

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50453/2022 (51) Int. Cl.: **H01M 8/12** (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 23.06.2022 **C25B 1/23** (2021.01)  
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2023 **C25B 15/08** (2006.01)  
**C10G 2/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
US 2014272734 A1  
EP 3415661 A1

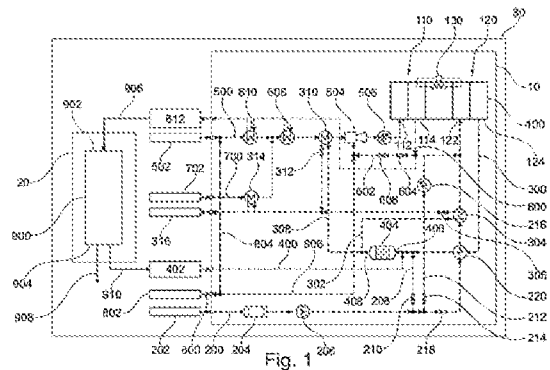
(73) Patentinhaber:  
AVL List GmbH  
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:  
Tandl Manuel Dipl.-Ing.  
8010 Graz (AT)  
Zapf Fabian Dipl.-Ing.  
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:  
Gamper Bettina Dr.  
8020 Graz (AT)

(54) **Brennstoffzellensystem, Brennstoffzellenanlage und Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem (10), ein Brennstoffzellenanlage (30) mit einem Brennstoffzellensystem (10) und einem Synthesystem (20) sowie ein Verfahren (1000) zum Erzeugen von Synthesegas mittels des Brennstoffzellensystems (10).



## Beschreibung

### BRENNSTOFFZELLENSYSTEM, BRENNSTOFFZELLENANLAGE UND VERFAHREN ZUM ERZEUGEN VON SYNTHESSEGAS

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem, eine Brennstoffzellenanlage und ein Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas mittels eines Brennstoffzellensystems.

**[0002]** Eine Möglichkeit zur Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Rohstoffvorkommen und zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen ist die Substitution von Rohöl durch aus Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) hergestellte synthetische Kohlenwasserstoffe. Unter Zuführung von elektrischem Strom kann dabei durch Hochtemperaturelektrolyse (kurz SOE für Engl. "Solid Oxide Electrolysis") ein Synthesegas erzeugt werden, welches Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Kohlenstoffmonoxid (CO) beinhaltet. In einem sich anschließenden Syntheseprozess werden aus dem Synthesegas die synthetischen Kohlenwasserstoffe erhalten.

**[0003]** Ein Brennstoffzellensystem zur Erzeugung von Synthesegas ist beispielsweise in der US 2014272734 A1 offenbart.

**[0004]** Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Effizienz bei der vorstehend beschriebenen Hochtemperaturelektrolyse in kostengünstiger und einfacher Weise zu steigern.

**[0005]** Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch eine Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1, eine Brennstoffzellenanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 12 sowie ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 13. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage sowie dem erfindungsgemäßen Verfahren und jeweils umgekehrt, sodass bzgl. der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird oder werden kann.

**[0006]** Erfindungsgemäß ist ein Brennstoffzellensystem vorgesehen, welches insbesondere als Elektrolysesystem, bevorzugt zur Durchführung einer Co-Elektrolyse ausgebildet ist. Das Brennstoffzellensystem weist einen Brennstoffzellenstapel mit einem Kathodenabschnitt, welcher einen Kathodenzuführabschnitt und einen Kathodenabführabschnitt aufweist, und einem Anodenabschnitt, welcher einen Anodenzuführabschnitt und einen Anodenabführabschnitt aufweist, auf. Ferner weist das Brennstoffzellensystem einen mittels einer Anodenzuführverbindung fluidtechnisch mit dem Anodenzuführabschnitt gekoppelten Anodengasanschluss zum Zuführen von Anodengas zum Anodenabschnitt auf. Außerdem weist das Brennstoffzellensystem einen mittels einer Anodenabführverbindung fluidtechnisch mit dem Anodenabführabschnitt gekoppelten Anodenabführanschluss zum Abführen von durch den Brennstoffzellenstapel erzeugten Anodenabgasen auf. Weiterhin weist das Brennstoffzellensystem einen mittels einer Kathodenzuführverbindung fluidtechnisch mit dem Kathodenzuführabschnitt gekoppelten Kathodenzuführanschluss zum Zuführen von Kathodengas zum Kathodenabschnitt auf. Darüber hinaus weist das Brennstoffzellensystem einen mittels einer Kathodenabführverbindung fluidtechnisch mit dem Kathodenabführabschnitt gekoppelten Kathodenabführanschluss zum Abführen von durch den Brennstoffzellenstapel erzeugtem Synthesegas auf. Das Brennstoffzellensystem weist außerdem einen Restgaszuführanschluss zum Bereitstellen von Restgas auf, welches bei einem Syntheseprozess zur Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen aus von dem Brennstoffzellenstapel erzeugtem Synthesegas abgeschieden wird. Das Brennstoffzellensystem weist ferner einen mittels einer Restgaszuführverbindung fluidtechnisch mit dem Restgasanschluss gekoppelten Katalysator zur katalytischen Verbrennung des Restgases auf, wobei ein Katalysatorzuführabschnitt und ein Katalysatorabführabschnitt des Katalysators fluidtechnisch mit der Anodenabführverbindung gekoppelt sind. Schließlich weist das Brennstoffzellensystem zumindest einen Wärmetauscher auf, der in der Anodenabführverbindung in Strömungsrichtung (der Abgase des Katalysators) hinter dem Katalysatorabführabschnitt angeordnet ist.

**[0007]** Erfindungsgemäß wird damit die Effizienz eines Brennstoffzellensystems gesteigert, indem Restgas aus dem Syntheseprozess zur Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen zur katalytischen Verbrennung innerhalb des Brennstoffzellensystems genutzt wird. Die bei der katalytischen Verbrennung gewonnene Wärme wird sich innerhalb des Brennstoffzellensystems durch zumindest einen Wärmetauscher zunutze gemacht. Die zusätzliche Wärme kann an verschiedenen Orten, insbesondere Verbindungen, ganz besondere Zuführverbindungen, wie insbesondere der Anodenzuführverbindung und/oder Kathodenzuführverbindung, in dem Brennstoffzellensystem bereitgestellt werden und so die Effizienz der Hochtemperaturelektrolyse, insbesondere Hochtemperatur-Co-Elektrolyse, die von dem Brennstoffzellenstapel ausgeführt wird, um das synthetische Gas oder, mit anderen Worten, Synthesegas zu erzeugen, erhöhen.

**[0008]** Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird der Einfachheit halber von einem Brennstoffzellenstapel gesprochen. Damit ist zumindest ein Brennstoffzellenstapel gemeint. Denn selbstverständlich kann vorgesehen sein, dass mehrere Brennstoffzellenstapel in dem Brennstoffzellensystem vorgesehen sind, die in beliebiger Weise miteinander verschaltet sein können, z.B. in Reihe oder parallel miteinander verschaltet sein können. Dabei ist dann jeder Kathodenabschnitt und jeder Anodenabschnitt jedes Brennstoffzellenstapels in der hierin beschriebenen Art und Weise fluidtechnisch mit den hierin erwähnten Anschlüssen gekoppelt.

**[0009]** Der Brennstoffzellenstapel kann ganz besonders ein Festoxid-Brennstoffzellenstapel sein. Damit kann das Brennstoffzellensystem insbesondere ein Festoxid-Brennstoffzellensystem oder Festoxid-Elektrolyseurzellensystem (auch SOFC-System für engl. „Solid Oxide Fuel Cell System“) sein. Der Brennstoffzellenstapel in dem Brennstoffzellensystem ist insbesondere in einem Elektrolysemodus betreibbar oder wird im Elektrolysemodus betrieben, insbesondere in einem Co-Elektrolysemodus, um die Elektrolyse von Wasser ( $H_2O$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ) zu erreichen. Durch die Elektrolyten in dem Brennstoffzellenstapel können so Wasserstoffgas ( $H_2$ ), Kohlenstoffmonoxid ( $CO$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) produziert werden. Vorteilhaft ist dabei, wenn der Brennstoffzellenstapel zum Erzeugen des Synthesegases mit einer Stromversorgungsquelle zur Bereitstellung von Strom aus einer erneuerbaren Energiequelle verbunden ist. Mit einer solchen Stromversorgungsquelle, die aus erneuerbaren Energiequellen gespeist wird, lässt sich der Hochtemperaturelektrolysebetrieb ökologisch nachhaltig gestalten.

**[0010]** Im Rahmen der Erfindung wird unter dem Brennstoffzellensystem insbesondere auch ein Elektrolysesystem, bevorzugt ein Co-Elektrolysesystem, und/oder ein reversibles Brennstoffzellensystem verstanden. Bei einem reversiblen Brennstoffzellensystem kann vorteilhaft zwischen einem Brennstoffzellenbetrieb und einem Elektrolysebetrieb umgeschaltet werden.

**[0011]** Für die vorstehend beschriebene Reaktion im Elektrolysebetrieb wird dem Anodenabschnitt durch die Anodenzuführverbindung Anodengas, insbesondere Luft, ganz besonders Frischluft, oder Sauerstoff, zugeführt. Mittels der Kathodenzuführverbindung wird dem Kathodenabschnitt Kathodengas, insbesondere Kohlenstoffdioxid, zugeführt. Der Kathodenzuführanschluss kann dabei mit unterschiedlichen Kohlenstoffdioxid-Quellen verbunden sein. Möglich ist beispielsweise das Entnehmen von Kohlenstoffdioxid aus der Luft, aus Biogas-Prozessen, aus Industrieabgasen usw. Wasser kann dem Kathodenzuführabschnitt über einen ersten Zusatzzuführanschluss zum Zuführen von Wasser zugeführt werden. Dazu kann der erste Zusatzzuführanschluss, der mittels einer ersten Zusatzzuführverbindung mit der Kathodenzuführverbindung oder dem Kathodenzuführabschnitt fluidtechnisch gekoppelt sein kann, dem Kathodenzuführabschnitt Wasser, vorzugsweise in Form von Wasserdampf, zuführen. Alternativ oder zusätzlich kann das Wasser in dem Brennstoffzellensystem zu Wasserdampf verdampft werden. Der Wasserdampf kann als Teil des Kathodengases angesehen werden, weil es dem Kathodenzuführabschnitt zugeführt wird. Auch ein eventuelles Schutzgas, das der Kathodenzuführverbindung zugeführt wird, kann als Teil des Kathodengases angesehen werden, weil es dem Kathodenzuführabschnitt zugeführt wird. Vom Anodenabführabschnitt werden die Anodenabgase mittels der Anodenabführverbindung zum Anodenabführanschluss abgeführt. Die in der Anodenabführverbindung abgeführten Anodenabgase umfassen insbesondere von dem Brennstoffzellensystem abgeführte Abluft oder abgeführten Sauerstoff, ganz besonders mit Sauerstoff angereicherte Luft, sowie hinter dem Katalysator Katalysator-Abgase, also Verbrennungsprodukte der katalytischen

Verbrennung des Restgases gemischt mit dem Anodenabgas. Vom Anodenabführanschluss aus können diese beispielsweise in die Umgebung freigesetzt werden. Vom Kathodenabführabschnitt wird das erzeugte Kathodenabgas, welches Synthesegas ist, welches insbesondere hauptsächlich Wasserstoffgas und Kohlenstoffmonoxid enthält, zum Kathodenabführanschluss zugeführt. Dieser kann mit einem entsprechenden Synthesesystem mit einer Syntheseanlage verbunden sein, um dort das synthetische Gas zur Herstellung der synthetische Kohlenwasserstoffe bereitzustellen. Bei diesem Syntheseprozess kann typischerweise nicht das gesamte Synthesegas umgesetzt werden. Außerdem entstehen beim Syntheseprozess neben den langkettigen Produkten kurzkettige Kohlenwasserstoffe. Der nicht umgesetzte Anteil des Synthesegases bildet gemeinsam mit den kurzkettigen Kohlenwasserstoffen ein Gasgemisch, das insbesondere zum Teil in die Syntheseanlage rezykliert und zum Teil abgeschieden wird. Dieser abgeschiedene Gasanteil wird hierin als Restgas bezeichnet. Es wurde nämlich überraschenderweise herausgefunden, dass dieses Restgas einen hohen Heizwert birgt und sich vorteilhafterweise zur Wärmebereitstellung in der Hochtemperaturelektrolyse einsetzen lässt, womit sich insbesondere in der erfindungsgemäßen Art und Weise die Effizienz des Brennstoffzellensystems erhöhen lässt.

**[0012]** Zur Unterscheidung von Komponenten oder Elementen gleicher Art oder gleichen Typs voneinander, wie beispielsweise von Wärmetauschern, Absperrorganen, Teilpfaden oder Bypasspfaden, sind die in der vorliegenden Beschreibung erwähnten Komponenten oder Elemente gleicher Art oder gleichen Typs durchnummeriert und werden als erste Komponente, zweite Komponente, dritte Komponente (oder Elemente) usw. bezeichnet, also beispielsweise erster Wärmetauscher, zweiter Wärmetauscher usw. Diese Bezeichnung anhand der Nummerierung dient einzig und allein der Unterscheidung der hierin erwähnten Komponenten oder Elemente gleicher Art oder gleichen Typs und stellt in keiner Weise eine Einschränkung des Schutzbereichs dar. Wenn beispielsweise in einem Anspruch von einer vierten Komponente einer Art oder eines Typs gesprochen wird, dann setzt dies nicht notwendigerweise eine erste, zweite und dritte Komponente dieser Art oder diesen Typs voraus; es sei denn, dass die erste, zweite und dritte Komponente dieser Art oder diesen Typs in einem Anspruch erwähnt werden, auf den sich der betreffende Anspruch zurückbezieht.

**[0013]** Die hierin erwähnten Verbindungen sind fluidführende, insbesondere gasführende, Verbindungen. Die Verbindungen können über verschiedene Pfade oder Leitungen, wie beispielsweise Rohre oder Schläuche, die jeweils miteinander gekoppelt sind, hergestellt sein. In den Verbindungen können verschiedene strömungsbeeinflussende Vorrichtungen angeordnet sein, wie sie hierin erwähnt werden, so beispielsweise Absperrorgane.

**[0014]** Soweit hierin von einer Anordnung eines Wärmetauschers in einer Verbindung und einer wärmetechnischen Kopplung des Wärmetauschers mit einer anderen Verbindung gesprochen wird, so sind diese Merkmale wegen der Funktion des Wärmetauschers synonym zu verstehen. Denn durch den Wärmetauscher wird die Wärme von zwei Strömen in den jeweiligen Verbindungen miteinander ausgetauscht, beispielsweise im Gegenstrom. Insoweit ist der Wärmetauscher tatsächlich in jeder der beiden Verbindungen angeordnet und der Wärmetauscher koppelt auch beide Verbindungen wärmetechnisch miteinander.

**[0015]** Soweit hierin von Kontrolle oder Kontrollieren, insbesondere im Zusammenhang mit einem Absperrorgan, gesprochen wird, wird damit ein Steuern und/oder Regeln verstanden. Auch wenn dies nicht explizit erwähnt ist, können entsprechende Kontrollelektronik und über Absperrorgane hinausgehende Kontrollvorrichtungen, beispielsweise Durchflussmesser, für das Kontrollieren vorgesehen sein.

**[0016]** Die hierin erwähnten Absperrorgane dienen zumindest dazu, in den Verbindungen den Strom des jeweiligen, darin strömenden Fluids, insbesondere Gases, anzuhalten oder durchzulassen. Auch ein Kontrollieren der Durchflussmenge ist je nach Ausführungstyp des eingesetzten Absperrorgans möglich. Dabei ist es möglich, das Absperrorgan in unterschiedlichster Weise auszuführen, beispielsweise als Ventil, Absperrschieber, Absperrhahn oder Absperrklappe.

**[0017]** Vorteilhafterweise sind in der Anodenabführverbindung in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt zumindest zwei oder zumindest drei Wärmetauscher angeordnet.

Dies erlaubt es, die Wärme der heißen Katalysator-Abgase aus der katalytischen Verbrennung des Restgases gleich an mehreren Stellen, insbesondere Zuführverbindungen, in dem Brennstoffzellensystem zu nutzen. Dabei können diese mehreren Wärmetauscher in einer Reihen- und/oder Parallelschaltung in der Anodenabführverbindung angeordnet sein. Dies erlaubt es nicht nur, die Wärme der Abgase des Katalysators mehrmals und somit möglichst effizient bei in Reihe geschalteten Wärmetauschern zu nutzen, sondern auch die Wärmemengen bei parallel angeordneten Wärmetauschern zu kontrollieren, um so betriebsabhängig an unterschiedlichen Stellen des Brennstoffzellensystems mehr oder weniger Wärme zuzuführen. So kann die Wärmemenge individuell auf den Betrieb des Brennstoffzellenstapels abgestimmt verwendet werden.

**[0018]** Ebenfalls vorgesehen ist es, dass ein zweiter Wärmetauscher von dem zumindest einen Wärmetauscher (der in der Anodenabführverbindung in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt angeordnet ist) wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung gekoppelt ist. Dies erlaubt es, Wärme aus den Abgasen des Katalysators an die Anodenzuführverbindung abzuführen und so das Anodengas zu erwärmen, welches am Anodenzuführabschnitt ankommt, um die Effizienz der Hochtemperaturelektrolyse zu erhöhen.

**[0019]** Zusätzlich ist es vorgesehen, dass ein dritter Wärmetauscher von dem zumindest einen Wärmetauscher (der in der Anodenabführverbindung in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt angeordnet ist) wärmetechnisch mit der Kathodenzuführverbindung gekoppelt ist. Dies erlaubt es, Wärme aus den Abgasen des Katalysators an die Kathodenzuführverbindung abzuführen und so das Kathodengas zu erwärmen, welches am Kathodenzuführabschnitt ankommt, um die Effizienz der Hochtemperaturelektrolyse zu erhöhen.

**[0020]** Vorgesehen ist es dabei, dass der zweite Wärmetauscher und der dritte Wärmetauscher in unterschiedlichen, sich in Strömungsrichtung (des Katalysator-Abgases) hinter dem Katalysatorabführabschnitt aufteilenden Teilpfaden der Anodenabführverbindung angeordnet sind. Dies erlaubt das bereits oben angesprochene Kontrollieren von Wärmemengenabgaben, nämlich zwischen der Anoden- und Kathodenzuführverbindung. Die beiden Teilpfade können in Strömungsrichtung des Katalysator-Abgases hinter dem Wärmetauscher an einem Knotenpunkt wieder miteinander verbunden werden und gemeinsam zum Anodenabführanschluss strömen.

**[0021]** Erfindungsgemäß ist in zumindest einem der beiden Teilpfade ein Absperrorgan angeordnet. Besonders vorteilhaft ist in beiden Teilpfaden jeweils ein Absperrorgan angeordnet. Insbesondere kann eine Absperrklappe als Absperrorgan genutzt werden. Dies erlaubt ein einfaches und dennoch präzises Kontrollieren des Katalysator-Abgasstroms aus dem Katalysator und der von ihm mitgeführten Wärmemenge.

**[0022]** Auch ist vorteilhaft, wenn das zumindest eine Absperrorgan in Strömungsrichtung (des Abgases aus dem Katalysator) hinter dem zweiten Wärmetauscher oder dem dritten Wärmetauscher angeordnet ist. Bei zwei Absperrorganen können beide Absperrorgane hinter dem jeweiligen Wärmetauscher angeordnet sein. Dies erlaubt es, vergleichsweise kostengünstige und einfache Absperrorgane einzusetzen, weil sie keinen extrem hohen Temperaturen, wie denen des Abgases hinter dem Katalysator, standhalten müssen. Dagegen ist das Abgas hinter den Wärmetauschern durch den Wärmeaustausch bereits abgekühlt, sodass hier die Temperaturen bereits niedriger ausfallen, wenn auch noch diese Resttemperatur in dem Abgas vorteilhafterweise für einen weiteren Wärmetausch genutzt werden kann.

**[0023]** Außerdem ist vorteilhaft, wenn ein vierter Wärmetauscher von dem zumindest einen Wärmetauscher (der in der Anodenabführverbindung in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt angeordnet ist) wärmetechnisch mit einer ersten Zusatzzuführverbindung gekoppelt ist, welche die Kathodenzuführverbindung oder den Kathodenzuführabschnitt mit einem ersten Zusatzzuführanschluss zum Zuführen von Wasser oder Wasserdampf zum Kathodenzuführabschnitt verbindet. Dieser vierte Wärmetauscher kann in Strömungsrichtung ganz besonders hinter dem zweiten Wärmetauscher und/oder dritten Wärmetauscher angeordnet sein. Dadurch kann die nach dem Wärmetausch im zweiten und/oder dritten Wärmetauscher noch enthaltene Restwärme im Abgas in der Anodenabführverbindung genutzt werden, um das am ersten Zusatzzuführanschluss zugeführte Wasser oder den zugeführten Wasserdampf zu erhit-

zen und dadurch die Effizienz des Brennstoffzellensystems weiter zu steigern.

**[0024]** Zusätzlich oder alternativ kann vorgesehen sein und ist vorteilhaft, wenn ein fünfter Wärmetauscher von dem zumindest einen Wärmetauscher (der in der Anodenabführverbindung in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt angeordnet ist) in der Anodenabführverbindung angeordnet ist und wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung gekoppelt ist. Dieser fünfte Wärmetauscher kann in Strömungsrichtung ganz besonders hinter dem zweiten Wärmetauscher und/oder dritten Wärmetauscher angeordnet sein. Dadurch kann die nach dem Wärmetausch im zweiten und/oder dritten Wärmetauscher noch enthaltene Restwärme im Abgas in der Anodenabführverbindung genutzt werden, um die in der Anodenzuführverbindung transportierte Luft zu erhitzen und dadurch die Effizienz des Brennstoffzellensystems weiter zu steigern.

**[0025]** Darüber hinaus ist vorteilhaft, wenn ein erster Wärmetauscher in der Anodenzuführverbindung angeordnet ist und in Strömungsrichtung vor dem Katalysatorzführabschnitt wärmetechnisch mit der Anodenabführverbindung gekoppelt ist. Dadurch kann insbesondere in einem ersten Schritt die Wärme der Katalysator-Abgase mit dem Anodenabgas, insbesondere der abgeführten Luft, aus dem Anodenabführabschnitt genutzt werden, um das Anodengas, insbesondere die zugeführte Luft, zu erwärmen. Dies hat neben dem Erwärmen des Anodengases den Vorteil, dass die Anodenabgase des Anodenabschnitts durch die Wärmeübertragung gekühlt werden, wodurch die Selbstzündungstemperatur des Restgas-Anodenabgas-Gemisches unterschritten wird, welches durch Mischung des Restgases und des Anodenabgases in Strömungsrichtung hinter dem ersten Wärmetauscher erzeugt wird. Denn das Anodenabgas ist sehr sauerstoffreich mit ca. 30% Sauerstoff, da im Brennstoffzellenstapel Sauerstoff von dem Kathodenabschnitt zum Anodenabschnitt diffundiert.

**[0026]** Die Absenkung unter die Selbstzündungstemperatur ist insofern zielführend, als dass eine hohe thermische Beanspruchung der Komponenten in dem Brennstoffzellensystem verhindert wird und eine kontrollierte Verbrennung über den anschließend folgenden Katalysator sichergestellt wird.

**[0027]** Dabei ist es vorteilhaft, wenn ein zweiter Bypasspfad die Anodenzuführverbindung in Strömungsrichtung vor dem ersten Wärmetauscher mit der Anodenzuführverbindung in Strömungsrichtung hinter dem ersten Wärmetauscher miteinander verbindet, wobei in dem den ersten Wärmetauscher umgehenden zweiten Bypasspfad ein zweites Absperrorgan angeordnet ist und/oder in der Anodenzuführverbindung in Strömungsrichtung hinter einer Abzweigung von der Anodenzuführverbindung zum zweiten Bypasspfad und vor dem ersten Wärmetauscher ein drittes Absperrorgan angeordnet ist. Dadurch wird es der zugeführten Luft in der Anodenzuführverbindung auf einfache Art und Weise ermöglicht, den ersten Wärmetauscher zu umgehen. Ferner ermöglicht dies eine einfache Kontrolle der Temperatur des Anodengases und des Anodenabgases in der jeweiligen Anodenverbindung.

**[0028]** Dabei kann vorteilhafterweise in dem zweiten Bypasspfad eine erste Heizeinrichtung angeordnet werden. Die erste Heizeinrichtung kann insbesondere ein elektrischer Heizer sein. So lässt sich die Temperatur des zugeführten Anodengases noch weiter steigern, um den Brennstoffzellenstapel betriebspunktoptimiert zu betreiben.

**[0029]** Außerdem ist vorteilhafterweise die Anodenabführverbindung in Strömungsrichtung vor dem Katalysatorzführabschnitt mittels eines ersten Bypasspfads mit der Anodenzuführverbindung verbunden. So lässt sich zusätzlich zu der bereits erfolgenden Mischung vor dem Katalysator, bei der die sauerstoffreiche Abluft des Anodenabgases aus dem Anodenabführabschnitt mit dem Restgas vermischt wird, zusätzliche, kühle Luft für die katalytische Verbrennung in den Katalysator einbringen und damit auch zur Kühlung nutzen. Dabei ist vorteilhafterweise in dem ersten Bypasspfad ein erstes Absperrorgan angeordnet. Dies ermöglicht das Kontrollieren der Menge der zugeführten zusätzlichen Luft.

**[0030]** Vorteilhaft ist ferner, wenn der Katalysator als ein Oxidationskatalysator ausgebildet ist. Ein Oxidationskatalysator kann eine Oxidation von Schadstoffen wie Kohlenmonoxid und Koh-

lenwasserstoffen vornehmen, er kann aber keine Reduktion von Stickoxiden vornehmen. Mithilfe eines Oxidationskatalysators lässt sich die im Restgas enthaltene Energie in Form von Wärme nutzen, wobei auch der noch im Abgas vorhandene Wasserstoff umgewandelt wird.

**[0031]** Schließlich ist es vorteilhaft, wenn das Brennstoffzellensystem ferner einen ersten Zusatzzuführanschluss zum Bereitstellen von erhitztem Wasserdampf aufweist, welches bei der Kühlung im Syntheseprozess des von dem Brennstoffzellenstapel erzeugten Synthesegases erhitzt wird. Entsprechend wird für eine Effizienzoptimierung des Brennstoffzellensystems nicht nur das Restgas aus dem Syntheseprozess, sondern auch beim Kühlen während des Syntheseprozesses anfallender erhitzter Wasserdampf nutzbar gemacht, wodurch eine doppelte und synergetische Effizienzoptimierung der Hochtemperaturelektrolyse erzielt wird.

**[0032]** Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Brennstoffzellenanlage mit einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem und einem Synthesesystem mit einer Syntheseanlage. Dabei ist der Kathodenabführanschluss mittels einer Synthesegaszuführverbindung fluidtechnisch mit der Syntheseanlage gekoppelt. Auch ist die Syntheseanlage zur Synthese des von dem Brennstoffzellenstapel erzeugten und mittels der Synthesegaszuführverbindung zugeführten Synthesegases eingerichtet. Schließlich ist die Syntheseanlage mittels einer Restgasabführverbindung zum Bereitstellen von Restgas fluidtechnisch mit dem Restgaszuführanschluss gekoppelt.

**[0033]** Die Brennstoffzellenanlage ist im Rahmen der Erfindung insbesondere als Gesamtanlage zu verstehen, welche bevorzugt als sogenannte „Power-to-Liquid-Anlage“ oder PtL-Anlage ausgebildet ist.

**[0034]** Damit bringt eine erfindungsgemäße Brennstoffzellenanlage die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem erläutert worden sind.

**[0035]** Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas mittels eines Brennstoffzellensystems, insbesondere des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems und ferner ganz besonders mittels der erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage, aufweisend die Schritte:

- Zuführen von aus einem Syntheseprozess, bei dem Synthesegas in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, abgeschiedenen Restgases zu einem Katalysator eines Brennstoffzellensystems,
- katalytisches Verbrennen des Restgases mittels eines Katalysators des Brennstoffzellensystems,
- Übertragen von Wärme eines Katalysator-Abgasstroms der katalytischen Verbrennung mittels zumindest eines Wärmetauschers an ein Anodengas und/oder ein Kathodengas,
- Zuführen des Anodengases, des Kathodengases und von elektrischem Strom zu einem Brennstoffzellenstapel des Brennstoffzellensystems, und
- Erzeugen des Synthesegases mittels des Brennstoffzellenstapels aus dem zugeführten Anodengas, Kathodengas und elektrischem Strom.

**[0036]** Damit bringt ein erfindungsgemäße Verfahren die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem erläutert worden sind.

**[0037]** Insbesondere kann das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem und/oder die erfindungsgemäße Brennstoffzellenanlage zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet bzw. ausgebildet sein.

**[0038]** Unter dem Anodengas wird das zum Anodenabschnitt zugeführte Gas, also insbesondere Luft oder Sauerstoff, verstanden. Dies schließt das Anodenabgas, also das vom Anodenabschnitt abgeführte Abgas, insbesondere Luft und/oder Sauerstoff, aus. Unter dem Kathodengas wird das zum Kathodenabschnitt zugeführte Gas, insbesondere Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und/oder ein Schutzgas, verstanden. Dies schließt das Kathodenabgas, also das vom Kathodenabschnitt

abgeführte synthetische Gas, aus.

**[0039]** Es ist vorgesehen, dass der Katalysator-Abgasstrom der katalytischen Verbrennung in zwei Teilpfade aufgeteilt wird und in einem ersten Teilpfad der beiden Teilpfade mittels eines zweiten Wärmetauschers von dem zumindest einen Wärmetauscher Wärme an das Anodengas übertragen wird und in einem zweiten Teilpfad der beiden Teilpfade mittels eines dritten Wärmetauschers von dem zumindest einen Wärmetauscher Wärme an das Kathodengas übertragen wird. Dies erlaubt das bereits oben angesprochene Kontrollieren von Wärmemengenabgaben, nämlich zwischen der Anoden- und Kathodenzuführverbindung.

**[0040]** Dabei ist es vorgesehen, dass der Katalysator-Abgasstrom in den beiden Teilpfaden jeweils mittels eines Absperrorgans in jedem der beiden Teilpfade hinter dem jeweiligen Wärmetauscher des jeweiligen Teilpfades kontrolliert wird.

**[0041]** Auch ist vorteilhaft, wenn der Katalysator-Abgasstrom in den beiden Teilpfaden nach Wärmeübertragung an das Anodengas und Kathodengas wieder zusammengeführt wird. Dies erlaubt es, den Katalysator-Abgasstrom gemeinsam am Anodenabführanschluss abzuführen.

**[0042]** Schließlich ist es bevorzugt, dass der zusammengeführte Katalysator-Abgasstrom für eine weitere Wärmeübertragung durch einen vierten Wärmetauscher zum Erwärmen von dem Brennstoffzellensystem zugeführten Wasser oder Wasserdampfs und/oder durch einen fünften Wärmetauscher zum Erwärmen des Anodengases strömt. Dies ermöglicht es, eine noch verbleibende Restwärme in dem Katalysator-Abgasstrom zu nutzen, um den Wirkungsgrad des Brennstoffzellensystems noch weiter zu steigern.

**[0043]** Vorteilhaft ist ferner, wenn das Restgas vor dem Katalysatorzuführabschnitt mit Anodenabgas des Brennstoffzellenstapels zu einem Restgas-Anodenabgas-Gemisch vermischt wird. Die sauerstoffreiche Luft des Anodenabgases kann so die Temperatur des Restgas-Anodenabgas-Gemisches anheben und zur kontrollierten katalytischen Verbrennung genutzt werden.

**[0044]** Dabei ist vorteilhaft, wenn das Anodenabgas vor dem Vermischen mit dem Restgas mittels eines ersten Wärmetauschers Wärme an das zugeführte Anodengas überträgt. Dadurch kann einerseits das zugeführte Anodengas mit der Luft erwärmt werden und andererseits das Anodenabgas mit der Luft abgekühlt werden, insbesondere unter die Selbstzündungstemperatur des Restgas-Anodenabgas-Gemisches.

**[0045]** Ferner ist vorteilhaft, wenn dem Restgas-Anodenabgas-Gemisch Anodengas beigemischt wird. Dies kann durch den zuvor erwähnten ersten Bypasspfad erfolgen. So kann die Luftmenge durch Anodengas enthaltend Frischluft in dem Restgas-Anodenabgas-Gemisch weiter erhöht werden.

**[0046]** Als vorteilhaft hat sich herausgestellt, wenn das Restgas-Anodenabgas-Gemisch eine Temperatur im Bereich von 300 bis 550 °C, insbesondere im Bereich von 400 bis 500 °C, aufweist. Dies bezieht sich auf die Temperatur am Katalysatorzuführabschnitt. In diesem Temperaturbereich hat sich die höchste Effizienzsteigerung beim Erzeugen des Synthesegases beobachten lassen.

**[0047]** Vorteilhaft ist, wenn die Katalysator-Abgase der katalytischen Verbrennung eine Temperatur im Bereich von 800 bis 1.000 °C, insbesondere im Bereich von 850 °C bis 950 °C, aufweisen. Dies bezieht sich auf die Temperatur am Katalysatorabführabschnitt. In diesem Temperaturbereich hat sich die höchste Effizienzsteigerung beim Erzeugen des Synthesegases beobachten lassen.

**[0048]** Vorteilhafterweise wird das erzeugte Synthesegas dem Syntheseprozess zugeführt, aus dem das Restgas abgeschieden und dem Katalysator zugeführt wird.

**[0049]** Vorteilhaft ist außerdem, wenn der Syntheseprozess ein Fischer-Tropsch-Prozess ist. Die Kopplung von Hochtemperaturelektrolyse, insbesondere Hochtemperatur-Co-Elektrolyse, und Fischer-Tropsch-Synthese (kurz FTS) hat sich als besonders vielversprechende Variante für die Herstellung unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe gezeigt. Bei der FTS wird aus der Hochtemperatur-Co-Elektrolyse entstandenes Synthesegas bei vergleichsweise moderateren Temperatu-

ren, insbesondere im Temperaturbereich von 200 bis 300 °C, und erhöhten Drücken, insbesondere im Druckbereich von 10 bis 30 bar, mithilfe eines Katalysators, insbesondere Co- oder Fe-basiert, zu Kohlenwasserstoffmolekülen mit verschiedenen Kettenlängen umgesetzt. Der FTS-Prozess ist stark exotherm. Um die Temperatur in dem angegebenen Temperaturbereich halten zu können, kann über die Länge eines Reaktors in der Syntheseanlage gekühlt werden. Die Kühlung kann dabei mit Wasserverdampfung beim angegebenen Druckniveau erfolgen. Der Wasserdampf kann im Anschluss für weitere Prozessschritte sowie, wie zuvor erwähnt, für die Hochtemperaturelektrolyse selbst durch Zuführen des Wasserdampfes zum Kathodengas genutzt werden. Die bei FTS entstehende Kohlenwasserstoff-Kettenlängenverteilung wird über eine Kettenwachstumswahrscheinlichkeit beschrieben (bei hoher Kettenwachstumswahrscheinlichkeit große Moleküle und damit Verschiebung in Richtung Flüssigkraftstoffe). Das Synthesegas wird dabei jedoch nicht zur Gänze umgesetzt. Außerdem entstehen je nach Kettenwachstumswahrscheinlichkeit kurzkettige Moleküle, die nicht als Flüssigkraftstoff genutzt werden können. Das nicht umgesetzte Synthesegas und die entstehenden kurzkettigen Kohlenwasserstoffe können in der Produktaufbereitung als das Restgas abgeschieden werden. Während das Restgas zum Teil in die FTS rezirkuliert werden kann, muss teilweise ausgetragen werden. Insbesondere der ausgetragene Teil des Restgases wird in dem erfindungsgemäßen Verfahren genutzt.

**[0050]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele im Einzelnen beschreiben sind. Es zeigen schematisch:

**[0051]** Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage,

**[0052]** Fig. 2 eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage,

**[0053]** Fig. 3 eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage, und

**[0054]** Fig. 4 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0055]** Identische oder funktionsgleiche Elemente sind in den Figuren 1 bis 4 jeweils mit demselben Bezugszeichen bezeichnet.

**[0056]** Figur 1 zeigt schematisch eine Brennstoffzellenanlage 30 umfassend ein Brennstoffzellensystem 10 mit einem Brennstoffzellenstapel 100 sowie ein Synthesystem 20 mit einer Syntheseanlage 900. Das Brennstoffzellensystem 10 und das Synthesystem 20 sind fluidtechnisch miteinander gekoppelt, wie später näher erläutert wird.

**[0057]** Beispielhaft ist in der Fig. 1 nur ein Brennstoffzellenstapel 100 gezeigt. Gleichwohl ist es möglich, mehrere Brennstoffzellenstapel 100 vorzusehen. Der Brennstoffzellenstapel 100 weist einen Kathodenabschnitt 110 mit einem Kathodenzuführabschnitt 112 und einem Kathodenabführabschnitt 114 auf. Ferner weist der Brennstoffzellenstapel 100 einen Anodenabschnitt 120 mit einem Anodenzuführabschnitt 122 und einem Anodenabführabschnitt 124 auf. An dem Brennstoffzellenstapel 100 ist eine Stromversorgungsquelle 130 angeschlossen, die Strom aus erneuerbaren Energien bereitstellt. Der Brennstoffzellenstapel 100 ist vorliegend als ein Festoxid-Brennstoffzellenstapel ausgebildet und wird im Elektrolysemodus zur Hochtemperatur-Co-Elektrolyse verwendet.

**[0058]** Mittels eines Anodengasanschlusses 202 wird dabei Anodengas in Form von Frischluft in dem Brennstoffzellensystem 10 bereitgestellt. Das Anodengas wird über eine Anodenzuführverbindung 200, die mit dem Anodengasanschluss 202 und dem Anodenzuführabschnitt 122 fluidtechnisch gekoppelt ist, an dem Brennstoffzellenstapel 100 zur Elektrolyse bereitgestellt. In der Anodenzuführverbindung 200 sind dabei eine Filtereinrichtung 204, insbesondere in Form eines Luftfilters, zur Luftfilterung sowie ein Gebläse 206 für den Transport des Anodengases angeordnet.

**[0059]** In der Anodenzuführverbindung 200 ist in Strömungsrichtung des Anodengases von dem Anodengasanschluss 202 zum Anodenzuführabschnitt 122 hinter der Filtereinrichtung 204 und dem Gebläse 206 ein erster Wärmetauscher 220 angeordnet. Der erste Wärmetauscher 220 wird zum Wärmeaustausch mit einem warmen Anodenabgas, insbesondere in Form von vom Ano-

denabschnitt 120 abgeführter Abluft, aus dem Brennstoffzellenstapel 100 genutzt. Dazu ist der erste Wärmetauscher 220 mit einer Anodenabführverbindung 300 wärmetechnisch vor einem Katalysator 404 in Form eines Oxidationskatalysators gekoppelt. Die Anodenabführverbindung 300 verbindet den Anodenabführabschnitt 124 fluidtechnisch mit einem Anodenabführanschluss 316.

**[0060]** Der Katalysator 404 ist in der Anodenabführverbindung 300 in Strömungsrichtung des Anodenabgases hinter dem ersten Wärmetauscher 220 angeordnet und mittels einer Restgaszuführverbindung 400 fluidtechnisch mit einem Restgasanschluss 402 gekoppelt. Der Restgasanschluss 402 bezieht Restgas aus der Syntheseanlage 900, wie später näher beschrieben wird. Vor einem Katalysatorzuführabschnitt 406 sind die Restgaszuführverbindung 400 und die Anodenabführverbindung 300 fluidtechnisch miteinander verbunden. Das für den Katalysator 404 bereitgestellte Restgas wird demnach mit dem Anodenabgas in der Anodenabführverbindung 300 zu einem Restgas-Anodenabgas-Gemisch, insbesondere Restgas-Luft-Gemisch, vermischt, bevor es zum Katalysatorzuführabschnitt 406 gelangt und wird dann von dem Katalysator 404 katalytisch verbrannt. Aus dem Katalysatorabführabschnitt 408 treten heiße Katalysator-Abgase mit einer Temperatur im Bereich von 800 bis 1000 °C, insbesondere um ca. 950 °C, aus.

**[0061]** Ein erster Bypasspfad 208 mit darin angeordnetem ersten Absperrorgan 210 verbindet die Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases vor dem ersten Wärmetauscher 220 mit der Anodenabführverbindung 300 vor dem Katalysatorzuführabschnitt 406 und erlaubt es somit, den Luftanteil des Restgas-Anodenabgas-Gemisches vor dem Eintritt in den Katalysator 404 weiter zu erhöhen.

**[0062]** Hierneben ist ein zweiter Bypasspfad 212 mit zweitem Absperrorgan 214 vorgesehen, der die Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases vor dem ersten Wärmetauscher 220 mit der Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases hinter dem ersten Wärmetauscher 220 verbindet und es dadurch ermöglicht, die Temperatur des Restgas-Anodenabgas-Gemisches vor dem Katalysator 404 mittels Regulierung der den ersten Wärmetauscher 220 durchströmenden Anodengasmenge zu kontrollieren. Ferner ist in Strömungsrichtung vor dem zweiten Wärmetauscher 220 und hinter dem zweiten Bypasspfad 212 ein drittes Absperrorgan 218 angeordnet.

**[0063]** Die heißen Katalysator-Abgase strömen in der Anodenabführverbindung 300 durch zwei einzelne Teilpfade 302, 308, in die sich die Anodenabführverbindung 300 in Strömungsrichtung des Katalysator-Abgases hinter dem Katalysatorabführabschnitt 408 aufteilt. In dem ersten Teilpfad 302 befindet sich ein zweiter Wärmetauscher 304, der wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung 200 gekoppelt ist. Dies erlaubt es, die Wärme des Katalysator-Abgases an das Anodengas vor dem Anodenzuführabschnitt 122 abzugeben. Hinter dem zweiten Wärmetauscher 304 befindet sich ein viertes Absperrorgan 306 zur Kontrolle des Katalysator-Abgasstroms in dem ersten Teilpfad 302.

**[0064]** In dem zweiten Teilpfad 308 befindet sich ein dritter Wärmetauscher 310 mit einem in Strömungsrichtung des Katalysator-Abgases dahinter angeordneten fünften Absperrorgan 312. Der dritte Wärmetauscher 310 ist wärmetechnisch mit einer Kathodenzuführverbindung 500 gekoppelt. Die Kathodenzuführverbindung 500 verbindet einen Kathodenzuführanschluss 502 fluidtechnisch mit dem Kathodenzuführabschnitt 112. In der Kathodenzuführverbindung 500 wird Kathodengas, insbesondere Kohlenstoffdioxid, aus dem Kathodenzuführanschluss 502 zum Kathodenzuführabschnitt 112 zugeführt. In Strömungsrichtung des Anodengases vor dem Kathodenabschnitt 110 ist in der Kathodenzuführverbindung 500 ein Ejektor 504 angeordnet. Ferner ist in Strömungsrichtung des Anodengases hinter dem Ejektor 504 eine zweite Heizeinrichtung 506, vorliegend in Form eines elektrischen Heizers, angeordnet. Durch den dritten Wärmetauscher 310 lässt sich das Kathodengas mit der Wärme aus dem Katalysator-Abgas erwärmen.

**[0065]** In Strömungsrichtung des Katalysator-Abgases hinter dem zweiten Wärmetauscher 304 und dem dritten Wärmetauscher 310 befindet sich in der Ausführungsform der Fig. 1 in der Anodenabführverbindung 300 ein vierter Wärmetauscher 314. Der vierte Wärmetauscher 314 ist wärmetechnisch mit einer ersten Zusatzzuführverbindung 700 gekoppelt, die einen ersten Zusatzzu-

führanschluss 702 mit der Kathodenzuführverbindung 500 fluidtechnisch verbindet. Von dem ersten Zusatzzuführanschluss 702 wird für die Hochtemperatur-Co-Elektrolyse Wasser oder Wasserdampf bereitgestellt, welches durch den vierten Wärmetauscher 314 erwärmt wird und zur Kathodenzuführverbindung 500 strömt.

**[0066]** Mittels einer Kathodenabführverbindung 600, die fluidtechnisch den Kathodenabführabschnitt 114 mit einem Kathodenabführanschluss 612 verbindet, wird Kathodenabgas in Form des durch die Hochtemperatur-Co-Elektrolyse erzeugten Synthesegases, aufweisend Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid, zum Synthesystem 20 abgeführt. In der Kathodenabführverbindung 600 sind dabei beispielhaft zwei Wärmetauscher 608, 610, nämlich ein sechster Wärmetauscher 608 und ein siebter Wärmetauscher 610 wärmetechnisch angeordnet und wärmetechnisch mit der Kathodenzuführverbindung 500 gekoppelt, um Wärme von dem Synthesegas auf das Kathodengas zu übertragen und so die Effizienz des Brennstoffzellensystems 10 zu erhöhen.

**[0067]** Eine zweite Zusatzzuführverbindung 800 verbindet einen zweiten Zusatzzuführanschluss 802 zum Zuführen eines Schutzgases fluidtechnisch mit der Kathodenzuführverbindung 500. Dabei teilt sich die zweite Zusatzzuführverbindung 800 hier beispielhaft in zwei Teilpfade 804, 806, nämlich einen dritten Teilpfad 806 und einen vierten Teilpfad 806, auf. Der dritte Teilpfad 804 führt zur Anodenzuführverbindung 500 in Strömungsrichtung vor dem Ejektor 504 und insbesondere vor den Wärmetauschern 608, 610, während der vierte Teilpfad 806 zum Ejektor 504 führt. Ein dritter Bypasspfad 602 führt von dem Kathodenabführabschnitt 600 zum vierten Teilpfad 806 vor dem Ejektor 504. In dem dritten Bypasspfad 602 sind eine Düse 604, insbesondere eine Venturidüse, und ein sechstes Absperrorgan 606, insbesondere ein Ventil, angeordnet.

**[0068]** Der gemäß der vorstehend beschriebenen Art und Weise mit Anodengas, umfassend Luft, und Kathodengas, umfassend Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und Schutzgas, versorgte Brennstoffzellenstapel 100 erzeugt im Elektrolysemodus durch Hochtemperatur-Co-Elektrolyse das Kathodenabgas in Form von Synthesegas, umfassend Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid, und das Anodenabgas, umfassend Abluft. Das Anodenabgas wird durch den Katalysator 404 zusammen mit Restgas katalytisch verbrannt, sodass vom Brennstoffzellensystem 10 an dem Anodenabführanschluss 316 Katalysator-Abgase abgeschieden werden.

**[0069]** Das Synthesegas wird durch eine Synthesegaszuführverbindung 906, die einen Synthesezuführabschnitt 902 der Syntheseanlage 900 fluidtechnisch mit dem Kathodenabführanschluss 612 verbindet, an der Syntheseanlage 900 des Synthesesystems 20 bereitgestellt. In einem dortigen, nicht explizit gezeigten Reaktor durchläuft es einen Syntheseprozess, insbesondere einen Fischer-Tropsch-Syntheseprozess, und wird zur synthetischen Kohlenwasserstoffen umgesetzt. Die Kohlenwasserstoffe werden über eine mit einem Syntheseabführabschnitt 904 fluidtechnisch verbundene Kohlenwasserstoffabführverbindung 908 abgeführt. Es verbleiben jedoch nicht beim Syntheseprozess umgesetztes Synthesegas sowie kurzkettige Kohlenwasserstoffe, welche teilweise dem Syntheseprozess zurück zugeführt werden können und teilweise als Restgase mittels einer Restgasabführverbindung 910 an den Restgaszuführanschluss 402 abgeführt werden können, die insoweit fluidtechnisch miteinander gekoppelt sind.

**[0070]** Figur 2 zeigt eine Abwandlung der Ausführungsform der Brennstoffzellenanlage 30 der Fig. 1. Und zwar wurde in der Fig. 2 auf den vierten Wärmetauscher 314 verzichtet. Stattdessen wurde ein fünfter Wärmetauscher 318 in der Anodenabführverbindung 300 in Strömungsrichtung hinter den beiden Wärmetauschern 304, 310 eingesetzt, der wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung 200, insbesondere in Strömungsrichtung des Anodengases hinter dem Gebläse 206 und vor dem ersten Wärmetauscher 220, gekoppelt ist. Dies erlaubt es, die Restwärme in dem Anodenabgas alternativ für das Anodengas bereitzustellen. Gleichwohl ist natürlich auch möglich, sowohl den vierten Wärmetauscher 314 als auch den fünften Wärmetauscher 318 vorzusehen, entweder in Reihenschaltung oder in Parallelschaltung mit entsprechenden Absperrorganen und Bypasspfaden. Vorteilhaft kann es auch sein, wenn der fünfte Wärmetauscher stromabwärts der Ventile angeordnet ist.

**[0071]** Darüber hinaus ist eine beliebige Konfiguration der gezeigten Wärmetauscher 220, 304, 310, 314, 320, 608, 610 möglich, was bedeutet, dass diese Wärmetauscher jeweils alleine oder

in beliebiger Auswahl daraus in dem Brennstoffzellensystem 10 eingesetzt werden können, sodass es nicht notwendig ist, das Brennstoffzellensystem 10 mit allen Wärmetauschern 220, 304, 310, 314, 320, 608, 610 auszustatten.

**[0072]** Figur 3 zeigt eine Variation der Brennstoffzellenanlage 30 der Ausführungsform der Fig. 1, bei der Änderungen in dem Synthesystem 20 vorgesehen sind. Dabei ist eine Kühleinrichtung 914 in der Syntheseanlage 900 gezeigt, die insbesondere einen entsprechenden Reaktor in der Syntheseanlage 900 kühlt. Dabei wird Wasserdampf eingesetzt, um die stark exotherm ablaufende Reaktion des Syntheseprozesses zu kühlen. Der so erhitzte Wasserdampf wird vorteilhafterweise dem ersten Zusatzzuführanschluss 702 mittels einer entsprechenden, fluidtechnisch mit dem ersten Zusatzzuführanschluss 702 verbundenen dritten Zusatzzuführverbindung 916 bereitgestellt.

**[0073]** Figur 4 zeigt das bereits in Bezug auf die Fig. 1 bis 3 anhand der Brennstoffzellenanlage 30 erläuterte Verfahren 1000 zum Erzeugen von Synthesegas mittels des Brennstoffzellensystems 10. Das Verfahren 1000 ist dabei rein schematisch anhand seiner Verfahrensschritte 1002, 1004, 1006, 1008, 1010 gezeigt, wobei weitere, nicht explizit gezeigte Verfahrensschritte hinzukommen können.

**[0074]** In einem ersten Verfahrensschritt 1002 des Verfahrens 1000 wird aus dem in der Syntheseanlage 900 ablaufenden Syntheseprozess, bei dem das Synthesegas aus dem Kathodenabföhranschluss 612 in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, Restgas abgeschieden. Das Restgas wird mittels der Restgasabföhrverbindung 910 an dem Restgaszuföhranschluss 402 bereitgestellt und so dem Katalysator 404 des Brennstoffzellensystems 10 bereitgestellt.

**[0075]** In dem zweiten Verfahrensschritt 1004 des Verfahrens 1000 erfolgt ein katalytisches Verbrennen des Restgases mittels des Katalysators 404. Aus seinem Katalysatorabföhrabschnitt 408 treten entsprechende Katalysator-Abgase aus. Die Katalysator-Abgase können eine Temperatur im Bereich von 800 bis 1.000 °C aufweisen. Das Restgas kann, wie in den Fig. 1 bis 3 ersichtlich ist, zuvor mit dem Anodenabgas und auch mit dem Anodengas, also Frischluft, vermischt worden sein, sodass in den Katalysatorzuföhrabschnitt 404 ein Restgas-Anodenabgas-Gemisch eintritt. Das Restgas-Anodenabgas-Gemisch kann eine Temperatur im Bereich von 300 bis 550 °C aufweisen.

**[0076]** In dem dritten Verfahrensschritt 1006 des Verfahrens 1000 erfolgt ein Übertragen von Wärme des Katalysator-Abgasstroms der katalytischen Verbrennung mittels eines oder mehrerer der Wärmetauscher 304, 310, 314, 320 an das Anodengas in der Anodenzuföhrverbindung 200 und/oder das Kathodengas in der Kathodenzuföhrverbindung 500, wie in den Fig. 1 bis 3 zu sehen ist.

**[0077]** Die derart erwärmten Anodengase und Kathodengase werden in einem vierten Verfahrensschritt 1008 des Verfahrens 1000 unter Zuföhrung von elektrischem Strom dem Brennstoffzellenstapel 100 des Brennstoffzellensystems 10 zugeföhrt. Schließlich kann in dem fünften Verfahrensschritt 1010 das Erzeugen des Synthesegases mittels des Brennstoffzellenstapels 100 aus dem zugeföhrten Anodengas, Kathodengas und elektrischem Strom erfolgen.

**[0078]** Die Verfahrensschritte 1002 bis 1010 des Verfahrens 1000 werden dabei kontinuierlich ausgeföhrt, wie durch den Pfeil von Verfahrensschritt 1010 auf Verfahrensschritt 1002 angedeutet ist.

**[0079]** Die voranstehenden Erläuterungen der Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

## BEZUGSZEICHENLISTE

- 10 Brennstoffzellensystem
- 20 Synthesesystem
- 30 Brennstoffzellenanlage
- 100 Brennstoffzellenstapel
- 110 Kathodenabschnitt
- 112 Kathodenzuführabschnitt
- 114 Kathodenabführabschnitt
- 120 Anodenabschnitt
- 122 Anodenzuführabschnitt
- 124 Anodenabführabschnitt
- 130 Stromversorgungsquelle
- 200 Anodenzuführverbindung
- 202 Anodenzuführanschluss
- 204 Filtereinrichtung
- 206 Gebläse
- 208 erster Bypasspfad
- 210 erstes Absperrorgan
- 212 zweiter Bypasspfad
- 214 zweites Absperrorgan
- 216 erste Heizeinrichtung
- 218 drittes Absperrorgan
- 220 erster Wärmetauscher
- 300 Anodenabführverbindung
- 302 erster Teilpfad
- 304 zweiter Wärmetauscher
- 306 viertes Absperrorgan
- 308 zweiter Teilpfad
- 310 dritter Wärmetauscher
- 312 fünftes Absperrorgan
- 314 vierter Wärmetauscher
- 316 Anodenabführanschluss
- 318 fünfter Wärmetauscher
- 400 Restgaszuführverbindung
- 402 Restgaszuführanschluss
- 404 Katalysator

- 406 Katalysatorzuführabschnitt
- 408 Katalysatorabführabschnitt
- 500 Kathodenzuführverbindung
- 502 Kathodenzuführanschluss
- 504 Ejektor
- 506 zweite Heizeinrichtung
- 600 Kathodenabführverbindung
- 602 dritter Bypasspfad
- 604 Düse
- 606 sechstes Absperrorgan
- 608 sechster Wärmetauscher
- 610 siebter Wärmetauscher
- 612 Kathodenabführanschluss
- 700 erste Zusatzzuführverbindung
- 702 erster Zusatzzuführanschluss
- 800 zweite Zusatzzuführverbindung
- 802 zweiter Zusatzzuführanschluss
- 804 dritter Teilpfad
- 806 vierter Teilpfad
- 900 Syntheseanlage
- 902 Synthesezuführabschnitt
- 904 Syntheseabführabschnitt
- 906 Synthesegaszuführverbindung
- 908 Kohlenwasserstoffabführverbindung
- 910 Restgasabführverbindung
- 914 Kühleinrichtung
- 916 dritte Zusatzzuführverbindung
- 1000 Verfahren
- 1002 erster Verfahrensschritt
- 1004 zweiter Verfahrensschritt
- 1006 dritter Verfahrensschritt
- 1008 vierter Verfahrensschritt
- 1010 fünfter Verfahrensschritt

## Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem (10), aufweisend:
  - einen Brennstoffzellenstapel (100) mit einem Kathodenabschnitt (110), welcher einen Kathodenzuführabschnitt (112) und einen Kathodenabführabschnitt (114) aufweist, und einem Anodenabschnitt (120), welcher einen Anodenzuführabschnitt (122) und einen Anodenabführabschnitt (124) aufweist,
  - einen mittels einer Anodenzuführverbindung (200) fluidtechnisch mit dem Anodenzuführabschnitt (112) gekoppelten Anodengasanschluss (202) zum Zuführen von Anodengas zum Anodenabschnitt (120),
  - einen mittels einer Anodenabführverbindung (300) fluidtechnisch mit dem Anodenabführabschnitt (124) gekoppelten Anodenabführanschluss (316) zum Abführen von durch den Brennstoffzellenstapel (20) erzeugten Anodenabgasen,
  - einen mittels einer Kathodenzuführverbindung (500) fluidtechnisch mit dem Kathodenzuführabschnitt (112) gekoppelten Kathodenzuführanschluss (502) zum Zuführen von Kathodengas zum Kathodenabschnitt (110), und
  - einen mittels einer Kathodenabführverbindung (600) fluidtechnisch mit dem Kathodenabführabschnitt (114) gekoppelten Kathodenabführanschluss (612) zum Abführen von durch den Brennstoffzellenstapel (20) erzeugtem Synthesegas, wobei das Brennstoffzellensystem (10) ferner aufweist:
    - einen Restgaszuführanschluss (402) zum Bereitstellen von Restgas, welches bei einem Syntheseprozess zur Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen aus von dem Brennstoffzellenstapel (100) erzeugtem Synthesegas abgeschieden wird,
    - einen mittels einer Restgaszuführverbindung (400) fluidtechnisch mit dem Restgaszuführanschluss (402) gekoppelten Katalysator (404) zur katalytischen Verbrennung des Restgases, wobei ein Katalysatorzuführabschnitt (406) und ein Katalysatorabführabschnitt (408) des Katalysators (404) fluidtechnisch mit der Anodenabführverbindung (300) gekoppelt sind, und
    - zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320), der in der Anodenabführverbindung (300) in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt (408) angeordnet ist, wobei
    - ein zweiter Wärmetauscher (304) von dem zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung (200) gekoppelt ist und ein dritter Wärmetauscher (310) von dem zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) wärmetechnisch mit der Kathodenzuführverbindung (500) gekoppelt ist, wobei
    - der zweite Wärmetauscher (304) und der dritte Wärmetauscher (310) in unterschiedlichen, sich in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt (408) aufteilenden Teilpfaden (302, 308) der Anodenabführverbindung (300) angeordnet sind,
    - **dadurch gekennzeichnet**, dass in zumindest einem der beiden Teilpfade (302, 308) ein Absperrorgan (306, 312) angeordnet ist.
2. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Anodenabführverbindung (300) in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt (408) zumindest zwei oder zumindest drei Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) angeordnet sind.
3. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zumindest eine Absperrorgan (306, 312) in Strömungsrichtung hinter dem zweiten Wärmetauscher (304) oder dem dritten Wärmetauscher (310) angeordnet ist.
4. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein vierter Wärmetauscher (314) von dem zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) wärmetechnisch mit einer ersten Zusatzzuführverbindung (700) gekoppelt ist, welche die Kathodenzuführverbindung (500) oder den Kathodenzuführabschnitt (112) mit einem ersten Zusatzzuführanschluss (702) zum Zuführen von Wasser oder Wasserdampf zum Kathodenzuführabschnitt (112) verbindet.

5. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein fünfter Wärmetauscher (318) von dem zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) in der Anodenabführverbindung (300) angeordnet ist und wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung (200) gekoppelt ist.
6. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein erster Wärmetauscher (220) in der Anodenzuführverbindung (200) angeordnet ist und in Strömungsrichtung vor dem Katalysatorzuführabschnitt (406) wärmetechnisch mit der Anodenabführverbindung (300) gekoppelt ist.
7. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 6 **dadurch gekennzeichnet**, dass ein zweiter Bypasspfad (212) die Anodenzuführverbindung (200) in Strömungsrichtung vor dem ersten Wärmetauscher (220) mit der Anodenzuführverbindung (200) in Strömungsrichtung hinter dem ersten Wärmetauscher (220) miteinander verbindet, wobei in dem den ersten Wärmetauscher (220) umgehenden zweiten Bypasspfad (212) ein zweites Absperrorgan (214) angeordnet ist und/oder in der Anodenzuführverbindung (200) in Strömungsrichtung hinter einer Abzweigung von der Anodenzuführverbindung (200) zum zweiten Bypasspfad (212) und vor dem ersten Wärmetauscher (220) ein drittes Absperrorgan (218) angeordnet ist.
8. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem zweiten Bypasspfad (212) eine erste Heizeinrichtung (216) angeordnet ist.
9. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anodenabführverbindung (300) in Strömungsrichtung vor dem Katalysatorzuführabschnitt (406) mittels eines ersten Bypasspfads (208) mit der Anodenzuführverbindung (200) verbunden ist.
10. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Katalysator (404) als ein Oxidationskatalysator ausgebildet ist.
11. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Brennstoffzellensystem (10) ferner einen ersten Zusatzzuführanschluss (702) zum Bereitstellen von erhitztem Wasserdampf aufweist, welches bei der Kühlung im Syntheseprozess des von dem Brennstoffzellenstapel (100) erzeugten Synthesegases erhitzt wird.
12. Brennstoffzellenanlage (30) mit einem Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche und einem Synthesesystem (20) mit einer Syntheseanlage (900), wobei
  - der Kathodenabführanschluss (612) mittels einer Synthesegaszuführverbindung (906) fluidtechnisch mit der Syntheseanlage (900) gekoppelt ist,
  - die Syntheseanlage (900) zur Synthese des von dem Brennstoffzellenstapel (100) erzeugten und mittels der Synthesegaszuführverbindung (906) zugeführten Synthesegases eingerichtet ist, und
  - die Syntheseanlage (900) mittels einer Restgasabführverbindung (910) zum Bereitstellen von Restgas fluidtechnisch mit dem Restgaszuführanschluss (402) gekoppelt ist.
13. Verfahren (1000) zum Erzeugen von Synthesegas mittels eines Brennstoffzellensystems (10) aufweisend die Schritte:
  - Zuführen von aus einem Syntheseprozess, bei dem Synthesegas in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, abgeschiedenen Restgases zu einem Katalysator (404) eines Brennstoffzellensystems (10),
  - katalytisches Verbrennen des Restgases mittels eines Katalysators (404) des Brennstoffzellensystems (10),
  - Übertragen von Wärme eines Katalysator-Abgasstroms der katalytischen Verbrennung mittels zumindest eines Wärmetauschers (304, 310, 314, 320) an ein Anodengas und/oder ein Kathodengas,
  - Zuführen des Anodengases, des Kathodengases und von elektrischem Strom zu einem Brennstoffzellenstapel (100) des Brennstoffzellensystems (10), und

- Erzeugen des Synthesegases mittels des Brennstoffzellenstapels (100) aus dem zugeführten Anodengas, Kathodengas und elektrischem Strom, wobei
  - der Katalysator-Abgasstrom der katalytischen Verbrennung in zwei Teilpfade (302, 308) aufgeteilt wird und in einem ersten Teilpfad (302) der beiden Teilpfade (302, 308) mittels eines zweiten Wärmetauschers (304) von dem zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) Wärme an das Anodengas übertragen wird und in einem zweiten Teilpfad (308) der beiden Teilpfade (302, 308) mittels eines dritten Wärmetauschers (310) von dem zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) Wärme an das Kathodengas übertragen wird,
  - **dadurch gekennzeichnet**, dass der Katalysator-Abgasstrom in den beiden Teilpfaden (302, 308) jeweils mittels eines Absperrorgans (306, 312) in jedem der beiden Teilpfade (302, 308) hinter dem jeweiligen Wärmetauscher (304, 310) des jeweiligen Teilpfades (302, 308) kontrolliert wird.
14. Verfahren (1000) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Katalysator-Abgasstrom in den beiden Teilpfaden (302, 308) nach Wärmeübertragung an das Anodengas und Kathodengas wieder zusammengeführt wird.
  15. Verfahren (1000) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zusammengeführte Katalysator-Abgasstrom für eine weitere Wärmeübertragung durch einen vierten Wärmetauscher (314) zum Erwärmen von dem Brennstoffzellensystem (10) zugeführten Wasser oder Wasserdampfs und/oder durch einen fünften Wärmetauscher (320) zum Erwärmen des Anodengases strömt.
  16. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Restgas vor dem Katalysatorzuführabschnitt (406) mit Anodenabgas des Brennstoffzellenstapels (100) zu einem Restgas-Anodenabgas-Gemisch vermischt wird.
  17. Verfahren (1000) nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Anodenabgas vor dem Vermischen mit dem Restgas mittels eines ersten Wärmetauschers (220) Wärme an das zugeführte Anodengas überträgt.
  18. Verfahren (1000) nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Restgas-Anodenabgas-Gemisch Anodengas beigemischt wird.
  19. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 16 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Restgas-Anodenabgas-Gemisch eine Temperatur im Bereich von 300 bis 550 °C aufweist.
  20. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 13 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Katalysator-Abgase der katalytischen Verbrennung eine Temperatur im Bereich von 800 bis 1.000 °C aufweisen.
  21. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 13 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erzeugte Synthesegas dem Syntheseprozess zugeführt wird, aus dem das Restgas abgetrennt und dem Katalysator (404) zugeführt wird.
  22. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 13 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Syntheseprozess ein Fischer-Tropsch-Prozess ist.

**Hierzu 4 Blatt Zeichnungen**

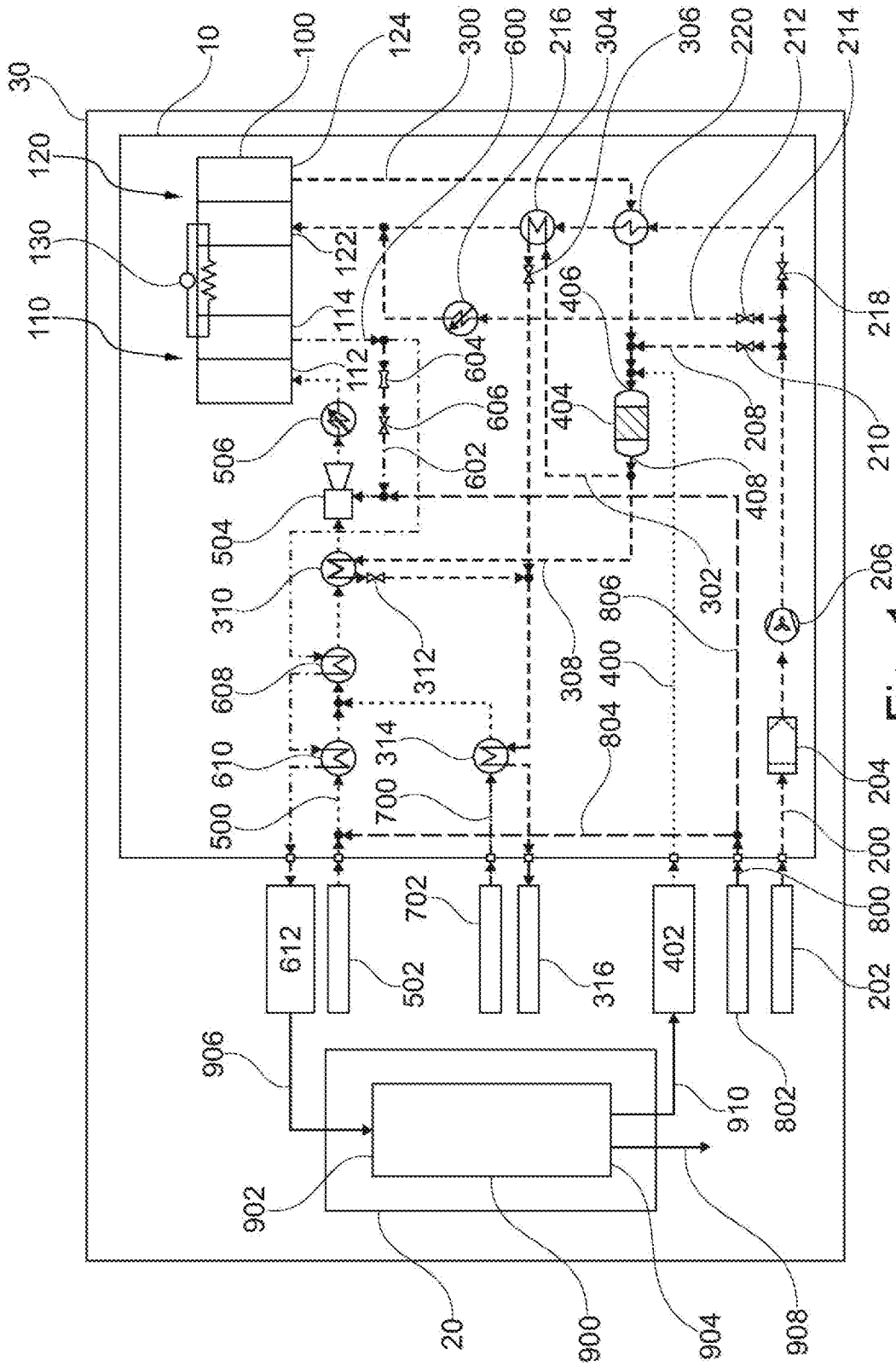


Fig. 1

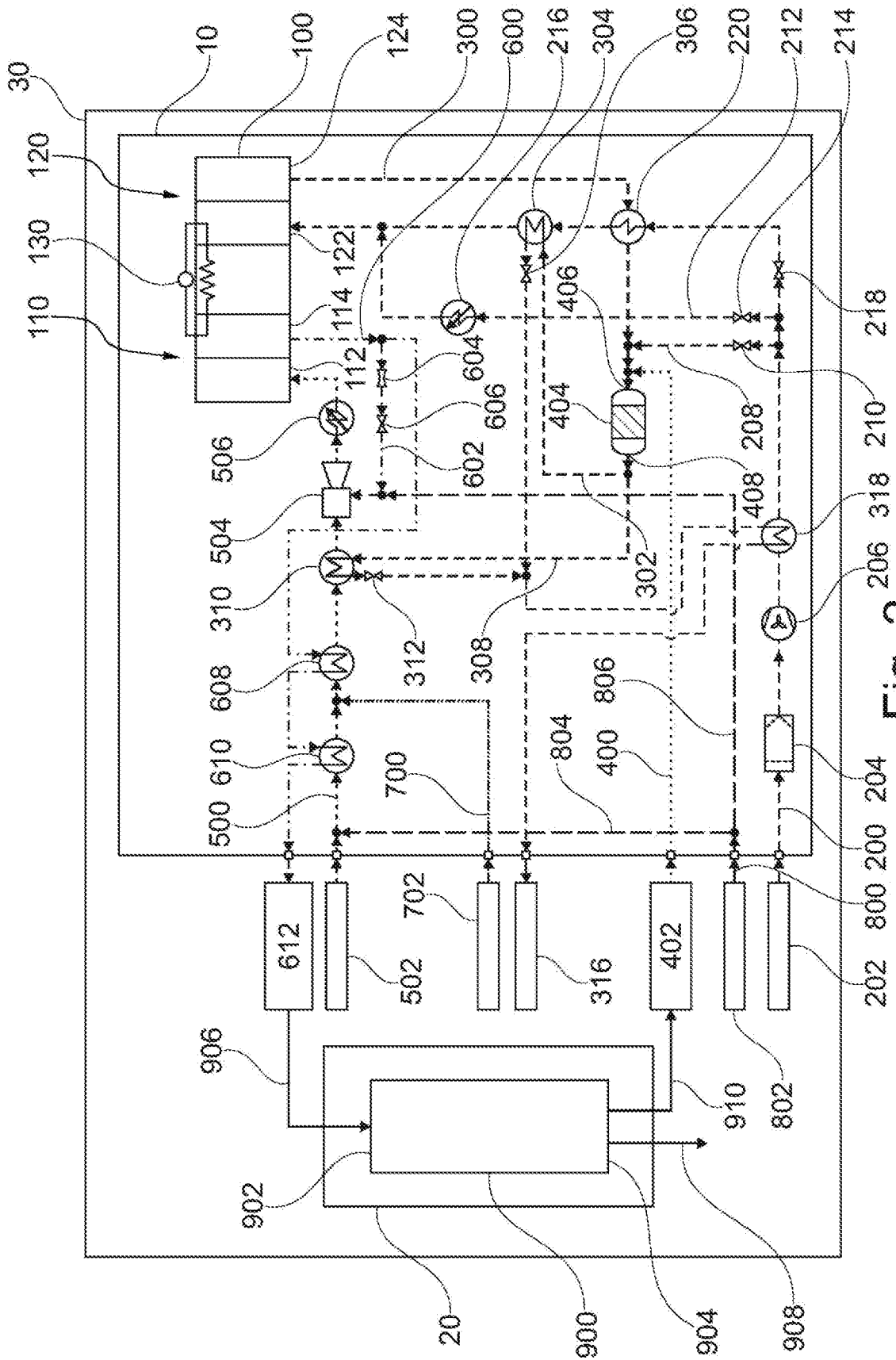


Fig. 2

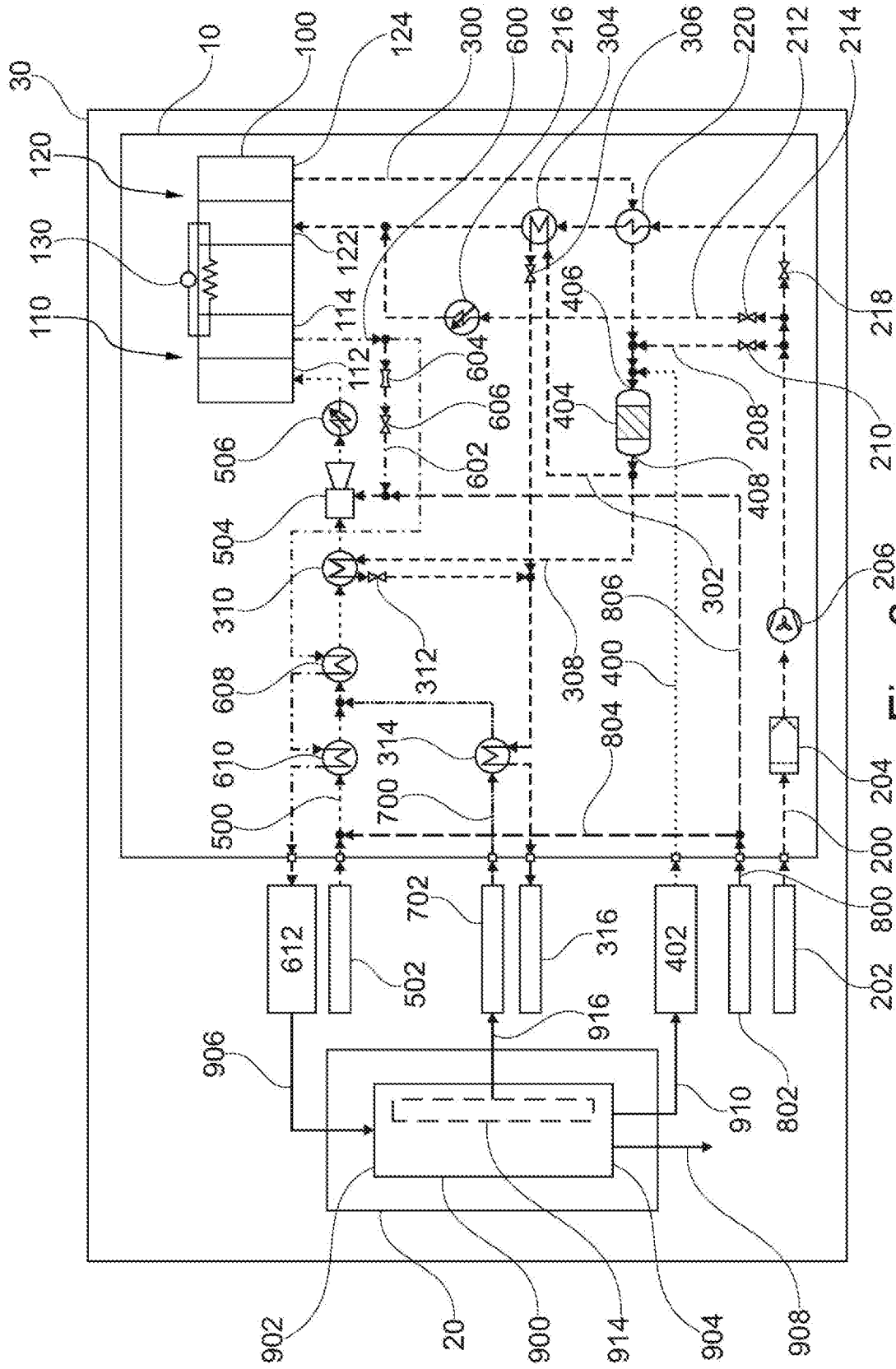


Fig. 3

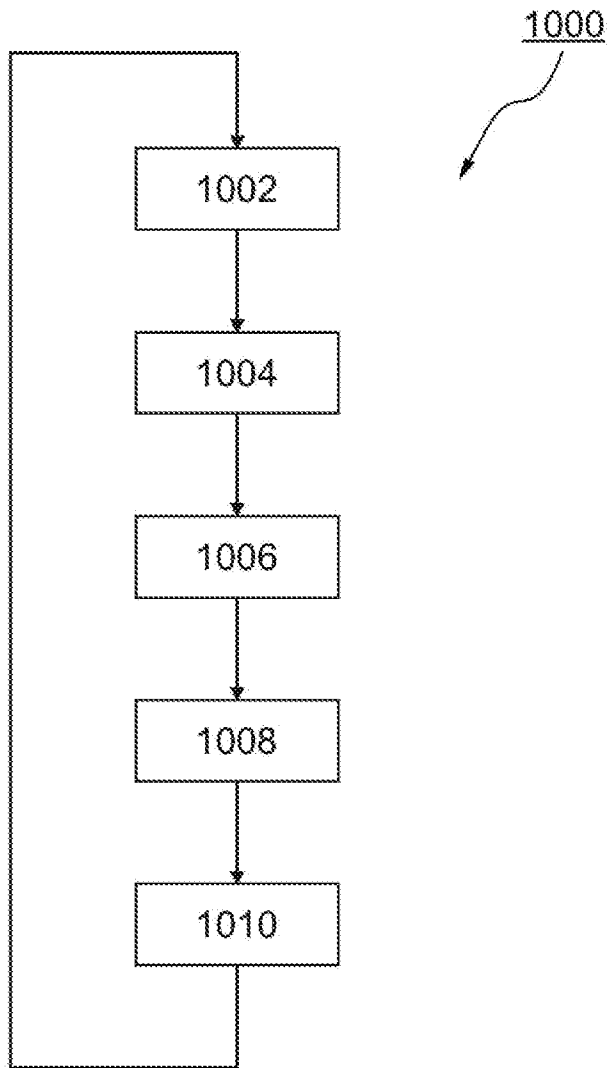


Fig. 4