

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. November 2003 (06.11.2003)

PCT

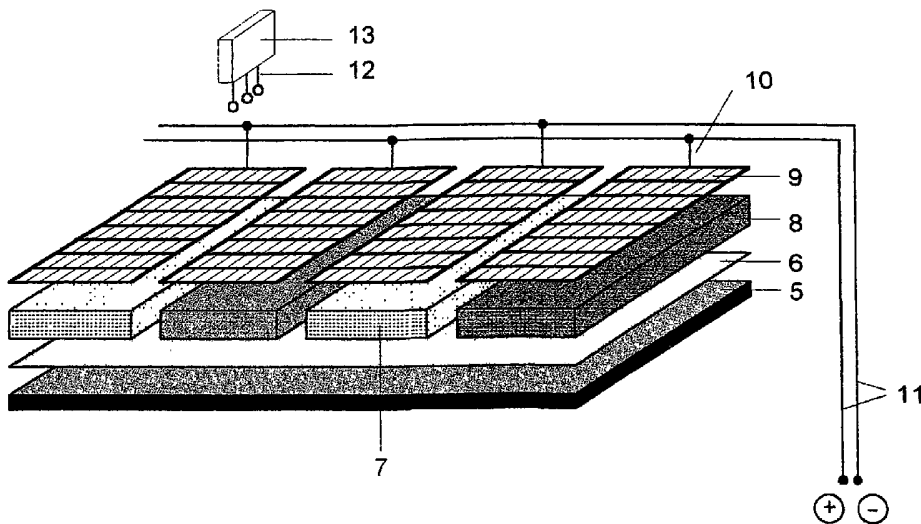
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/092086 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01M** **Irmgard** [DE/DE]; Quastenhornweg 14a, 14089 Berlin (DE). **RADEBOLD, Walter** [DE/DE]; In den Gründen 14, 21371 Tosterglope (DE). **RADEBOLD, Helmut** [DE/DE]; Königstrasse 20, 25348 Glückstadt (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01387
- (22) Internationales Anmeldedatum:
25. April 2003 (25.04.2003) (74) **Anwalt: NINNEMANN, Detlef**; c/o Patentanwälte, Maikowski & Ninnemann, Postfach 15 09 20, 10671 Berlin (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (81) **Bestimmungsstaat (national)**: US.
- (30) Angaben zur Priorität:
102 19 585.4 26. April 2002 (26.04.2002) DE (84) **Bestimmungsstaaten (regional)**: europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- (71) Anmelder und
(72) **Erfinder: RADEBOLD, Reinhart** [DE/DE]; Quastenhornweg 14a, 14089 Berlin (DE). **RADEBOLD,** **Veröffentlicht:**
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** CHEMOELECTRIC TRANSFORMER, CHEMOELECTRIC TRANSFORMER SYSTEM, METHOD FOR THE PRODUCTION OF ELECTRICAL POWER, AND METHOD FOR OPERATING A CHEMOELECTRIC TRANSFORMER SYSTEM

(54) **Bezeichnung:** CHEMOELEKTRISCHER WANDLER, CHEMOELEKTRISCHES WANDLERSYSTEM, VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG ELEKTRISCHER ENERGIE UND VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES CHEMOELEKTRISCHEN WANDLERSYSTEMS



(57) **Abstract:** The invention relates to a chemoelectric transformer comprising electrodes, which is able to tap electrical power from a liquid hydrogen carrier, particularly an aqueous glucose solution, and oxygen as starting materials via reaction centers and secondary donors or via reaction centers and secondary acceptors. The electrodes are embodied as two porous solid bodies (7, 8) conducting electrons and protons. The volume of the first solid body (7) contains the reaction centers (RZA1, RZA2) and secondary acceptors (A) while the volume of the second solid body (8) contains the reaction centers (RZD1, RZD2) and secondary donors (D) as solid compounds (24). The first and the second solid body (7, 8) are in contact with each other by means of a proton-conducting membrane (6).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/092086 A2



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen chemoelektrischen Wandler mit Elektroden, der aus einem flüssigen Wasserstoffüberträger, insbesondere wässriger Lösung von Glucose, und Sauerstoff als Edukten entweder über Reaktionszentren und sekundäre Donoren oder über Reaktionszentren und sekundäre Akzeptoren elektrische Energie auskoppeln kann, wobei als Elektroden zwei poröse, Elektronen und Protonen leitende Festkörper (7, 8) vorgesehen sind, wobei in dem Volumen des ersten Festkörpers (7) die Reaktionszentren (RZA1, RZA2) und die sekundären Akzeptoren (A) und in dem Volumen des zweiten Festkörpers (8) die Reaktionszentren (RZD1, RZD2) und die sekundären Donoren (D) als feste Verbindungen (24) vorliegen und der erste und der zweite Festkörper (7, 8) durch eine protonenleitende Membran (6) getrennt in Kontakt stehen.

**Chemoelektrischer Wandler, chemoelektrisches Wandlersystem,
Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie und Verfahren zum
Betrieb eines chemoelektrischen Wandlersystems.**

Beschreibung:

Die vorliegende Erfindung betrifft chemoelektrische Wandler gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, chemoelektrische Wandlersysteme gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 29 und 55, ein Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 60 und Verfahren zum Betrieb eines chemoelektrischen Wandlersystems gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 63 und 64.

In einem kurzen Abriss werden zunächst die für das Folgende wichtigen Begriffe erläutert.

Alle luftatmenden chemoelektrischen Wandler auf der Basis von Wasserstoff funktionieren wie bekannt grundsätzlich nach einem auf den ersten Blick einfachen Schema, das in Figur 1 zur Erläuterung des Standes der Technik dargestellt ist: Wasserstoffatome $2H$ werden an der Grenzfläche 1 zwischen einem elektronischen (meist metallischen) Leiter 2 und einem protonischen (meist aus einem Elektrolyten bestehenden) Leiter 3 in je zwei Elektronen $2e^-$ und Protonen $2H^+$ zerlegt; Wasserstoff, in welcher Form er auch immer an die Grenzfläche transportiert wurde, hat die Funktion eines Donors für e^- und H^+ . Die Anordnung, bestehend aus Grenzfläche 1 und den Leitern 2, 3 bildet eine Elektrode aus. Wenn es den beiden Elektronen e^- gelingt, in einem quantenmechanischen (Tunnel-) Prozess auf den elektronischen

schen Leiter 2 zu gelangen, wird dieser negativ aufgeladen. An der Grenzfläche 1 hat sich eine elektrische Doppelschicht aufgebaut, bestehend aus den negativen Elektronen und dem im protonischen Leiter 3 (Elektrolyten) verbleibenden weil sehr viel größeren Protonen. Der Abstand der Ladungen unterschiedlichen Vorzeichens beträgt Bruchteile von Nanometern ($\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$), ein mikroskopisches elektrisches Feld sehr hoher Feldstärke infolge des äußerst geringen Abstandes der Ladungen hat sich mit einem entsprechendem Potential aufgebaut. Eine solche Doppelschicht kann als geladener Kondensator sehr hoher Kapazität verstanden werden.

Ein chemoelektrischer Wandler besteht aus zwei Elektroden, wobei an die zweite Elektrode Sauerstoff (meist) in Form von O_2 transportiert wird. O_2 dient hier als Akzeptor für je zwei e^- und zwei H^+ , vorausgesetzt, es gelingt zwei Elektronen, den elektronischen (hier meist aus Graphit bestehenden) Leiter 2 dieser Elektrode zu verlassen und wiederum über einen quantenmechanischen Tunnelprozeß auf das O_2 -Molekül zu gelangen. Auch hier hat sich eine elektrische Doppelschicht mit einem elektrischen Feld und entsprechendem Potential ausgebildet, bestehend aus den beiden verbleibenden positiven Elektronenlöchern $2h^+$ und dem chemisch reduzierten Sauerstoff als negativem Ion (O_2) $^{2-}$.

Man erkennt, dass sich Protonen und Sauerstoffionen im gleichen protonischen Leiter 3 befinden, jedoch voneinander getrennt durch eine Membran 4. Die Membran 4 verhindert, dass der antransportierte Wasserstoff versehentlich mit dem antransportierten Sauerstoff chemisch in einer parasitären Reaktion unter unkontrollierter Freisetzung erheblicher Energie reagiert. Aufgabe des chemoelektrischen Wandlers ist es, die chemische Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff kontrolliert so ablaufen zu lassen, dass die freiwerdende Energie weitgehend in Form von elektrischer Energie genutzt werden kann. Das geschieht in

der Anordnung nach Figur 1 in dem Moment, in dem die beiden elektronischen Leiter über einen elektrischen Verbraucher, der in der Figur 1 als Widerstand dargestellt ist, so miteinander verbunden werden, dass die Elektronen $2e^-$ der mit Wasserstoff beaufschlagt gewesenen (negativen) Elektrode in die Elektronenlöcher $2h^+$ der mit Sauerstoff beaufschlagt gewesenen (positiven) Elektrode fallen können. Ein elektronischer Strom kann aber nur fließen und über die freigesetzte chemische Energie elektrische Arbeit verrichten, wenn gleichzeitig ein gleich großer protonischer Strom über den Protonenleiter und durch die Membran zum $(O_2)^{2-}$ - Ion fließt, um das Reaktionsprodukt H_2O_2 gemäß der Bruttoreaktion $2H + O_2 \rightarrow H_2O_2$ zu bilden.

Aus Sicht der Elektrodynamik haben sich die beiden Doppelschichten infolge der chemischen Reaktion nun aufgelöst, und mit ihnen sind die beiden elektrischen Felder verschwunden, nicht ohne vorher elektrische Arbeit am zwischengeschalteten Verbraucher verrichtet zu haben. Der Summe der beiden Einzelpotentiale entspricht der Spannung am Verbraucher zwischen den beiden Elektroden. Die dabei entstehenden kurzen Stromimpulse lassen sich zu einem quasi kontinuierlichen (Gleich-) Strom aneinanderfügen, wenn entsprechend die beiden Edukte Wasserstoff und Sauerstoff kontinuierlich antransportiert werden.

Chemoelektrische Wandler, die nahe der Umgebungstemperatur arbeiten, weisen unterschiedlichen technischen Aufbau und unterschiedliche Eigenschaften auf, abhängig davon, in welcher chemischen Form (und damit auch, in welchem physikalischen Zustand) der Wasserstoff zugeführt wird. Bekannt sind luftatmende alkalische und PEM-(Proton Exchange Membran) Brennstoffzellen, die mit gasförmigem, molekularem Wasserstoff H_2 als Wasserstoffüberträger und mit gasförmigem, molekularem Sauerstoff O_2 betrieben werden. Hierbei sind drei Probleme zu lösen:

- Erstens, den Transport des gasförmigen H_2 und O_2 bis an die chemoelektrisch aktive jeweilige Grenzfläche (1) zwischen dem elektronischen Leiter (2) und dem protonischen Leiter (3) zu gewährleisten, ohne dabei den Aufbau der elektrischen Doppelschicht durch Anlagerung von Gasmolekülen zu blockieren oder den Antransport der Gasmoleküle durch Fluten der Transportwege zu verhindern.
- Zweitens, den Wasserstoffüberträger H_2 in die aktive Form von $2H$ zu überführen.
- Drittens, die beide Elektroden gasdicht aber protonenleitend voneinander zu trennen.

Wie bekannt wird das erste Problem durch Hydrophobierung der gasdurchlässigen elektronischen Leiter gelöst. Die Aktivierung des H_2 als zweites Problem wird optimal durch Anlagerung an einer mit Pt versehenen Elektrode, die als Katalysator dient, erreicht. Im dritten Fall trennt bei alkalischen Wandlern vorwiegend eine poröse Membran die beiden als Protonenleiter dienenden Elektrolyträume 3, oder es wird unter Verzicht auf alkalische Elektrolyträume eine Kombination aus Protonenleiter 3 und Membran 4 in Form einer polymeren Membran, in die quasi mikroskopische, saure, wasserhaltige Kanäle zur Protonenleitung eingebaut sind, eingesetzt.

Die sich unter Belastung einstellende Potentialdifferenz am Ausgang eines mit H_2 und O_2 betriebenen chemoelektrischen Wandlers liegt bei etwa 0,5V. Fast alle elektrischen Verbraucher benötigen Wechsel- oder Drehstrom bei Spannungen von 220V oder 380V. Für einen Wechselrichter mit nachgeschaltetem Transformator sinnvoll nutzbare Spannungen lassen sich erreichen, wenn eine Vielzahl der beschriebenen Anordnung unter Verwendung bipolarer Elektroden zu Stapeln (Stacks) elektrisch hintereinander geschaltet wird. Die Einzelpotentiale addieren sich, während der gleiche Strom durch den Stapel fließt.

Weniger bekannt sind chemoelektrische Wandler, die mit einem flüssigen Wasserstoffüberträger, wie beispielsweise wässrigen Lösungen von Hydrazin N_2H_4 , Methanol CH_3OH oder Glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ arbeiten und die ihren Bedarf an Sauerstoff der Atmosphäre entnehmen. Diese Wandler verwenden im Prinzip unmittelbar Wasserstoff in Form von jeweils 2H , der mit N_2 oder CO_2 logistisch verpackt ist. Auch hier sind die Elektroden dreischichtig und bestehen nach Figur 1 aus elektronischem Leiter 2, protonischem Leiter 3 und Grenzfläche 1 zum Aufbau der Doppelschicht; beide Elektroden werden durch eine Membran 4 getrennt. Bei ihnen ist jedoch die negative Elektrode wesentlich einfacher und ohne Verwendung von Edelmetall aufgebaut, da einerseits eine gasförmige Phase mit den damit verbundenen Problemen nicht auftritt, andererseits eine Aktivierung des Wasserstoffes über einen Katalysator nicht erforderlich ist. Die kosten- und betriebsmäßig aufwendige PEM entfällt und wird durch eine zu den wässrigen Lösungen kompatible Membran ersetzt. Als neue Aufgabe ist der Abbau der fluiden Wasserstoffüberträger bis zum Stadium des 2H mit Abfuhr des N_2 oder CO_2 zu lösen. Die Probleme der positiven Elektrode mit gasförmigen Sauerstoff sind die gleichen wie bei den bisher bekannten Brennstoffzellen für gasförmigen Wasserstoff. Dies gilt nicht mehr, wenn Wasserstoffperoxid H_2O_2 als flüssiger Sauerstoffüberträger Verwendung findet, es sei denn, dass dieser an der positiven Elektrode in O_2 und H_2O zersetzt wird.

In der DE 195 19 123 C2 wird ein Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie aus nachwachsender Biomasse beschrieben. Glucose als ein C6-Zucker wird aus nachwachsender Biomasse mit bekannten Methoden gewonnen und in wässriger Lösung als flüssiger Wasserstoffüberträger zusammen mit O_2 aus der Luft für die chemoelektrische Wandlung verwendet. Nach Figur 2 zur weiteren Erläuterung des Standes der Technik baut ein Reaktionszentrum

RZD1 die Glucose über zwei C3-Zucker praktisch bis zur Stufe des 2H ab, während ein analoges Reaktionszentrum RZA1 das gasförmige O_2 bindet und zum flüssigen H_2O_2 reduziert. Das bekannte Verfahren arbeitet jedoch nicht mit den 2H aus der Glucose und dem O aus dem H_2O_2 als Donor und Akzeptor an der negativen und der positiven Elektrode, sondern es werden über zwei weitere Reaktionszentren RZD2 und RZA2 der eigentliche sekundären Donor D und der eigentliche sekundären Akzeptor A im Elektrolyten gebildet. Die sekundären Donoren und sekundären Akzeptoren stellen zwei fluide Redox-Systeme dar, die, nachdem sie ihre Elektronen und Protonen bei Kontakt mit einer der Elektroden abgegeben oder aufgenommen haben, wieder chemisch über 2H oder O an RZD2 und RZA2 regeneriert werden können. Als Elektroden, an denen die Doppelschichten aufgebaut werden, dienen Graphit-Partikel, die im Elektrolyt suspensiert, Komponenten eines Wirbelbett-Reaktors mit je zwei festen Sammel-Elektroden sind. Theoretisch erreichbar sind mit diesem Verfahren Potentialdifferenzen weit oberhalb von 1,2 V.

Das Verfahren nach DE 195 19 123 C2 orientiert sich an biochemischen Prinzipien der Energiewandlung in lebenden Zellen. Ziel ist, das große Potential der durch Photosynthese in den nachwachsenden Rohstoffen gespeicherte Strahlung der Sonne in einem neuartigen chemoelektrischen Wandler in elektrische Energie zu nutzen. Bekannt ist aus der DE 196 48 691 A1 eine Verbesserung des genannten Verfahrens insbesondere durch eine qualitative und quantitative thermodynamische Analyse von Photosynthese und Atmung. (Ein Blockschaltbild mit Exergie-Energie-Flußbild von Photosynthese und Atmung wurde im VDI-Bericht Nr. 1594 (2001), Seiten 345 bis 354 als Abb. 1 von der Anmelderin veröffentlicht). Die Reaktionsfolgen der Atmung in einer lebenden Zelle dienen als Vorbild für ein Verfahren zur Umsetzung der in wasserstoffhaltigen Stoffen und Sauerstoff gespeicherten freien Reaktionsenthalpie in Energie eines elektrodynamischen Feldes

zur Anwendung in makroskopischen und mikroskopischen technischen Systemen. Elektrische Energie aus der chemoelektrischen Wandlung wird bei diesem Verfahren mikroskopisch gesehen auf Molekülen, makroskopisch gesehen in synthetisch erzeugten Strukturen mit der Funktion einer wiederaufladbaren Batterie gespeichert. Beispielsweise können Wechsel- und Drehströme höherer Spannung erhalten werden, wenn die Batteriemoleküle an einer Vielzahl voneinander isolierter paralleler Elektroden entladen, und die Elektroden anschließend in Reihe geschaltet werden.

Die DE 198 21 980 A1 beschreibt einen Teilaspekt der chemoelektrischen Wandlung in Form eines weiteren Verfahrens zur Auskopplung elektrischer Energie. Unter anderem wird vorgeschlagen, zwischen die beiden festen Elektroden eines Wandlers eine Struktur großer innerer Oberfläche einzusetzen, die Elektronen und Protonen leitet und gleichzeitig die Donor- und Akzeptorseite des Elektrolyten voneinander trennt. Diese Struktur hat die Funktion einer Mittelelektrode, die über einen Transformator und über je einen Schalter mit den beiden anderen Elektroden verbunden ist. Da die Mittelelektrode eine nicht zu vernachlässigende Kapazität aufweist, bildet sie zusammen mit dem Transformator einen Schwingkreis, der durch abwechselnde, entgegengerichtete Stromimpulse von der negativen Elektrode zur Mittelelektrode oder von der Mittelelektrode zur positiven Elektrode erregt werden kann.

Die als Stand der Technik aufgeführten chemoelektrischen Wandler mit flüssigem Wasserstoffüberträger und gasförmigem oder flüssigem Sauerstoffüberträger sind als Makrosysteme aufgebaut. Makrosysteme, gleichgültig ob mit gasförmigen oder fluiden Edukten beschickt, müssen gegenüber ihrer Umgebung dicht sein. Sie sind daher grundsätzlich mit druckbelastbaren Dichtungen zur Umgebung zwischen Membran, metallischen Leitern und Elekt-

rolyt mit den darin enthaltenen, gelösten Redox-Partnern aufgebaut, sowie mit Rohren und Pumpen zur Förderung der fluiden Edukte und Produkte, mit Einrichtungen sowohl zur Abspaltung des CO_2 oder N_2 als gasförmigen Produkten wie auch zur Abfuhr der unvermeidlichen elektrischen und chemischen Verluste als Wärme bei relativ geringer Temperaturdifferenz zur Umgebung.

Der Aufbau eines an sich dezentral einzusetzenden chemoelektrischen Wandlers unter Verwendung von Strukturen und mit Elementen aus der makroskopischen Verfahrenstechnik weist daher erhebliche Schwachstellen auf. Die Schwachstellen sind auch unter Einsatz zusätzlicher stabilisierender Strukturen wie Druckplatten, die mit Bolzen verspannt werden, um große Kräfte aufzubringen, kaum zuverlässig zu beherrschen, da die Kräfte leicht zu Verformungen beispielsweise von Dichtungen und Flanschen, zur Verformung von Kanälen und Elektroden mit der Gefahr von Verstopfungen und Leckagen führen.

Makrosysteme sind umständlich zu handhaben, bei Störungen müssen sie vollständig entleert und weitgehend wieder zerlegt werden, um zu defekten Stellen zu gelangen. Relativ hohe Drücke sind intern erforderlich, um in den Kanälen turbulente Strömungen zu erzeugen, notwendig, um sehr dünne Randschichten an den Elektroden zu erhalten. Verglichen mit den Abmessungen der Doppelschichten sind die strömungsdynamischen Randschichten, bei denen die Geschwindigkeit praktisch auf Null absinkt und die Flüssigkeit haftet, jedoch um viele Größenordnungen dicker: Der Austausch von Edukten und Produkten mit den Elektroden kommt im wesentlichen doch nur durch Diffusion, kaum durch Konvektion zustande.

Über experimentelle Untersuchungen zu chemoelektrischen Wandlern mit flüssigem Wasserstoffüberträger liegen, soweit bekannt, keine Veröffentlichungen vor. Erfahrungen der Anmelderin

zeigen aber, dass der Aufbau eines solchen Wandlers als Makrosystem prinzipiell die gleichen Probleme aufwirft wie sie von Brennstoffzellen mit gasförmigen Edukten her bekannt sind und beispielsweise in dem VDI-Fortschrittsbericht Reihe 6, Nr.454 (2001) über Stromdichteverteilung und Leistungsverhalten der Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle beschrieben werden. Die wesentlichen Vorteile luftatmender chemoelektrischen Wandler mit Glucose als Wasserstoffüberträger, das Arbeiten mit in flüssiger Phase vorliegenden sekundären Donoren und sekundären Akzeptoren, wie zu Figur 2 beschrieben, ohne das Auftreten einer gasförmigen Phase mit den geschilderten Problemen beim Aufbau der potentialbestimmenden mikroskopischen Doppelschichten, treten wegen der makroskopischen Probleme in den Hintergrund.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist daher, einen chemoelektrischen Wandler und ein chemoelektrisches Wandlerssystem anzugeben, das als Mikrosystem ausgebildet werden kann und eine effiziente Energieumwandlung ermöglicht. Aufgabe ist weiterhin, ein Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie mit chemoelektrischen Wandlern und ein Verfahren zum Betrieb eines chemoelektrischen Wandlers anzugeben.

Die Aufgabe wird durch einen chemoelektrischen Wandler mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Demgemäß kann ein chemoelektrischer Wandler mit Elektroden aus einem flüssigen Wasserstoffüberträger, insbesondere wässriger Lösung von Glucose, und Sauerstoff als Edukten entweder über Reaktionszentren und sekundäre Donoren oder über Reaktionszentren und sekundäre Akzeptoren elektrische Energie auskoppeln. Dabei sind als Elektroden erfindungsgemäß zwei poröse, Elektronen und Protonen leitende Festkörper vorgesehen, wobei in dem Volumen des ersten Festkörpers die Reaktionszentren und die sekundären Akzeptoren und in dem Volumen des zweiten Festkörpers

die Reaktionszentren und die sekundären Donoren als feste Verbindungen vorliegen und der erste und der zweite Festkörper durch eine protonenleitende Membran getrennt in Kontakt stehen.

Es ist von Vorteil, die Poren des Festkörpers so auszubilden, dass sie kapillarisch für flüssige Edukte wirken. Mikroskopische Kapillarität kann durch ungeordnete, aber auch durch geordnete Strukturen erreicht werden. Es lässt sich so auf einfache Weise und ohne den Einsatz von Dichtungen oder die Notwendigkeit des Aufbaus hoher Drücke ein An- und Abtransport von Edukten und Produkten sowie von Reaktionswärme erreichen.

Dabei ist die Kontrolle des Wassergehaltes in den porösen Festkörpern der Elektroden essentiell. Neben der Mikrokapillarität sind daher makroskopische, kapillaraktive separate Leitungsbahnen mit der Funktion von Dochten vorgesehen, und zwar sowohl zur Verteilung flüssiger Edukte als auch zur gezielten Abfuhr überschüssiger Flüssigkeit.

Es ist von besonderem Vorteil, wenn die Elektroden zusätzlich auch zur Speicherung elektrischer Energie dienen. Es ist so eine Speicherung von Energie durch die sekundären Akzeptoren und sekundären Donoren möglich, da diese - ähnlich einer Batterie - zunächst einmal Elektronen aufnehmen bzw. abgeben können, ohne dass eine äußere Zufuhr von Edukten stattfinden muss.

In einer vorteilhaften Ausführung dienen als sekundärer Akzeptor Metall-Oxid Verbindungen, beispielsweise MnO_2 , insbesondere alkalisches Fe(VI)-Oxid. Es ist von Vorteil, als Reaktionszentren für den sekundären Akzeptor organische Verbindungen, insbesondere Chinone oder Flavine, einzusetzen. Vorteilhaft ist auch, als Reaktionszentren für den sekundären Akzeptor anorganische Cer- Verbindungen zu verwenden. Es ist vorteilhaft, als sekundären Donor metall-organische Verbindungen, organische

Verbindungen oder Metalle, insbesondere Wismut, Blei oder Eisen, aber auch Metalloxide wie Fe(II) einzusetzen. Durch den Einsatz dieser Materialien kann die Auskopplung der Energie effizient durchgeführt werden.

Die als Festkörper ausgeführten Elektroden unterschiedlichen Vorzeichens müssen chemisch gesehen nicht bei gleichen pH-Werten arbeiten. So kann beispielsweise die positive Elektrode mit ihren Akzeptoren im neutralen oder schwach sauren Bereich arbeiten, die negative Elektrode mit ihren Donoren im stark basischen Bereich. Das ändert nichts an der Tatsache, dass letztlich Protonen aus der Grenzschicht der negativen zur Grenzschicht der positiven Elektrode fließen müssen, wobei, abhängig von den gewählten Bedingungen, auch eine protonische Löcherleitung beteiligt sein kann.

In einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung können die sekundären Donoren und/oder die sekundären Akzeptoren nach ihrem Einsatz chemisch über die Reaktionszentren und/oder durch Einspeisung elektrischer Energie regeneriert werden. Es ist dadurch möglich, den chemoelektrischen Wandler, der auch als Speicher dienen kann, wieder elektrisch aufzuladen.

Es ist vorteilhaft, dass die Reaktionszentren und/oder die sekundären Donoren und/oder die sekundären Akzeptoren in eine geartete Matrix einzubinden. Die Einbindung unterschiedlicher Materialien und Substanzen kann so flexibel erfolgen. Vorteilhaft kann auch ein im ausgehärteten Zustand elastisches Bindemittel verwendet werden.

Vorteilhaft ist weiterhin, die als Elektroden und Speicher dienenden Festkörper des chemoelektrischen Wandlers quaderförmig auszubilden. In einer vorteilhaften Weiterbildung ist mindestens einer der Festkörper über einen elektrisch leitfähigen

Kontakt kontaktiert. Dabei ist vorteilhaft, den elektrisch leitfähigen Kontakt als metallisches Gitter auszubilden, das mit Vorteil den Festkörper an genau einer seiner Seitenflächen kontaktiert. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird auf das metallische Gitter Nickel, Kohlenstoff und/oder eine andere organische Verbindung aufgebracht. Vorteilhaft ist der Einsatz einer chemisch inerten Graphitfolie, die beispielsweise gelocht oder als Gitter gestanzt zur Kontaktierung verwendet wird.

Es ist von Vorteil, den elektrisch leitfähigen Kontakt in einen Festkörper zu integrieren. Es kann so eine einfach herzustellende Struktur der als Elektroden und Speicher dienenden Festkörper erreicht werden, die so einfach in einer technisch vorteilhaften Form, beispielsweise nebeneinander, angeordnet werden können. Weiterhin ist eine zuverlässige Kontaktierung möglich, die eine effiziente Ableitung der elektrischen Energie aus den Elektroden ermöglicht.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist eine Sprühvorrichtung vorgesehen, mit der Edukte und/oder Wasser auf den Festkörper aufgesprüht werden können. Dabei ist vorteilhaft, als Edukt eine wässrige Lösung von Hydrazin N_2H_4 , Methanol CH_3OH oder Glucose $C_6H_{12}O_6$, insbesondere als Wasserstoffüberträger, zu verwenden. Es ist hierdurch ein effizienter Antransport von Wasserstoffüberträgern gegeben. Dadurch, dass makroskopische, kapillaraktive Leitungsbahnen in den Elektroden zum Weitertransport und zur Verteilung der flüssigen Edukte vorgesehen sind, kann auch eine direkte Injektion der flüssigen Edukte an wenigen ausgezeichneten Stellen dieser Leitungsbahnen erfolgen.

Die Aufgabe wird weiterhin durch ein chemoelektrisches Wandler-system mit den Merkmalen des Patentanspruchs 29 gelöst.

Demgemäss kann ein chemoelektrisches Wandlersystem aus einem flüssigen Wasserstoffüberträger, insbesondere wässriger Lösung von Glucose, und Sauerstoff als Edukten über Reaktionszentren und sekundäre Donoren und/oder Reaktionszentren und sekundäre Akzeptoren elektrische Energie auskoppeln. Dabei ist erfindungsgemäss mindestens einer der vorstehend beschriebenen chemoelektrischen Wandler vorgesehen, wobei dessen als poröse, Elektroden und Protonen leitende Festkörper ausgebildete Elektroden über eine protonenleitende Schicht miteinander in Kontakt stehen und die protonenleitende Membran zwischen der protonenleitenden Schicht und den Festkörpern angeordnet ist.

Es ist von Vorteil, die Elektroden auf ihrer der protonenleitenden Schicht abgewendeten Seite über elektrisch leitfähige Kontakte zu kontaktieren. In einer Vorzugsvariante ist die protonenleitende Schicht flächig ausgebildet, wobei die mindestens zwei Elektroden, die auch als Speicher dienen können, mit der gleichen Seite der Fläche der protonenleitenden Schicht in Kontakt stehen. Es ist dabei vorteilhaft, die Elektroden auf der protonenleitenden Schicht so nebeneinander anzuordnen, dass sie sich nicht berühren. Die protonenleitende Membran kann dabei mit Vorteil auch zusätzlich zwischen den Elektroden angeordnet werden. Die Elektroden sind vorzugsweise so auf der protonenleitenden Schicht angeordnet, dass immer jeweils zwei Elektroden unterschiedlicher Dotierung nebeneinander liegen. Es lässt sich so ein skalierbares System aus positiven und negativen Elektroden herstellen, wobei der Transport der Protonen über die protonenleitende Schicht stattfindet.

Vorteilhaft ist, eine Sprühhvorrichtung vorzusehen, mit der Edukte und/oder Wasser auf die als poröse Festkörper ausgebildete Elektroden aufgesprüht werden kann. Mit Vorteil ist die Sprühhvorrichtung beweglich, insbesondere auch drehbeweglich an-

geordnet. In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die Sprühvorrichtung als feste Matrix ausgebildet, die an den gewünschten Stellen Edukte auf die Elektroden sprühen kann. Über die Sprühvorrichtung kann ein konstanter Antransport von Edukten und damit eine konstante Energieauskopplung gewährleistet werden. Wasser kann dabei als Phasenübergangsmittel zum Abtransport entstehender Reaktionswärme dienen. Wie schon erwähnt ist die Kontrolle des Wassergehaltes in den Elektroden essenziell, wozu separate kapillaraktive Leitungsbahnen vorgesehen sind. Dies gilt unabhängig davon, ob die flüssigen Edukte über eine Sprühvorrichtung oder eine direkte Injektion zugeführt werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist die protonenleitende Schicht zusätzlich entweder Reaktionszentren und sekundäre Akzeptoren oder Reaktionszentren und sekundäre Donoren auf, die zur Zwischenspeicherung elektrischer Energie dienen. Es ist vorteilhaft, die protonenleitende Schicht an ihrer den Elektroden abgewandten Seite über elektrisch leitfähige Kontakte zu kontaktieren. Die protonenleitende Schicht kann so als Energiespeicher im Prinzip einer Batterie betrieben werden, die durch die chemoelektrische Wandler und/oder durch Einspeisen von Energie von außen regeneriert werden kann.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind die protonenleitenden Schicht und die mit dieser in Kontakt stehenden Elektroden auf einer ebenen oder in einer Ebene gekrümmten Platine angeordnet. Auf der Platine sind vorteilhafter Weise zusätzlich Mittel zur Kontrolle der elektrochemischen Wandlung und/oder Mittel zur Auskopplung der elektrischen Leistung und/oder Mittel zur Einspeisung elektrischer Energie vorgesehen. Dabei ist in einer Vorzugsvariante ein Gegentakt-Flusswandler zur Auskopplung elektrischer Leistung, insbesondere zur Transformation einer Niederspannung, auf der Platine mit

angeordnet. Von Vorteil ist es, die Parallelschaltung der Elektroden nicht galvanisch sondern induktiv vorzunehmen. Zu diesem Zweck enthält ein auf hoher Frequenz arbeitender Transformator je eine Primärwicklung je Elektrodenpaar, mit den zugehörigen Schalttransistoren in dem so gebildeten Stromkreis.

Es ist von Vorteil, die Platine aus mehreren Lagen auszubilden, wobei die Mittel zur Kontrolle der elektrochemischen Wandlung und/oder Mittel zur Auskopplung der elektrischen Leistung und/oder Mittel zur Einspeisung elektrischer Energie, insbesondere auch ein Gegentakt-Flusswandler, zumindest teilweise zwischen den Lagen der Platine angeordnet sind. In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung sind auf beiden Seiten der Platine protonenleitenden Schichten und Elektroden angebracht, so dass sich die zusätzlichen Mittel zur Kontrolle der elektrochemischen Wandlung und/oder Mittel zur Auskopplung der elektrischen Leistung und/oder Mittel zur Einspeisung elektrischer Energie dazwischen befinden. Es lassen sich auf diese Weise Module fertigen, die sowohl einen Wandlerbereich aufweisen, als auch die zur Steuerung dieses Wandlerbereichs notwendigen Mittel, insbesondere eine Steuerelektronik und Mittel zur Auskopplung elektrischer Leistung. Durch die beidseitige Bestückung der Platine mit Elektroden wird eine platzsparendes "Sandwich" - Modul geschaffen.

Aus einem "Sandwich" - Modul können wirtschaftlich vorteilhafte und fertigungstechnisch einfachere und kostengünstigere „Sparversionen“ eines Moduls des chemoelektrischen Wandlers gemäß der Erfindung abgeleitet werden. In diesem Fall werden die zusätzlichen Mittel zur Kontrolle der elektrochemischen Wandlung und/oder Mittel zur Auskopplung der elektrischen Leistung und/oder Mittel zur Einspeisung elektrischer Energie aus dem "Sandwich" entnommen und an ein Ende des Moduls verlagert. Die protonenleitenden Schichten werden zusammengefaßt oder aber auf

eine einzige protonenleitende Membran reduziert. In diesem Fall werden die Einzelelektroden gleichen Vorzeichens auf je einer Seite des Moduls zusammengefaßt. Wenn die protonenleitenden Schichten entfallen, müssen ihre etwa vorhandenen Redoxsysteme in die positive Elektrode integriert werden; die Sauerstoff atmenden Elektroden werden dabei mit einer Schicht der bekannten hydrophobierten Kohlematten überzogen.

Vorteilhaft sind mehrere Platinen kreisförmig und/oder spiralförmig angeordnet sind. Von Vorteil ist weiterhin, wenn mehrere Platinen mit einer einzigen Sprühvorrichtung mit Edukten und/oder Wasser besprüht werden können. Das chemoelektrische Wandlersystem lässt sich so modular durch die Verwendung mehrerer Platinen skalieren, wobei sich alle benötigten Mittel zur Steuerung und Ein- und Auskopplung von Energie bereits auf den Platinen befinden. Die Module können in unterschiedlichen Anordnungen miteinander verbunden werden. Dabei ist von Vorteil, die chemoelektrischen Wandler, insbesondere die Platinen, über mehrere elektrische Ableitungen miteinander zu verbinden. Auf diese Weise kann ein skaliertes System hergestellt werden, das für hohe Leistungen geeignet ist.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist eine Ultraschallquelle vorgesehen, mit der zumindest Teile des chemoelektrischen Wandlersystems in hochfrequente mechanische Schwingungen versetzt werden können. Es ist weiterhin von Vorteil, einen Behälter vorzusehen, mit dem zumindest ein Teil des chemoelektrischen Wandlersystems, insbesondere die porösen Festkörper und/oder Platinen mit chemoelektrischen Wandlern, gegenüber der Umgebung druckdicht abschließbar ist. Dabei ist vorteilhaft, wenn in dem Behälter eine sich im Fließgleichgewicht befindliche Atmosphäre aus Sauerstoff, Stickstoff, Wasserdampf und CO₂ aufrecht erhalten werden kann. Der Druck in dem Behälter ist dabei vorteilhaft periodisch und/oder zu fest-

gelegten Zeiten veränderbar, wobei der Behälter mit Vorteil kühlbar ist. Durch diese vorteilhaften Ausgestaltungen lässt sich der Durchsatz an Edukten, Produkten und Wasser durch den porösen Festkörper erhöhen, wodurch die Auskoppelleistung gesteigert werden kann.

Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 60 gelöst.

Demgemäss kann mit einem Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie mit chemoelektrischen Wandlern, mit denen aus einem flüssigen Wasserstoffüberträger, insbesondere wässriger Lösung von Glucose, und Sauerstoff als Edukten über Reaktionszentren und sekundäre Donoren und/oder Reaktionszentren und sekundäre Akzeptoren elektrische Energie ausgekoppelt werden. Dabei werden die Edukte erfindungsgemäß auf mindestens eine Elektrode aufgebracht, die als poröser, Elektronen und Protonen leitender Festkörper ausgebildet ist und in dessen Volumen die Reaktionszentren und die sekundären Akzeptoren oder die Reaktionszentren und die sekundären Donoren als feste Verbindungen vorliegen.

In einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung werden die Edukte kapillarisch in den porösen Festkörper transportiert. Der Transport der Edukte wird so ohne zusätzliche technische Hilfsmittel vorgenommen.

Weiterhin wird mit Vorteil ein weiter oben beschriebenes chemoelektrisches Wandlersystem in einem der folgenden vier Betriebszustände betrieben:

- a) Betrieb bei Normleistung in einem Zustand im Fließgleichgewicht, bei dem die Abgabe elektrischer Energie über sekundäre Donoren D und sekundäre Akzeptoren A der Zufuhr der Edukte und damit ihrer chemischen Regeneration pro-

- portional ist,
- b) Betrieb mit im Vergleich zur Normleistung stark erhöhter, kurzfristiger Abgabe elektrischer Leistung als zulässige Überlast bei dem (verglichen zu den Erfordernissen des Betriebszustandes a) im Überschuss vorhandene sekundäre Donoren D und sekundäre Akzeptoren A ohne unmittelbare chemische Regenerierung verbraucht werden,
 - c) Betrieb mit stark erhöhter kurzfristiger Aufnahme elektrischer Energie aus einer externen Quelle zur direkten elektrischen Regenerierung verbrauchter sekundärer Donoren und sekundärer Akzeptoren, gleichbedeutend mit der elektrischen Aufladung des internen Speichers, insbesondere auch parallel zur chemischen Regenerierung,
 - d) Betrieb bei Niedriglast bei dem verbrauchte sekundäre Donoren und sekundäre Akzeptoren des chemoelektrischen Wandlerystems intern elektrisch regeneriert werden, wobei die verbrauchten sekundären Donoren und sekundären Akzeptoren einiger Elektroden durch die sekundären Donoren und sekundären Akzeptoren anderer, im Fließgleichgewicht gemäß dem Betriebszustand a) betriebene Elektroden regeneriert werden.

Es ist weiterhin vorteilhaft, ein obenbeschriebenes chemoelektrisches Wandlerystems so zu betreiben, dass die von dem chemoelektrischen Wandlerystem erzeugte Niederspannung mit einem Gegentakt-Flusswandler auf technisch übliche Spannungen, insbesondere 110V, 220V oder 380V, herauf transformiert wird. Dabei wird die Spannung vorzugsweise in zwei- oder mehrphasige Wechselströme einstellbarer Frequenz umgewandelt. Es lassen sich so aus der von den chemoelektrischen Wandlern gelieferten Niedrigspannung technisch verwertbare Spannungen und Ströme erzielen.

Die vorliegende Erfindung geht von dem Gedanken aus, die bisherige Kopplung von mikroskopischen Prozessen mit makroskopischer

Technik soweit als möglich aufzuheben. Es versteht sich, dass heutige moderne Technologien (Nanotechnologie) nur ansatzweise bis in den Bereich von nm vordringen, ihr Wirkungsbereich dürfte oberhalb von 100 nm beginnen. Die vorliegende Erfindung baut auf dieser Technologie, beispielsweise auf ungeordneten mikroporösen, kapillaraktiven Strukturen, auf Mikrotropfen und ihren Fördersystemen, auf Kondensation und Verdampfung an Mikrorauigkeiten, auf makroskopischen dochtartigen Leiterbahnen für Flüssigkeiten auf. Vorteilhafter ist es, an Stelle der ungeordneten geordnete mikroporöse Strukturen einzusetzen, etwa dadurch, dass elektronisch und protonisch leitfähige, durchlässige mikroskopische Kapseln beispielsweise im Bereich von 10 μm die Redoxsysteme und Reaktionszentren einschließen und dass die Kapseln zu quasi kristallinen Strukturen aufgereiht werden.

Die vorliegende Erfindung integriert also die zur chemoelektrischen Wandlung, Speicherung und Auskopplung der elektrischen Energie erforderlichen Komponenten, Redox-Systeme und Leiter für Protonen, und sie verzichtet soweit möglich auf makroskopische hydrodynamische und hydraulische Strukturen.

Die vorliegende Erfindung verlässt also Verfahren und Anordnungen zur chemoelektrischen Wandlung wie im Stand der Technik beschrieben, in denen Reaktionszentren sowie Donoren und Akzeptoren im wässrigen Elektrolyten gelöst sind, wobei Wasser im Überschuß vorhanden ist. Die Erfindung basiert auf dem Einsatz von Reaktionszentren RZD1, RZD2, RZA1 und RZA2 sowie von sekundären Donoren D und Akzeptoren A wie in Fig. 2 dargestellt, aber sie beschreibt im Unterschied zur genannten Patentschrift Verfahren und Anordnungen,

- die mit chemoelektrisch aktiven, nicht-fluiden dreidimensionalen Strukturen arbeiten,
- in denen Reaktionszentren, Donoren und Akzeptoren nicht-

- fluide Verbindungen sind,
- und in denen Wasser nur in dem Umfang auftritt, wie es als Edukt und/oder als Mittel zum Wärmetransport benötigt wird, und wie es sich als Produkt findet.

Durch die Erfindung werden neue Freiheitsgrade für die chemo-elektrische Wandlung gewonnen. Erst jetzt, da Dichtungen, hydrodynamische und auch stabilisierende Strukturen und Einrichtungen mit ihren Drücken und Kräften entfallen, erscheint ein modularer Aufbau des Wandlersystems wie in der Mikroelektronik mit seinen großen Vorteilen bei Fertigung, Betrieb und auch Störfällen möglich. Im Falle eines modularen chemoelektrischen Wandlersystems lässt sich im Prinzip jegliche vom Kunden geforderte Ausgangsleistung einfach durch Addition von Modulen, die auf eine gemeinsame Sammelschiene gesteckt und somit elektrisch parallel geschaltet werden, erreichen.

Gemäß der Erfindung werden nur solche für Redox-Reaktionen fähige Stoffe oder Verbindungen als (sekundäre) Donoren D und Akzeptoren A verwendet, die

- als feste Substanzen in mikroporöse Strukturen oder in ge-lartige Matrizen eingebracht sind, und die
- nach ihrem Einsatz sowohl chemisch über die Reaktionszentren RZD2 und RZA2, aber auch direkt elektrisch regeneriert werden können.

Als Donor kann im einfachsten Fall vorteilhaft ein Metall wie Wismut oder Blei verwendet werden, da sich beispielsweise ihre Oxide durch Glucose über Reaktionszentren RZD1 und RZD2 reduzieren lassen, aber auch Metalloxide etwa auf der Basis von Fe(II), die über einen Wertigkeitswechsel beispielsweise nach Fe(III) funktionieren, lassen sich ebenfalls durch Glucose über die Reaktionszentren RZD1 und RZD2 reduzieren. Auch organische

und metall-organische Verbindungen kommen in Betracht.

Als sekundärer Akzeptor A können beispielsweise Verbindungen auf der Basis von Metall-Oxiden wie beispielsweise MnO_2 eingesetzt werden, so läßt sich alkalisches Fe(III)-Oxid über H_2O_2 zu FeO_4^{2-} , einem Fe(VI)-Oxid, als sehr effektiven Akzeptor oxidieren.

Als Reaktionszentrum RZA1 wurden bereits früher organische Verbindungen wie Chinone genannt, hier kommen beispielsweise neben Flavinen und anderen organischen Verbindungen auch anorganische Cer-Verbindungen, die molekularen Sauerstoff als Komplex binden und zu H_2O_2 reduzieren, in Frage.

Unter der zweiten Voraussetzung ist es prinzipiell möglich, elektrische Energie aus einer externen Quelle - etwa Bremsenergie bei einem Fahrzeugantrieb (die im allgemeinen rund 15% der Antriebsenergie ausmacht) - in das Wandlersystem einzuspeisen und damit zu einem großen Teil rückzugewinnen.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren der Zeichnungen weiter erläutert. Es zeigen:

Figur 1 Schematische Darstellung eines chemoelektrischen Wandlers nach dem Stand der Technik,

Figur 2 schematische Darstellung eines Verfahrens zur Erzeugung elektrischer Energie aus nachwachsender Biomasse gemäß dem Stand der Technik,

Figur 3 schematische Explosionsdarstellung eines erfindungsgemäßen chemoelektrischen Wandlersystems,

Figur 4a schematische, nicht maßstäbliche Schnittdarstellung

durch einen mikroporösen, ungeordneten Festkörper eines erfindungsgemäßen chemoelektrischen Wandlers,

Figur 4b schematische, nicht maßstäbliche Schnittdarstellung durch einen mikroporösen, geordneten Festkörper eines erfindungsgemäßen chemoelektrischen Wandlers,

Figur 5 schematische Explosionsdarstellung eines erfindungsgemäßen chemoelektrischen Wandlersystems in einer zweiten Ausführungsform,

Figur 6 schematische Explosionsdarstellung eines erfindungsgemäßen chemoelektrischen Wandlersystems in einer dritten Ausführungsform,

Figur 7 schematisches Schaltbild eines Gegentakt-Flusswandlers,

Figur 8 schematische Schnittdarstellung einer weiteren, kostengünstigen „Sparversion“ eines Moduls des erfindungsgemäßen chemoelektrischen Wandlersystems, und

Figur 9 schematische Darstellung einer induktiven Kopplung mehrerer Elektrodenpaare über einen Hochfrequenztransformator.

Fig. 3 zeigt eine nicht maßstabsgerechte, schematisierte Explosionszeichnung der Erfindung, bezogen auf den chemoelektrischen Teil eines chemoelektrischen Wandlersystems.

Die einzelnen Elektroden des chemoelektrischen Wandlersystems sind als streifenförmige, poröse und kapillarisch für Edukte wirkende Festkörper 7, 8 ausgeführt. Die Elektroden wirken auch als Speicher für elektrische Energie. Die Festkörper 7, 8 sind

einerseits durch die Einbindung von als feste Verbindungen vorliegende Reaktionszentren und sekundären Donoren in die poröse Struktur als negative Elektroden-Speicherstruktur 7 und andererseits durch die Einbindung von Reaktionszentren und sekundären Akzeptoren in die poröse Struktur als positive Elektroden-Speicherstruktur 8 ausgebildet. Auf einer ebenen Schicht 5 aus protonenleitendem Material liegt eine ebenfalls protonenleitende Membran 6 als Trennschicht zu einer Anordnung aus streifenförmigen, elektronisch über eine Trennfuge voneinander getrennten negativen und positiven Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8, die über Schutz-, Stütz- und Stromsammel-Gitter 9 abwechselnd mit negativen und positiven elektronenleitenden Stromleitungen 10 eines zweisträngigen Leistungsbusses 11 verbunden, also insgesamt parallel geschaltet sind.

Nicht gezeigt ist hier eine Weiterbildung, bei der jedes Paar der Elektroden-Speicherstrukturen 7 und 8 über Schalttransistoren und jeweils eine separate, eigene Primärwindung des Hochfrequenztransformators induktiv miteinander über eine Sekundärwicklung gekoppelt ist. Eine solche Kopplung ist beispielsweise in Figur 9 gezeigt.

Die protonenleitende Membran 6 kann in einer hier nicht gezeigten Ausführungsform zusätzlich auch in der Trennfuge zwischen den beiden Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8 angeordnet sein oder die Trennfuge Material der protonenleitenden Membran 6 enthalten. Die Trennfuge kann auch mit einem Isolator ausgefüllt werden. Die protonenleitende Schicht 5 und die Membran 6 sind allen Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8 gemeinsam zugeordnet.

Die Ausbildung der Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8 als Streifen, wie hier gezeigt, ist zweckmäßig aber nicht zwingend, im Prinzip können beliebige geometrische Formen und Anordnun-

gen, etwa als Kreise oder in Form eines Schachbrettes, verwendet werden.

Die Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8 sind durch poröse, kapillaraktive, elektronisch und protonisch leitende Festkörper ausgebildet, in den das Schutz-, Stütz- und Stromsammel-Gitter 9, vorteilhaft mit präparierter Oberfläche, integriert oder aufgesetzt wird. Der jeweilige Festkörper 7, 8 enthält entweder Reaktionszentren RZD1 und RZD2 oder RZA1 und RZA2 gemäß Figur 2 und der dortigen Beschreibung des Standes der Technik, einschließlich des Redox-Systems der sekundären Donoren D oder sekundären Akzeptoren A, nun allerdings nicht in gelöster, flui-der Form, sondern als feste Verbindungen.

Die inneren Grenzflächen zum Aufbau der potentialbestimmenden Doppelschichten sind, ähnlich wie bei Aktivkohle, sehr groß. Da die poröse Festkörperstruktur, etwa durch Zumischen von Graphit oder Ruß, auch elektronenleitend ist, weil eine elektronenleitende Matrix ausgebildet wird, können die in die poröse Festkörperstruktur integrierten sekundären Donoren D Elektronen über das Schutz-, Stütz- und Stromsammel-Gitter 9 an den Leistungsbus 11 abgeben und die sekundären Akzeptoren A Elektronen über den Leistungsbus 11 erhalten. Die galvanische Kopplung wird in der in Figur 9 gezeigten Ausführungsform durch eine induktive Kopplung ersetzt.

Zwischen den Elektroden 7, 8 untereinander und mit der protonenleitenden Schicht 5 findet ein Wärmetransfer statt, bei dem die entstehenden thermischen Energien untereinander ausgetauscht werden können. Die Struktur transferiert so intern Wärme auf der Temperatur der Struktur (Anergie). Bei der chemo-elektrischen Oxidation der 24H aus Glucose wird Anergie freigesetzt, etwa in gleicher Höhe wie die Abspaltung von jeweils 24H aus Glucose erfordert. Damit findet ein steter Wärme- und Stofffluss zwi-

schen den Elektroden statt.

Figur 4a ist eine schematische, nicht maßstabsgerechte Schnittdarstellung einer der mikroporösen ungeordneten, kapillaraktiven Festkörper, die die Elektroden-Speicherstrukturen ausbilden. Sie zeigt die aus den Partikeln 22 gebildete elektronenleitende Matrix und die Partikel 23 der korrespondierenden, versetzt dazu angeordneten protonenleitenden Matrix. Weiterhin sind die Komplexe 24, zu denen im Falle einer negativen Elektroden-Speicherstruktur die Reaktionszentren RZD1, RZD2 und Donoren D und im Falle einer positiven Elektroden-Speicherstruktur die Reaktionszentren RZA1, RZA2 und Akzeptoren A zusammengefasst sind, zu sehen. Die Komplexe 24 liegen dabei als feste Verbindungen im porösen Festkörper vor. Die Komplexe 24 können aber auch in einer gelartigen Matrix vorliegen.

Die zum Aufbau der Doppelschichten erforderlichen Grenzflächen 21 entstehen zwischen den Partikeln 22 der elektronenleitenden Matrix und den Komplexen 24. Die Zwischenräume zwischen den verschiedenen Partikeln 22, 23 und den Komplexen 24 bilden das mikroskopische Kapillarsystem aus. In dieser Darstellung sind die kapillaraktiven makroskopischen Leiterbahnen fortgelassen.

Figur 4b ist eine schematische, nicht maßstabsgerechte Schnittdarstellung eines mikroporösen, geordneten, kapillaraktiven Festkörpers in einer weiteren Ausführungsform, die als Elektroden-Speicherstrukturen verwendet werden. Sie zeigt elektronisch und protonisch leitfähige, durchlässige mikroskopische Kapseln, in denen die Reaktionszentren RZD1, RZD2 und Donoren D im Falle einer negativen Speicherstruktur 7 oder Reaktionszentren RZA1, RZA2 und Akzeptoren A im Falle einer positiven Elektroden-Speicherstruktur 8 eingeschlossen sind. Die Komplexe 24 liegen dabei als feste Verbindungen vor. Die Kapseln werden aus elektronenleitenden, sehr viel kleineren ebenfalls mehr oder weniger

kugelförmigen Partikeln 22, beispielsweise aus Kohlenstoff gebildet, die den mehr oder weniger kugelförmigen Komplex 24 in einer dünnen, kristallin wirkenden Schicht umgeben. In den Hohlräumen zwischen diesen Partikeln befindet sich der Protonenleiter 23. Diese Kapseln können in geordneten Lagen angeordnet werden und stehen in elektronischem Kontakt. Die Zwickel zwischen den Kapseln bilden das mikroskopische Kapillarsystem. Wie auch in Figur 4a sind die makroskopischen kapillaraktiven Leiterbahnen nicht gezeigt.

Versteht man die protonenleitende Schicht 5 als gemeinsame "protonische Masse", so wandern die entsprechenden Protonen durch diese Schicht von der negativer Elektroden-Speicherstruktur 7 zu den beiden benachbarten positiven Elektroden-Speicherstrukturen 8. Ihr Weg ist um so kürzer je schmaler die Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8 ausgelegt sind. Die gemeinsame protonenleitende Schicht 5 ermöglicht es im Unterschied zu üblichen Brennstoffzellen, die positiven und negativen chemoelektrischen Wandler 7, 8 gemeinsam von einer Seite (und nicht wie bisher von zwei Seiten) aus mit Edukten zu versorgen.

Um die verbrauchten Donoren und Akzeptoren über die Reaktionszentren chemisch zu regenerieren, muss im Sauerstoff O_2 in die positiven Elektroden-Speicherstrukturen 8 eindiffundieren, während gelöste Glucose oder ein anderer flüssiger Wasserstoffüberträger den negativen Elektroden-Speicherstrukturen 7 von oben zuzuführen ist. In der hier dargestellten Ausführungsform wird der flüssige Wasserstoffüberträger über eine Sprühvorrichtung in Form eines Druckersystems mit einem Druckerkopf 13, Düsen und Fördersystemen, ähnlich wie er in Abmessungen und Funktion von Tintenstrahldruckern bekannt ist, auf die negativen Elektroden-Speicherstrukturen 7 gesprüht. Der Sauerstoff aus der umgebenden Atmosphäre hat Zutritt zu der positiven Elektro-

den-Speicherstruktur 8.

Anstelle des zweiachsig über die Gesamtheit der Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8 zu führenden Druckerkopfes 13 kann eine hier nicht gezeigte einachsig zu bewegend Druckerkopf-Leiste oder aber eine fest installierte Druckerkopf-Matrix als Sprühvorrichtung verwendet werden.

In einer hier nicht gezeigten Variante der Erfindung hat jeder Druckerkopf 13 zumindest ein zweites Düsen- und Fördersystem, mit dem er Wasser als Reaktionspartner und Mittel zum Wärmetransport auf die Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8 sprühen kann. Dieses zweite Düsen- und Fördersystem ist so programmiert, dass wässrige Lösungen von Glucose oder Hydrazin und das zusätzliche Wasser soweit erforderlich auf die entsprechende Elektroden-Speicherstruktur 7, 8 oder Teile von diesen unter Auslassung der Trennfugen zwischen den Festkörpern 7, 8 sprüht.

Die Mikrotropfen 12 werden von den kapillaraktiven Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8 aufgenommen und innerhalb dieser durch die wirkenden Kapillarkräfte verteilt. Die Reservoirs, von denen aus der Druckerkopf 13 über flexible Zuleitungen versorgt wird, sind ebenso wie seine Mechanik und sein Steuerbus in der Zeichnung nicht gezeigt.

Die Abfuhr der Reaktionsprodukte CO_2 oder N_2 geschieht durch die Kanäle des Kapillarsystems ebenso wie die Abfuhr des H_2O einschließlich der zur Lösung der Glucose oder zur Verdünnung des Hydrazins verwendeten (zusätzlichen) H_2O - Anteile in gasförmiger Phase: Dieses Wasser, das sich zunächst in flüssiger Form innerhalb der porösen, kapillaraktiven Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8 befindet, wird durch die Summe der Verluste der chemoelektrischen Wandlung in Form von Wärme auf der Temperatur der Elektroden-Speicherstruktur 7, 8 verdampft, vor-

zugsweise an quasi kristallinen Bereichen oder Mikrorauigkeiten, die als Keim zur Verdampfung wirken. Sollte Flüssigkeit im Überschuß vorhanden sein, die nicht durch Verdampfung entweichen kann, treten die makroskopischen kapillaraktiven Leiterbahnen zur Abfuhr in Funktion. Ein fast isothermer Abtransport der Verlustwärme aus den mikroporösen Elektroden-Speicherstruktur 7, 8 in die sie umgebende Atmosphäre ist möglich, wobei anschließend die Verlustwärme der umgebenden Atmosphäre durch Kondensation des Wasserdampfes an entsprechend gekühlten Flächen wieder entzogen wird.

Um den Durchsatz an Edukten und Produkten durch die porösen, kapillaraktiven Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8 zu beschleunigen, um den Auf- und Abbau der Doppelschichten zu beschleunigen, werden die Elektroden-Speicherstruktur 7, 8 durch einen hier nicht dargestellten Ultraschall-Sender in hochfrequente mechanische Schwingungen versetzt.

Voll kommt das Konzept des Druckerkopfes 13 zum Einsatz, wenn ein flüssiger Sauerstoffüberträger wie beispielsweise H_2O_2 mit Wasser verdünnt über ein drittes Düsen- und Fördersystem im Druckerkopf 13 aufgesprüht wird. Die Sauerstoff-Diffusion entfällt, Stromdichte und auch Spannung steigen drastisch. Soll das Gesamtsystem nach wie vor luftatmend sein, ist es erforderlich, die Reduktion von O_2 über das RZA1 in eine Art von Lunge auszulagern, die Funktionen von RZA1 und RZA2 also räumlich und zeitlich zu entkoppeln. Hohe Leistungsdichte wird mit erhöhtem Aufwand erreicht. Die Elektroden-Speicherstruktur 8 ändert sich, wenn überhaupt, nur unwesentlich.

Die elektrische Regenerierung der verbrauchten Donoren D und Akzeptoren A kann als Alternative zur bisher beschriebenen chemischen Regenerierung bei den hier beschriebenen Varianten der Erfindung direkt über extern zugeführte elektrische Energie er-

folgen. Die elektrische Energie wird dabei über den Leistungsbus 11 mit seinen Stromleitungen 10, über die Schutz-, Stütz- und Stromsammel-Gitter 9 in die elektronisch leitfähige Matrix der Elektroden-Speicherstrukturen 7, 8 eingekoppelt. Die elektrische Regenerierung der Redox-Systeme bedeutet aus elektrischer Sicht Aufladung des internen Speichers. Auch hierbei muss intern ein gleich großer protonischer Strom fließen.

Das chemoelektrische Wandlersystem gemäß der vorliegenden Erfindung hat die Eigenschaft, seinen Speicher nicht nur extern über elektrische Energie sondern auch intern durch Zufuhr chemischer Energie aufladen zu können. Das Wandlersystem kennt daher vier Betriebszustände:

1. Den Zustand im Fließgleichgewicht, bei dem die Abgabe elektrischer Energie über sekundäre Donoren D und sekundäre Akzeptoren A der Zufuhr von O_2 oder H_2O_2 und dem flüssigen Wasserstoffüberträger wie Glucose nebst zusätzlichem Wasser und damit ihrer chemischen Regeneration proportional ist, in dem das Wandlersystem je nach Belastung maximal seine Normleistung erbringen kann,
2. die im Vergleich zur Normleistung im Betriebszustand 1 stark erhöhte kurzfristige Abgabe elektrischer Leistung als zulässige Überlast über (verglichen zu den Erfordernissen des Betriebszustandes 1) im Überschuß vorhandene sekundäre Donoren D und sekundäre Akzeptoren A ohne unmittelbare chemische Regenerierung,
3. die stark erhöhte kurzfristige Aufnahme elektrischer Energie aus externer Quelle zur direkten elektrischen Regenerierung verbrauchter sekundärer Donoren und sekundärer Akzeptoren, gleichbedeutend mit der elektrischen Aufladung des internen Speichers, möglicherweise parallel zur chemi-

schen Regenerierung,

sowie als Kombination der Betriebszuständen 3 und 1

4. die interne elektrische Regenerierung verbrauchter sekundärer Donoren und sekundärer Akzeptoren bei Niedriglast des chemoelektrischen Wandlersystems, wobei die verbrauchten sekundären Donoren und sekundären Akzeptoren einiger Elektroden-Speicherstrukturen durch die sekundären Donoren und sekundären Akzeptoren anderer, im Fließgleichgewicht nach 1 betriebene Elektroden-Speicherstrukturen regeneriert werden.

Der große technische Vorteil der interner Regenerierung der als Speicher eingebauten Redox-Systeme der sekundären Donoren D und der sekundären Akzeptoren A liegt darin, dass die Aufladung des Speichers nicht mehr allein abhängig von elektrischer Energie aus externen Quellen ist, sondern bei Niedriglast oder der Last Null erfolgen kann.

Fig. 5 zeigt eine weitere Variante der Erfindung, bezogen auf den chemoelektrischen Teil des Wandlersystems, mit direkter Luftatmung, erweiterter Sauerstoff-Diffusion und mit stark vergrößertem Speicher. Die luftatmende, positive Elektroden-Speicherstruktur 8 der Figur 3 ist zurückgeführt auf eine - nunmehr im Volumen und damit an Oberfläche entsprechend vergrößerte - ausschließlich luftatmende Elektrodenstruktur 14. Die ehemals zugehörige Speicherstruktur mit ihren sekundären Akzeptoren A ist verlagert in die gemeinsame protonenleitende Schicht 5 nach Figur 3, so dass eine neue Protonenleitungs-Elektroden-Speicherstruktur 15 entstanden ist. Entsprechend vergrößert und mit eigenem Schutz-, Stütz- und Stromsammel-Gitter 9 ausgerüstet ist diese dritte Struktur über Stromleitungen auf den nunmehr dreisträngigen Leistungsbuss 16 geschal-

tet. Das ganze chemoelektrische Wandlersystem ist modular aufgebaut.

Im Betriebszustand 1 (Fließgleichgewicht) wird die elektrische Energie von Elektrodenstrukturen 7 und 14 abgegeben, während in den Betriebszuständen 2 und 3 die Elektrodenstrukturen 7 und 15 über den Leistungsbus 16 aktiviert werden. Bei der internen Aufladung jeweils eines Teiles der im Wandlersystem integrierten Speicherstrukturen im Betriebszustand 4 arbeiten die regenerierenden Elektroden-Speicherstrukturen über die Elektrodenstrukturen 7 und 14, während zu regenerierende andere Elektroden-Speicherstrukturen über deren Elektroden-Speicherstrukturen 7 und 15 an den Leistungsbus 16 geschaltet sind, so dass intern elektrische Energie transferiert wird.

Es können mehrere Module gleichzeitig betrieben werden, die je nach Anforderungen parallel oder seriell über eine elektrische Sammelschiene miteinander gekoppelt werden. In dem Fall, dass ein Modul im Betriebszustand 4 elektrische Energie abgibt, um die Redox-Systeme eines zweiten Moduls zu regenerieren, setzt das den Transfer elektrischer Energie über eine allen Modulen gemeinsame Sammelschiene voraus, und zwar auf dem Niveau der sich am Leistungsbus 16 jedes Moduls einstellenden chemoelektrischen Potentialdifferenz.

Einer der großen Vorteile des chemoelektrischen Wandlersystems gemäß der Erfindung liegt aber darin, wie im folgenden Beispiel gezeigt werden wird, dass jedes chemoelektrische Modul elektrische Energie bereits als zwei-, drei- oder mehrphasige Ströme einstellbarer Frequenz mit technisch üblichen Spannung an eine gemeinsame Sammelschiene abgeben kann. Eine modulübergreifende interne Regenerierung der Redox-Systeme erfordert die Verwendung zweier Sammelschienen, einer Gleichstromschiene mit geringer Spannung und hohen Strömen und einer Wechsel- oder Dreh-

stromschiene mit Spannungen von beispielsweise 380 V erfordern, was einen erheblichen technischen Aufwand bedeutet. Der Vorzug ist einem nicht modulübergreifenden Betriebszustand 4 zu geben, für den eine Niederspannungs-Gleichstrom-Schiene entbehrlich ist.

Fig. 6 zeigt ein Beispiel für einen vollständiges, intern regenerierbares Modul eines chemoelektrischen Wandler-Systems, bestehend aus dem chemoelektrischen Teil, hier in Form der Variante nach Fig. 5, zusammen mit seiner Peripherie, aufgebaut als mehrlagige Platine und aus seinem Druckersystem.

Die Explosionszeichnung lässt die unterschiedlichen Schichten und Lagen des Moduls erkennen. Die oberen Schichten dienen der chemoelektrischen Wandlung, besprüht hier von einem einzelnen Druckerkopf 13, wie vereinfachend exemplarisch dargestellt. Die unteren Schichten enthalten die Peripherie, bestehend aus einer Leistungselektronik 18 sowie aus einem mikroelektronischen Kontrollsystem 19 nebst Daten- und Energie-Bus 20. Die mehrlagige Platine 17 bildet in konstruktiver Hinsicht das Stützgerüst des Moduls.

Die Platine setzt sich wie hier exemplarisch dargestellt aus nicht-leitenden Fremdlagen 17.1 bis 17.4 zusammen, wobei sich in den drei Zwischenschichten die einzelnen Stränge des Leistungsbusses 16 befinden. Diese sind, voneinander isoliert und eng aufeinanderliegend, in Form elektronenleitender Platten 16.1 bis 16.3 mit sehr geringem Innenwiderstand über die Ableitungen 10 jeweils mit den chemoelektrisch aktiven Strukturen verbunden. Auch der Bus 20 erreicht über Zwischenlagen die Sensorik.

Nicht gezeigt ist der Anschluss des Moduls an eine allen Modulen des Wandler-Systems gemeinsame Sammelschiene für die elekt-

rische Leistung und an einen gemeinsamen Datenbus.

Das mikroelektronische Kontrollsystem mit 19 mit seinem Bus 20 zum Datentransfer und zur Versorgung von Aktoren und Sensoren mit Energie hat die Aufgabe, den Zustand der einzelnen Komponenten des Moduls hinsichtlich der ihnen ablaufenden Reaktionen und Prozesse zu erfassen, und das Druckersystem in seinen verschiedenen Ausführungsformen als Aktor in Abhängigkeit von der chemoelektrischen Wandlung und ihren Betriebszuständen zu steuern.

Da je nach Belastung des chemoelektrischen Wandlers unterschiedliche Verlustwärme im Modul anfällt, muss neben der Dosierung des (der) Edukt(e) die Zufuhr von Wasser als Transportmittel angepasst werden. Die hohe Verdampfungswärme des H_2O erfordert aber nur eine geringe Zufuhr zusätzlichen Wassers über den Sprühkopf 13 und daher eine sehr sorgfältige Kontrolle der Feuchtigkeit und der Temperatur innerhalb der Strukturen und der umgebenden Atmosphäre, weil jeglicher Überschuss an Wasser in den chemoelektrischen Strukturen die chemoelektrische Wandlung in negativer Weise beeinträchtigt. Diese Kontrolle, erweitert durch Messungen der Stromdichte, ermöglichen insbesondere in den Strukturen verteilte, hier nicht gezeigte Mikrosensoren. Zusammen mit gleichfalls integrierten Bezugselektroden lässt sich zusätzlich die Potentialdifferenz zwischen jeweiliger Elektrode und Protonenleiter erfassen (die Messung der Spannung zwischen den Elektroden lässt nur indirekt Aufschluss über die Situation der einzelnen Elektrode zu). Das mikroelektronische Kontrollsystems 19 jeden Moduls ist über Steckverbinder und über einen hier nicht gezeigten Bus mit einem hier nicht gezeigten übergeordneten Rechner, dem die Kontrolle des gesamten chemoelektrischen Wandler systems obliegt, verbunden.

Die Funktion der Leistungselektronik 18 ist auf die vier ange-

föhrten Betriebszustände abgestimmt. Die Leistungselektronik besteht im Prinzip aus einem bekannten Gegentakt-Flußwandler, dessen Schema in Fig. 7 dargestellt ist, also aus Halbleiterschaltern wie Transistoren, aus einem Transformator mit jeweils zwei Wicklungen auf jeder Seite und aus einer Kapazität sowie aus Dioden auf der Ausgangsseite. Diese Anordnung wird mit Frequenzen ab etwa 50 kHz betrieben, wodurch der Transformator in seinen Abmessungen soweit reduziert ist, dass er sich in den Modul einbringen lässt. Gemäß der Erfindung wird der Transformator unmittelbar an die Platten 16.1 bis 16.3 des Leistungsbusses 16 beispielsweise über Durchkontaktierungen angeschlossen und partiell integriert, nicht nur, um Platz zu sparen, vor allem, um die Streuinduktivitäten herabzusetzen. Als Kapazität des Gegentakt-Flußwandlers auf der Niederspannungs-Seite wird gemäß der Erfindung ausschließlich die Doppelschichtkapazität der chemoelektrischen Strukturen verwendet.

In den Betriebszuständen 1 und 2 wird der von den Sammelplatten kommende, über die Halbleiterschalter in hochfrequente Impulse zerlegte und über den Transformator auf technisch übliche Spannungen gebrachte Strom wird gemäß der Erfindung anschließend in zwei- oder mehrphasige Wechselströme einstellbarer Frequenz von etwa 400 Hz bis herab zu wenigen Hz umgesetzt, um beispielsweise Drehstrom-Motoren für Fahrzeugantriebe über das chemoelektrische Wandlersystem zu betreiben oder aber mit 50 Hz, 60 Hz oder 400 Hz ein festes Netz zu versorgen. Jedes Modul des Wandlersystems hat entsprechende Steckverbindungen zum Anschluss an hier nicht gezeigte Sammelschienen.

Gemäß der Erfindung wird der Gegentakt-Flußwandler, um entsprechende Schaltungen und Bauteile erweitert und dadurch modifiziert, im Betriebszustand 3 in umgekehrter Richtung verwendet, und zwar zur Einspeisung von Bremsenergie in Form frequenzvariabler Drehströme beim Einsatz des modularen chemoelektrischen

Wandlersystems beispielsweise in Fahrzeugen.

Im Betriebszustand 4 erfolgt die Aufladung der Speicher des chemoelektrischen Wandlersystems durch interne Regeneration der Redox-Systeme, vorteilhaft in jedem Modul der Variante nach Fig. 6 unabhängig von den anderen Modulen, wobei der Gegentakt-Flußwandler des Moduls sperrt. Die Steuerung der Regeneration innerhalb des Moduls geschieht in diesem Fall über die Steuerung des Druckerkopfes, indem dieser nur einen Teil der chemoelektrischen Strukturen versorgt und die nicht versorgten Strukturen akkumulativ aufgeladen werden.

Figur 8 zeigt eine schematische Darstellung einer weiteren, kostengünstigen „Sparversion“ eines Moduls des chemoelektrischen Wandlersystems gemäß der Erfindung in einer schematischen Schnittdarstellung. Dieser Modul besteht im Prinzip aus zwei Teilen, einem ersten, in der Zeichnung im oberen Bereich gezeigten Teil der chemoelektrischen Wandlung und einem zweiten, in der Zeichnung im unteren Bereich angeordneten Teil, der die gesamten mikroelektronischen Komponenten und die Leistungselektronik 18, 19 umfasst. Der chemoelektrische Teil des Moduls wird von zwei Platinen 29 eingefasst, die über Abstandshalter 28 miteinander starr verbunden sind. Der Aufbau ist nach den vorher beschriebenen Details leicht zu verstehen. Die Elektroden-Speicherstrukturen 7 und 8 stehen sich gegenüber und sind lediglich durch die protonenleitende Membran 6 elektronisch voneinander isoliert. Die positive Elektrode 8 ist mit einer der bekannten hydrophobierten Kohlematten 25 bedeckt. Die Kontaktierung 9 geschieht durch eine Graphitfolie oder eine andere Ableitung, in die Kanäle 27 zur Leitung von Luft oder Luft mit angereichertem O₂-Anteil eingestanzte oder eingeformt sind.

Die negative Elektroden-Speicherstruktur 7 ist ebenfalls mit einer Graphitfolie 9 oder einer anderen Ableitung versehen. In

die Ableitung sind Kanäle 26 eingebracht, die sich durch die Platine 29 fortsetzen, notwendig, um den flüssigen Wasserstoffüberträger einzusprühen oder zu injizieren.

Dadurch, dass Luft oder Luft mit angereichertem O_2 -Gehalt unter Druck an die positive Elektrode eingebracht werden kann, lassen sich die Elektroden-Speicherstrukturen gegen die Ableitungen 9 und die Membran 6 und gegeneinander pressen, so dass die Kontakte gesichert werden. Im Übrigen ist erreicht, dass Sauerstoff nicht mit den Donoren in Verbindung kommt. Der zur Anreicherung der Luft mit O_2 notwendige Druckaufbau in einem externen, bekannten Druckwechsel-Automaten zum N_2 -Entzug über spezielle Kohlezubereitungen wird in den beschriebenen Modulen nutzbringend verwendet.

Um zu einem Wandlersystem mit höherer Normleistung zu gelangen werden, wie bereits angedeutet, je nach Anforderung an das System mehrere der im vorhergehenden beschriebenen Module über Steckverbindungen parallel sowohl auf eine gemeinsame zwei-, drei- oder mehrphasige Sammelschiene als auch auf einen gemeinsamen Datenbus zwecks Kontrolle durch das übergeordnete intelligente Zentrum des chemoelektrischen Wandlersystems geschaltet. Es ist dabei - abhängig von der Anzahl der parallelen Module - nicht erforderlich, dass jede Platine ihr eigenes Druckersystem nebst Reservoir hat; es sind Anordnungen vorstellbar, in denen ein Druckersystem zwischen mehreren ebenen Platinen als Modulen wechselt oder in dem Zwischenraum zwischen spiralförmig angeordneten, leicht gekrümmten Platinen zirkuliert. In letzterem Fall kann die Fläche je unabhängiger Platine als Modul bei gleicher Höhe in der Länge zu vergrößert werden, um bei gleicher Peripherie die spezifische Leistung je Platine zu erhöhen.

Die Gesamtheit der Module ist von einem hier nicht dargestell-

ten Behälter umschlossen, so dass sich im Inneren die bereits erwähnte, eigene kontrollierte Atmosphäre aufbauen kann. Stickstoff, Wasserdampf und CO_2 befinden sich in einem Fließgleichgewicht, wobei je nach Anordnung Sauerstoff zugegeben werden kann. Um insbesondere die Zufuhr und Diffusion von Sauerstoff in die mikroporösen Strukturen und von CO_2 aus den Strukturen zu forcieren ist eine periodische oder zeitweise Änderung des Druckes der inneren Atmosphäre (wie bei der Lungenatmung) zweckmäßig. Der Mittelwert des Druckes der internen Atmosphäre unterscheidet sich dabei gemäß der Erfindung nur geringfügig vom Druck der umgebenden Atmosphäre.

Der Behälter enthält die für den Betrieb des modularen chemo-elektrischen Wandlersystems erforderlichen Durchführungen zum Transfer von Flüssigkeiten und Gasen, von elektrischer Energie und Daten sowie von außen gekühlte Flächen zur Wärmeübertragung nach außen durch innenseitige Kondensation.

Figur 9 zeigt schematisch das Prinzip einer induktiven Leistungsauskopplung. Je ein Paar Elektroden 7, 8 sind über eine Induktivität 30 kurzgeschlossen und der so entstehende Stromkreis wird durch einen Transistor 31, insbesondere einen MOSFET, hochfrequent geschaltet. Die Hochfrequenz kann dabei beispielsweise im Bereich von 50-70 kHz liegen. Die zwischengeschaltete Induktivität 30 bildet gleichzeitig eine Primärwicklung eines Hochfrequenztransformators aus, wobei die Induktivitäten 30 mehrerer Elektrodenpaare 7, 8 so die gesamte Primärwicklung des Hochfrequenztransformators ausbilden. Die Kopplung der einzelnen Elektrodenpaare 7, 8 geschieht über den magnetischen Fluss des Transformator-kerns, der in der Sekundärwicklung 32 des Hochfrequenztrafos in hochgespannte Impulse transformiert wird.

Die Erfindung beschränkt sich nicht auf die vorstehend aufge-

führten Ausführungsbeispiele. Wesentlich für die Erfindung ist allein, dass ein chemoelektrischer Wandler, der aus einem flüssigen Wasserstoffüberträger, insbesondere wässriger Lösung von Glucose, und Sauerstoff als Edukten entweder über Reaktionszentren und sekundäre Donoren oder über Reaktionszentren und sekundäre Akzeptoren elektrische Energie auskoppeln kann, wobei mindestens ein poröser, Elektronen und Protonen leitender Festkörper vorgesehen ist, in dessen Volumen entweder die Reaktionszentren und die sekundären Akzeptoren oder die Reaktionszentren und die sekundären Donoren als feste Verbindungen vorliegen.

* * * * *

Patentansprüche:

1. Chemoelektrischer Wandler mit Elektroden, der aus einem flüssigen Wasserstoffüberträger und Sauerstoff als Edukten über Reaktionszentren und sekundäre Donoren und über Reaktionszentren und sekundäre Akzeptoren elektrische Energie auskoppeln kann,

dadurch gekennzeichnet,

dass als Elektroden zwei poröse, Elektronen und Protonen leitende Festkörper (7, 8) vorgesehen sind, wobei in dem Volumen des ersten Festkörpers (7) die Reaktionszentren (RZA1, RZA2) und die sekundären Akzeptoren (A) und in dem Volumen des zweiten Festkörpers (8) die Reaktionszentren (RZD1, RZD2) und die sekundären Donoren (D) als feste Verbindungen (24) vorliegen und der erste und der zweite Festkörper (7, 8) durch eine protonenleitende Membran (6) getrennt in Kontakt stehen.

2. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Poren mindestens eines Festkörpers (7, 8) kapillarisch für flüssige Edukte wirken.
3. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektroden zusätzlich elektrische Energie speichern können.
4. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als sekundärer Ak-

zeptor (A) Metall-Oxid Verbindungen, insbesondere alkalisches Fe(VI)-Oxid oder Mn(IV)-Oxid, dienen.

5. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Reaktionszentrum (RZA2) für den sekundären Akzeptor (A) organische Verbindungen, insbesondere Chinone oder Flavine, dienen.
6. Chemoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Reaktionszentrum (RZA2) für den sekundären Akzeptor (A) anorganische Cer-Verbindungen dienen.
7. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als sekundärer Donor (D) metall-organische Verbindungen, organische Verbindungen oder Metalle, insbesondere Wismut, Blei oder Eisen, oder Metalloxide, insbesondere Fe(II)-Oxide, dienen.
8. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die sekundären Donoren (D) und/oder die sekundären Akzeptoren (A) nach ihrem Einsatz chemisch über die Reaktionszentren (RZA2, RZD2) und/oder durch Einspeisung elektrischer Energie regeneriert werden können.
9. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein Festkörper (7, 8) eine aus Partikeln (22) gebildete elektro-

nenleitende Matrix und eine aus Partikeln (23) gebildete, versetzt zur elektronenleitenden Matrix angeordnete, protonenleitenden Matrix aufweist und die Reaktionszentren (RZA1, RZA2) und die sekundären Akzeptoren (A) bzw. die Reaktionszentren (RZD1, RZD2) und die sekundären Donoren (D) als Komplexe (24) in den Matrizen angeordnet sind.

10. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel (22, 23) und die Komplexe (24) ungeordnet in dem mindestens einen Festkörper (7, 8) vorliegen, wobei Zwischenräume zwischen den Partikeln (22, 23) und den Komplexen (24) ein mikroskopisches Kapillarsystem ausbilden.
11. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel (22, 23) und die Komplexe (24) geordnet in dem mindestens einen Festkörper (7, 8) vorliegen, wobei die Komplexe (24) kapselförmig, insbesondere kugelförmig ausgebildet sind und von einer durchlässigen Schicht Partikel (22, 23) umgeben sind und wobei die Zwischenräume zwischen den mit Partikeln (22, 23) beschichteten kapselförmigen Komplexen (24) ein mikroskopisches Kapillarsystem ausbilden.
12. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel (22, 23) ebenfalls kapselförmig, insbesondere kugelförmig ausgebildet sind, wobei das Volumen der kapselförmigen Partikel (22, 23) wesentlich geringer ist, als das der kapselförmigen Komplexe (24).

13. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mit Partikeln (22, 23) umgebenen kapselförmigen Komplexe (24) im Wesentlichen in einem Raster angeordnet sind.
14. Chemoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel (22, 23) und/oder die Komplexe (24) in die Matrix über ein elastisches Bindemittel derart eingebunden sind, dass der mindestens eine Festkörper (7, 8) im Wesentlichen elastisch ist.
15. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reaktionszentren (RZD1, RZD2, RZA1, RZA2) und/oder die sekundären Donoren (D) und/oder die sekundären Akzeptoren (A) in eine gelartige Matrix eingebunden sind.
16. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens einer der Festkörper (7, 8) quaderförmig ausgebildet ist.
17. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens einer der Festkörper (7, 8) über mindestens einen elektrisch leitfähigen Kontakt (9) kontaktiert ist.
18. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 17, **dadurch ge-**

kennzeichnet, dass der mindestens eine elektrisch leitfähige Kontakt als metallisches Gitter (9) ausgebildet ist.

19. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass das metallische Gitter (9) einen Festkörper (7, 8) an genau einer seiner Seitenflächen kontaktiert.
20. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 18 oder 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf das metallische Gitter (9) Nickel, Kohlenstoff und/oder eine andere organische Verbindung aufgebracht ist.
21. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der elektrisch leitfähige Kontakt (9) als Graphitkontakt, Graphitgitter und/oder als Graphitfolie ausgebildet ist.
22. Chemoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 17 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine elektrisch leitfähige Kontakt (9) in den Festkörper (7, 8) integriert ist.
23. Chemoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 17 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine elektrisch leitende Kontakt direkt die protonenleitende Membran (6) kontaktiert.

24. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Sprühvorrichtung (13) vorgesehen ist, mit der Edukte und/oder Wasser auf mindestens einen der Festkörper (7, 8) aufsprühbar ist.
25. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in und/oder an mindestens einem Festkörper (7, 8) mindestens eine makroskopische, kapillaraktive Leiterbahn zum Zu- und/oder Ableiten von Flüssigkeit vorgesehen ist.
26. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 24 und Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit einer Injektionseinrichtung Edukte und/oder Wasser an definierten Stellen der Leiterbahn aufbringbar sind.
27. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Edukt eine wässrige Lösung von Hydrazin N_2H_4 , Methanol CH_3OH oder Glucose $C_6H_{12}O_6$ dient.
28. Chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste und der zweite Festkörper (7, 8) unterschiedliche pH-Werte aufweisen.
29. Chemoelektrisches Wandler-System, das aus einem flüssigen Wasserstoffüberträger und Sauerstoff als Edukten über Re-

aktionszentren und sekundäre Donoren und über Reaktionszentren und sekundäre Akzeptoren elektrische Energie auskoppeln kann,

dadurch gekennzeichnet,

dass mindestens ein chemoelektrischer Wandler nach einem der vorstehenden Ansprüche vorgesehen ist, wobei dessen als poröse, Elektronen und Protonen leitende Festkörper (7, 8) ausgebildete Elektroden über eine protonenleitende Schicht (5, 15) miteinander in Kontakt stehen und die protonenleitende Membran (6) zwischen der protonenleitenden Schicht (5, 15) und den Festkörpern (7, 8) angeordnet ist.

30. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 29, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektroden (7, 8) auf ihrer der protonenleitenden Schicht (5, 15) abgewendeten Seite über elektrisch leitfähige Kontakte (9) kontaktiert sind.
31. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 29 oder 30, **dadurch gekennzeichnet**, dass die protonenleitende Schicht (5, 15) flächig ausgebildet ist und die mindestens zwei Elektroden (7, 8) mit der gleichen Seite der Fläche der protonenleitenden Schicht (5, 15) in Kontakt stehen.
32. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei Elektroden (7, 8) nebeneinander auf der protonenleitenden Schicht (5, 15) angeordnet sind, wobei die Elektroden (7, 8) sich nicht direkt berühren.

33. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 32, **dadurch gekennzeichnet**, dass die protonenleitende Membran (6) zusätzlich zwischen den Elektroden (7, 8) angeordnet ist.
34. Chemoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 29 bis 33, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektroden (7, 8) der chemoelektrischen Wandler so auf der protonenleitenden Schicht (5, 15) aufgebracht sind, dass immer jeweils zwei Elektroden (7, 8) unterschiedlicher Dotierung nebeneinander angeordnet sind.
35. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 29 bis 34, **dadurch gekennzeichnet**, dass die protonenleitende Schicht (15) zusätzlich entweder Reaktionszentren (RZA2) und sekundäre Akzeptoren (A) oder Reaktionszentren (RZD2) und sekundäre Donoren (D) aufweist, die als feste Verbindungen (24) vorliegen.
36. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 35, **dadurch gekennzeichnet**, dass die protonenleitende Schicht (15) an ihrer den Elektroden (7, 8) abgewandten Seite über elektrisch leitfähige Kontakte (9) kontaktiert ist.
37. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 29 bis 36, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Sprühvorrichtung (13) vorgesehen ist, mit der Edukte und/oder Wasser auf die als poröse Festkörper (7, 8) ausgebildeten Elektroden aufgesprüht werden kann.

38. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 37, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sprühvorrichtung (13) beweglich, insbesondere drehbeweglich, ist.
39. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 38, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sprühvorrichtung (13) als feste Matrix ausgebildet ist.
40. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 29 bis 39, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens zwei Elektroden (7, 8) über eine Induktivität (30) miteinander gekoppelt sind.
41. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 40, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kopplung mehrerer Elektrodenpaare über einen Hochfrequenztransformator stattfindet, wobei jeder Elektrode (7, 8) eine eigene Primärwicklung (30) zukommt.
42. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 29 bis 41, **dadurch gekennzeichnet**, dass die protonenleitende Schicht (5, 15) und die mit dieser in Kontakt stehenden Elektroden (7, 8) auf einer ebenen oder in einer Ebene gekrümmten Platine (17) angeordnet sind.
43. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 42, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich Mittel zur Kontrolle der elektrochemischen Wandlung (19) und/oder Mittel zur Aus-

kopplung der elektrischen Leistung (18) und/oder Mittel zur Einspeisung elektrischer Energie auf der Platine (17) vorgesehen sind.

44. Chemoelektrischer Wandler nach Anspruch 42 oder 43, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gegentakt-Flusswandler zur Auskopplung elektrischer Energie, insbesondere zur Transformation einer Niederspannung, auf der Platine (18) angeordnet ist.
45. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 42 bis 44, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Platine (17) aus mehreren Lagen (17.1 bis 17.4) besteht und die zusätzlichen Mittel (18, 19) zumindest teilweise zwischen den Lagen (17.1 bis 17.4) der Platine (17) angeordnet sind.
46. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 42 bis 45, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf beiden Seiten der Platine (17) Elektroden (7, 8) angeordnet sind, und sich die zusätzlichen Mittel (18, 19) dazwischen befinden.
47. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 42 bis 46, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Platinen (17) kreisförmig und/oder spiralförmig angeordnet sind.
48. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 42 bis 47, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Platinen (17) mit einer einzigen Sprühhvorrichtung (13) mit Edukten und/oder Wasser besprüht werden können.

49. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 29 bis 48, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Ultraschallquelle vorgesehen ist, mit der zumindest Teile des chemoelektrischen Wandlersystems (7, 8, 15) in hochfrequente mechanische Schwingungen versetzt werden können.
50. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 29 bis 49, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Behälter vorgesehen ist, mit dem zumindest ein Teil des chemoelektrischen Wandlersystems, insbesondere die porösen Festkörper (7, 8, 15) und/oder Platinen (17) mit chemoelektrischen Wandlern, gegenüber der Umgebung druckdicht abschließbar ist.
51. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 50, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Behälter eine sich im Fließgleichgewicht befindliche Atmosphäre aus Stickstoff, Wasserdampf und CO₂ aufrecht erhalten werden kann, wobei Sauerstoff zugegeben werden kann.
52. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 50 oder 51, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druck in dem Behälter periodisch und/oder zu festgelegten Zeiten veränderbar ist.
53. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 50 bis 52, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Behälter kühlbar ist.

54. Chemoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 42 bis 53, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens zwei Platinen (17) mit chemoelektrischen Wandlern über mindestens eine elektrische Ableitung, insbesondere über drei elektrische Ableitungen, miteinander verbunden werden.

55. Chemoelektrisches Wandlersystem, das aus einem flüssigen Wasserstoffüberträger und Sauerstoff als Edukten über Reaktionszentren und sekundäre Donoren und über Reaktionszentren und sekundäre Akzeptoren elektrische Energie auskoppeln kann,

dadurch gekennzeichnet,

dass mindestens ein chemoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 27 vorgesehen ist, wobei dessen protonenleitende Membran (6) zwischen den als poröse, Elektroden und Protonen leitende Festkörper (7, 8) ausgebildete Elektroden angeordnet ist und die Elektroden vorteilhaft jeweils auf ihren Außenseiten über Kontakte (9) kontaktiert sind.

56. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 55, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mit den Kontakten (9) kontaktierten Elektroden (7, 8) zwischen zwei Platinen (29) angeordnet sind und die Platinen vertikal anordenbar sind.

57. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 56, **dadurch gekennzeichnet**, dass die an der negativen Elektrode (7) angeordnete Platine (29) Öffnungen (26) zur Injektion von

Edukten aufweist.

58. Chemoelektrisches Wandlersystem nach Anspruch 56 oder 57, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen der an der positiven Elektrode (8) angeordneten Platine (29) und der positiven Elektrode (8) Kanäle (27) zur Leitung von Gasen, insbesondere von Luft, vorgesehen sind.
59. Chemoelektrisches Wandlersystem nach einem der Ansprüche 55 bis 58, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen der positiven Elektrode (8) und den Kontakten (9) eine hydrophobisierte Kohlematte (25) angeordnet ist.
60. Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie mit chemoelektrischen Wandlern, die Elektroden aufweisen und mit denen aus einem flüssigen Wasserstoffüberträger und Sauerstoff als Edukten über Reaktionszentren und sekundäre Donoren und über Reaktionszentren und sekundäre Akzeptoren elektrische Energie ausgekoppelt wird,
- dadurch gekennzeichnet**,
- dass die Edukte auf mindestens eine Elektrode aufgebracht werden, die als poröser, Elektronen und Protonen leitender Festkörper (7, 8) ausgebildet ist, in dessen Volumen die Reaktionszentren (RZA1, RZA2) und die sekundären Akzeptoren (A) oder die Reaktionszentren (RZD1, RZD2) und die sekundären Donoren (D) als feste Verbindungen vorliegen.
61. Verfahren nach Anspruch 60, **dadurch gekennzeichnet**, dass

die Edukte mit einer Sprühvorrichtung (13), insbesondere einem beweglichen Sprühkopf, auf die Festkörper (7, 8, 14) gesprüht werden.

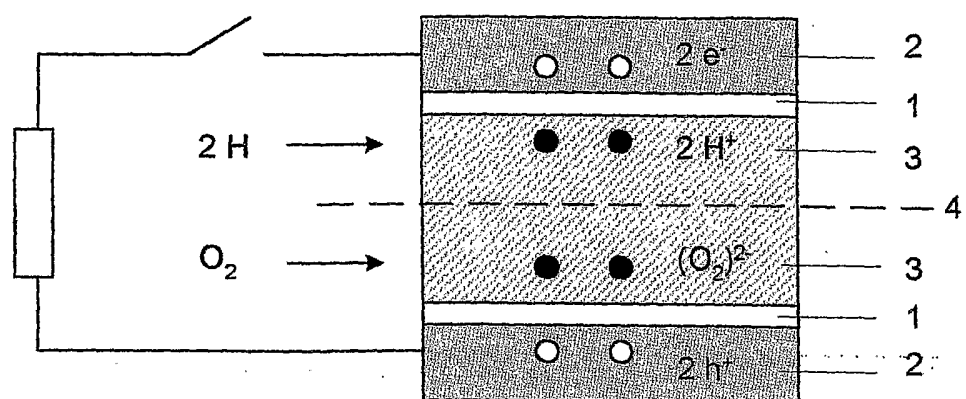
62. Verfahren nach Anspruch 60 oder 61, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Edukte kapillarisch im porösen Festkörper (7, 8, 14) transportiert werden.
63. Verfahren zum Betrieb eines chemoelektrischen Wandlersystems nach einem der Ansprüche 29 bis 59, **dadurch gekennzeichnet**, dass das chemoelektrische Wandlersystem in einem der folgenden vier Betriebszustände betrieben wird:
- a. Betrieb bei Normleistung in einem Zustand im Fließgleichgewicht, bei dem die Abgabe elektrischer Energie über sekundäre Donoren D und sekundäre Akzeptoren A der Zufuhr der Edukte und damit ihrer chemischen Regeneration proportional ist,
 - b. Betrieb mit im Vergleich zur Normleistung stark erhöhter, kurzfristiger Abgabe elektrischer Leistung als zulässige Überlast bei dem (verglichen zu den Erfordernissen des Betriebszustandes a) im Überschuss vorhandene sekundäre Donoren D und sekundäre Akzeptoren A ohne unmittelbare chemische Regenerierung verbraucht werden,
 - c. Betrieb mit stark erhöhter kurzfristiger Aufnahme elektrischer Energie aus einer externen Quelle zur direkten elektrischen Regenerierung verbrauchter sekundärer Donoren und sekundärer Akzeptoren, gleichbedeutend mit der elektrischen Aufladung des internen Speichers parallel zur chemischen Regenerierung,
 - d. Betrieb bei Niedriglast bei dem verbrauchte sekundäre

Donoren und sekundäre Akzeptoren des chemoelektrischen Wandlersystems intern elektrisch regeneriert werden, wobei die verbrauchten sekundären Donoren und sekundären Akzeptoren einiger Elektroden durch die sekundären Donoren und sekundären Akzeptoren anderer, im Fließgleichgewicht gemäß dem Betriebszustand a) betriebene Elektroden regeneriert werden.

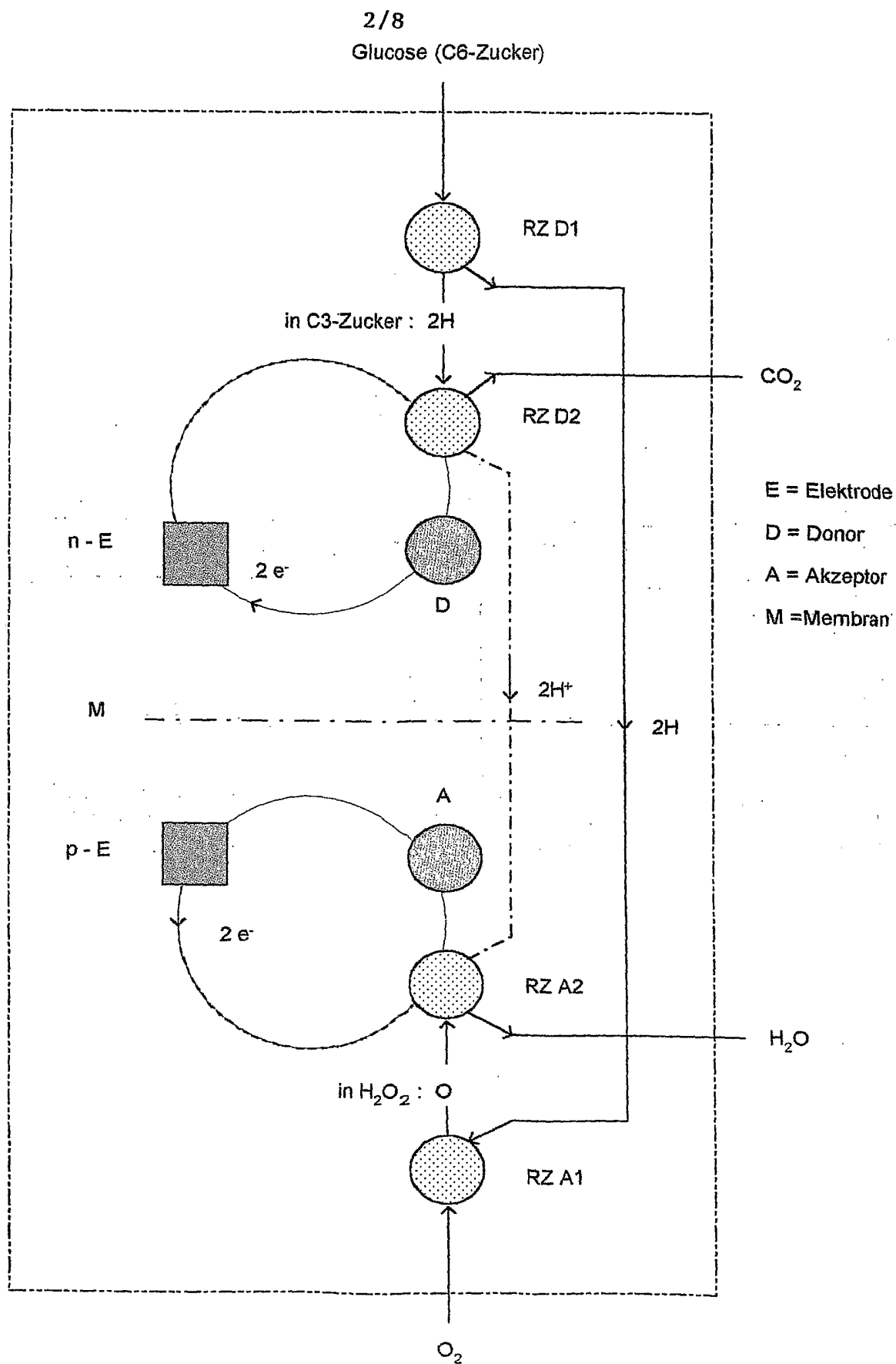
64. Verfahren zum Betrieb eines chemoelektrischen Wandlersystems nach einem der Ansprüche 29 bis 59, **dadurch gekennzeichnet**, dass die von dem chemoelektrischen Wandlersystem erzeugte Niederspannung mit einem Gegentakt-Flusswandler auf technisch übliche Spannungen, insbesondere 110V, 220V oder 380V, herauf transformiert wird.
65. Verfahren nach Anspruch 64, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spannung in zwei- oder mehrphasige Wechselströme einstellbarer Frequenz umgewandelt wird.

* * * * *

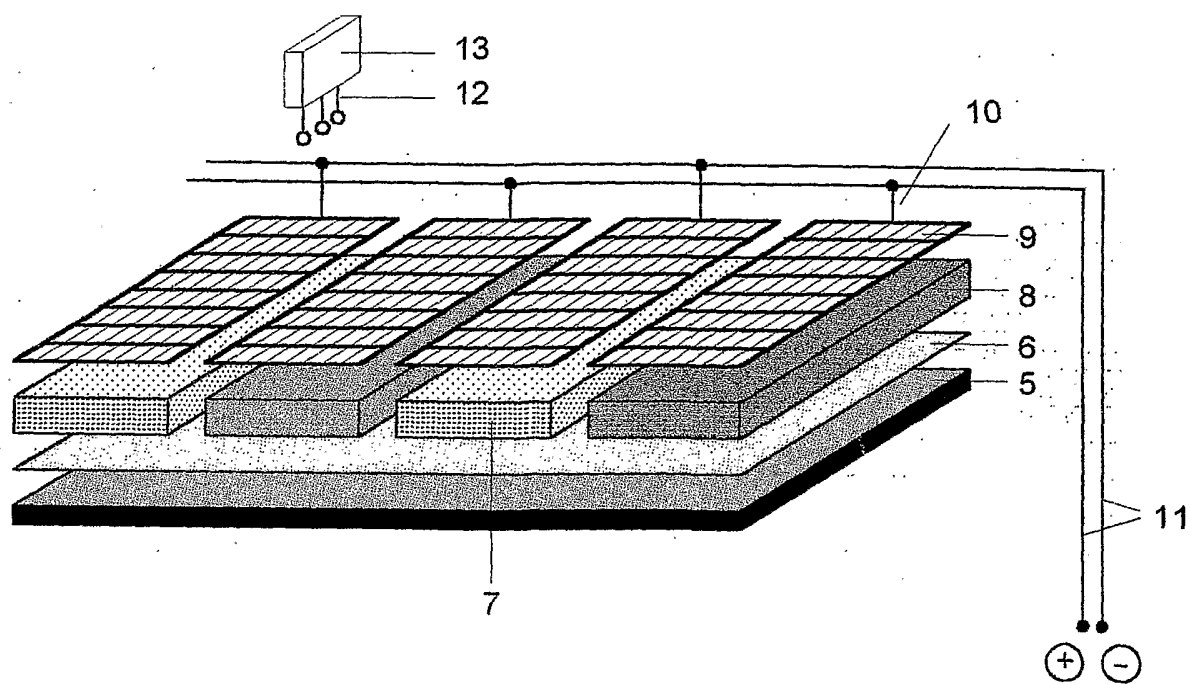
1/8



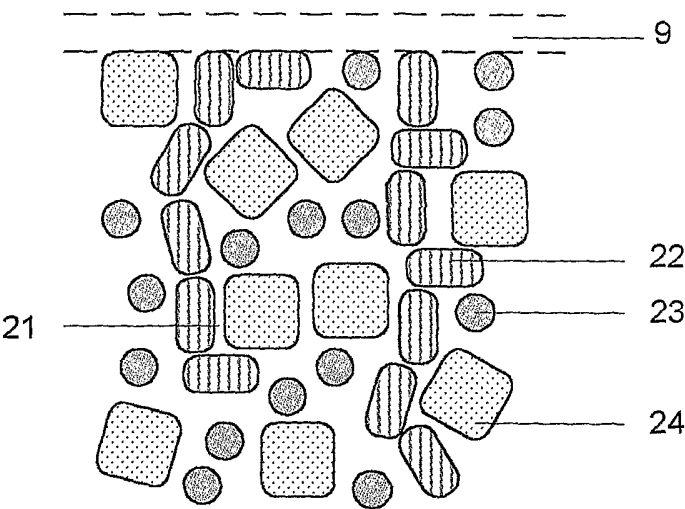
Figur 1



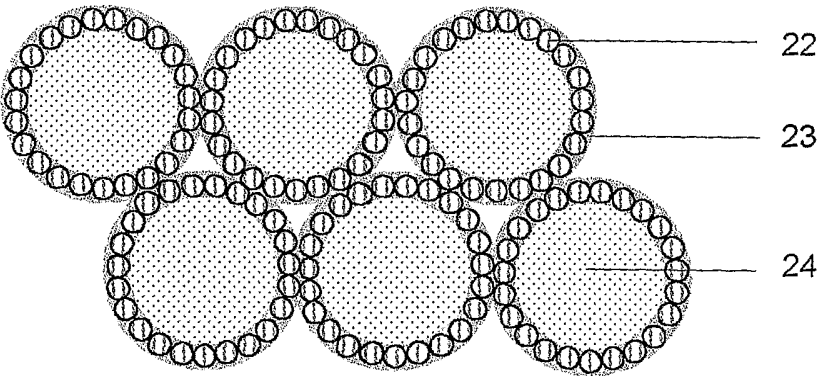
Figur 2



Figur 3

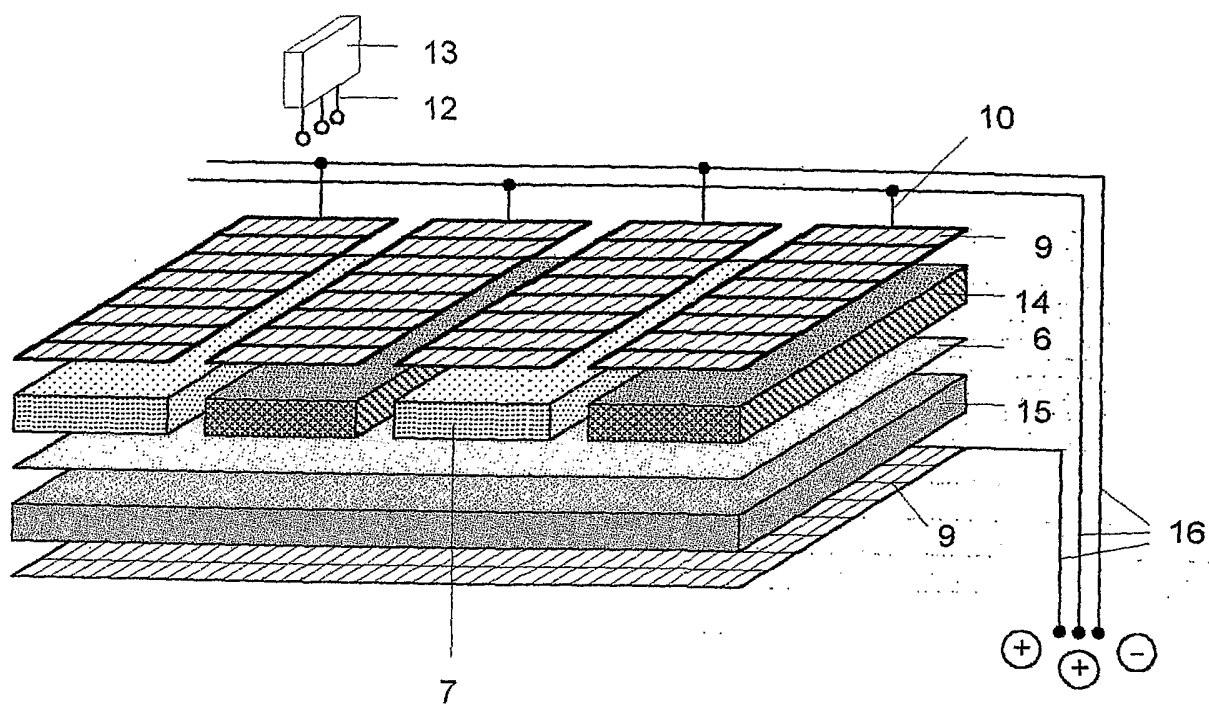


Figur 4a



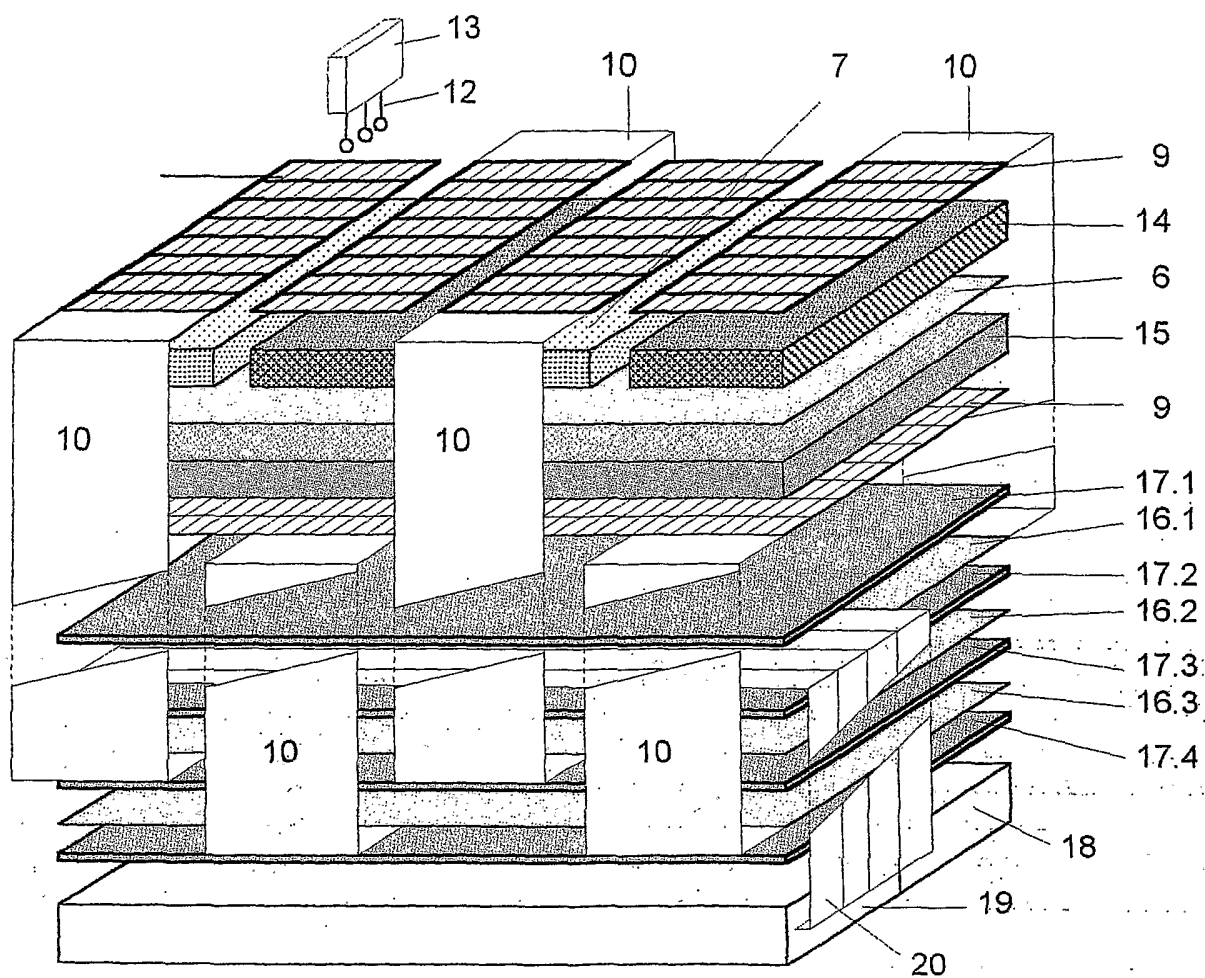
Figur 4b

5/8

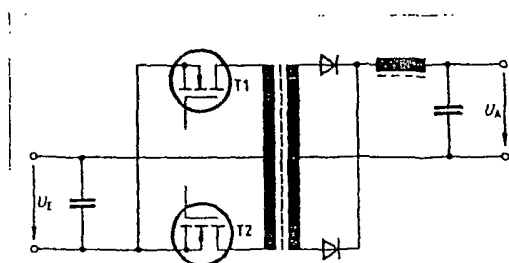


Figur 5

6/8

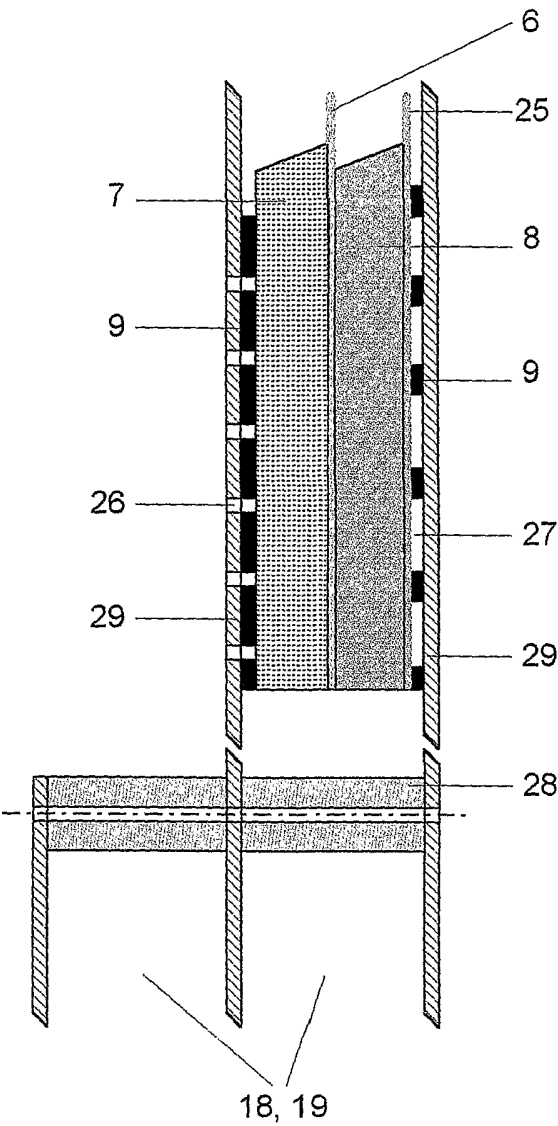


Figur 6



Figur 7

7/8



Figur 8

Fig. 9

