelle ist, zu verstehen. Synonym zur Membran 4 kann im weitesten Sinne in der Elektrochemie beispielsweise das Diaphragma gesehen werden. Die Trennung der Halbzellen 2, 3 durch die Membran 4

erlaubt den Betrieb mit jeweils unterschiedlichen Konzentrationen der alkalischen Lösung oder mit jeweils unterschiedlichen Flüssigkeiten bzw. Elektrolyten in den Halbzellen 2, 3.

Die Membran 4 kann dabei derart robust ausgebildet sein, dass zwischen der anodischen Halbzelle 2 und der kathodischen Halbzelle 3 ein Differenzdruck im Bereich zwischen 0 bar und 100 bar anliegen kann. Insbesondere durch eine Füllung beider Halbzellen 2, 3 mit einem Elektrolyten bzw. mit Reinstwasser oder alkalischer Lösung ist die Aufnahme von derartigen Differenzdrücken begünstigt. Synergetisch dazu wird durch die Füllung beider Halbzellen 2, 3 die Sicherheit der Elektrolysevorrichtung 1 verbessert, da bei der Herstellung von unter freier Atmosphäre entflammbaren Produkten mittels der Füllung eine Flamm Sperre ausgebildet ist.

Unter Diffusionsvorgängen sind dabei all jene Transportvorgänge durch die Membran 4 bzw. durch die Membran-Elektroden-Einheit 7 zu verstehen, welche Gasdiffusion, Wassertransportmechanismen, Gaspermeation oder die Diffusion anderer Edukte oder Produkte der elektrochemischen Reaktion der Elektrolysevorrichtung 1 umfassen.

In diesem Sinne wird die Membran 4 bzw. die Membran-Elektroden-Einheit 7 nicht als aktives Mittel zur Strömungserzeugung gesehen. Auch der Eintrag von elektrischer Energie an den Elektroden 5, 6 und das Ausgasen bzw. das Herstellen von Produkten der elektrochemischen Reaktion und die durch die Produkte induzierte Strömung in den Halbzellen 2, 3 werden nicht als aktive Mittel zur Strömungserzeugung gesehen.

Durch den Prozess der Elektrolyse entsteht an der Membran-Elektroden-Einheit 7 ein Stofftransport durch die Membran 4 auf Grund von Diffusionsvorgängen, welcher Stofftransport sich als passiver Effekt der elektrochemischen Reaktion bzw. der sich zwischen anodischer Halbzelle 2 und kathodischen Halbzelle 3 einstellenden Konzentrationsdifferenz der jeweiligen Lösungen oder Flüssigkeiten in den Halbzellen 2, 3 und einem daraus resultierenden osmotischen Druck ergibt.

Durch die Füllung beider Halbzellen 2, 3 mit Elektrolyten bzw. mit einer alkalischen Lösung oder mit Reinstwasser ist die Elektrolysevorrichtung 1 betriebsbereit. Die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung ist in der kathodischen Halbzelle 3 und in einem, mit der kathodischen Halbzelle 3 fluidisch koppelbar Fluidkanal 8 und/oder einem Fluidtank aufnehmbar. Dadurch wird ein Aufnahmevolumen 9 definiert, welches von der initialen Füllmenge füllbar ist. Die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung im Aufnahmevolumen 9 ist derart bemessen, dass die Membran-Elektroden-Einheit 7 kathodenseitig in einem Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung 1 zu jedem Zeitpunkt mit alkalischer Flüssigkeit benetzbar ist.

Unter Normalbetrieb ist hier ein Betriebszustand zu verstehen, bei welchem kontinuierlich ein Produkt wie beispielsweise molekularer Wasserstoff mittels elektrochemischer Reaktion hergestellt wird. Somit sind Betriebszustände wie beispielsweise Wartung, Spülung und dergleichen nicht als Normalbetrieb zu verstehen.

Die Menge an alkalischer Flüssigkeit im Aufnahmevolumen 9 erfährt im laufenden Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung 1 keine Umwälzung, keinen erzwungenen Kreislauf und/oder keine erzwungene Bewegung, welche durch aktive Mittel eingeleitet sind. Die Menge an alkalischer Flüssigkeit im Aufnahmevolumen 9 kann lediglich eine passiv induzierte Strömung erfahren, welche passiv induzierte Strömung aus der elektrochemischen Reaktion und/oder oben beschriebene Diffusionsvorgänge und/oder durch Ausgasen von Produkten der elektrochemischen Reaktion entstehen kann. In jedem Fall sind in den, das Aufnahmevolumen 9 bildenden Vorrichtungen oder Elementen keine aktiven Mittel zur Erzeugung einer Strömung während des Normalbetriebs vorgesehen. Es sei jedoch nicht ausgeschlossen, dass derartige aktive Mittel, wie beispielsweise eine Pumpe für einen anderen Betriebszustand vorgesehen sein können.

Weiters kann eine Abscheidevorrichtung 10 vorgesehen sein, welche Abscheidevorrichtung 10 mit dem Fluidkanal 8 fluidisch koppelbar ist. Mittels der Abscheidevorrichtung 10 kann gewährleistet werden, dass ein beim Prozess der Elektrolyse entstehendes Produkt bzw. Produktgas abgeführt werden kann, ohne dass die alkalische Lösung aus dem Aufnahmevolumen 9 ausgetragen wird.

Die initiale Füllmenge an alkalischer Flüssigkeit im Aufnahmevolumen 9 kann sich während dem Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung 1 durch Diffusionsvorgänge und die ablaufende elektrochemische Reaktion verändern. Im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung 1 wird dem Aufnahmevolumen 9 jedenfalls von außerhalb keine weitere alkalische Flüssigkeit zugefügt. Jedoch werden in einem eingeschwungenen und stationären Betriebszustand, welcher ebenfalls als Normalbetrieb zu verstehen ist, die Edukte bzw. wird das Edukt für die elektrochemische Reaktion zumindest zu einem Teil durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheit 7 bereitgestellt.

Somit entsteht die Notwendigkeit, dass zumindest ab einer gewissen Betriebsdauer der Elektrolysevorrichtung 1 auf der Seite der anodischen Halbzelle 2 im Falle von Wasserstoffelektrolyse Reinstwasser zugeführt wird. Die Diffusionsvorgänge können weiters begünstigt werden, indem die kathodische Elektrode 6 und/oder die kathodenseitige Oberfläche der Membran 4 hydrophil ausgebildet ist bzw. sind. Weiters können die Elektroden 5, 6 durch Aufbringen von katalytisch aktiven Materialien auf die Membran 4 hergestellt sein. Es ist auch denkbar, dass die Elektroden 5, 6 durch Aufbringen von katalytischen Materialien auf eine poröse Trägerstruktur wie beispielsweise ein Metallschaum hergestellt sind. Die Elektroden 5, 6 können in jedem Fall edelmetallfrei ausgebildet sein.

Die im Betrieb in der anodischen Halbzelle 2 befindliche Flüssigkeit kann wie bereits beschrieben Reinstwasser oder eine Lauge mit einer ersten Stoffmengenkonzentration im Bereich zwischen 0.1 mol/l und 2 mol/l sein. Als Lauge kann Natronlauge, Kalilauge oder eine andere Lauge mit ähnlichen elektrochemischen Eigenschaften verwendet werden. Die im Betrieb der Elektrolysevorrichtung 1 in der kathodischen Halbzelle 3 befindliche alkalische Lösung kann eine Lauge mit einer zweiten Stoffmengenkonzentration sein. Die erste Stoffmengenkonzentration kann gleich hoch oder höher als die zweite Stoffmengenkonzentration sein.

In der Fig. 2 ist ein Elektrolyse-Zellstapel 11 umfassend mehrere Elektrolysevorrichtungen 1 gezeigt, wobei wiederum für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen bzw. Bauteilbezeichnungen wie in der vorangegangenen Fig. 1 verwendet werden.

Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, wird auf die detaillierte Beschreibung in der vorangegangenen Fig. 1 hingewiesen bzw. Bezug genommen.

Ein Elektrolyse-Zellstapel 11 kann mehrere aneinandergereihte anodische Halbzellen 2, kathodische Halbzellen 3 und Membran-Elektroden-Einheiten 7 umfassen. Die Aneinanderreihung der einzelnen beispielsweise plattenförmigen Einzelelemente kann in alternierender Reihenfolge sein, wobei jedenfalls die funktionelle Ausgestaltung von jeweils einer Elektrolysevorrichtung 1 im Verbund im Elektrolyse-Zellstapel 11 gewährleistet sein muss. Die kathodischen Halbzellen 3 des Elektrolyse-Zellstapels 11 können mittels zumindest einem Strömungskanal 12 fluidisch koppelbar sein. Die somit fluidisch koppelbaren kathodischen Halbzellen 3 und der zumindest eine Strömungskanal 12 definieren so ein Kathodenvolumen 13. Es kann auch vorgesehen sein, dass der zumindest eine Strömungskanal 12 mit einer weiteren Leitung oder einem Tank fluidisch koppelbar ist. Das Kathodenvolumen 13 kann so erweitert werden, um eine optimale Betriebsführung des Elektrolyse-Zellstapels zu gewährleisten, denn in jedem Fall sollte die alkalische Lösung die jeweilige Membran 4 einer kathodischen Halbzelle 3 im Normalbetrieb vollständig benetzen.

Analog zur Elektrolysevorrichtung 1 ist die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung im Kathodenvolumen 13 ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheiten 7 und/oder durch elektrochemische Reaktion eines Edukts bzw. von Edukten bzw. der alkalischen Lösung in der Membran-Elektroden-Einheit 7 veränderbar.

In der Fig. 3 ist eine Elektrolyse-Anlage 14 umfassend mehrere Elektrolyse-Zellstapel 11 gezeigt, wobei wiederum für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen bzw. Bauteilbezeichnungen wie in den vorangegangenen Fig. 1 und Fig. 2 verwendet werden. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, wird auf die detaillierte Beschreibung in den vorangegangenen Fig. 1 und Fig. 2 hingewiesen bzw. Bezug genommen.

Die Elektrolyse-Anlage 14 kann eine Mehrzahl an Elektrolyse-Zellstapeln 11 umfassen, wobei die jeweiligen Kathodenvolumina 13 der einzelnen Elektrolyse-Zellstapel 11 mittels einer Verbindungsleitung 16 fluidisch koppelbar sind. Weiters sind die Kathodenvolumina 13 mit einer Gas-Abscheidevorrichtung 15 koppelbar. Die Gas-Abscheidevorrichtung 15 kann dazu eingerichtet sein, um Produktgas der Elektrolyse wie beispielsweise gasförmigen molekularen Wasserstoff abzuführen, ohne dabei die alkalische Lösung in den Kathodenvolumina 13 abzuführen.

Die Kathodenvolumina 13 der Elektrolyse-Zellstapel 11 können weiters mit einem Tank fluidisch koppelbar sein. Jedenfalls gilt wiederum analog zur Elektrolysevorrichtung 1, dass die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in den Kathodenvolumina 13 ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheiten 7 und/oder durch elektrochemische Reaktion eines Edukts bzw. von Edukten bzw. der alkalischen Lösung in der Membran-Elektroden-Einheit 7 veränderbar.

Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass die Erfindung nicht auf die speziell dargestellten Ausführungsvarianten derselben eingeschränkt ist, sondern vielmehr auch diverse Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind und diese Variationsmöglichkeit aufgrund der Lehre zum technischen Handeln durch gegenständliche Erfindung im Können des auf diesem technischen Gebiet tätigen Fachmannes liegt.

Der Schutzbereich ist durch die Ansprüche bestimmt. Die Beschreibung und die Zeichnungen sind jedoch zur Auslegung der Ansprüche heranzuziehen. Einzelmerkmale oder Merkmalskombinationen aus den gezeigten und beschriebenen unterschiedlichen Ausführungsbeispielen können für sich eigenständige erfinderische Lösungen darstellen. Die den eigenständigen erfinderischen Lösungen zugrundeliegende Aufgabe kann der Beschreibung entnommen werden.

Sämtliche Angaben zu Wertebereichen in gegenständlicher Beschreibung sind so zu verstehen, dass diese beliebige und alle Teilbereiche daraus mitumfassen, z.B. ist die Angabe 1 bis 10 so zu verstehen, dass sämtliche Teilbereiche, ausgehend

von der unteren Grenze 1 und der oberen Grenze 10 mit umfasst sind, d.h. sämtliche Teilbereiche beginnen mit einer unteren Grenze von 1 oder größer und enden bei einer oberen Grenze von 10 oder weniger, z.B. 1 bis 1,7, oder 3,2 bis 8,1, oder 5,5 bis 10.

Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus Elemente teilweise unmaßstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|----------------------------|
| 1 | Elektrolysevorrichtung |
| 2 | anodische Halbzelle |
| 3 | kathodische Halbzelle |
| 4 | Membran |
| 5 | anodische Elektrode |
| 6 | kathodische Elektrode |
| 7 | Membran-Elektroden-Einheit |
| 8 | Fluidkanal |
| 9 | Aufnahmevolumen |
| 10 | Abscheidevorrichtung |
| 11 | Elektrolyse-Zellstapel |
| 12 | Strömungskanal |
| 13 | Kathodenvolumen |
| 14 | Elektrolyse-Anlage |
| 15 | Gas-Abscheidevorrichtung |
| 16 | Verbindungsleitung |

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Elektrolysevorrichtung (1) zur Herstellung von Wasserstoff durch elektrochemische Reaktion aus einer wässrigen, alkalischen Lösung,
 - wobei die Elektrolysevorrichtung (1) eine anodische Halbzelle (2) und eine kathodische Halbzelle (3) umfasst,
 - wobei die anodische Halbzelle (2) und die kathodische Halbzelle (3) mittels einer Membran (4) getrennt sind und die kathodische Halbzelle (3) von der alkalischen Lösung durchflutbar ist,
 - und wobei die anodische Halbzelle (2) eine anodische Elektrode (5) umfasst und die kathodische Halbzelle (3) eine kathodische Elektrode (6) umfasst,
 - wobei die anodische Elektrode (5), die kathodische Elektrode (6) und die Membran (4) eine Membran-Elektroden-Einheit (7) bilden,
 dadurch gekennzeichnet, dass
 eine initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheit (7) und/oder durch elektrochemische Reaktion der alkalischen Lösung in der Membran-Elektroden-Einheit (7) veränderbar ist.

2. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (4) als eine Anionenaustauschermembran ausgebildet ist.

3. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) und in einem, mit der kathodischen Halbzelle (3) fluidisch koppelbaren Fluidkanal (8) und/oder Fluidtank aufnehmbar ist, wodurch ein Aufnahmevolumen (9) definiert ist, wobei für die alkalische Lösung im Aufnahmevolumen (9) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) keine erzwungene Umwälzung, keinen erzwungenen Kreislauf und/oder keine erzwungene Bewegung, bis auf die, sich durch die elektrochemische Reaktion selbst einstellende Bewegung, erfahrbar ist.

4. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass keine, im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) aktiven Mittel zum Umwälzen und/oder zum Pumpen der kathodenseitigen alkalischen Lösung vorgesehen sind.
5. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Fluidkanal (8) pumpenlos ausgebildet ist.
6. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die initiale Füllmenge der alkalischen Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) derart bemessen ist, dass die kathodische Halbzelle (3) im Betrieb der Elektrolysevorrichtung (1) zu jedem Zeitpunkt vollständig mit der alkalischen Lösung geflutet ist.
7. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufnahmevolumen (9) derart ausgebildet ist, dass die kathodische Halbzelle (3) der Elektrolysevorrichtung (1) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) jederzeit vollständig mit alkalischer Lösung geflutet ist, wobei eine Abscheidevorrichtung (10) mit dem Fluidkanal (8) fluidisch koppelbar ist, sodass das Austragen der alkalischen Lösung aus dem Aufnahmevolumen (9) beim Abtransport bzw. Abscheiden von Produktgas aus dem Aufnahmevolumen (9) verhinderbar ist.
8. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einem eingeschwungenen und stationären Betriebszustand der Elektrolysevorrichtung (1) die Zufuhr von Edukten für die elektrochemische Reaktion in der kathodischen Halbzelle (3) ausschließlich durch Diffusionsvorgänge der Edukte durch die Membran-Elektroden-Einheit (7) bereitstellbar ist.

9. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die kathodische Elektrode (6) und/oder eine kathodenseitige Oberfläche der Membran (4) hydrophil ausgebildet ist bzw. sind.
10. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die anodische Elektrode (5) und/oder die kathodische Elektrode (6) durch Aufbringen von katalytisch aktiven Materialien auf die Membran (4) und/oder durch Aufbringen von katalytisch aktiven Materialien auf mit der Membran (4) kontaktierten porösen Trägerstrukturen ausgebildet ist bzw. sind.
11. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die anodische Elektrode (5) und/oder die kathodische Elektrode (6) edelmetallfrei ist.
12. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der anodischen Halbzelle (2) Reinstwasser oder eine Lauge mit einer ersten Stoffmengenkonzentration im Bereich zwischen 0.1 mol/l und 2 mol/l bzw. insbesondere zwischen 0.5 mol/l und 1 mol/l aufnehmbar ist.
13. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die alkalische Flüssigkeit für die initiale Füllmenge in der kathodischen Halbzelle (3) eine Lauge mit einer zweiten Stoffmengenkonzentration ist, wobei die erste Stoffmengenkonzentration gleich hoch wie oder höher als die zweite Stoffmengenkonzentration ist.
14. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Lauge eine Kalilauge oder eine Natronlauge ist.

15. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass von der Membran-Elektroden-Einheit (7) ein Differenzdruck zwischen anodischer Halbzelle (2) und kathodischer Halbzelle (3) aufnehmbar ist, wobei der Differenzdruck im Bereich zwischen 0 bar und 100 bar, bzw. insbesondere zwischen 5 bar und 30 bar liegt.

16. Elektrolyse-Zellstapel (11) umfassend mehrere aneinandergereihte anodische Halbzellen (2), kathodische Halbzellen (3) und Membran-Elektroden-Einheiten (7) entsprechend der, im Sinne der elektrochemischen Reaktion funktionellen Ausgestaltung der Elektrolysevorrichtung (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die kathodischen Halbzellen (3) mittels zumindest einem Strömungskanal (12) fluidisch koppelbar sind, wobei die kathodischen Halbzellen (3) und der zumindest eine Strömungskanal (12) ein Kathodenvolumen (13) ausbilden, wobei im Betrieb des Elektrolyse-Zellstapels (11) eine initiale Füllmenge an alkalischer Lösung im Kathodenvolumen (13) ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheiten (7) und/oder durch elektrochemische Reaktion eines Edukts bzw. von Edukten bzw. der alkalischen Lösung in den Membran-Elektroden-Einheiten (7) veränderbar ist.

17. Elektrolyse-Anlage (14) umfassend mehrere Elektrolyse-Zellstapel (11) gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrolyse-Anlage (14) zumindest eine Verbindungsleitung (16) bzw. einen Verbindungskanal umfasst, wobei die Kathodenvolumina (13) der Elektrolyse-Zellstapel (11) mittels der Verbindungsleitung (16) fluidisch koppelbar sind, wobei die Elektrolyse-Anlage (14) eine Gas-Abscheidevorrichtung (15) umfasst, wobei die Gas-Abscheidevorrichtung (15) mit den Kathodenvolumina (13) fluidisch koppelbar ist und dazu eingerichtet ist, um das mittels elektrochemischer Reaktion erzeugte Produkt aus der alkalischen Lösung abzuscheiden, wobei das Austragen der alkalischen Lösung aus den Kathodenvolumina (13) mittels der Gas-Abscheidevorrichtung (15) verhindert ist.

18. Elektrolyse-Anlage (14) nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Produkt molekularer Wasserstoff ist.

19. Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff durch elektrochemische Reaktion aus einer wässrigen, alkalischen Lösung, umfassend die Verfahrensschritte:

- Bereitstellen einer Elektrolysevorrichtung (1), wobei die Elektrolysevorrichtung (1) eine anodische Halbzelle (2) und eine kathodische Halbzelle (3) umfasst, wobei die anodische Halbzelle (2) und die kathodische Halbzelle (3) mittels einer Membran (4) getrennt sind und die kathodische Halbzelle (3) von der alkalischen Lösung durchflutbar ist, wobei die anodische Halbzelle (2) eine anodische Elektrode (5) umfasst und die kathodische Halbzelle (3) eine kathodische Elektrode (6) umfasst, wobei die anodische Elektrode (5), die kathodische Elektrode (6) und die Membran (4) eine Membran-Elektroden-Einheit (7) bilden;
- Befüllen der anodischen Halbzelle (2) und Befüllen der kathodischen Halbzelle (3) mit einer initialen Füllmenge an alkalischer Lösung, sodass die Halbzellen (2, 3) vollständig geflutet sind bzw. sodass die Membran-Elektroden-Einheit (7) kathodenseitig vollständig in die alkalische Lösung getaucht ist;
- Anlegen einer Spannung zwischen der anodischen Elektrode (5) und der kathodischen Elektrode (6);

dadurch gekennzeichnet, dass

die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) bzw. bei angelegter Spannung zwischen der anodischen Elektrode (5) und der kathodischen Elektrode (6) ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheit (bzw. durch die Membran) (4) und/oder durch elektrochemische Reaktion der alkalischen Lösung in der Membran-Elektroden-Einheit (7) verändert wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass als Membran (4) eine Anionenaustauschermembran verwendet wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, dass die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) und in einem, mit der kathodischen Halbzelle (3) fluidisch gekoppelten Fluidkanal (8) und/oder Fluidtank aufgenommen wird, wodurch ein Aufnahmevolumen (9) definiert ist, wobei die alkalische Lösung im Aufnahmevolumen (9) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) keine erzwungene Umwälzung, keinen erzwungenen Kreislauf und/oder keine erzwungene Bewegung, bis auf die, sich durch die elektrochemische Reaktion selbst einstellende Bewegung, erfährt.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) keine aktiven Mittel zum Erzeugen einer Strömung der kathodenseitigen alkalischen Lösung verwendet werden, wobei die Membran-Elektroden-Einheit (7) davon ausgenommen ist.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 22, weiters umfassend den Verfahrensschritt:

- Bemessen der kathodenseitigen alkalischen Lösung derart, dass die kathodische Halbzelle (3) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) zu jedem Zeitpunkt vollständig mit der alkalischen Lösung geflutet wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 23, weiters umfassend den Verfahrensschritt:

- Zuführen einer Betriebsflüssigkeit in der anodischen Halbzelle (2), wobei die Betriebsflüssigkeit Reinstwasser und/oder eine wässrige, alkalische Lösung ist, wobei die Betriebsflüssigkeit im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) ausschließlich anodenseitig zugeführt wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass als anodische Elektrode (5) eine edelmetallfreie Elektrode verwendet wird und/oder als kathodische Elektrode (6) eine edelmetallfreie Elektrode verwendet wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass in der anodischen Halbzelle (2) Reinstwasser oder eine Lauge mit einer ersten Stoffmengenkonzentration im Bereich zwischen 0.1 mol/l und 2 mol/l bzw. insbesondere zwischen 0.5 mol/l und 1 mol/l aufgenommen wird.

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass als alkalische Flüssigkeit für die initiale Füllmenge in der kathodischen Halbzelle (3) eine Lauge mit einer zweiten Stoffmengenkonzentration verwendet wird, wobei die erste Stoffmengenkonzentration gleich hoch wie oder höher als die zweite Stoffmengenkonzentration ist.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, dass als Lauge eine Kalilauge oder eine Natronlauge verwendet wird.

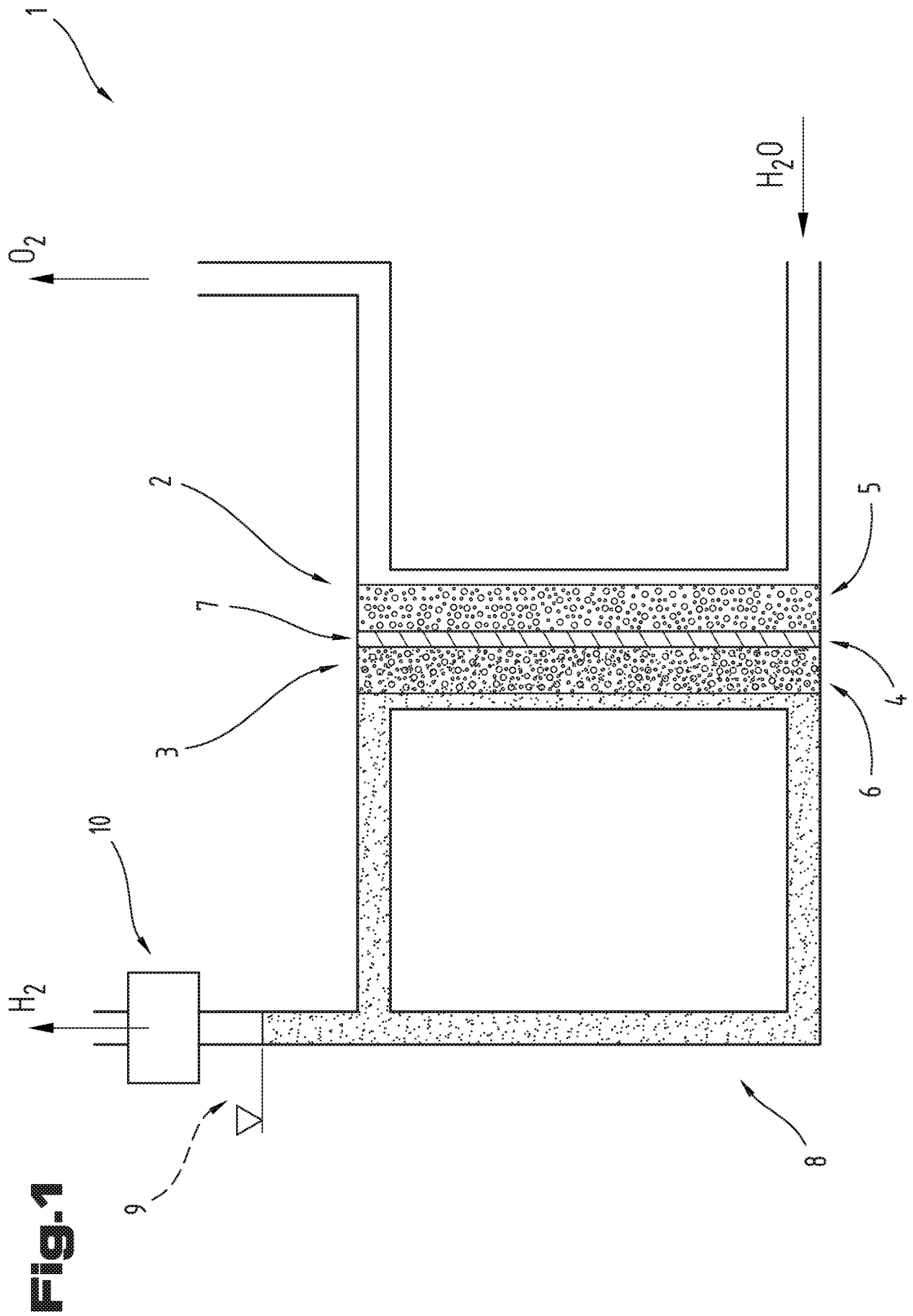
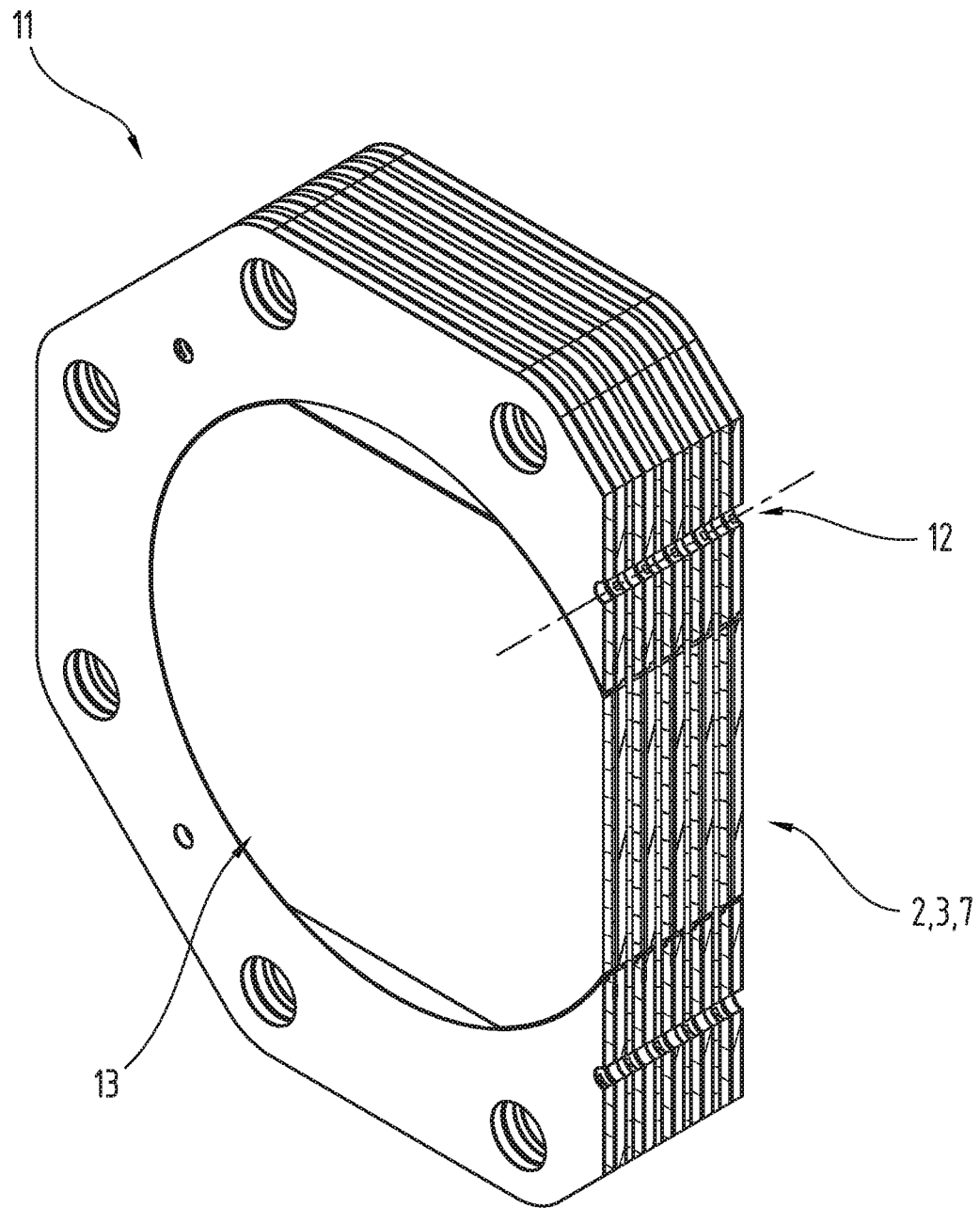


Fig.2



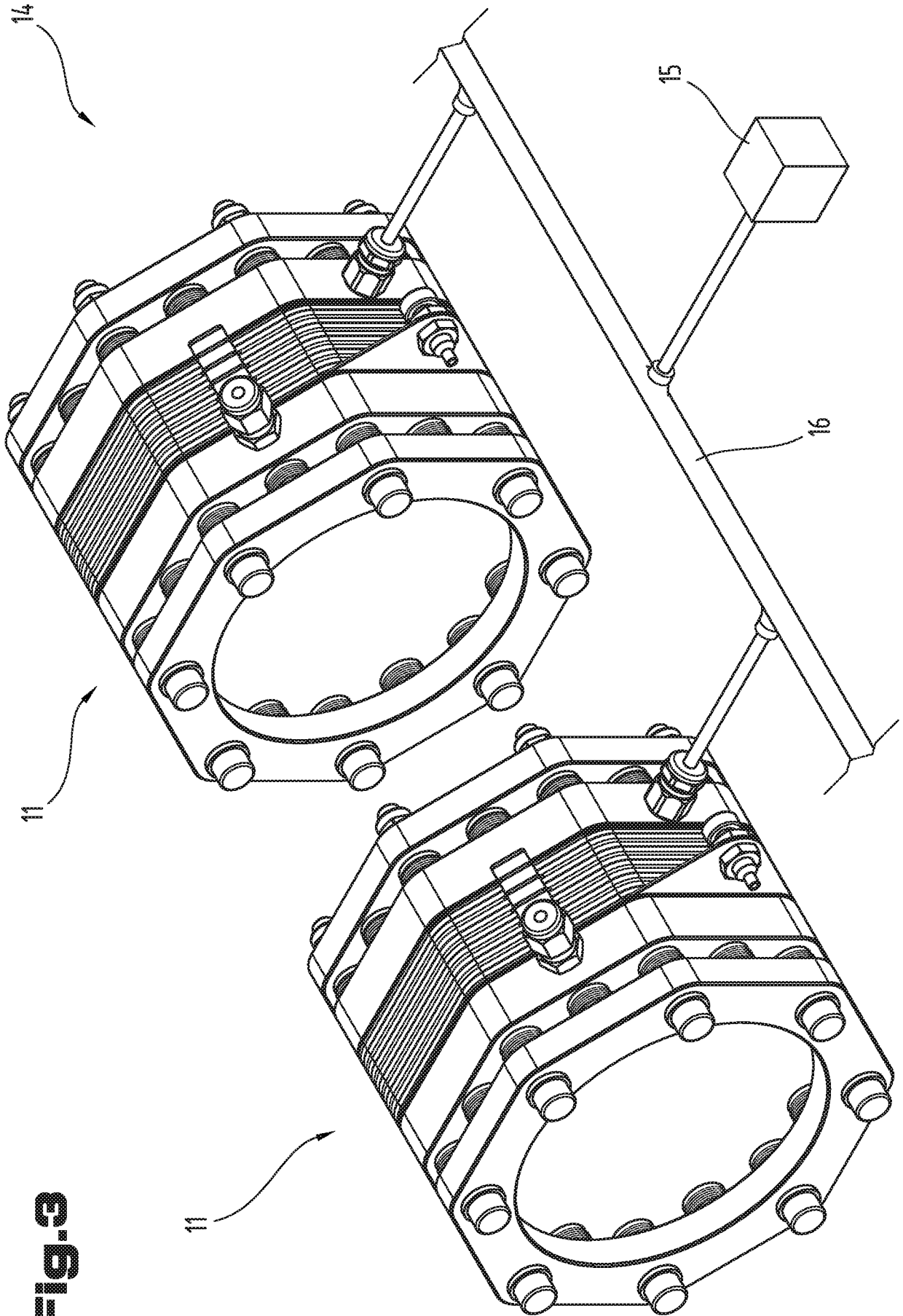


Fig. 3

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Elektrolysevorrichtung (1) zur Herstellung von Wasserstoff durch elektrochemische Reaktion aus einer wässrigen, alkalischen Lösung,
 - wobei die Elektrolysevorrichtung (1) eine anodische Halbzelle (2) und eine kathodische Halbzelle (3) umfasst,
 - wobei die anodische Halbzelle (2) und die kathodische Halbzelle (3) mittels einer Membran (4) getrennt sind und die kathodische Halbzelle (3) von der alkalischen Lösung durchflutbar ist,
 - und wobei die anodische Halbzelle (2) eine anodische Elektrode (5) umfasst und die kathodische Halbzelle (3) eine kathodische Elektrode (6) umfasst,
 - wobei die anodische Elektrode (5), die kathodische Elektrode (6) und die Membran (4) eine Membran-Elektroden-Einheit (7) bilden,
 dadurch gekennzeichnet, dass
 eine initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheit (7) und/oder durch elektrochemische Reaktion der alkalischen Lösung in der Membran-Elektroden-Einheit (7) veränderbar ist.

2. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (4) als eine Anionenaustauschermembran ausgebildet ist.

3. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) und in einem, mit der kathodischen Halbzelle (3) fluidisch koppelbaren Fluidkanal (8) und/oder Fluidtank aufnehmbar ist, wodurch ein Aufnahmevolumen (9) definiert ist, wobei für die alkalische Lösung im Aufnahmevolumen (9) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) keine erzwungene Umwälzung, keinen erzwungenen Kreislauf und/oder keine erzwungene Bewegung, bis auf die, sich durch die elektrochemische Reaktion selbst einstellende Bewegung, erfahrbar ist.

4. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass nebst der Membran-Elektroden-Einheit (7) keine weiteren, im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) aktiven Mittel zum Umwälzen und/oder zum Pumpen der kathodenseitigen alkalischen Lösung vorgesehen sind.
5. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Fluidkanal (8) pumpenlos ausgebildet ist.
6. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die initiale Füllmenge der alkalischen Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) derart bemessen ist, dass die kathodische Halbzelle (3) im Betrieb der Elektrolysevorrichtung (1) zu jedem Zeitpunkt vollständig mit der alkalischen Lösung geflutet ist.
7. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufnahmevolumen (9) derart ausgebildet ist, dass die kathodische Halbzelle (3) der Elektrolysevorrichtung (1) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) jederzeit vollständig mit alkalischer Lösung geflutet ist, wobei eine Abscheidevorrichtung (10) mit dem Fluidkanal (8) fluidisch koppelbar ist, sodass das Austragen der alkalischen Lösung aus dem Aufnahmevolumen (9) beim Abtransport bzw. Abscheiden von Produktgas aus dem Aufnahmevolumen (9) verhinderbar ist.
8. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einem eingeschwungenen und stationären Betriebszustand der Elektrolysevorrichtung (1) die Zufuhr von Edukten für die elektrochemische Reaktion in der kathodischen Halbzelle (3) ausschließlich durch Diffusionsvorgänge der Edukte durch die Membran-Elektroden-Einheit (7) bereitstellbar ist.

9. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die kathodische Elektrode (6) und/oder eine kathodenseitige Oberfläche der Membran (4) hydrophil ausgebildet ist bzw. sind.
10. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die anodische Elektrode (5) und/oder die kathodische Elektrode (6) durch Aufbringen von katalytisch aktiven Materialien auf die Membran (4) und/oder durch Aufbringen von katalytisch aktiven Materialien auf mit der Membran (4) kontaktierten porösen Trägerstrukturen ausgebildet ist bzw. sind.
11. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die anodische Elektrode (5) und/oder die kathodische Elektrode (6) edelmetallfrei ist.
12. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der anodischen Halbzelle (2) Reinstwasser oder eine Lauge mit einer ersten Stoffmengenkonzentration im Bereich zwischen 0.1 mol/l und 2 mol/l bzw. insbesondere zwischen 0.5 mol/l und 1 mol/l aufnehmbar ist.
13. Elektrolysevorrichtung (1) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die alkalische Flüssigkeit für die initiale Füllmenge in der kathodischen Halbzelle (3) eine Lauge mit einer zweiten Stoffmengenkonzentration ist, wobei die erste Stoffmengenkonzentration gleich hoch wie oder höher als die zweite Stoffmengenkonzentration ist.
14. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Lauge eine Kalilauge oder eine Natronlauge ist.

15. Elektrolysevorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass von der Membran-Elektroden-Einheit (7) ein Differenzdruck zwischen anodischer Halbzelle (2) und kathodischer Halbzelle (3) zerstörungsfrei aufnehmbar ist, wobei der Differenzdruck im Bereich zwischen 0 bar und 100 bar, bzw. insbesondere zwischen 5 bar und 30 bar liegt.

16. Elektrolyse-Zellstapel (11) umfassend mehrere aneinandergereihte anodische Halbzellen (2), kathodische Halbzellen (3) und Membran-Elektroden-Einheiten (7) entsprechend der, im Sinne der elektrochemischen Reaktion funktionellen Ausgestaltung der Elektrolysevorrichtung (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die kathodischen Halbzellen (3) mittels zumindest einem Strömungskanal (12) fluidisch koppelbar sind, wobei die kathodischen Halbzellen (3) und der zumindest eine Strömungskanal (12) ein Kathodenvolumen (13) ausbilden, wobei im Betrieb des Elektrolyse-Zellstapels (11) eine initiale Füllmenge an alkalischer Lösung im Kathodenvolumen (13) ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheiten (7) und/oder durch elektrochemische Reaktion eines Edukts bzw. von Edukten bzw. der alkalischen Lösung in den Membran-Elektroden-Einheiten (7) veränderbar ist.

17. Elektrolyse-Anlage (14) umfassend mehrere Elektrolyse-Zellstapel (11) gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrolyse-Anlage (14) zumindest eine Verbindungsleitung (16) bzw. einen Verbindungskanal umfasst, wobei die Kathodenvolumina (13) der Elektrolyse-Zellstapel (11) mittels der Verbindungsleitung (16) fluidisch koppelbar sind, wobei die Elektrolyse-Anlage (14) eine Gas-Abscheidevorrichtung (15) umfasst, wobei die Gas-Abscheidevorrichtung (15) mit den Kathodenvolumina (13) fluidisch koppelbar ist und dazu eingerichtet ist, um das mittels elektrochemischer Reaktion erzeugte Produkt aus der alkalischen Lösung abzuscheiden, wobei das Austragen der alkalischen Lösung aus den Kathodenvolumina (13) mittels der Gas-Abscheidevorrichtung (15) veränderbar ist.

18. Elektrolyse-Anlage (14) nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Produkt molekularer Wasserstoff ist.

19. Verfahren zur Herstellung der Betriebsbereitschaft einer Elektrolysevorrichtung (1) und zur Herstellung von Wasserstoff durch elektrochemische Reaktion aus einer wässrigen, alkalischen Lösung mittels der Elektrolysevorrichtung (1), umfassend die Verfahrensschritte:

- Bereitstellen der Elektrolysevorrichtung (1), wobei die Elektrolysevorrichtung (1) eine anodische Halbzelle (2) und eine kathodische Halbzelle (3) umfasst, wobei die anodische Halbzelle (2) und die kathodische Halbzelle (3) mittels einer Membran (4) getrennt sind und die kathodische Halbzelle (3) von der alkalischen Lösung durchflutbar ist, wobei die anodische Halbzelle (2) eine anodische Elektrode (5) umfasst und die kathodische Halbzelle (3) eine kathodische Elektrode (6) umfasst, wobei die anodische Elektrode (5), die kathodische Elektrode (6) und die Membran (4) eine Membran-Elektroden-Einheit (7) bilden;
- Befüllen der anodischen Halbzelle (2) und Befüllen der kathodischen Halbzelle (3) mit einer initialen Füllmenge an alkalischer Lösung, sodass die Halbzellen (2, 3) vollständig geflutet sind bzw. sodass die Membran-Elektroden-Einheit (7) kathodenseitig vollständig in die alkalische Lösung getaucht ist;
- Anlegen einer Spannung zwischen der anodischen Elektrode (5) und der kathodischen Elektrode (6);

dadurch gekennzeichnet, dass

die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) bzw. bei angelegter Spannung zwischen der anodischen Elektrode (5) und der kathodischen Elektrode (6) ausschließlich durch Diffusionsvorgänge durch die Membran-Elektroden-Einheit (bzw. durch die Membran) (4) und/oder durch elektrochemische Reaktion der alkalischen Lösung in der Membran-Elektroden-Einheit (7) verändert wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass als Membran (4) eine Anionenaustauschermembran verwendet wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, dass die initiale Füllmenge an alkalischer Lösung in der kathodischen Halbzelle (3) und in einem, mit der kathodischen Halbzelle (3) fluidisch gekoppelten Fluidkanal (8) und/oder Fluidtank aufgenommen wird, wodurch ein Aufnahmevolumen (9) definiert ist, wobei die alkalische Lösung im Aufnahmevolumen (9) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) keine erzwungene Umwälzung, keinen erzwungenen Kreislauf und/oder keine erzwungene Bewegung, bis auf die, sich durch die elektrochemische Reaktion selbst einstellende Bewegung, erfährt.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) keine aktiven Mittel zum Erzeugen einer Strömung der kathodenseitigen alkalischen Lösung verwendet werden, wobei die Membran-Elektroden-Einheit (7) davon ausgenommen ist.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 22, weiters umfassend den Verfahrensschritt:

- Bemessen der kathodenseitigen alkalischen Lösung derart, dass die kathodische Halbzelle (3) im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) zu jedem Zeitpunkt vollständig mit der alkalischen Lösung geflutet wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 23, weiters umfassend den Verfahrensschritt:

- Zuführen einer Betriebsflüssigkeit in der anodischen Halbzelle (2), wobei die Betriebsflüssigkeit Reinstwasser und/oder eine wässrige, alkalische Lösung ist, wobei die Betriebsflüssigkeit im Normalbetrieb der Elektrolysevorrichtung (1) ausschließlich anodenseitig zugeführt wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass als anodische Elektrode (5) eine edelmetallfreie Elektrode verwendet wird und/oder als kathodische Elektrode (6) eine edelmetallfreie Elektrode verwendet wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass in der anodischen Halbzelle (2) Reinstwasser oder eine Lauge mit einer ersten Stoffmengenkonzentration im Bereich zwischen 0.1 mol/l und 2 mol/l bzw. insbesondere zwischen 0.5 mol/l und 1 mol/l aufgenommen wird.

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass als alkalische Flüssigkeit für die initiale Füllmenge in der kathodischen Halbzelle (3) eine Lauge mit einer zweiten Stoffmengenkonzentration verwendet wird, wobei die erste Stoffmengenkonzentration gleich hoch wie oder höher als die zweite Stoffmengenkonzentration ist.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, dass als Lauge eine Kalilauge oder eine Natronlauge verwendet wird.