

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50957/2023
(22) Anmeldetag: 28.11.2023
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2025

(51) Int. Cl.: **C25B 1/02** (2006.01)
C25B 15/02 (2006.01)
C25B 15/023 (2021.01)
C25B 15/025 (2021.01)
C25B 15/027 (2021.01)
G01R 31/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
CN 105449250 A
DE 102020122324 A1
DE 102015204301 A1
CN 116463678 A

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
(72) Erfinder:
Bruhn Tanner
8010 Graz (AT)
Le Rhun Franck Dipl.-Ing.
8010 Graz (AT)
Ritzberger Daniel Dipl.-Ing. Dr.
8010 Graz (AT)
(74) Vertreter:
Gamper Bettina Dr.techn.
8020 Graz (AT)

(54) Testsystem und Testverfahren für ein Elektrolyseteilsystem

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein modulares Testsystem (100) zum Testen eines Elektrolyseteilsystems (200), das zumindest eine Elektrolysekomponente (20) mit wenigstens einem Elektrolysezellenstapel (20A) umfasst, wobei das modulare Testsystem (100) aufweist: ein Steuerungsmodul (10) zur Steuerung eines Testbetriebes des Elektrolyseteilsystems (200); ein Netzversorgungsemulatormodul (11) zur Emulation einer dynamischen Leistungsverorgung aus einem regenerativen Leistungserzeuger; und ein Fluidversorgungsemulatormodul (14) zur Emulation einer dynamischen Fluidversorgung einer lokalen Wasserversorgung.

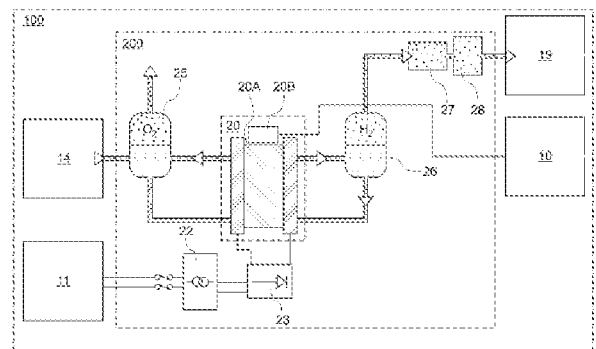


Fig. 2

Beschreibung

TESTSYSTEM UND TESTVERFAHREN FÜR EIN ELEKTROLYSETEILSYSTEM

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein modulares Testsystem zum Testen eines Elektrolyseteilsystems und ein entsprechendes Testverfahren zum Testen eines Elektrolyseteilsystems, wobei das Elektrolyseteilsystem zumindest die Systemkomponenten einer Elektrolysekomponente und einer Wasserstoffabscheidekomponente umfasst.

[0002] Im Zuge der Energiewende und der angestrebten Umstellung auf nachhaltige Energieerzeugungstechnologien werden im Stand der Technik Elektrolyseure eingesetzt, die dazu verhelfen, erneuerbaren, diskontinuierlich zur Verfügung stehenden Strom in Form von Wasserstoff chemisch zu speichern. Elektrolyseure sind in großem Maßstab beispielsweise in einem Anlagenbau mit einem regenerativen Energieerzeuger, wie einem Windrad oder einer Photovoltaikanlage integriert, oder auch an einem regulären Versorgungsnetz angeschlossen, und benötigen eine Systemperipherie zur Bereitstellung von Wasser, zur Speicherung des erzeugten Wasserstoffes und für die elektrische Anbindung.

[0003] Bis zur Inbetriebnahme einer solchen Anlagentechnik bedarf es vor und nach einer lokalen Installation des Elektrolyseurs und der Komponenten der Systemperipherie Testläufe und eine Feinabstimmung, um die Betriebssicherheit und Effizienz in Kombination mit dem regenerativen Energieerzeuger und im Zusammenhang mit den lokalen individuellen Bedingungen der Umwelt und des Wetters zu gewährleisten.

[0004] Derartige, individuelle Testläufe und Abstimmungen von Anlagen vor Ort verzögern die Inbetriebnahme und erhöhen die Gesamtkosten eines Projektes. Darüber hinaus ist es schwierig, nicht möglich oder auch mit zu hohen Risiken verbunden, in lokalen Testläufen individuelle Grenzbedingungen der erstellten Anlagentechnik auszuloten oder über eine vorgegebene Zeitdauer und Intensität aufrechtzuhalten.

[0005] Es sind Qualitätsprüfungen von einzelnen Systemkomponenten bekannt, wie z.B. ein End-of-Line Test von Elektrolysezellenstapeln, die in einem Elektrolyseur verbaut sind. Diese Tests basieren auf spezifischen elektrochemischen Diagnoseverfahren, die lediglich auf Ebene von Zellen und Zellenstapeln durchführbar sind oder sinnvoll erscheinen oder Tests, die lediglich in einem konstanten, stabilen Zustand, oder in einer Grundeinstellung von Komponenten durchgeführt werden.

[0006] Darüber hinaus sind Prüfstände für die Brennstoffzellentechnik bekannt, auf denen Brennstoffzellen, ggf. im Zusammenhang mit weiteren Komponenten einer spezifischen Systemperipherie, getestet werden können. Diese Testaufbauten sind wiederum ungeeignet für den Testbetrieb eines Elektrolyseurs mit Komponenten einer spezifischen Systemperipherie.

[0007] Ein Testsystem zum Testen eines Elektrolyseteilsystems ist beispielsweise auch aus der CN 105449250 A bekannt.

[0008] Es ist eine Aufgabe der Erfindung eine Technik zu schaffen, die ein Testen eines Betriebes zumindest eines Teiles eines Elektrolysesystems mit Elektrolysezellen in Zusammenwirkung mit einer individuellen Konfiguration oder Einstellung von weiteren Systemkomponenten des Elektrolysesystems, vorzugsweise unter vorgebbaren, reproduzierbaren Betriebsbedingungen ermöglicht.

[0009] Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein modulares Testsystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie ein Testverfahren mit den Schritten des Anspruchs 10. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

[0010] Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen System beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Er-

findungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. werden kann.

[0011] Das erfindungsgemäße modulare Testsystem dient zum Testen eines Elektrolyseteilsystems, das zumindest eine Elektrolysekomponente mit wenigstens einem Elektrolysezellenstapel umfasst. Zur Bereitstellung einer Testumgebung weist das erfindungsgemäße, modulare Testsystem auf: ein Steuerungsmodul mit einer Steuerungselektronik und einem Steuerungsprogramm zur Steuerung eines Testbetriebes des Elektrolyseteilsystems, wobei das Steuerungsmodul mittels einer Datenschnittstelle mit einer Steuerungskomponente der Elektrolysekomponente signal-verbindbar ist, für einen Austausch von Befehlen und Messwerten zu Betriebsparametern des Elektrolyseteilsystems; ein Netzversorgungsemulatormodul mit einer elektrischen Leistungsquelle und einer Leistungselektronikschaltung zur Emulation einer dynamischen Leistungsversorgung, wobei das Netzversorgungsemulatormodul mittels einer Leistungsschnittstelle mit einem Leistungseingang der Elektrolysekomponente elektrisch verbindbar ist, für eine Zufuhr von elektrischer Leistung in das Elektrolyseteilsystem; und ein Fluidversorgungsemulatormodul mit einer Fluidversorgungsquelle und wenigstens einem Ventil zur Emulation einer dynamischen Fluidversorgung, wobei das Fluidversorgungsemulatormodul mittels einer Fluidschnittstelle mit einem Fluideingang der Elektrolysekomponente fluidisch verbindbar ist, für eine Zufuhr eines Prozessfluides in das Elektrolyseteilsystem.

[0012] Gleichermaßen dient das erfindungsgemäße Testverfahren zum Testen eines Elektrolyseteilsystems, das zumindest eine Elektrolysekomponente mit wenigstens einem Elektrolysezellenstapel umfasst. Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Testverfahrens weist dieses die folgenden Schritte auf:

- [0013]** - Steuern eines Testbetriebes des Elektrolyseteilsystems mittels einer Steuerungselektronik und einem Steuerungsprogramm, die für einen Austausch von Befehlen und Messwerten zu Betriebsparametern des Elektrolyseteilsystems über eine Datenschnittstelle mit einer Steuerungskomponente der Elektrolysekomponente signalverbunden sind;
- [0014]** - Emulieren einer dynamischen Leistungsversorgung mittels einer elektrischen Leistungsquelle und einer Leistungselektronikschaltung, die für eine Zufuhr von elektrischer Leistung in das Elektrolyseteilsystem über eine Leistungsschnittstelle mit einem Leistungseingang der Elektrolysekomponente elektrisch verbunden sind; und
- [0015]** - Emulieren einer dynamischen Fluidversorgung mittels einer Fluidversorgungsquelle und wenigstens einem Ventil, die für eine Zufuhr eines Prozessfluides in das Elektrolyseteilsystem über eine Fluidschnittstelle mit einem Fluideingang der Elektrolysekomponente fluidisch verbunden sind.

[0016] Die Erfindung sieht somit erstmals vor, eine Testumgebung und eine Verfahrenstechnik für ein Teilsystem zur Wasserstofferzeugung mit einem Elektrolyseur, d.h. einer Elektrolysekomponente mit Elektrolysezellen sowie ggf. weiteren selektierten Komponenten bereitzustellen.

[0017] Gemäß der Erfindung ist das Elektrolyseteilsystem insbesondere so zu verstehen, dass hierdurch die Eigenschaft dargestellt ist, eine beliebige Anzahl und Kombination von Komponenten eines unvollständigen Elektrolysesystems mit dem Prüfstand (Testsystem) testen zu können.

[0018] Als ein großer Vorteil der Erfindung kann eine individuelle Konfiguration und Einstellung von Systemkomponenten zur Wasserstofferzeugung einschließlich eines Elektrolyseurs und der Anlagentechnik in einem Werk nachgestellt, d.h. emuliert werden. Somit können nach einer lokalen Installation beim Energieerzeuger eine Anzahl von Testläufen zur Funktionsprüfung und eine Abstimmung der verbauten Systemkomponenten teilweise entfallen oder erheblich verkürzt werden.

[0019] Weitere Vorteile der Erfindung bestehen in den Möglichkeiten eines sicheren und reproduzierbaren Testbetriebes mit einer bestimmten Kombination von Systemkomponenten unter einstellbaren individuellen Testbedingungen, sowie eines gefahrenfreien oder gefahrenreduzierten Testbetriebes unter Grenzbedingungen. Dadurch können vorab in einem Werk verschiedene Konfigurationen, Dimensionen und Einstellungen in einem Zusammenwirken von emulierten und

realen Systemkomponenten eines Elektrolyseteilsystems auf eine Kompatibilität getestet und eingestellt werden. Infolgedessen werden eine Datenbasis und ein Know-How erlangt, die eine individuelle Optimierung der Konfiguration und Einstellung der Systemkomponenten und Anlagentechnik für neue Projekte oder laufende Anwendungsfälle erlauben.

[0020] Darüber hinaus besteht ein Vorteil der Erfindung darin, dass derartige Testläufe nicht nur unter lokalen Gegebenheiten vor Ort durchgeführt werden, sondern auch in einer Laborumgebung, wodurch eine ggf. stationäre Messtechnik oder ein größerer Umfang an Messtechnik, dessen Mobilität und Installation vor Ort einen erheblichen Aufwand darstellen würde, eingesetzt werden kann. Daraus ergeben sich wiederum eine höhere Qualität an Testergebnissen und an Erkenntnissen sowie eine kürzere Rüstungszeit zur Realisierung von Testläufen.

[0021] Nicht zuletzt hat die Erfindung den Vorteil, dass individuell vorkonfigurierte Systeme oder Teilsysteme zur Wasserstofferzeugung für eine lokale Anwendung bereits im Vorfeld oder während eines entsprechenden Bauprojektes für einen regenerativen Energieerzeuger getestet werden können, wobei die Inbetriebnahme nach Installation der Anlagentechnik vor Ort deutlich verkürzt und ein Risiko einer Betriebsstabilität in einer Anfangsphase für einen Betreiber reduziert wird.

[0022] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann das modulare Testsystem wenigstens ein Gasabscheideemulatormodul mit einem Abscheidebehälter zur Abscheidung einer Gasphase aus einer Flüssigphase zur Emulation einer Sauerstoffabscheidekomponente und/oder einer Wasserstoffabscheidekomponente des Elektrolyseteilsystems aufweisen, wobei das wenigstens eine Gasabscheideemulatormodul mittels einer Fluidschnittstelle mit der Elektrolysekomponente fluidisch verbindbar ist, für eine Abfuhr eines Produktgases aus der Elektrolysekomponente.

[0023] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann das modulare Testsystem ein Kompressionsemulatormodul mit einer Kompressoreinheit und einem Reservoir zur Emulation einer komprimierten Gasspeicherung aufweisen, wobei das Kompressionsemulatormodul mittels einer Fluidschnittstelle mit einem Fluidausgang der Wasserstoffabscheidekomponente fluidisch verbindbar ist, für eine Abfuhr eines Produktgases aus dem Elektrolyseteilsystem.

[0024] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann die Steuerungselektronik des Steuerungsmoduls einen Speicher umfassen, in dem vorbestimmte Betriebsparameter für den Testbetrieb hinterlegt sind, und in den Messwerten zu Betriebsparametern, die während des Testbetriebes mittels Sensoren erfasst werden, abspeicherbar sind.

[0025] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann die Leistungselektronikschaltung des Netzversorgungsemulatormoduls wenigstens einen Leistungstransistor zur Modulation einer Spannung, einer Phasenverschiebung und/oder eines Stromes von wenigstens zwei Phasen umfassen, wobei ein Eingang des Leistungstransistors mit der Leistungsquelle des Netzversorgungsemulatormoduls verbunden ist, und ein Ausgang des Leistungstransistors mit der Leistungsschnittstelle zu der Elektrolysekomponente verbunden ist.

[0026] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann das wenigstens eine Ventil des Fluidversorgungsemulatormoduls wenigstens ein Regelventil mit einem ansteuerbaren Stellglied zur Modulation eines Druckes und/oder eines Durchflusses des Prozessfluides umfassen, wobei ein Eingang des Regelventiles mit der Fluidversorgungsquelle des Fluidversorgungsemulatormoduls verbunden ist, und ein Ausgang des Regelventiles mit der Fluidschnittstelle zu der Elektrolysekomponente verbunden ist.

[0027] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann das Fluidversorgungsemulatormodul eine Temperatureinheit mit einer Wärmetauschereinheit und/oder einer Heizeinheit zur Temperierung des Prozessfluides umfassen.

[0028] Gemäß der Erfindung umfasst das Fluidversorgungsemulatormodul eine Additiveinheit mit einem in das Prozessfluid gerichteten Additiveingang zum Einbringen eines Additives in das Prozessfluid.

[0029] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann die Kompressoreinheit des Kompressionemu-

latormoduls eine Kompressorantriebssteuerung zur Modulation eines aus der Wasserstoffabscheidekomponente abgeführten Gasmassiestroms und/oder eines Rückstaudruckes vor der Kompressoreinheit umfassen.

[0030] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann das Testverfahren den Schritt umfassen:

[0031] - Emulieren einer Gasabscheidung mittels eines Abscheidebehälters, der für eine Abfuhr eines Produktgases aus der Elektrolysekomponente über eine Fluidschnittstelle mit einem Fluidausgang der Elektrolysekomponente fluidisch verbunden ist.

[0032] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann das Testverfahren den Schritt umfassen:

[0033] - Emulieren einer komprimierten Gasspeicherung mittels einer Kompressorvorrichtung und einem Reservoir, die für eine Abfuhr eines Produktgases aus dem Elektrolyseteilsystem über eine Fluidschnittstelle mit einem Fluidausgang der Wasserstoffabscheidekomponente fluidisch verbunden sind.

[0034] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann der Schritt des Steuerns des Testbetriebes ein Vorgeben von Betriebsparameter für den Testbetrieb und ein Erfassen von Messwerten zu Betriebsparametern während des Testbetriebes mittels Sensoren umfassen.

[0035] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann der Schritt des Emulierens der Leistungsver-sorgung ein Modulieren einer Spannung, einer Phasenverschiebung und/oder eines Stromes von wenigstens zwei Phasen einer Netzversorgungsleistung mittels eines Leistungstransistors umfassen.

[0036] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann der Schritt des Emulierens der Fluidversorgung ein Modulieren eines Druckes und/oder eines Durchflusses des Prozessfluides mittels eines Regelventiles umfassen.

[0037] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann der Schritt des Emulierens der Fluidversorgung ein Temperieren des Prozessfluides mittels einer Wärmetauschereinheit und/oder einer Heizeinheit umfassen.

[0038] Gemäß der Erfindung umfasst der Schritt des Emulierens der Fluidversorgung ein Einbringen eines Additives in das Prozessfluid mittels einer Additiveinheit.

[0039] Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann der Schritt des Emulierens der komprimierten Gasspeicherung ein Modulieren eines abgeführten Gasmassiestrom und/oder eines Rückstaudruckes vor der Kompressoreinheit mittels einer Kompressorantriebssteuerung umfassen.

[0040] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale und Ausführungsformen jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein. Es zeigen schematisch:

[0041] Fig. 1 ein Blockdiagramm eines vollständigen Elektrolysesystems, das mit einem regenerativen Energieerzeuger in einer gemeinsamen Anlagentechnik betriebsfähig verbunden ist;

[0042] Fig. 2 ein Blockdiagramm eines zu testenden Elektrolyseteilsystems in einer Testbetriebsumgebung durch ein modulares Testsystems gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

[0043] Fig. 3 ein Blockdiagramm eines zu testenden Elektrolyseteilsystems in einer Testbetriebsumgebung durch ein modulares Testsystems gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

[0044] Fig. 4 ein Blockdiagramm eines zu testenden Elektrolyseteilsystems in einer Testbetriebsumgebung durch ein modulares Testsystems gemäß einer weiteren, modifizierten Ausführungsform der Erfindung;

[0045] Fig. 5 ein Blockdiagramm eines zu testenden Elektrolyseteilsystems in einer Testbetriebsumgebung durch ein modulares Testsystems gemäß einer weiteren, modifizierten Ausführungsform der Erfindung; und

[0046] Fig. 6 ein Blockdiagramm eines zu testenden Elektrolyseteilsystems in einer Testbetriebsumgebung durch ein modulares Testsystems gemäß einer weiteren, modifizierten Ausführungsform der Erfindung.

[0047] Fig. 1 zeigt einen bekannten Aufbau eines betriebsfähigen, vollständigen Elektrolysesystems, das über eine installierte Anlagentechnik mit regenerativen Energieerzeugern, wie z.B. einem Solarpark und einem Windrad sowie einer lokalen Versorgungsquelle für Wasser verbunden ist. Das Elektrolysesystem umfasst einen hier symbolisch dargestellten Elektrolysezellenstapel und eine Steuerungskomponente CPU, die gemeinsam einen Elektrolyseur bzw. eine Elektrolysekomponente des Elektrolysesystems bilden. Die Energieerzeuger und die Elektrolysekomponente sind über einen Transformator und einen Gleichrichter, die einen erzeugten Ausgangsstrom der Energieerzeuger wandeln und ggf. umformen, elektrisch verbunden, um elektrische Leistung mit einem Gleichstrom für die Elektrolyse von Wasser in Elektrolysezellen einzuspeisen. Darüber hinaus ist die Elektrolysekomponente mit einer Anlagentechnik für eine Fluidzufuhr und -abfuhr verbunden. Diese umfasst eine Zulaufleitung aus einer Wasserversorgung, Pumpen, Filter, Rückschlagventile, usw. und eine Rücklaufleitung für Wasser aus zwei getrennten Gasabscheidern für Sauerstoff und Wasserstoff. Ebenso umfasst die Anlagentechnik zwei getrennte Gasabführleitungen an den beiden Elektroden der Elektrolysekomponente zum Abführen des erzeugten Sauerstoffes und Wasserstoffes zu den jeweiligen Gasabscheidern sowie eine Entlüftungsleitung für den Sauerstoff und eine Speicherstrecke für den Wasserstoff. Die Speicherstrecke umfasst eine katalytische Reinigungseinheit zur Entfernung von Restsauerstoff oder Stickstoff aus dem erzeugten Wasserstoff sowie eine thermische Trocknungseinheit zur Entfernung von Feuchtigkeit in dem erzeugten Wasserstoff. Der Sauerstoff wird in die Umgebung entlüftet, der Wasserstoff wird komprimiert und in einem Druckspeicher gespeichert.

[0048] Fig. 2 zeigt eine erste Ausführungsform eines Testsystems 100, das eine Umgebung für einen Testbetrieb eines Elektrolyseteilsystems 200 bereitstellt. Das zu testende Elektrolyseteilsystem 200 entspricht zumindest in einigen Systemkomponenten dem bekannten Elektrolysesystem aus Fig. 1. und umfasst diesbezüglich zumindest eine Elektrolysekomponente 20 mit mehreren Elektrolysezellenstapeln 20A und eine Steuerungskomponente 20B in Form eines Mikrocomputers. Elektrolysezellen der Elektrolysezellenstapel 20A erzeugen in bekannter Weise unter elektrischer Leistung an Elektroden mit einem positiven und einem negativen Potential Sauerstoffgas O_2 , d.h. ein zumindest sauerstoffhaltiges Produktgas der Elektrolysereaktion, und Wasserstoffgas H_2 , d.h. ein zumindest wasserstoffhaltiges Produktgas der Elektrolysereaktion aus flüssigem, ggf. destilliertem Wasser oder einem zumindest wasserhaltigen Prozessfluid der Elektrolysereaktion.

[0049] Die Steuerungskomponente 20B ist mit Sensoren zur Messung von Strom und Spannung an den Elektrolysezellen sowie zur Messung von Fluidströmen von Wasser, Sauerstoffgas oder Wasserstoffgas, Temperaturen, Drücken oder einer Wasserreinheit in Fluid- und Gasleitungen des Elektrolyseteilsystems 200 sowie mit Stellgliedern, wie z.B. Regelventilen zur Einstellung von Fluidströmen verbunden.

[0050] Das Elektrolyseteilsystem 200 umfasst eine Transformatorkomponente 22 und eine Gleichrichterkomponente 23 zur Umformung einer bereitgestellten elektrischen Leistung in einen Gleichstrom, der an den Elektroden der Elektrolysezellenstapel 20A eingespeist wird. Zudem umfasst das Elektrolyseteilsystem 200 eine Anlagentechnik mit einer Sauerstoffgasabscheidekomponente 25, die als Gasabscheider ausgebildet ist, und die das in den Elektrolysezellen erzeugte Sauerstoffgas O_2 , d.h. zumindest ein sauerstoffhaltiges Produktgas, in einer Gasabführleitung von einer Elektrode der Elektrolysezellenstapel 20A abscheidet.

[0051] Ebenso umfasst das Elektrolyseteilsystem 200 eine Wasserstoffabscheidekomponente 26, die als Gasabscheider für das erzeugte Wasserstoffgas H_2 , d.h. zumindest ein wasserstoffhaltiges Produktgas, in einer Gasabführleitung von der anderen Elektrode der Elektrolysezellen-

stapel 20A ausgebildet ist. Stromabwärts schließen sich als weitere, optionale Systemkomponenten des Elektrolyseteilsystems 200 eine Katalysatorkomponente 27 zur Reinigung und eine Trocknerkomponente 28 zur Trocknung des erzeugten Wasserstoffgases an.

[0052] Das in Fig. 2 dargestellte modulare Testsystem 100 weist verschiedene funktionale Module eines Systemumfeldes zur Herstellung der Betriebsfähigkeit des Elektrolyseteilsystems 200 und zur Einleitung verschiedener vorbestimmter Testbetriebszustände desselben auf.

[0053] Darunter umfasst das Testsystem 100 ein Steuerungsmodul 10, das mit einer Steuerungselektronik wie einem Mikrocomputer, d.h. einer CPU und einem Steuerungsprogramm ausgestattet ist. Das Steuerungsmodul 10 ist über eine Datenschnittstelle mit der Steuerungskomponente 20B des Elektrolyseteilsystems 200 signaltechnisch verbunden. Aus verfahrenstechnischer Sicht tauscht das Steuerungsmodul 10 als ein Teil und Schritt S10 eines Testverfahrens Befehle und Messwerte zu Betriebsparametern des Elektrolyseteilsystems 200 über die Datenschnittstelle mit einer Steuerungskomponente 20B aus, um den Testbetrieb des Elektrolyseteilsystems 200 in Übereinstimmung mit dem Steuerungsprogramm zu steuern und erfasste Daten zu Messungen und Einstellungen im Testbetrieb zu speichern. Darüber hinaus verfügt das Steuerungsmodul 10 über Mittel zur Diagnose, zu Sicherheitsfunktionen wie z. B. eine Grenzwertüberwachung, eine gezielte Fehlereinfügung und Simulation. Eine Integration solcher Simulationen in Bezug auf Systemkomponenten des Elektrolyseteilsystems 200 bildet eine Basis zur Steuerung der Emulationsmodule des Testsystems 100.

[0054] Ferner umfasst das modulare Testsystem 100 ein Netzversorgungsemulatoremodul 11, das mit einer elektrischen Leistungsquelle, wie einem Netzanschluss an einem stationären Versorgungsnetz und einer Leistungselektronikschaltung ausgestattet ist. Das Netzversorgungsemulatoremodul 11 ist mit dem Steuerungsmodul 10 signalverbunden, um Befehle zur Emulation einer dynamischen Leistungsversorgung in Übereinstimmung mit dem Steuerungsprogramm umzusetzen. Die emulierte Netzversorgung wird über eine Leistungsschnittstelle und einen Leistungseingang der Elektrolysekomponente 20 an den Elektroden der Elektrolysestapel 20A eingespeist.

[0055] Aus verfahrenstechnischer setzt das Netzversorgungsemulatoremodul 11 als ein Teil und Schritt S11 des Testverfahrens an einem für den Testbetrieb zur Verfügung stehenden Netzanschluss mittels der Leistungselektronik eine Emulation von z.B. einem Wechselstrom oder Drehstrom sowie Leistungsschwankungen aus einer Simulation eines gekoppelten regenerativen Energieerzeugers in einer Ausgangsleistung um, die der Elektrolysekomponente 20 während des Testbetriebes zur Elektrolyse zugeführt wird. Dabei kann die Emulation eine Modulation einer Spannung, einer Phasenverschiebung und/oder eines Stromes von wenigstens zwei Phasen umfassen.

[0056] Darüber hinaus umfasst das modulare Testsystem 100 ein Fluidversorgungsemulatoremodul 14, das mit einer Fluidversorgungsquelle wie einem Anschluss an ein stationäres Wassernetz und wenigstens einem Durchflussregelventil ausgestattet ist. Das Fluidversorgungsemulatoremodul 14 ist mit dem Steuerungsmodul 10 signalverbunden, um Befehle zur Emulation einer dynamischen Wasserversorgung in Übereinstimmung mit dem Steuerungsprogramm umzusetzen. Die emulierte Wasserversorgung wird über eine Fluidschnittstelle und einen Fluideingang der Elektrolysekomponente 20 in ein Becken oder in Kammern der Elektrolysezellen der Elektrolysestapel 20A eingespeist. Eine solche Emulation kann sowohl Schwankungen in einem Druck oder einem Massestrom des zugeführten Wassers als auch Schwankungen in einer Temperatur oder einer Konzentration von Verunreinigungen umfassen. Dazu weist das Fluidversorgungsemulatoremodul 14 optional eine Temperiereinheit mit einer Wärmetauschereinheit und/oder einer Heizeinheit (nicht weiter dargestellt) zur Temperierung des Wassers oder Prozessfluides im Testbetrieb auf. Ebenso weist das Fluidversorgungsemulatoremodul 14 eine Additiveinheit mit einem in das Prozessfluid gerichteten Additiveingang (nicht weiter dargestellt) zum Einbringen eines Additives in das Prozessfluid auf. Durch geregelte Beimengung von Additiven, wie z.B. Mineralien oder organischen Substanzen kann ein charakteristisches Profil einer Wasserqualität aus einer lokalen Wasserversorgung am Anwendungsort nachgebildet werden.

[0057] Aus verfahrenstechnischer Sicht setzt das Fluidversorgungsemulatoremodul 14 als ein Teil und Schritt S14 des Testverfahrens an einem für den Testbetrieb zur Verfügung stehenden Wasseranschluss mittels des Regelventils eine Emulation eines ggf. schwankenden Druckes und eines Massestromes sowie einer Wassertemperatur und der Wasserqualität der lokalen Wasserversorgung am Anwendungsort des regenerativen Energieerzeugers in einer Wasserversorgung um, die der Elektrolysekomponente 20 während des Testbetriebes als Prozessfluid zur Elektrolyse zugeführt wird.

[0058] Weiter umfasst das modulare Testsystem 100 optional ein Kompressionsemulatoremodul 19, das mit einer motorisch angetriebenen Kompressoreinheit und einem Reservoir in Form eines Gasdruckspeichers (nicht weiter dargestellt) ausgestattet ist. Das Kompressionsemulatoremodul 19 ist mit dem Steuerungsmodul 10 signalverbunden, um Befehle zur Emulation einer Komprimierung und Druckspeicherung des erzeugten Wasserstoffgases in Übereinstimmung mit dem Steuerungsprogramm umzusetzen. Das in der Wasserstoffabscheidekomponente 26 abgeschiedene Wasserstoffgas wird über eine Fluidschnittstelle und ggf. weiteren Systemkomponenten, wie die Katalysatorkomponente 27 oder die Trocknerkomponente 28 an einem Fluidausgang der Wasserstoffabscheidekomponente 26 abgeführt oder abgesaugt. Die emulierte Druckspeicherung kann mittels der Kompressoreinheit eine Abfuhr des Wasserstoffgases ab einem vorbestimmten Überdruck in der Wasserstoffabscheidekomponente 26 vorsehen, eine permanente Abfuhr bei einem konstanten Unterdruck bereitstellen, oder eine Abfuhr in einem zyklischen Intervall im Zusammenhang mit einem Druck oder einer Zeitdauer durchführen.

[0059] Aus verfahrenstechnischer Sicht setzt das Kompressionsemulatoremodul 19 als ein optionaler Teil und Schritt S19 des Testverfahrens mittels der Kompressoreinheit eine Emulation eines ausgangsseitigen, ggf. schwankenden Druckes und Massestromes des erzeugten Wasserstoffgases aus dem Elektrolyseteilsystem 200 vor einem spezifischen Kompressor und Druckspeicher einer individuellen Anlagentechnik des Anwendungsfalles um, das während des Testbetriebes aus der Wasserstoffabscheidekomponente 26 als Produktfluid der Elektrolyse abgeführt wird. Dabei kann die Emulation eine mittels einer Kompressorantriebssteuerung durchgeführte Modulation eines aus der Wasserstoffabscheidekomponente 26 abgeführten Gasmassestroms und/oder eines Rückstaudruckes vor der Kompressoreinheit umfassen.

[0060] In einer alternativen, vereinfachten Ausführungsform oder Modifikation kann das modulare Testsystem 100 als Kompressionsemulatoremodul 19 lediglich ein Ventil in dem Teil der Anlagentechnik zur Abfuhr des erzeugten Wasserstoffgases aufweisen. In einem besonders einfachen Basisaufbau stellt ein solches Ventil eine Abfuhr des Wasserstoffgases unter einem vorbestimmten Rückstaudruck ein oder eine zyklisch betätigte Abfuhr in Intervallen ein, und lässt das Wasserstoffgas in eine beliebige Systemumgebung oder in die Atmosphäre entweichen.

[0061] Fig. 3 zeigt eine zweite Ausführungsform des modularen Testsystems 100, das auf dem modularen Testsystem 100 aus Fig. 3 aufbaut und darüber hinaus weitere funktionale Module umfasst, die fehlende Systemkomponenten des Elektrolyseteilsystems 200 emulieren und ersetzen.

[0062] So umfasst das modulare Testsystem 100 in der zweiten Ausführungsform ein optionales Umformungsemulatoremodul 12, das mit einer elektrischen Schaltung wie einem Transformator und einem Gleichrichter oder einer Leistungselektronik ausgestattet ist. Das Umformungsemulatoremodul 12 formt die für den Testbetrieb aus dem Netzversorgungsemulatoremodul 11 bereitgestellte elektrische Leistung in einen geeigneten Gleichstrom zur Einspeisung an den Elektrolysezellenstapeln 20A um. Das Umformungsemulatoremodul 12 emuliert und ersetzt funktional im Testbetrieb die Transformatorkomponente 22 und die Gleichrichterkomponente 23 an dem Elektrolyseteilsystem 200, falls diese in der zu testenden Systemkonfiguration nicht vorhanden sind. In einer alternativen Ausführungsform oder Modifikation kann das Umformungsmodul 12 in dem Netzversorgungsemulatoremodul 11 integriert sein, wobei die Funktion der Leistungsumformung von der Leistungselektronik des Netzversorgungsemulatoremoduls 11 übernommen und umgesetzt wird.

[0063] Das modulare Testsystem 100 der zweiten Ausführungsform umfasst ein optionales Gas-

abscheideemulatoremodul 15, das mit einer Gasabscheideeinheit, d.h. einem Gasabscheider zur Abscheidung einer Gasphase aus einer Flüssigphase ausgestattet ist. Das Gasabscheideemulatoremodul 15 scheidet das im Testbetrieb an einer Elektrode der Elektrolysezellenstapel 20A erzeugte Sauerstoffgas als ein Produktgas aus einer flüssigen wasserhaltigen Phase ab. Das Gasabscheideemulatoremodul 15 ersetzt oder emuliert im Testbetrieb die Sauerstoffabscheidekomponente 25 an dem Elektrolyseteilsystem 200, falls diese in der zu testenden Systemkonfiguration nicht vorhanden ist. In einer alternativen, vereinfachten Ausführungsform oder Modifikation kann das Gasabscheideemulatoremodul 15 zur Emulation lediglich einen Behälter und ggf. ein Ventil aufweisen, aus denen das Sauerstoffgas in eine beliebige Systemumgebung oder in die Atmosphäre entweicht.

[0064] Aus verfahrenstechnischer Sicht setzt das Gasabscheideemulatoremodul 15 als ein optionaler Teil und Schritt S15 des Testverfahrens mittels des Abscheidebehälters eine Emulation eines ausgangsseitigen Gasphasenabscheidung des erzeugten Wasserstoffgases aus der flüssigen Phase des Prozesswasser aus der Elektrolysekomponente 20 um, das während des Testbetriebes in den Elektrolysezellenstapeln 20A als Produktfluid der Elektrolyse erzeugt wird.

[0065] Zudem umfasst das modulare Testsystem 100 der zweiten Ausführungsform ein optionales Gasbehandlungsemulatoremodul 18, das mit einem einer katalytischen Gasreinigungseinheit, einer thermischen Trocknereinheit oder beiden Einheiten ausgestattet ist. Das Gasbehandlungsemulatoremodul 18 reinigt das erzeugte Wasserstoffgas von anderen gas- oder fluidförmigen Resten wie Sauerstoff, Stickstoff oder Wasserdampf. Das Gasbehandlungsemulatoremodul 18 ersetzt oder emuliert im Testbetrieb die Katalysatorkomponente 27 und die Trocknerkomponente 28 an dem Elektrolyseteilsystem 200, falls diese in der zu testenden Systemkonfiguration nicht vorhanden ist. In einer alternativen, vereinfachten Ausführungsform oder Modifikation kann das Gasbehandlungsemulatoremodul 18 zur Emulation lediglich ein Ventil oder einen Leitungsabschnitt mit einem vorbestimmten Strömungsquerschnitt, eine strömungstechnische Kulissee oder ein Labyrinth aufweisen, wodurch ein Strömungswiderstand der Katalysatorkomponente 27 und der Trocknerkomponente 28 in der Abfuhrleitung in Richtung des Kompressionsemulatoremoduls 19 nachgebildet werden. In einer wiederum vereinfachten Ausführungsform oder Modifikation kann das Gasbehandlungsemulatoremodul 18 des modularen Testsystems 100 in bestimmten Testbetrieben vollständig entfallen, auch wenn das Elektrolyseteilsystem 200 in der zu testenden Konfiguration keine Katalysatorkomponente 27 und keine Trocknerkomponente 28 umfasst.

[0066] Die Figuren 4 bis 6 zeigen weitere Ausführungsformen des modularen Testsystems 100, die auf der Ausführungsform aus Fig. 2 aufbauen und selektiv zusätzliche Module der Ausführungsform aus Fig. 3 mit umfassen. Somit ermöglichen diese weiteren Ausführungsformen einen Testbetrieb bei individueller Systemkonfiguration des Elektrolyseteilsystems 200, d.h. insbesondere mit einer unterschiedlichen Anzahl an Systemkomponenten.

[0067] So umfasst die Ausführungsform des modularen Testsystems 100 in Fig. 4 lediglich zusätzlich das optionale Umformungsemulatoremodul 12, um die fehlende Transformatorkomponente 22 und die fehlende Gleichrichterkomponente 23 in dem Elektrolyseteilsystem 200 durch Emulation der Leistungsumformung im Testbetrieb zu kompensieren.

[0068] In Fig. 5 umfasst die Ausführungsform des modularen Testsystems 100 lediglich zusätzlich das optionale Gasabscheideemulatoremodul 15, um die fehlende Sauerstoffabscheidekomponente 25 in dem Elektrolyseteilsystem 200 durch tatsächliche Gasabscheidung oder durch strömungstechnische Emulation derselben im Testbetrieb zu kompensieren.

[0069] Die in Fig. 6 gezeigte Ausführungsform des modularen Testsystems 100 umfasst lediglich zusätzlich das optionale Gasbehandlungsemulatoremodul 18, um die fehlende Katalysatorkomponente 27 und die fehlende Trocknerkomponente 28 in dem Elektrolyseteilsystem 200 durch tatsächliche Gasbehandlung oder durch strömungstechnische Emulation derselben im Testbetrieb zu kompensieren.

[0070] Selbstverständlich lassen sich in einem Baukastenprinzip weitere Konfigurationen mit unterschiedlicher Anzahl an Modulen als Zwischenformen der genannten Ausführungsformen des

modularen Testsystems 100 in Anpassung an eine Systemkonfiguration und Anzahl an Systemkomponenten des Elektrolyseteilsystems 200 erstellen.

[0071] Die voranstehenden Erläuterungen der Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen. Selbstverständlich können einzelne Merkmale der Ausführungsformen, sofern technisch sinnvoll, frei miteinander kombiniert werden, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

BEZUGSZEICHENLISTE

10	Steuerungsmodul
11	Netzversorgungsemulatormodul
12	Umformungsemulatormodul
14	Fluidversorgungsemulatormodul
15	Gasabscheideemulatormodul
18	Gasbehandlungsemulatormodul
19	Kompressionsemulatormodul
20	Elektrolysekomponente
20A	Elektrolysezellenstapel
20B	Steuerungskomponente
22	Transformatorkomponente
23	Gleichrichterkomponente
25	Sauerstoffgasabscheidekomponente
26	Wasserstoffabscheidekomponente
27	Katalysatorkomponente
28	Trocknerkomponente
100	modulares Testsystem
200	Elektrolyseteilsystem

Patentansprüche

1. Modulares Testsystem (100) zum Testen eines Elektrolyseteilsystems (200), das zumindest eine Elektrolysekomponente (20) mit wenigstens einem Elektrolysezellenstapel (20A) umfasst, wobei das modulare Testsystem (100) aufweist:
ein Steuerungsmodul (10) mit einer Steuerungselektronik und einem Steuerungsprogramm zur Steuerung eines Testbetriebes des Elektrolyseteilsystems (200), wobei das Steuerungsmodul (10) mittels einer Datenschnittstelle mit einer Steuerungskomponente (20B) der Elektrolysekomponente (20) signalverbindbar ist, für einen Austausch von Befehlen und Messwerten zu Betriebsparametern des Elektrolyseteilsystems (200);
ein Netzversorgungsemulatoremodul (11) mit einer elektrischen Leistungsquelle und einer Leistungselektronikschaltung zur Emulation einer dynamischen Leistungsversorgung, wobei das Netzversorgungsemulatoremodul (11) mittels einer Leistungsschnittstelle mit einem Leistungseingang der Elektrolysekomponente (20) elektrisch verbindbar ist, für eine Zufuhr von elektrischer Leistung in das Elektrolyseteilsystem (200); und
ein Fluidversorgungsemulatoremodul (14) mit einer Fluidversorgungsquelle und wenigstens einem Ventil zur Emulation einer dynamischen Fluidversorgung, wobei das Fluidversorgungsemulatoremodul (14) mittels einer Fluidschnittstelle mit einem Fluideingang der Elektrolysekomponente (20) fluidisch verbindbar ist, für eine Zufuhr eines Prozessfluides in das Elektrolyseteilsystem (200),
dadurch gekennzeichnet, dass das Fluidversorgungsemulatoremodul (14) eine Additiveinheit mit einem in das Prozessfluid gerichteten Additiveingang zum Einbringen eines Additives in das Prozessfluid umfasst.
2. Modulares Testsystem (100) nach Anspruch 1, aufweisend wenigstens ein Gasabscheideemulatoremodul (15) mit einem Abscheidebehälter zur Abscheidung einer Gasphase aus einer Flüssigphase zur Emulation einer Sauerstoffabscheidekomponente (25) und/oder einer Wasserstoffabscheidekomponente (26) des Elektrolyseteilsystems (200), wobei das wenigstens eine Gasabscheideemulatoremodul (15) mittels einer Fluidschnittstelle mit der Elektrolysekomponente (20) fluidisch verbindbar ist, für eine Abfuhr eines Produktgases aus der Elektrolysekomponente (20).
3. Modulares Testsystem (100) nach Anspruch 1 oder 2, aufweisend ein Kompressionsemulatoremodul (19) mit einer Kompressoreinheit und einem Reservoir zur Emulation einer komprimierten Gasspeicherung, wobei das Kompressionsemulatoremodul (19) mittels einer Fluidschnittstelle mit einem Fluidausgang der Wasserstoffabscheidekomponente (26) oder des wenigstens einen Gasabscheideemulatoremodul (15) fluidisch verbindbar ist, für eine Abfuhr eines Produktgases aus dem Elektrolyseteilsystem (200).
4. Modulares Testsystem (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Steuerungselektronik des Steuerungsmoduls (10) einen Speicher umfasst, in dem vorbestimmte Betriebsparameter für den Testbetrieb hinterlegt sind, und in den Messwerten zu Betriebsparametern, die während des Testbetriebes mittels Sensoren erfasst werden, abspeicherbar sind.
5. Modulares Testsystem (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Leistungselektronikschaltung des Netzversorgungsemulatoremoduls (11) wenigstens einen Leistungstransistor zur Modulation einer Spannung, einer Phasenverschiebung und/oder eines Stromes von wenigstens zwei Phasen umfasst, wobei ein Eingang des Leistungstransistors mit der Leistungsquelle des Netzversorgungsemulatoremoduls (11) verbunden ist, und ein Ausgang des Leistungstransistors mit der Leistungsschnittstelle zu der Elektrolysekomponente (20) verbunden ist.
6. Modulares Testsystem (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das wenigstens eine Ventil des Fluidversorgungsemulatoremoduls (14) wenigstens ein Regelventil mit einem ansteuerbaren Stellglied zur Modulation eines Druckes und/oder eines Durchflusses des Prozessfluides umfasst, wobei ein Eingang des Regelventiles mit der Fluidversor-

- gungsquelle des Fluidversorgungsemulatoremoduls (14) verbunden ist, und ein Ausgang des Regelventiles mit der Fluidschnittstelle zu der Elektrolysekomponente (20) verbunden ist.
7. Modulares Testsystem (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Fluidversorgungsemulatoremodul (14) eine Temperiereinheit mit einer Wärmetauschereinheit und/oder einer Heizeinheit zur Temperierung des Prozessfluides umfasst.
 8. Modulares Testsystem (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kompressoreinheit des Kompressionsemulatoremoduls (19) eine Kompressorantriebssteuerung zur Modulation eines aus der Wasserstoffabscheidekomponente (26) abgeführten Gasmassestroms und/oder eines Rückstaudruckes vor der Kompressoreinheit umfasst.
 9. Testverfahren zum Testen eines Elektrolyseteilsystems (200), das zumindest eine Elektrolysekomponente (20) mit wenigstens einem Elektrolysezellenstapel (20A) umfasst, mit den Schritten:
 - Steuern (S10) eines Testbetriebes des Elektrolyseteilsystems (200) mittels einer Steuerungselektronik und einem Steuerungsprogramm, die für einen Austausch von Befehlen und Messwerten zu Betriebsparametern des Elektrolyseteilsystems (200) über eine Datenschnittstelle mit einer Steuerungskomponente (20B) der Elektrolysekomponente (20) signalverbunden sind;
 - Emulieren (S11) einer dynamischen Leistungsversorgung mittels einer elektrischen Leistungsquelle und einer Leistungselektronikschaltung, die für eine Zufuhr von elektrischer Leistung in das Elektrolyseteilsystem (200) über eine Leistungsschnittstelle mit einem Leistungseingang der Elektrolysekomponente (20) elektrisch verbunden sind, wobei ein Einbringen eines Additives in das Prozessfluid mittels einer Additiveinheit vorgesehen ist; und
 - Emulieren (S14) einer dynamischen Fluidversorgung mittels einer Fluidversorgungsquelle und wenigstens einem Ventil, die für eine Zufuhr eines Prozessfluides in das Elektrolyseteilsystem (200) über eine Fluidschnittstelle mit einem Fluideingang der Elektrolysekomponente (20) fluidisch verbunden sind.
 10. Testverfahren nach Anspruch 9, mit dem Schritt:
 - Emulieren (S15) einer Gasabscheidung mittels eines Abscheidebehälters, der für eine Abfuhr eines Produktgases aus der Elektrolysekomponente (20) über eine Fluidschnittstelle mit einem Fluidausgang der Elektrolysekomponente (20) fluidisch verbunden ist.
 11. Testverfahren nach Anspruch 9 oder 10, mit dem Schritt:
 - Emulieren (S19) einer komprimierten Gasspeicherung mittels einer Kompressorvorrichtung und einem Reservoir, die für eine Abfuhr eines Produktgases aus dem Elektrolyseteilsystem (200) über eine Fluidschnittstelle mit einem Fluidausgang des Elektrolyseteilsystems (200) fluidisch verbunden sind.
 12. Testverfahren nach Anspruch 9 bis 11, wobei der Schritt des Steuerns (S10) des Testbetriebes ein Vorgeben von Betriebsparameter für den Testbetrieb und ein Erfassen von Messwerten zu Betriebsparametern während des Testbetriebes mittels Sensoren umfasst.
 13. Testverfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei der Schritt des Emulierens (S11) der Leistungsversorgung ein Modulieren einer Spannung, einer Phasenverschiebung und/oder eines Stromes von wenigstens zwei Phasen einer Netzversorgungsleistung mittels eines Leistungstransistors umfasst.
 14. Testverfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei der Schritt des Emulierens (S14) der Fluidversorgung ein Modulieren eines Druckes und/oder eines Durchflusses des Prozessfluides mittels eines Regelventiles umfasst.
 15. Testverfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 14, wobei der Schritt des Emulierens (S14) der Fluidversorgung ein Temperieren des Prozessfluides mittels einer Wärmetauschereinheit und/oder einer Heizeinheit umfasst.

16. Testverfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 15, wobei der Schritt des Emulierens (S19) der komprimierten Gasspeicherung ein Modulieren eines abgeführten Gasmassstrom und/oder eines Rückstaudruckes vor der Kompressoreinheit mittels einer Kompressorantriebssteuerung umfasst.

Hierzu 6 Blatt Zeichnungen

1/6

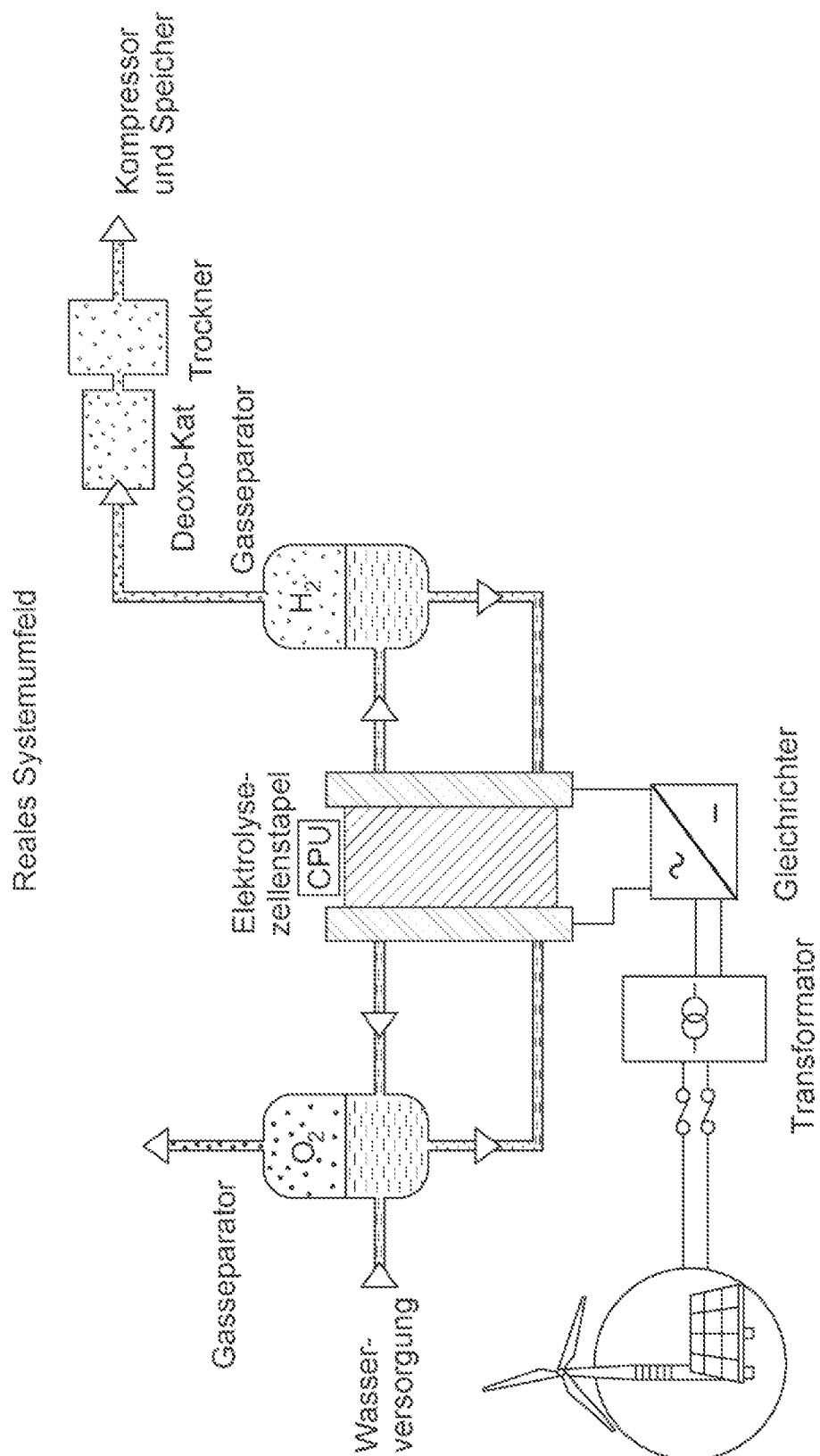


Fig. 1

2/6

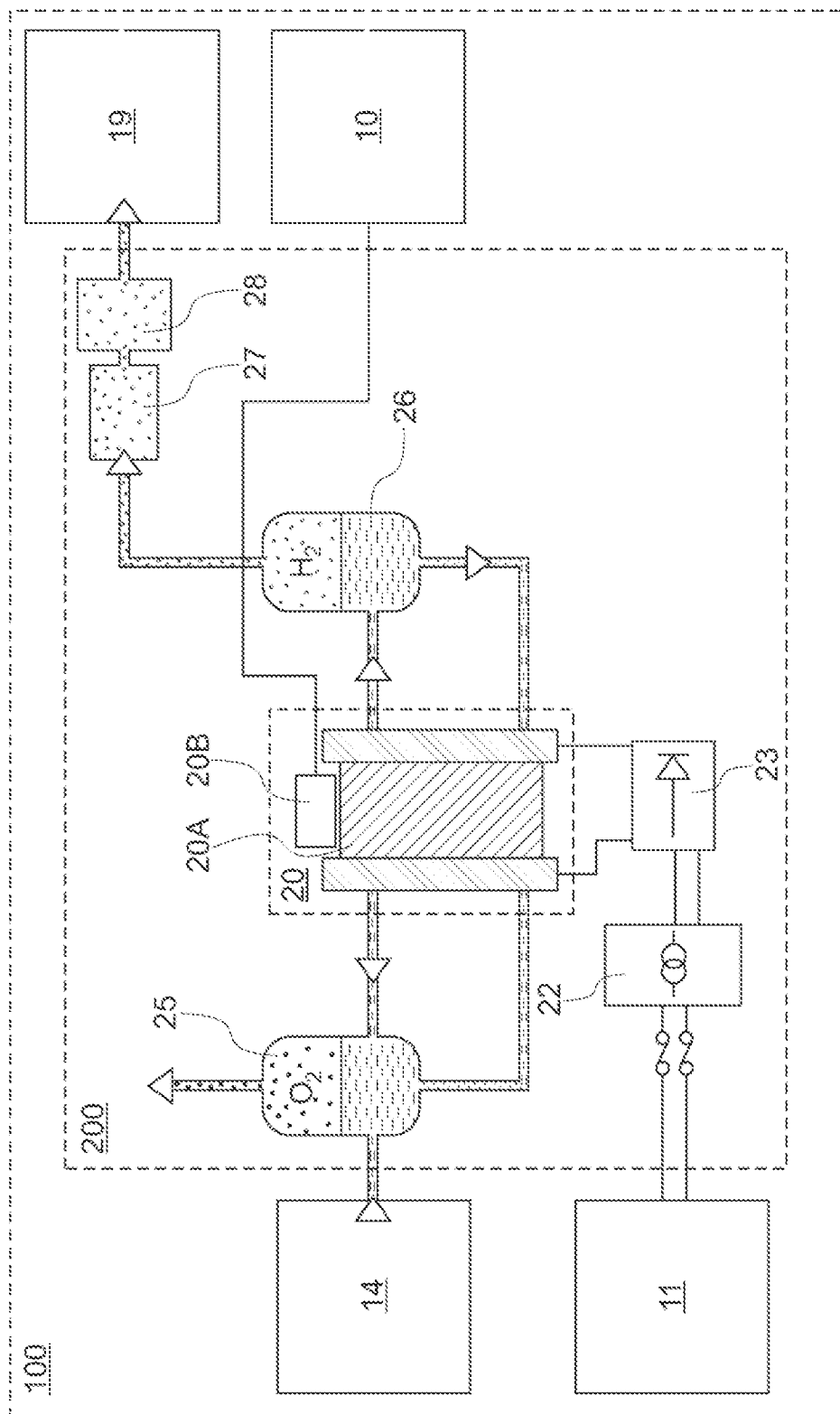
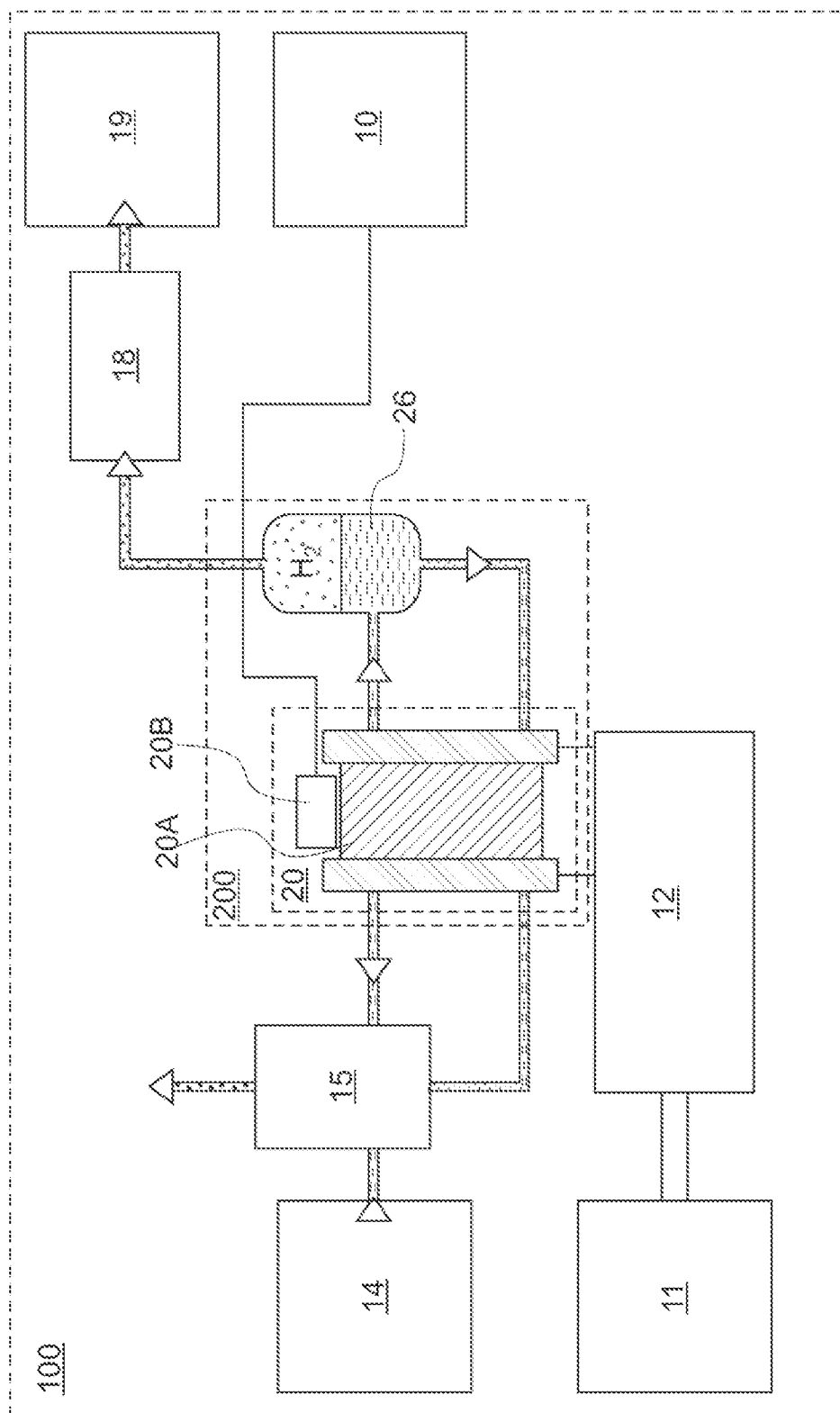


Fig. 2

3/6



4/6

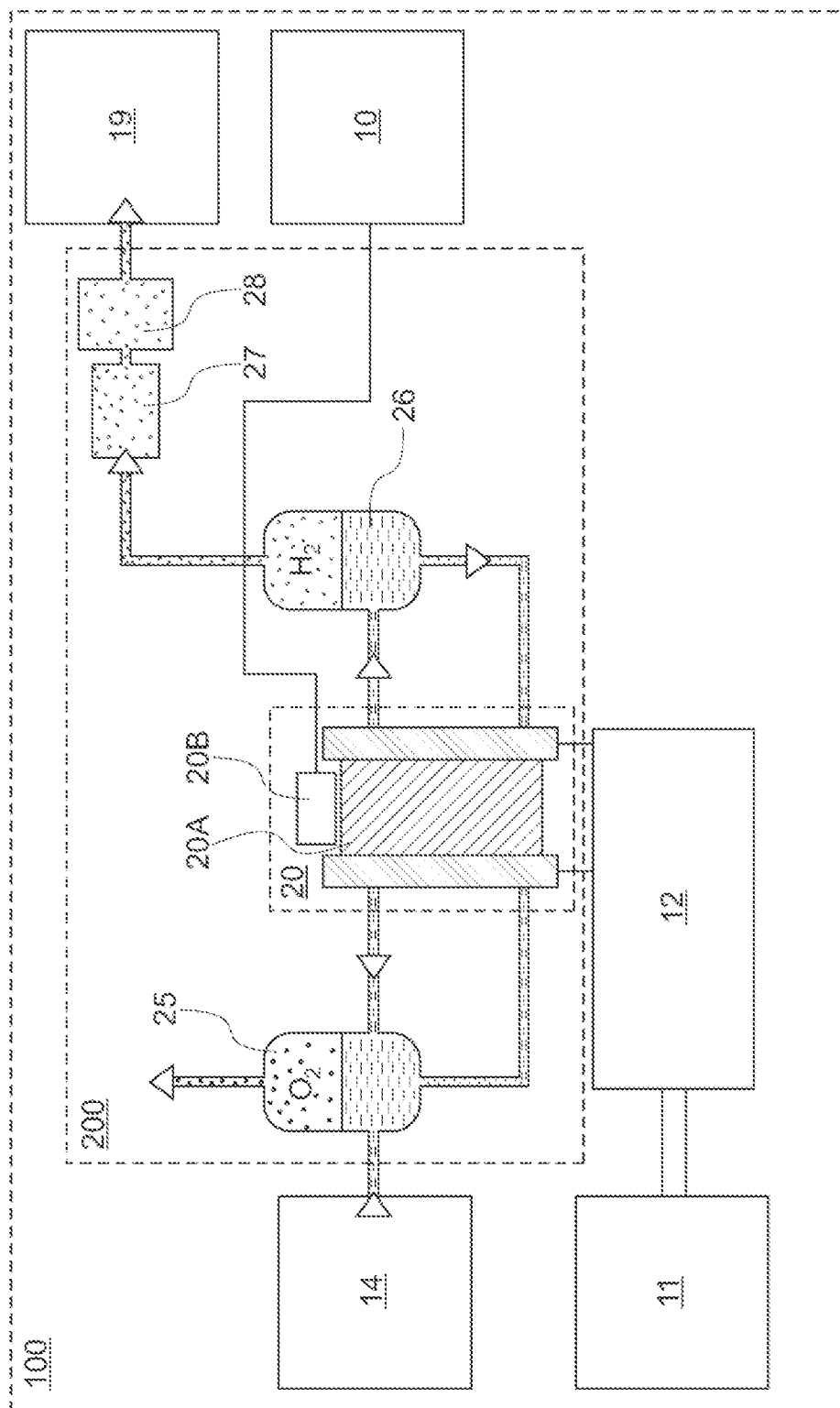
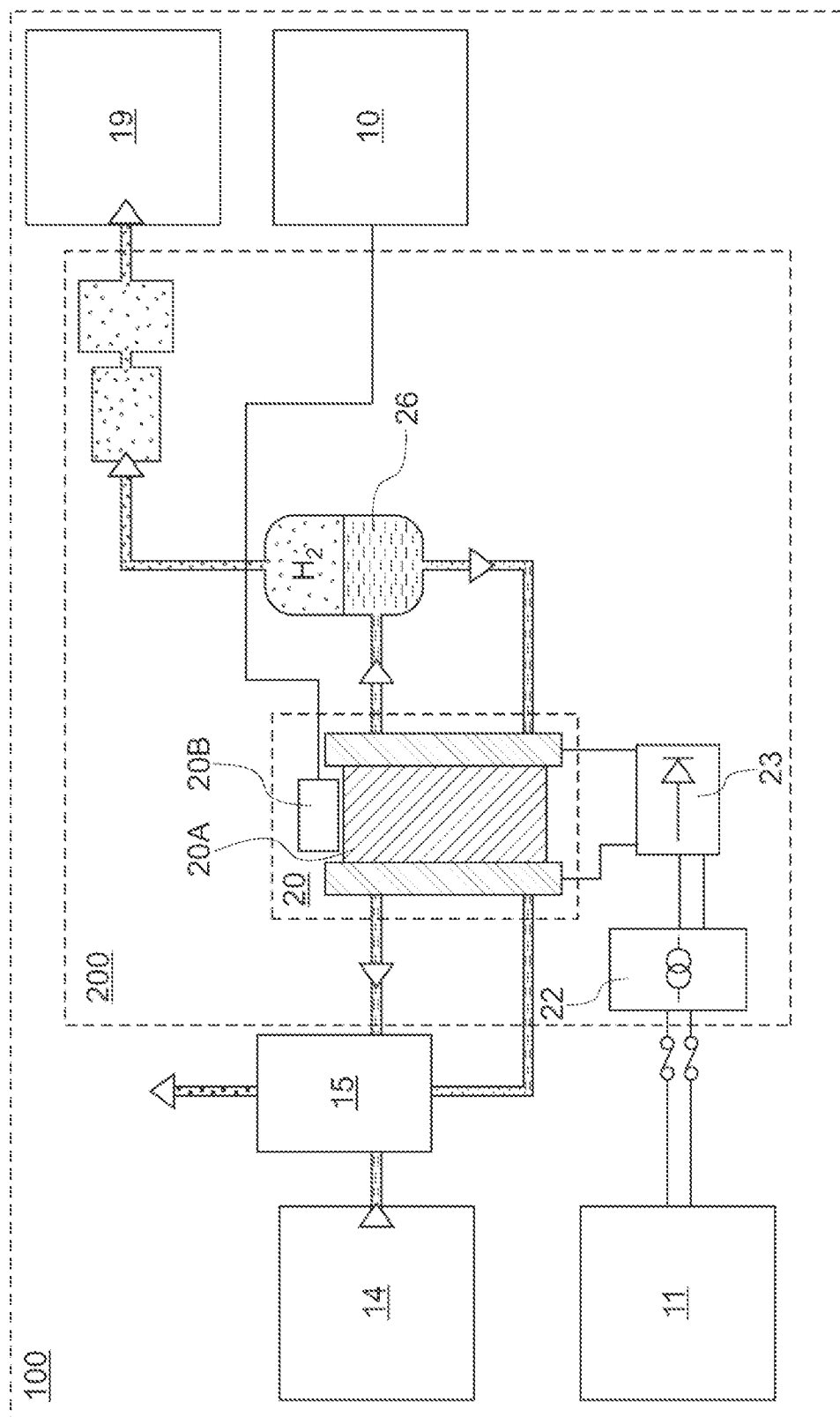


Fig. 4

5/6



6/6

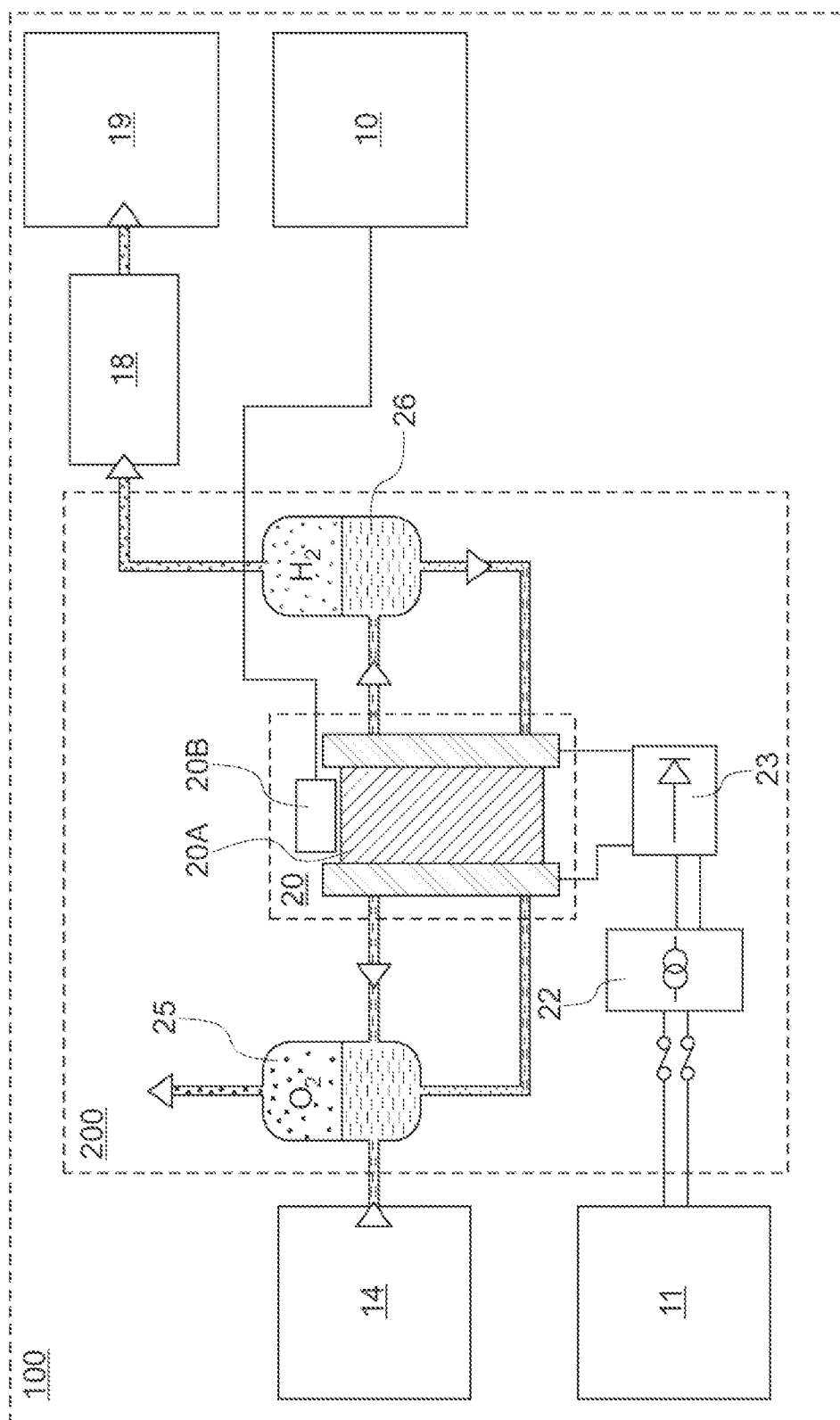


Fig. 6