

Beschreibung

SOEC-SYSTEM UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES SOEC-SYSTEMS

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein SOEC-System zum Durchführen einer Elektrolyse sowie einer Synthese. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines solchen SOEC-Systems.

[0002] Im Stand der Technik sind sogenannte Power-to-Gas-Systeme und Power-to-SynFuel-Systeme bekannt. In diesen können im Rahmen einer Elektrolyse Wasserstoff und durch eine anschließende Synthese ein weiterer Brennstoff wie Methan erzeugt werden. In gattungsgemäßen Systemen wird über Elektrolyseprozesse das Synthesegas erzeugt und in einem weiteren Prozessschritt folgt bei speziellen thermodynamischen Bedingungen mit dem Synthesegas ein Syntheseprozess. D. h., Elektrolyse und Synthese finden zeitlich und/oder lokal getrennt voneinander statt. Dies erfordert einen entsprechend großen und komplexen Systemaufbau. Ein solches System kann der US 2016/0053388 A1 entnommen werden.

[0003] Darüber hinaus existieren beim Betrieb von Hochtemperatur-Elektrolysesystemen Problemstellungen hinsichtlich der Effizienz des Gesamtbetriebes. Eine Herausforderung stellt die Endothermie der Elektrolysereaktionen dar, welche dazu führt, dass Wärme am Brennstoffzellenstapel des Systems verloren geht und damit das Temperaturniveau über den Brennstoffzellenstapel sinkt. Dies bedeutet, dass das gewünschte hohe Temperaturniveau im System durch zusätzliche Vorkehrungen bewerkstelligt werden muss.

[0004] Ein weiteres Verfahren zum Betreiben eines SOEC-Systems ist beispielsweise aus dem Dokument Clausen, Lasse R. et al. „High efficiency SNG production from biomass and electricity by integrating gasification with pressurized solid oxide electrolysis cells“ Energy, 172, 1117-1131, 06.02.2019 bekannt.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, der voranstehend beschriebenen Problematik zumindest teilweise Rechnung zu tragen. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein SOEC-System sowie ein Verfahren zum Betreiben des SOEC-Systems für eine möglichst effiziente und/oder einfache Brennstoffherzeugung zu schaffen.

[0006] Die voranstehende Aufgabe wird durch die Patentansprüche gelöst. Insbesondere wird die voranstehende Aufgabe durch das Verfahren gemäß Anspruch 1 sowie das SOEC-System gemäß Anspruch 5 gelöst. Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Figuren. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem Verfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen SOEC-System und umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird oder werden kann.

[0007] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Betreiben eines SOEC-Systems, das einen Reaktor zum Durchführen einer Elektrolyse zur Synthesegaserzeugung und einer Synthese zur Produktgaserzeugung umfasst, zur Verfügung gestellt. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

- Einstellen einer Betriebstemperatur im Reaktor zum Durchführen der Elektrolyse und der Synthese in einem Bereich zwischen 400°C und 700°C durch eine Temperatur-Einstelleinheit,
- Durchführen der Elektrolyse zur Synthesegaserzeugung im Reaktor, und
- zumindest vorübergehend gleichzeitiges Durchführen der Synthese zur Produktgaserzeugung im Reaktor.

[0008] Im Rahmen von Versuchen hat sich überraschend herausgestellt, dass in einem Mitteltemperatur-Reaktor, der in einem Temperaturbereich zwischen 400°C und 700°C betrieben wird, sowohl die Elektrolyse als auch die Synthese ohne nennenswerte, negative Wechselwirkungen zumindest zeitweise gleichzeitig durchgeführt werden können. D. h., in ein und demselben Reaktor werden zumindest vorübergehend gleichzeitig ein Elektrolyseprozess und ein Synthesepro-

zess durchgeführt. Dies führt zu einer entsprechend kompakten sowie einfachen Bauweise des SOEC-Systems. Auf einen separaten Synthesereaktor stromabwärts des Reaktors kann verzichtet werden, oder ein solcher Synthesereaktor kann deutlich kleiner als bislang ausgeführt werden. Ein gattungsgemäßer Hochtemperatur-Reaktor, der in der Regel in Form eines Brennstoffzellenstapels ausgestaltet ist, wird für die Elektrolyse für gewöhnlich in Temperaturbereichen von deutlich über 700°C betrieben. Der erfindungsgemäße Reaktor ist insbesondere als Brennstoffzellenstapel ausgestaltet oder weist einen Brennstoffzellenstapel auf.

[0009] Durch die zumindest teilweise erfolgende Synthesereaktion direkt im Reaktor erfolgt im Vergleich zu herkömmlichen SOEC-Systemen eine Reduzierung des Volumenstromes und damit der Strömungsgeschwindigkeiten im Reaktor. Dies führt dazu, dass in einem etwaigen nachfolgenden Synthesereaktor nicht die gesamte Synthese erfolgen muss und zudem die Strömungsgeschwindigkeiten niedriger sind, wodurch maßgeblich die Umsetzraten im Reaktor beeinflusst werden. Je niedriger die Durchflussraten und/oder Durchflussgeschwindigkeiten sind, desto kleiner kann der Reaktor gebaut werden, um die simultan durchgeführte Synthese auf eine bestimmte Umsetzrate zu bringen.

[0010] Ein gleichzeitiges Durchführen der Elektrolyse und der Synthese führt ferner zu einer thermischen Stabilität des Reaktors, da eine exotherme Synthesereaktion eine endotherme Elektrolyse mit Wärme versorgen kann. D. h., die elektrochemischen Reaktionen der erfindungsgemäßen Elektrolyse können stark endotherm sein, wodurch Ausgangsströme des Reaktors ein niedrigeres Temperaturniveau als Eingangsströme des Reaktors haben. Dies hat bislang eine wesentliche Herausforderung für das Design und den Betrieb von Elektrolysesystemen dargestellt. Durch exotherme Synthesereaktionen direkt am Reaktor erfolgt ein entsprechender Wärmeeintrag, durch welchen die Endothermie kompensiert werden kann. Ein thermoneutraler Betriebspunkt des SOEC-Systems kann somit vorteilhaft auf niedrigere Teillastpunkte und/oder niedrigere Stromdichten verschoben werden. Zur Steigerung des gewünschten Effekts kann der Reaktor während der Elektrolyse und der Synthese noch mit Kühlfluiden, die kälter als die Betriebstemperatur im Reaktor sind, gekühlt werden.

[0011] Zum Durchführen der gewünschten Reaktionen können Wasserdampf und Kohlendioxid in eine Brennstoffseite des Reaktors und Luft in eine Luftseite des Reaktors geführt werden. Der Reaktor kann in diesem Fall als Brennstoffzelle ausgestaltet sein. Insbesondere kann der Reaktor als Brennstoffzellenstapel mit mehreren Brennstoffzellen ausgestaltet sein, wobei die vorstehend beschriebene Zufuhr von Wasserdampf und Kohlendioxid in die Brennstoffseite und von Luft in die Luftseite jeweils in jeder Brennstoffzelle durchgeführt wird. Während des erfindungsgemäßen Betriebs des SOEC-Systems können nun Wasserdampf und Kohlendioxid auf der Brennstoffseite im Rahmen der Elektrolyse in Wasserstoff und Kohlenmonoxid umgewandelt werden, während zumindest vorübergehend simultan der erzeugte Wasserstoff und das erzeugte Kohlenmonoxid im Rahmen der Synthese in Methangas und Wasserdampf umgewandelt werden. Folglich kann am jeweiligen Auslass der Brennstoffseite ein Fluidgemisch mit Wasserdampf, Kohlendioxid, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methangas erzeugt werden. Am jeweiligen Auslass der Luftseite kann ein Fluidgemisch mit Luft und reinem Sauerstoff erzeugt werden.

[0012] Unter dem Durchführen der Elektrolyse kann die Schaffung von erforderlichen Voraussetzungen zum Durchführen der gewünschten Elektrolyse verstanden werden. Analog kann unter dem Durchführen der Synthese die Schaffung von erforderlichen Voraussetzungen zum Durchführen der gewünschten Synthese verstanden werden. Zu den Voraussetzungen zählen das Bereitstellen der erforderlichen Substanzen sowie der nötigen Umgebungsbedingungen im und/oder am Reaktor und/oder im SOEC-System.

[0013] Das SOEC-System kann insbesondere als reversibel betreibbares SOFC/SOEC-System, also in Form eines SOFC-Systems, das auch als SOEC-System betrieben werden kann, ausgestaltet sein. Unter dem zumindest vorübergehend gleichzeitigen Durchführen der Elektrolyse und der Synthese ist zu verstehen, dass beispielsweise zunächst nur die Elektrolyse durchgeführt werden kann und anschließend die Synthese durchgeführt wird, während die Elektrolyse weiterhin durchgeführt wird. Wie vorstehend beschrieben, können im Rahmen einer Elektrolyse bei-

spielsweise zunächst Wasser, insbesondere Wasserdampf, und Kohlendioxid in Wasserstoff und Kohlenmonoxid umgewandelt werden, und anschließend können im Rahmen einer Synthese der erzeugte Wasserstoff sowie das erzeugte Kohlenmonoxid zurück in Wasser sowie in Methan umgewandelt werden, während im Rahmen der Elektrolyse weiterhin Wasserstoff und Kohlenmonoxid erzeugt werden.

[0014] Zum Einstellen der Betriebstemperatur kann das SOEC-System vorteilhaft eine Temperatursensorik aufweisen, mittels welcher die Temperatur im Reaktor ermittelt werden kann. Anhand der ermittelten Temperatur kann durch einen Controller des SOEC-Systems die gewünschte Temperatur eingestellt und/oder entsprechend geregelt werden. Die Temperatursensorik umfasst beispielsweise eine Temperaturmesseinheit an einem Fluid Eingang des Reaktors, an welchem der Brennstoff und/oder die Luft in den Reaktor geleitet wird, und/oder eine Temperaturmesseinheit an einem Fluidausgang des Reaktors. Unter dem Einstellen der Betriebstemperatur kann ein Steuern und/oder Regeln der Betriebstemperatur auf einen gewünschten Wert verstanden werden. D. h., im Rahmen des Verfahrens wird insbesondere versucht, die Temperatur im Reaktor im Bereich zwischen 400°C und 700°C zu halten und/oder in diesen Temperaturbereich zu bringen.

[0015] Unter dem Einstellen der Betriebstemperatur im Reaktor wird insbesondere ein Einstellen der Betriebstemperatur innerhalb des Reaktors verstanden, sodass ein Temperaturwert während des Betriebs des SOEC-Systems innerhalb des Reaktors in einem Bereich zwischen 400°C und 700°C liegt. Besonders gute Reaktionsergebnisse haben sich bei einer Betriebstemperatur in einem Bereich zwischen 500°C und 600°C ergeben. D. h., bereits bei einer Temperatur von nur 600°C konnten die Elektrolyse und die Synthese auf die gewünschte Weise simultan durchgeführt werden.

[0016] Die Erfindung betrifft ein Systemkonzept, welches den Betrieb eines SOEC-Systems, insbesondere in Form eines stationären SOEC-Systems, in einer insofern vorteilhaften Weise ermöglicht, als dass direkt am Reaktor, insbesondere in Form eines Brennstoffzellenstapels, des SOEC-Systems nicht nur die elektrochemische Umsetzung der zu elektrolysierenden Gase erfolgt, sondern auch teilweise und/oder bezogen auf das thermodynamische Gleichgewicht bis zur Vollständigkeit, der gewünschte katalytisch chemische Syntheseprozess durchgeführt wird. Da hohe Umsetzraten am Brennstoffzellenstapel bei gattungsgemäßen SOEC-Systemen durch die für gewöhnlich hohen Temperaturen grundsätzlich nicht gegeben sind, ist es vorteilhaft, ein kombiniertes System auszuführen, bei dem ein teilweiser Umsatz zu Syntheseprodukten am Brennstoffzellenstapel erfolgt und damit das Wärmemanagement verbessert wird. Bei spezieller Prozessführung und Systemanpassung ist es ferner möglich, das SOEC-System mit Hilfe von geeigneten Materialien und/oder Katalysatoren so zu betreiben, dass diese nicht nur die elektrochemischen Reaktionen, sondern auch den Syntheseprozess beschleunigen.

[0017] Die Elektrolyse wird zur Synthesegaserzeugung durchgeführt, wobei das Synthesegas insbesondere Wasserstoff und Kohlenmonoxid umfasst. D. h., die Elektrolyse wird insbesondere zur Erzeugung von Wasserstoff und Kohlenmonoxid durchgeführt. Unter einer Synthese kann vorliegend eine Gleichgewichtsreaktionen verstanden werden. Durch die Synthese im Reaktor können Partialdrücke der Elektrolyseprodukte verringert werden. Dies nimmt einen direkten Einfluss auf die notwendige Elektrolysespannung und hat eine Verringerung der notwendigen Elektrolyseleistung zur Folge. Das Produktgas kann ein weiteres Brenngas, das sich von Wasserstoff unterscheidet, aufweisen. Mithin kann unter der Produktgaserzeugung die Erzeugung eines weiteren Brenngases, das sich von Wasserstoff unterscheidet, verstanden werden. Unter dem Produktgas kann das Gasgemisch verstanden werden, welches aus der durchgeführten Synthese resultiert.

[0018] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird beim Verfahren ein Betriebsdruck im Reaktor während der Elektrolyse und der Synthese durch eine Druck-Einstelleinheit in einem Bereich zwischen 1 bar und 5 bar eingestellt. Durch das erfindungsgemäße Vorgehen, insbesondere den erfindungsgemäßen Temperaturbereich, kann eine vorteilhafte Umsatzrate schon bei relativ niedrigen Drücken erreicht werden. Auf kostspielige Funktionsbauteile für hohe Drücke kann verzich-

tet werden. Bei Versuchen im Rahmen der Erfindung hat sich herausgestellt, dass die gewünschten Reaktionen sogar schon bei Drücken unter 3 bar und sogar bei Drücken unter 2 bar durchgeführt werden können und/oder im Reaktor simultan ablaufen.

[0019] Weiterhin kann es von Vorteil sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Verfahren die Synthese in Form einer Methanisierung zur Methanerzeugung durchgeführt wird. Eine Methanisierung hat sich als besonders vorteilhafte Synthesereaktion herausgestellt, um die gewünschten Synergieeffekte zu erzielen.

[0020] Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn bei einem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung der Reaktor einen Kathodenabschnitt und einen Anodenabschnitt aufweist, wobei, während der gleichzeitig durchgeführten Elektrolyse und Synthese, Wasserdampf und/oder Kohlendioxid über einen Prozessfluid-Zuführabschnitt und durch wenigstens ein Kontrollventil kontrolliert zum Kathodenabschnitt geleitet wird und/oder Kathodenabgas aus dem Kathodenabschnitt über einen Rezirkulationsabschnitt und durch ein Rezirkulation-Kontrollventil kontrolliert zurück in den Kathodenabschnitt rückgeführt wird. Durch eine höhere oder geringere Rezirkulationsrate und mehr oder weniger Feedstrom in Form von Wasserdampf und/oder Kohlendioxid kann das Gesamtgasgemisch am Prozessfluid-Zuführabschnitt des Brennstoffzellenstapels beeinflusst werden. Durch Einstellen dieses Verhältnisses kann beeinflusst werden, ob mehr oder weniger Synthesereaktionen im Reaktor ablaufen. Schließlich können dadurch auf einfache und zuverlässige Weise gezielt die Umsetzraten am und/oder im Brennstoffzellenstapel eingestellt werden.

[0021] Darüber hinaus kann bei einem erfindungsgemäßen Verfahren der Reaktor bevorzugt einen Kathodenabschnitt und einen Anodenabschnitt aufweisen, wobei, während der gleichzeitig durchgeführten Elektrolyse und Synthese, eine Strömungsgeschwindigkeit des zur Elektrolyse und der Synthese erforderlichen Kathodenfluids durch den Kathodenabschnitt durch eine Strömungsgeschwindigkeit-Einstelleinheit auf einen vordefinierten Wert eingestellt wird. Wie vorstehend bereits erwähnt, können durch unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten maßgeblich die Umsetzraten im Reaktor beeinflusst werden, und je niedriger die Durchflussraten und/oder Durchflussgeschwindigkeiten sind, desto kleiner kann der Reaktor gebaut werden.

[0022] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein SOEC-System mit einem Reaktor zum gleichzeitigen Durchführen einer Elektrolyse zur Synthesegaserzeugung und einer Synthese zur Produktgaserzeugung innerhalb des Reaktors zur Verfügung gestellt. Das SOEC-System weist ferner eine Temperatur-Einstelleinheit zum Einstellen einer Betriebstemperatur im Reaktor für das gleichzeitige Durchführen der Elektrolyse und der Synthese in einem Bereich zwischen 400°C und 700°C auf. D. h., die Temperatur-Einstelleinheit ist konfiguriert, eine Betriebstemperatur im Reaktor auf einen Wert zwischen 400°C und 700°C einzustellen. Damit bringt ein erfindungsgemäßes SOEC-System die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren beschrieben worden sind. Bei einem erfindungsgemäßen SOEC-System können die Elektrolyse und die Synthese zumindest vorübergehend simultan auf derselben reaktiven Oberfläche innerhalb des Reaktors, insbesondere in Form eines Brennstoffzellenstapels mit planaren Brennstoffzellen, ablaufen.

[0023] Beim erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem ist weiter eine Druck-Einstelleinheit zum Einstellen eines Betriebsdrucks im Reaktor während der Elektrolyse und der Synthese in einem Bereich zwischen 1 bar und 5 bar konfiguriert. Der Reaktor ist erfindungsgemäß zum Durchführen der Synthese in Form einer Methanisierung zur Methanerzeugung konfiguriert.

[0024] Darüber hinaus kann der Reaktor günstigerweise, wie bereits mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren beschrieben, einen Kathodenabschnitt und einen Anodenabschnitt aufweisen, wobei der Kathodenabschnitt einen Kathoden-Katalysator zur katalytischen Umsetzung von nur einem vordefinierten Teil des Synthesegases aufweist. Dadurch kann am Brennstoffzellenstapel produziertes Synthesegas wie Wasserstoff und/oder Kohlenmonoxid katalytisch auf beispielsweise einer Nickeloberfläche des Reaktors im Rahmen einer Sabatier-Reaktion möglichst nah zum chemischen Gleichgewicht umgesetzt werden. Das chemische Gleichgewicht verhindert, dass das gesamte Synthesegas beispielsweise zu Methangas umgesetzt wird.

[0025] Gemäß einer weiteren Ausgestaltungsvariante der vorliegenden Erfindung ist es vorteilhaft, wenn der Reaktor einen Kathodenabschnitt und einen Anodenabschnitt aufweist und das SOEC-System ferner einen Prozessfluid-Zuführabschnitt zum kontrollierten Zuführen von Wasserdampf und/oder Kohlendioxid zum Kathodenabschnitt sowie einen Rezirkulationsabschnitt zum kontrollierten Rückführen von Kathodenabgas aus dem Kathodenabschnitt zurück in den Kathodenabschnitt aufweist. Darüber hinaus kann ein erfindungsgemäßes SOEC-System eine Strömungsgeschwindigkeit-Einstelleinheit zum Einstellen einer Strömungsgeschwindigkeit des zur Elektrolyse und der Synthese erforderlichen Kathodenfluids durch den Kathodenabschnitt aufweisen.

[0026] Der Reaktor kann in einem SOEC-System gemäß der vorliegenden Erfindung bevorzugt einen Fluideingangsbereich und einen Fluidausgangsbereich aufweisen, wobei am Fluideingangsbereich ein erster Temperatursensor zum Ermitteln einer Eingangstemperatur am Fluideingangsbereich angeordnet ist und am Fluidausgangsbereich ein zweiter Temperatursensor zum Ermitteln einer Ausgangstemperatur am Fluidausgangsbereich angeordnet ist, und wobei die Temperatur-Einstelleinheit zum Einstellen der Betriebstemperatur im Reaktor für das gleichzeitige Durchführen der Elektrolyse und der Synthese anhand der ermittelten Eingangstemperatur und/oder anhand der ermittelten Ausgangstemperatur konfiguriert ist.

[0027] Weitere, die Erfindung verbessernde Maßnahmen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung zu verschiedenen Ausführungsbeispielen der Erfindung, welche in den Figuren schematisch dargestellt sind.

[0028] Es zeigen jeweils:

[0029] Figur 1 eine Darstellung zum Erläutern eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, und

[0030] Figur 2 ein Blockdiagramm zum Beschreiben eines SOEC-System gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0031] Elemente mit gleicher Funktion und Wirkungsweise sind in den Figuren 1 und 2 mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0032] Fig. 1 zeigt eine vereinfachte Darstellung zum Erläutern eines Verfahrens zum Betreiben eines in Fig. 2 dargestellten SOEC-Systems 10, das einen Reaktor 11 in Form eines Mitteltemperatur-Brennstoffzellenstapels zum Durchführen einer Elektrolyse zur Synthesegaserzeugung und einer Synthese zur Produktgaserzeugung sowie eine Temperatur-Einstelleinheit 14 zum Einstellen einer Betriebstemperatur im Reaktor 11 umfasst. Wie in Fig. 1 dargestellt, wird die Betriebstemperatur während der Elektrolyse und der Synthese in einem Bereich zwischen 500°C und 600°C gehalten. In diesem Temperaturbereich können eine Elektrolyse zur Synthesegaserzeugung und eine Synthese zur Produktgaserzeugung gleichzeitig im Reaktor 11 durchgeführt werden.

[0033] Der in Fig. 1 dargestellte Reaktor 11 weist einen Kathodenabschnitt 12 und einen Anodenabschnitt 13 auf. Der Kathodenabschnitt 12 kann als Brennstoffseite des Reaktors 11 verstanden werden. Der Anodenabschnitt 13 kann als Luftseite des Reaktors 11 verstanden werden. Außerdem weist der dargestellte Reaktor eine Elektrolytmembran 25 auf, die sandwichartig zwischen dem Kathodenabschnitt 12 und dem Anodenabschnitt 13 angeordnet ist. Der Kathodenabschnitt 12 weist eine Kathoden-Stromschiene 26 und einen Kathoden-Katalysator 27 auf. Der Anodenabschnitt 13 weist einen Anoden-Katalysator 28 und eine Anoden-Stromschiene 29 auf. Der Kathoden-Katalysator 27 ist zur katalytischen Umsetzung von nur einem vordefinierten Teil des Synthesegases konfiguriert.

[0034] Im Rahmen des Verfahrens wird in den Kathodenabschnitt 12, genauer gesagt in einen Fluidleitabschnitt, der an den Kathoden-Katalysator 27 angrenzt, ein Brennstoffgemisch, das Wasserdampf und Kohlendioxid aufweist, eingeleitet. Gleichzeitig wird in den Anodenabschnitt 13, genauer gesagt in einen Fluidleitabschnitt, der an den Anoden-Katalysator 28 angrenzt, Luft eingeleitet. Im Kathodenabschnitt 12 entsteht aus dem Brennstoffgemisch im Rahmen der Elekt-

rolyse nun zunächst Synthesegas, das Wasserstoff und Kohlenmonoxid umfasst. Da diese Reaktion endotherm stattfindet, fällt die Temperatur im Reaktor 11 hierdurch leicht ab. Anschließend befinden sich das Synthesegas sowie nicht umgewandelter Wasserdampf und nicht umgewandeltes Kohlendioxid im Kathodenabschnitt 12. Das Synthesegas kann nun im Rahmen einer Synthese, genauer gesagt im Rahmen einer Methanisierung, zu Methangas und Wasserdampf umgewandelt werden. Da diese Reaktion exotherm stattfindet, steigt die Temperatur im Reaktor 11 wieder leicht an. Nun befinden sich Wasserdampf, Kohlendioxid, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methangas im Kathodenabschnitt 12. Wasserdampf und Kohlendioxid können weiterhin zu Wasserstoff und Kohlenmonoxid reagieren. Ebenso können simultan weiterhin Wasserstoff und Kohlenmonoxid zu Methangas und Wasserdampf reagieren. Aus dem Kathodenabschnitt 12 des Reaktors 11 strömt anschließend ein Fluidgemisch, das Wasserdampf, Kohlendioxid, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methangas aufweist. Aus dem Anodenabschnitt 13 strömt ein Fluidgemisch, das Luft und reinen Sauerstoff aufweist. Der Betriebsdruck im Reaktor 11 während der Elektrolyse und der Synthese wird durch eine in Fig. 2 dargestellte Druck-Einstelleinheit 15 auf einen Wert möglichst nur leicht über dem Umgebungsdruck eingestellt und/oder gehalten.

[0035] Fig. 2 zeigt ein SOEC-System 10 mit einem wie in Fig. 1 dargestellten Reaktor 11. Der Reaktor 11 weist den Kathodenabschnitt 12 und den Anodenabschnitt 13 auf. Der Kathodenabschnitt 12 weist einen Kathodeneingang 33 und einen Kathodenausgang 34 auf. Der Anodenabschnitt 13 weist einen Anodeneingang 35 und einen Anodenausgang 36 auf. Das SOEC-System 10 weist die Temperatur-Einstelleinheit 14 zum Einstellen der Betriebstemperatur im Reaktor 11 sowie die Druck-Einstelleinheit 15 zum Einstellen des Betriebsdrucks im Reaktor 11 auf. Der Reaktor 11 ist zum Durchführen der Synthese in Form einer Methanisierung zur Methanherzeugung konfiguriert und weist entsprechend beschichtete Elektroden auf. Die Temperatur-Einstelleinheit 14 und die Druck-Einstelleinheit 15 sind gemäß Fig. 1 als Bestandteil eines Controllers 17, der zum Einstellen des SOEC-Betriebs konfiguriert ist, ausgestaltet. Der Controller 17 weist ferner eine Strömungsgeschwindigkeit-Einstelleinheit 16 zum Einstellen einer Strömungsgeschwindigkeit des zur Elektrolyse und der Synthese erforderlichen Kathodenfluids durch den Kathodenabschnitt 12 auf.

[0036] Der Reaktor 11 weist einen Fluideingangsbereich 21 und einen Fluidausgangsbereich 22 auf, wobei am Fluideingangsbereich 21, genauer gesagt an einem Kathodeneingang 33, ein erster Temperatursensor 23 zum Ermitteln einer Eingangstemperatur am Kathodeneingang 33 angeordnet ist und am Fluidausgangsbereich 22, genauer gesagt am Kathodenausgang 34, ein zweiter Temperatursensor 24 zum Ermitteln einer Ausgangstemperatur am Fluidausgangsbereich 22 angeordnet ist. Die Temperatur-Einstelleinheit 14 ist zum Einstellen der Betriebstemperatur im Reaktor 11 für das gleichzeitige Durchführen der Elektrolyse und der Synthese anhand der ermittelten Eingangstemperatur und anhand der ermittelten Ausgangstemperatur konfiguriert. Alternativ zur dargestellten Ausführungsform können die Temperatursensoren 23, 24 auch an einem Fluideingang und/oder einem Fluidausgang des Reaktors 11 angeordnet sein.

[0037] In dem in Fig. 2 dargestellten Beispiel weist das SOEC-System 10 ferner einen Prozessfluid-Zuführabschnitt 31 zum kontrollierten Zuführen von Wasserdampf und Kohlendioxid zum Kathodenabschnitt 12 auf. Der Prozessfluid-Zuführabschnitt 31 weist eine Wasserdampfleitung 37 und ein Wasserdampf-Kontrollventil 18 zum kontrollierten Zuführen von Wasserdampf zum Kathodenabschnitt 12 auf. Außerdem weist der Prozessfluid-Zuführabschnitt 31 eine Kohlendioxidleitung 38 und ein Kohlendioxid-Kontrollventil 19 zum kontrollierten Zuführen von Kohlendioxid zum Kathodenabschnitt 12 auf. Somit können während der gleichzeitig durchgeführten Elektrolyse und Synthese, Wasserdampf und/oder Kohlendioxid über den Prozessfluid-Zuführabschnitt 31 und durch das jeweilige Kontrollventil 18, 19 kontrolliert zum Kathodenabschnitt 12 geleitet werden.

[0038] Im dargestellten SOEC-System 10 ist zudem ein Rezirkulationsabschnitt 32 mit einem Rezirkulation-Kontrollventil 20 zum kontrollierten Rückführen von Kathodenabgas aus dem Kathodenabschnitt 12 zurück in den Kathodenabschnitt 12 ausgestaltet. Damit kann Kathodenabgas aus dem Kathodenabschnitt 12 während der gleichzeitig durchgeführten Elektrolyse und Synthese kontrolliert zurück in den Kathodenabschnitt 12 geleitet werden.

[0039] Weiterhin ist ein Wärmetauscher 39 zum Aufheizen der Wasserdampfleitung 37 und somit des Wasserdampfes in der Wasserdampfleitung 37 durch Kathodenabgas, das nicht in den Kathodenabschnitt 12 zurückgeführt wird, ausgestaltet. Hierzu steht der Wärmetauscher 39 mit der Wasserdampfleitung 37 in wärmeübertragender Verbindung.

[0040] Die Erfindung lässt neben den dargestellten Ausführungsformen weitere Gestaltungsgrundsätze zu. D. h. die Erfindung soll nicht auf die mit Bezug auf die Figuren erläuterten Ausführungsbeispiele beschränkt betrachtet werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 10 SOEC-System
- 11 Reaktor
- 12 Kathodenabschnitt
- 13 Anodenabschnitt
- 14 Temperatur-Einstelleinheit
- 15 Druck-Einstelleinheit
- 16 Strömungsgeschwindigkeit-Einstelleinheit
- 17 Controller
- 18 Wasserdampf-Kontrollventil
- 19 Kohlendioxid-Kontrollventil
- 20 Rezirkulation-Kontrollventil
- 21 Fluideingangsbereich
- 22 Fluidausgangsbereich
- 23 erster Temperatursensor
- 24 zweiter Temperatursensor
- 25 Elektrolytmembran
- 26 Kathoden-Stromschiene
- 27 Kathoden-Katalysator
- 28 Anoden-Katalysator
- 29 Anoden-Stromschiene
- 31 Prozessfluid-Zuführabschnitt
- 32 Rezirkulationsabschnitt
- 33 Kathodeneingang
- 34 Kathodenausgang
- 35 Anodeneingang
- 36 Anodenausgang
- 37 Wasserdampfleitung
- 38 Kohlendioxidleitung
- 39 Wärmetauscher

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines SOEC-Systems (10), das einen Reaktor (11) zum Durchführen einer Elektrolyse zur Synthesegaserzeugung und einer Synthese zur Produktgaserzeugung umfasst, aufweisend die Schritte:
 - Einstellen einer Betriebstemperatur im Reaktor (11) zum Durchführen der Elektrolyse und der Synthese in einem Bereich zwischen 400°C und 700°C durch eine Temperatur-Einstelleinheit (14),
 - Durchführen der Elektrolyse zur Synthesegaserzeugung im Reaktor (11), und
 - zumindest vorübergehend gleichzeitiges Durchführen der Synthese zur Produktgaserzeugung im Reaktor (11),**dadurch gekennzeichnet**, dass ein Betriebsdruck im Reaktor (11) während der Elektrolyse und der Synthese durch eine Druck-Einstelleinheit (15) in einem Bereich zwischen 1 bar und 5 bar eingestellt wird.
2. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Synthese in Form einer Methanisierung zur Methanerzeugung durchgeführt wird.
3. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor (11) einen Kathodenabschnitt (12) und einen Anodenabschnitt (13) aufweist, wobei, während der gleichzeitig durchgeführten Elektrolyse und Synthese, Wasserdampf und/oder Kohlendioxid über einen Prozessfluid-Zuführabschnitt (31) und durch wenigstens ein Kontrollventil (18, 19) kontrolliert zum Kathodenabschnitt (12) geleitet wird und/oder Kathodenabgas aus dem Kathodenabschnitt (12) über einen Rezirkulationsabschnitt (32) und durch ein Rezirkulation-Kontrollventil (20) kontrolliert zurück in den Kathodenabschnitt (12) rückgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor (11) einen Kathodenabschnitt (12) und einen Anodenabschnitt (13) aufweist, wobei, während der gleichzeitig durchgeführten Elektrolyse und Synthese, eine Strömungsgeschwindigkeit des zur Elektrolyse und der Synthese erforderlichen Kathodenfluids durch den Kathodenabschnitt (12) durch eine Strömungsgeschwindigkeit-Einstelleinheit (16) auf einen vordefinierten Wert eingestellt wird.
5. SOEC-System (10), aufweisend einen Reaktor (11) zum gleichzeitigen Durchführen einer Elektrolyse zur Synthesegaserzeugung und einer Synthese zur Produktgaserzeugung innerhalb des Reaktors (11), und eine Temperatur-Einstelleinheit (14) zum Einstellen einer Betriebstemperatur im Reaktor (11) für das gleichzeitige Durchführen der Elektrolyse und der Synthese in einem Bereich zwischen 400°C und 700°C, **gekennzeichnet durch** eine Druck-Einstelleinheit (15) zum Einstellen eines Betriebsdrucks im Reaktor (11) während der Elektrolyse und der Synthese in einem Bereich zwischen 1 bar und 5 bar.
6. SOEC-System (10) nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor (11) zum Durchführen der Synthese in Form einer Methanisierung zur Methanerzeugung konfiguriert ist.
7. SOEC-System (10) nach einem der Ansprüche 5 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor (11) einen Kathodenabschnitt (12) und einen Anodenabschnitt (13) aufweist, wobei der Kathodenabschnitt (12) einen Kathoden-Katalysator (27) zur katalytischen Umsetzung von nur einem vordefinierten Teil des Synthesegases aufweist.
8. SOEC-System (10) nach einem der Ansprüche 5 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor (11) einen Kathodenabschnitt (12) und einen Anodenabschnitt (13) aufweist und

das SOEC-System (10) ferner einen Prozessfluid-Zuführabschnitt (31) zum kontrollierten Zuführen von Wasserdampf und/oder Kohlendioxid zum Kathodenabschnitt (12) sowie einen Rezirkulationsabschnitt (32) zum kontrollierten Rückführen von Kathodenabgas aus dem Kathodenabschnitt (12) zurück in den Kathodenabschnitt (12) aufweist.

9. SOEC-System (10) nach einem der Ansprüche 5 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Reaktor (11) einen Kathodenabschnitt (12) und einen Anodenabschnitt (13) aufweist und das SOEC-System (10) ferner eine Strömungsgeschwindigkeit-Einstelleinheit (16) zum Einstellen einer Strömungsgeschwindigkeit des zur Elektrolyse und der Synthese erforderlichen Kathodenfluids durch den Kathodenabschnitt (12) aufweist.
10. SOEC-System (10) nach einem der Ansprüche 5 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Reaktor (11) einen Fluideingangsbereich (21) und einen Fluidausgangsbereich (22) aufweist, wobei am Fluideingangsbereich (21) ein erster Temperatursensor (23) zum Ermitteln einer Eingangstemperatur am Fluideingangsbereich (21) angeordnet ist und am Fluidausgangsbereich (22) ein zweiter Temperatursensor (24) zum Ermitteln einer Ausgangstemperatur am Fluidausgangsbereich (22) angeordnet ist, und wobei die Temperatur-Einstelleinheit (14) zum Einstellen der Betriebstemperatur im Reaktor (11) für das gleichzeitige Durchführen der Elektrolyse und der Synthese anhand der ermittelten Eingangstemperatur und/oder anhand der ermittelten Ausgangstemperatur konfiguriert ist.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

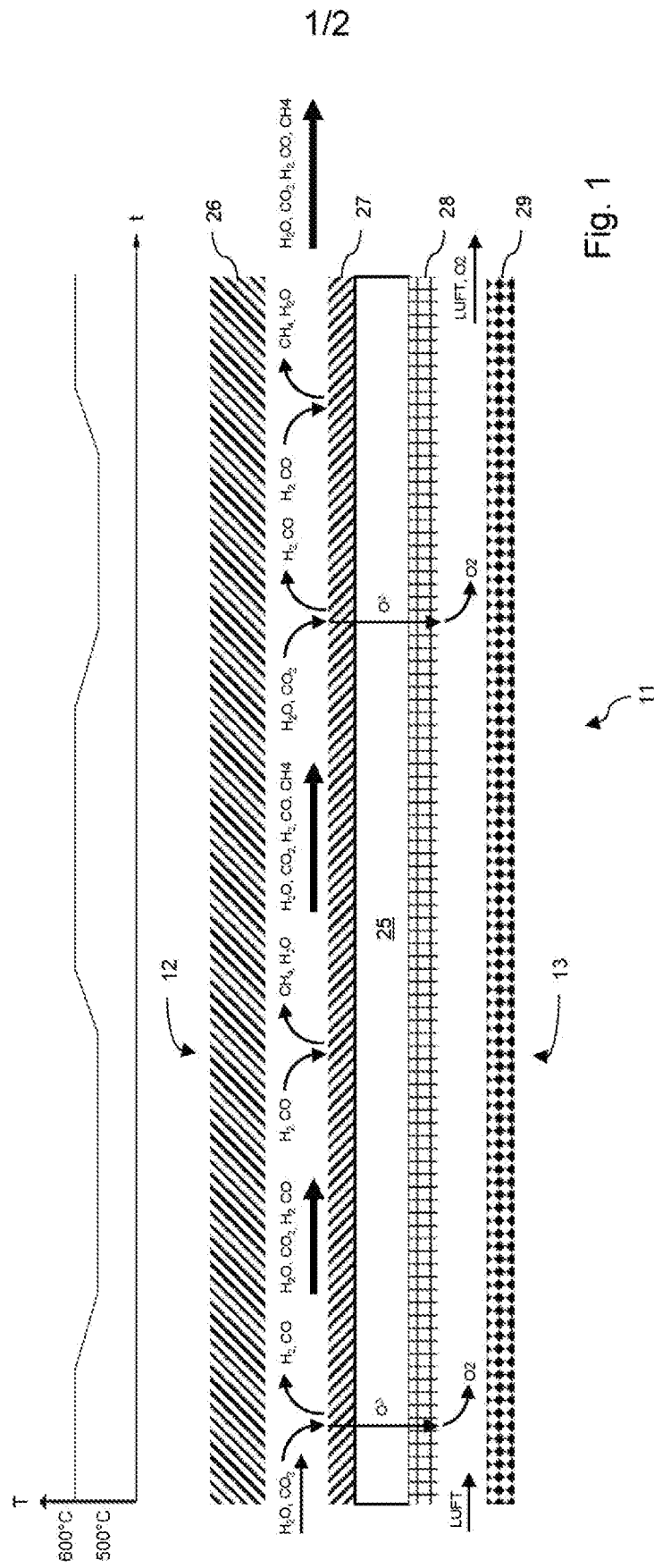


Fig. 1

2/2

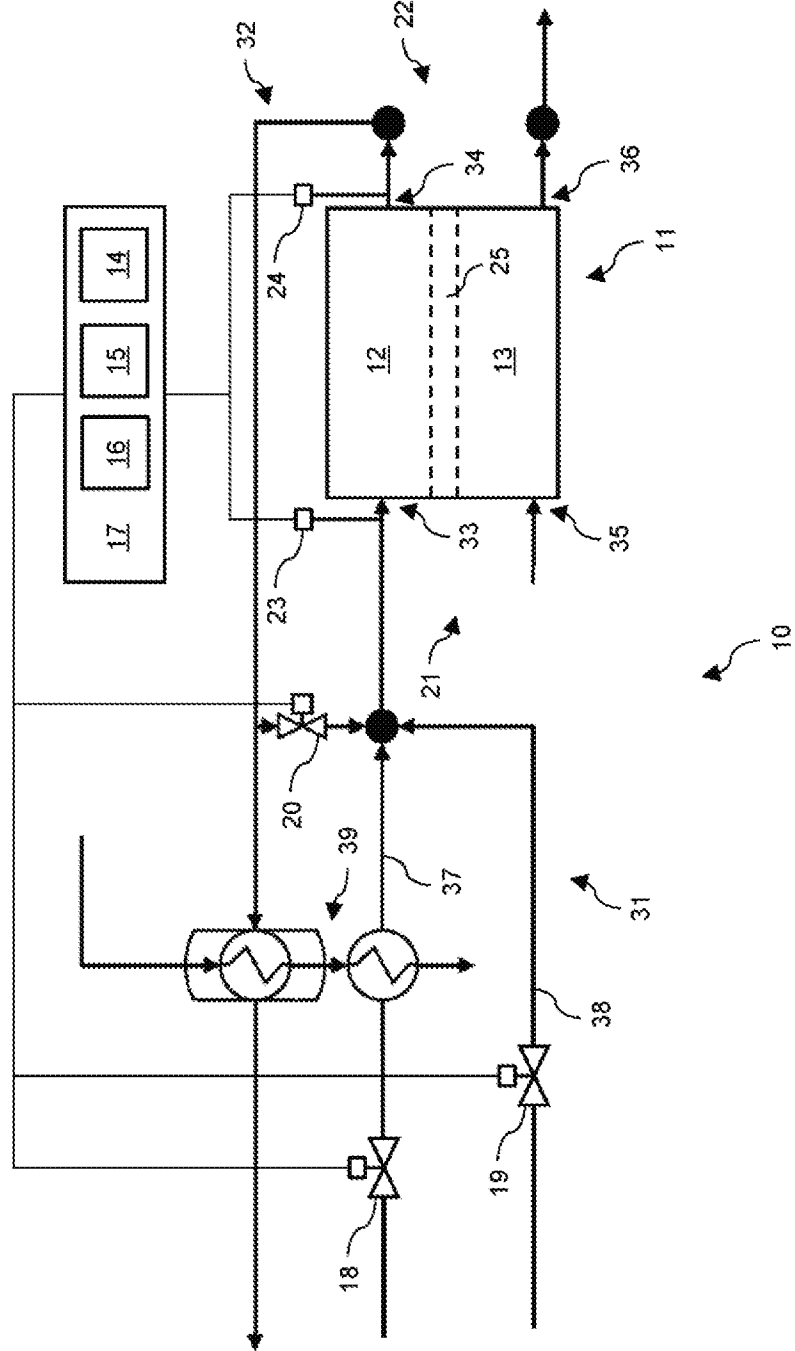


Fig. 2