

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50454/2022
(22) Anmeldetag: 23.06.2022
(45) Veröffentlicht am: 15.09.2023

(51) Int. Cl.: **C25B 3/26** (2021.01)
H01M 8/22 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 4235125 A1
DE 102006012313 A1
WO 2021055185 A1
EP 3472370 B1
US 2003022035 A1
US 2015252269 A1
JP 2020121944 A

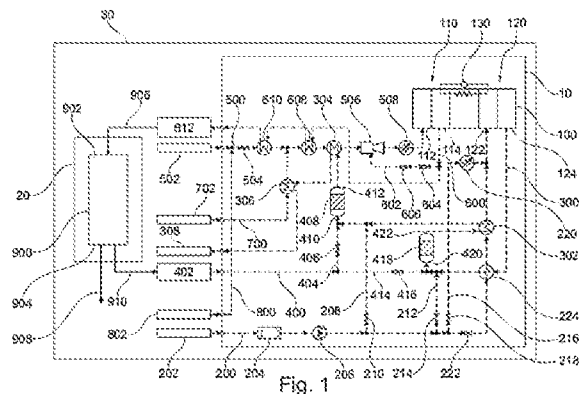
(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(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 SYNTHESEGAS

[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 CO₂-Emissionen ist die Substitution von Rohöl durch aus Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) 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 (H₂) und Kohlenstoffmonoxid (CO) beinhaltet. In einem sich anschließenden Syntheseprozess werden aus dem Synthesegas die synthetischen Kohlenwasserstoffe erhalten.

[0003] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Effizienz bei der vorstehend beschriebenen Hochtemperaturelektrolyse in kostengünstiger und einfacher Weise zu steigern.

[0004] Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch eine Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1, eine Brennstoffzellenanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 16 sowie ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 17. 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.

[0005] 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 einer Synthese des von dem Brennstoffzellenstapel erzeugten Synthesegases abgeschieden wird. Das Brennstoffzellensystem weist ferner zwei mittels einer Restgaszuführverbindung fluidtechnisch mit dem Restgaszuführanschluss gekoppelte und in der Anodenabführverbindung angeordnete Katalysatoren zur katalytischen Verbrennung des Restgases auf. Außerdem weist das Brennstoffzellensystem einen zweiten Wärmetauscher und einen dritten Wärmetauscher auf, die in der Anodenabführverbindung in Strömungsrichtung hinter zumindest je einem der beiden Katalysatoren angeordnet sind.

[0006] Erfindungsgemäß wird damit die Effizienz eines Brennstoffzellensystems gesteigert, indem Restgas aus dem Syntheseprozess zur Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen zur katalytischen Verbrennung innerhalb von zwei Katalysatoren 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. Gegenüber dem Einsatz etwa eines einzigen Katalysators und paralleler Wärmetauscher hat der Einsatz zweier Katalysatoren den besonderen Vorteil, dass der zweite Wärmetauscher und der dritte Wärmetauscher bei niedrigeren Katalysator-Temperaturen mit derselben Wärmemenge versorgt werden können. Auch könnten bei gleicher Auslass-Zieltemperatur höhere Luft- und/oder Reaktanten-Temperaturen erreicht werden. Diese und weitere Vorteile der Erfindung werden im Folgenden näher erläutert und deutlich.

[0007] 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.

[0008] 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.

[0009] 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.

[0010] 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 Anodenabführver-

bindung abgeführten Anodenabgase umfassen insbesondere von dem Brennstoffzellensystem abgeführte Abluft oder abgeführten Sauerstoff, ganz besonders mit Sauerstoff angereicherte Luft, sowie hinter den Katalysatoren 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.

[0011] 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.

[0012] 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.

[0013] 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.

[0014] 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.

[0015] 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

Absperrorgan möglich. Dabei ist es möglich, das Absperrorgan in unterschiedlichster Weise auszuführen, beispielsweise als Ventil, Absperrschieber, Absperrhahn oder Absperrklappe.

[0016] Vorteilhaft ist, wenn die beiden Katalysatoren mit unterschiedlichen, sich aufteilenden Teilpfaden der Restgaszuführverbindung gekoppelt sind. So kann der Restgasstrom zu jedem der beiden Katalysatoren kontrolliert werden. Mit anderen Worten kann die Restgasmenge, die jedem der beiden Katalysatoren zugeführt werden, kontrolliert werden. Folglich kann auch die abgegebene Wärme an den hinter dem jeweiligen Katalysator angeordneten Wärmetauscher kontrolliert werden.

[0017] Hierzu kann vorteilhafterweise in zumindest einem der beiden Teilpfade ein Absperrorgan angeordnet werden. Besonders vorteilhaft ist in jedem der Teilpfade jeweils ein Absperrorgan angeordnet. Beispielsweise kann eine Absperrklappe als Absperrorgan genutzt werden. Dies erlaubt ein einfaches und dennoch präzises Kontrollieren des Restgasstroms zu den Katalysatoren und damit den von ihnen durch katalytische Verbrennung erzeugten Wärmemengen.

[0018] Vorteilhaft ist zudem, wenn jeder der beiden Teilpfade jeweils vor einem Katalysatorzuführabschnitt eines der beiden Katalysatoren mit der Anodenabführverbindung fluidtechnisch verbunden ist, um das Restgas und das Anodenabgas zu einem Restgas-Anodenabgas-Gemisch zu vermischen. Folglich wird das Restgas-Anodenabgas-Gemisch in die Katalysatoren eingeleitet und katalytisch verbrannt. Dies optimiert nicht nur die katalytische Verbrennung, sondern ermöglicht es auch, das Restgas mittels des warmen Anodenabgases aus dem Brennstoffzellenstapel für die katalytische Verbrennung vorzuwärmen.

[0019] Auch kann vorteilhafterweise vorgesehen werden, dass ein erster Katalysator der beiden Katalysatoren in Strömungsrichtung der Anodenabführverbindung hinter einem zweiten Katalysator der beiden Katalysatoren angeordnet ist. Folglich wird mit dem ersten Katalysator eine erste Katalysatorstufe bereitgestellt und mit dem zweiten Katalysator wird eine zweite Katalysatorstufe bereitgestellt. Insbesondere in Verbindung mit den zuvor erwähnten Teilpfaden kann jede Katalysatorstufe einzeln kontrolliert, beispielsweise zugeschaltet oder abgeschaltet oder in der zugeführten Restgasmenge kontrolliert, werden, wie dies für einen optimalen Betrieb des Brennstoffzellensystems erforderlich ist. Entsprechend kann auch einer von dem zweiten und dritten Wärmetauscher in Strömungsrichtung in der Anodenabführverbindung hinter beiden Katalysatoren angeordnet sein und ein anderer von dem zweiten und dritten Wärmetauscher kann in Strömungsrichtung in der Anodenabführverbindung nur hinter dem zweiten Katalysator angeordnet sein.

[0020] Ebenfalls ist es vorteilhaft, wenn einer von dem zweiten und dritten Wärmetauscher wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung gekoppelt ist. Dies erlaubt es, Wärme aus den Katalysator-Abgasen eines oder beider Katalysatoren an die Anodenzuführverbindung abzuführen und so das Anodengas zu erwärmen, welches am Anodenzuführabschnitt ankommt, um die Effizienz der Hochtemperaturelektrolyse zu erhöhen.

[0021] Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein und ist es vorteilhaft, wenn einer von dem zweiten und dritten Wärmetauscher wärmetechnisch mit der Kathodenzuführverbindung gekoppelt ist. Dies erlaubt es, Wärme aus den Katalysator-Abgasen eines oder beider Katalysatoren an die Kathodenzuführverbindung abzuführen und so das Kathodengas zu erwärmen, welches am Kathodenzuführabschnitt ankommt, um die Effizienz der Hochtemperaturelektrolyse zu erhöhen. Bevorzugt wird einer von dem zweiten und dritten Wärmetauscher für die wärmetechnische Kopplung mit der Anodenzuführverbindung und ein anderer für die wärmetechnische Kopplung mit der Kathodenzuführverbindung verwendet.

[0022] Außerdem ist vorteilhaft, wenn ein vierter Wärmetauscher in Strömungsrichtung in der Anodenabführverbindung hinter dem zweiten und dritten Wärmetauscher angeordnet ist und 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. Dadurch kann die nach dem Wärmetausch im zweiten und dritten Wärmetauscher noch enthaltene Restwärme

im Katalysator-Abgas in der Anodenabführverbindung genutzt werden, um das am ersten Zusatz-zuführanschluss zugeführte Wasser oder den zugeführten Wasserdampf zu erhitzen und dadurch die Effizienz des Brennstoffzellensystems weiter zu steigern.

[0023] Zusätzlich oder alternativ kann vorgesehen sein und ist vorteilhaft, wenn ein fünfter Wärmetauscher in Strömungsrichtung in der Anodenabführverbindung hinter dem zweiten und dritten Wärmetauscher angeordnet ist und wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung gekoppelt ist. Dadurch kann die nach dem Wärmetausch im zweiten und 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.

[0024] Darüber hinaus ist vorteilhaft, wenn ein erster Wärmetauscher in der Anodenzuführverbindung angeordnet ist und in Strömungsrichtung vor den beiden Katalysatoren 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. 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.

[0025] Dabei ist es vorteilhaft, wenn ein dritter 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 dritten Bypasspfad ein drittes Absperrorgan angeordnet ist und/oder in der Anodenzuführverbindung in Strömungsrichtung hinter einer Abzweigung von der Anodenzuführverbindung zum dritten Bypasspfad und vor dem ersten Wärmetauscher ein viertes 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.

[0026] Dabei kann vorteilhafterweise in dem dritten 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.

[0027] Außerdem ist vorteilhafterweise die Anodenabführverbindung in Strömungsrichtung vor zumindest einem der beiden Katalysatoren mittels eines Bypasspfads mit der Anodenzuführverbindung verbunden. Insbesondere können in Strömungsrichtung vor jedem der beiden Katalysatoren Bypasspfade, nämlich ein erster Bypasspfad und ein zweiter Bypasspfad, vorgesehen werden, die mit der Anodenzuführverbindung verbunden sind. So lässt sich insbesondere zusätzlich zu der bereits erfolgenden Mischung vor den Katalysatoren, 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 die Katalysatoren kühlen. Dabei ist vorteilhafterweise in dem Bypasspfad ein Absperrorgan angeordnet. Besonders vorteilhaft sind in dem ersten Bypasspfad ein erstes Absperrorgan und in dem zweiten Bypasspfad ein zweites Absperrorgan angeordnet. Dies ermöglicht das Kontrollieren der Menge der zugeführten zusätzlichen Luft.

[0028] Vorteilhaft ist ferner, wenn zumindest einer der beiden Katalysatoren als ein Oxidations-

katalysator ausgebildet ist. Insbesondere können beide Katalysatoren als Oxidationskatalysatoren ausgebildet sein. Ein Oxidationskatalysator kann eine Oxidation von Schadstoffen wie Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen vornehmen, er kann aber keine Reduktion von Stickoxiden vornehmen. Mithilfe eines Oxidationskatalysators lässt sich nicht nur die im Restgas enthaltene Energie in Form von Wärme nutzen, wobei auch der noch im Abgas vorhandene Wasserstoff umgewandelt wird.

[0029] 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.

[0030] 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.

[0031] 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.

[0032] Damit bringt eine erfindungsgemäße Brennstoffzellenanlage die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem erläutert worden sind.

[0033] 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:

- [0034]** - Zuführen von aus einem Syntheseprozess, bei dem Synthesegas in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, abgeschiedenen Restgases zu zwei Katalysatoren eines Brennstoffzellensystems,
- [0035]** - katalytisches Verbrennen des Restgases mittels der beiden Katalysatoren des Brennstoffzellensystems,
- [0036]** - Übertragen von Wärme eines Katalysator-Abgasstroms der katalytischen Verbrennung der beiden Katalysatoren mittels zweier Wärmetauschers an ein Anodengas und ein Kathodengas,
- [0037]** - Zuführen des Anodengases, des Kathodengases und von elektrischem Strom zu einem Brennstoffzellenstapel des Brennstoffzellensystems, und
- [0038]** - Erzeugen des Synthesegases mittels des Brennstoffzellenstapels aus dem zugeführten Anodengas, Kathodengas und elektrischem Strom.

[0039] Damit bringt ein erfindungsgemäße Verfahren die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem erläutert worden sind.

[0040] Insbesondere kann das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem und/oder die erfindungsgemäße Brennstoffzellenanlage zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet bzw. ausgebildet sein.

[0041] 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.

[0042] Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn der Restgasstrom in zwei Teilpfade aufgeteilt und mittels je eines der beiden Teilpfade je einem der beiden Katalysatoren Restgas zugeführt wird. Dies erlaubt das bereits oben angesprochene Kontrollieren von Restgasströmen zu den Katalysatoren und damit der Wärmemengenabgaben zwischen der Anoden- und Kathoden-zuführverbindung. Ganz besonders kann dabei vorteilhafterweise im Wesentlichen dieselbe Wärmemenge an beiden Wärmetauschern und damit an der Anoden-zuführverbindung und der Kathoden-zuführverbindung erfolgen, indem der Restgasstrom in den beiden Teilpfaden entsprechend kontrolliert wird.

[0043] Dazu ist es vorteilhaft, wenn 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.

[0044] Auch ist vorteilhaft, wenn die Katalysator-Abgasstrom eines der beiden Katalysatoren mittels der Anodenabführverbindung dem anderen der beiden Katalysatoren zugeführt wird. Dies erlaubt es, den Katalysator-Abgasstrom des einen Katalysators hinsichtlich seiner Wärmemenge für die katalytische Verbrennung des anderen Katalysators zu nutzen und so die Effizienz hochzuhalten.

[0045] Schließlich ist es bevorzugt, dass die Katalysator-Abgasströme 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 strömen. Dies ermöglicht es, eine noch verbleibende Restwärme in dem Katalysator-Abgasströmen der Katalysatoren zu nutzen, um den Wirkungsgrad des Brennstoffzellensystems noch weiter zu steigern.

[0046] Vorteilhaft ist ferner, wenn das Restgas in Strömungsrichtung vor den Katalysatoren 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.

[0047] 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.

[0048] Ferner ist vorteilhaft, wenn dem Restgas-Anodenabgas-Gemisch Anodengas beigemischt wird. Dies kann durch die zuvor erwähnten Bypasspfade, insbesondere den ersten und zweiten Bypasspfad, erfolgen. So kann die Luftmenge durch Anodengas enthaltend Frischluft in dem Restgas-Anodenabgas-Gemisch weiter erhöht werden.

[0049] 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 an Katalysatorzuführabschnitten der Katalysatoren. In diesem Temperaturbereich hat sich die höchste Effizienzsteigerung beim Erzeugen des Synthesegases beobachten lassen.

[0050] 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 an Katalysatorabführabschnitten der Katalysatoren. In diesem Temperaturbereich hat sich die höchste Effizienzsteigerung beim Erzeugen des Synthesegases beobachten lassen.

[0051] Vorteilhafterweise wird das erzeugte Synthesegas dem Syntheseprozess zugeführt, aus dem das Restgas abgeschieden und den beiden Katalysatoren zugeführt wird.

[0052] 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 Temperaturen, 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.

[0053] 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:

[0054] Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage,

[0055] Fig. 2 eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage,

[0056] Fig. 3 eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage, und

[0057] Fig. 4 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0058] Identische oder funktionsgleiche Elemente sind in den Figuren 1 bis 4 jeweils mit demselben Bezugszeichen bezeichnet.

[0059] 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.

[0060] 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.

[0061] 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 fluid-

technisch 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.

[0062] 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 224 angeordnet. Der erste Wärmetauscher 224 wird zum Wärmeaustausch mit einem warmen Anodenabgas, insbesondere in Form von vom Anodenabschnitt 120 abgeführter Abluft, aus dem Brennstoffzellenstapel 100 genutzt. Dazu ist der erste Wärmetauscher 224 mit einer Anodenabführverbindung 300 wärmetechnisch vor einem zweiten Katalysator 418 in Form eines Oxidationskatalysators gekoppelt. Die Anodenabführverbindung 300 verbindet den Anodenabführabschnitt 124 fluidtechnisch mit einem Anodenabführanschluss 308.

[0063] Der zweite Katalysator 418 ist in der Anodenabführverbindung 300 in Strömungsrichtung des Anodenabgases hinter dem ersten Wärmetauscher 224 angeordnet und mittels einer Restgaszuführverbindung 400 fluidtechnisch mit einem Restgasanschluss 402 gekoppelt. Der Restgasanschluss 402 bezieht Restgas aus der Synthesanlage 900, wie später näher beschrieben wird. Das an einen zweiten Katalysatorzuführabschnitt 420 des zweiten Katalysators 418 bereitgestellte Restgas, welches an einem Knotenpunkt der Restgaszuführverbindung 400 mit der Anodenabführverbindung 300 mit dem Anodenabgas in der Anodenabführverbindung 300 zu einem Restgas-Anodenabgas-Gemisch vermischt wird, wird von dem zweiten Katalysator 418 katalytisch verbrannt. Aus dem zweiten Katalysatorabführabschnitt 422 treten heiße Katalysator-Abgase mit einer Temperatur im Bereich von 800 bis 1000 °C, insbesondere um ca. 950 °C, aus.

[0064] Ein zweiter Bypasspfad 212 mit darin angeordnetem zweiten Absperrorgan 214 verbindet die Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases vor dem ersten Wärmetauscher 224 mit der Anodenabführverbindung 300 vor dem zweiten Katalysatorzuführabschnitt 420 und erlaubt es somit, den Luftanteil des Restgas-Anodenabgas-Gemisches vor dem Eintritt in den zweiten Katalysator 418 weiter zu erhöhen und das Restgas-Anodenabgas-Gemisch weiter zu kühlen.

[0065] Hierneben ist ein dritter Bypasspfad 216 mit einem dritten Absperrorgan 218 vorgesehen, der die Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases vor dem ersten Wärmetauscher 224 mit der Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases hinter dem ersten Wärmetauscher 224 verbindet und es dadurch ermöglicht, die Temperatur des Restgas-Anodenabgas-Gemisches vor dem zweiten Katalysator 418 mittels Regulierung der den ersten Wärmetauscher 224 durchströmenden Anodengasmenge zu kontrollieren. Ferner ist in Strömungsrichtung vor dem zweiten Wärmetauscher 302 und hinter dem dritten Bypasspfad 216 ein viertes Absperrorgan 222 angeordnet.

[0066] Die heißen Katalysator-Abgase des zweiten Katalysators 418 strömen aus dem zweiten Katalysatorabführabschnitt 422 in der Anodenabführverbindung 300 durch einen zweiten Wärmetauscher 302, der wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung 200 gekoppelt ist. Dies erlaubt es, die Wärme des Katalysator-Abgases des zweiten Katalysators 418 an das Anodengas vor dem Anodenzuführabschnitt 122 abzugeben.

[0067] Neben dem zweiten Katalysator 418 umfasst das Brennstoffzellensystem 10 auch einen weiteren, hierin als ersten bezeichneten Katalysator 408. Der erste Katalysator 408 ist in der Anodenabführverbindung 300 in Strömungsrichtung hinter dem zweiten Katalysator 418 angeordnet, also hinter dem zweiten Wärmetauscher 302 und im Katalysator-Abgasstrom des zweiten Katalysators 418. Dazu teilt sich die Restgaszuführverbindung 400 in zwei einzelne Teilpfade 404, 414, nämlich einen ersten Teilpfad 404 und einen zweiten Teilpfad 414 auf. In dem ersten Teilpfad 404 ist ein fünftes Absperrorgan 406 angeordnet. In dem zweiten Teilpfad 414 ist ein sechstes Absperrorgan 416 angeordnet. Insoweit ist mittels der Absperrorgane 406, 416 die Restgasmenge kontrollierbar, die dem jeweiligen der beiden Katalysatoren 408, 418 zugeführt wird und damit die Wärmemenge, die durch die katalytische Verbrennung mit den Katalysator-Abga-

sen von diesen abgegeben wird. Dabei erfolgt, wie oben bereits erläutert, vor dem zweiten Katalysatorzuführabschnitt 420 des zweiten Katalysators 418 ein Vermischen von Restgas und Anodenabgas am besagten Knotenpunkt. Auch vor einem ersten Katalysatorzuführabschnitt 410 des ersten Katalysators erfolgt an einem Knotenpunkt, in dem der Anodenabführabschnitt 300 und der erste Teilpfad 404 aufeinander treffen, eine entsprechende Vermischung von Restgas und Katalysator-Abgasen, die hierin weiterhin auch als Anodenabgas bezeichnet werden, weil sie in der Anodenabführverbindung 300 strömen, zu einem hierin ebenfalls als Restgas-Anodenabgas-Gemisch bezeichneten Gemisch.

[0068] In Strömungsrichtung hinter dem ersten Katalysator 408 und seinem ersten Katalysatorabführabschnitt 412 befindet sich in der Anodenabführverbindung 300 ein dritter Wärmetauscher 304. Der dritte Wärmetauscher 304 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 sind in der Kathodenzuführverbindung 500 ein siebtes Absperrorgan 504 und ein Ejektor 506 angeordnet. Ferner ist in Strömungsrichtung des Anodengases hinter dem Ejektor 506 eine zweite Heizeinrichtung 508, vorliegend in Form eines elektrischen Heizers, angeordnet. Durch den dritten Wärmetauscher 304 lässt sich das Kathodengas mit der Wärme aus dem Katalysator-Abgas eines oder beider Katalysatoren 408, 418 erwärmen.

[0069] Ein erster Bypasspfad 208 mit darin angeordnetem ersten Absperrorgan 210 verbindet die Anodenzuführverbindung 200 in Strömungsrichtung des Anodengases vor dem ersten Wärmetauscher 224, und insbesondere vor der Abzweigung zum zweiten Bypasspfad 212, mit der Anodenabführverbindung 300 vor dem ersten Katalysatorzuführabschnitt 410 und erlaubt es somit, den Luftanteil des Restgas-Anodenabgas-Gemisches vor dem Eintritt in den ersten Katalysator 408 zu erhöhen und das Restgas-Anodenabgas-Gemisch zu kühlen.

[0070] Mit der vorstehend erläuterten Anordnung von Katalysatoren 408, 418 in dem Brennstoffzellensystem 10 ist es somit möglich, nur einen oder beide Katalysatoren 408, 418 gemeinsam zu betreiben, wobei letzteres bevorzugt ist. So kann die sauerstoffreiche Abluft im Anodenabgas mit einer ersten, mittels des sechsten Absperrorgans 416 kontrollierbaren Menge des Restgases gemischt zur kontrollierten katalytischen Verbrennung über den zweiten Katalysator 418, der insoweit als erste Oxidationskatalysator-Stufe fungiert, zur Temperaturbereitstellung am zweiten Wärmetauscher 302, der als Luftüberhitzer für die Luft im Anodengas fungiert, geführt werden. Wiederum kann das weiterhin sauerstoffreiche Katalysator-Abgas des zweiten Katalysators 418 mit einer zweiten, mittels des fünften Absperrorgans 406 kontrollierbaren Menge des Restgases gemischt zur kontrollierten katalytischen Verbrennung über den ersten Katalysator 408, der insoweit als zweite Oxidationskatalysator-Stufe fungiert, zur Temperaturbereitstellung am dritten Wärmetauscher 304, der als Reaktantüberhitzer für das Kathodengas fungiert, geführt werden.

[0071] Durch die beiden Oxidationskatalysator-Stufen kann bei niedrigeren Oxidationskatalysator-Zieltemperaturen der gleiche Wärmetausch gewährleistet werden (meint den gesamte Massenstrom durch beide Wärmetauscher 302, 304 und die gleiche Enthalpiemenge bei niedrigeren Temperaturen), oder vice versa, wie etwa bei einem einstufigen System mit paralleler Anordnung der beiden Wärmetauscher 302, 304. Außerdem ist ein Vorteil, dass höhere Luft- und Reaktant-Temperaturen bei gleicher Oxidationskatalysator-Zieltemperatur erreicht werden können.

[0072] Die vorliegende Verschaltung von Katalysatoren 408, 418 in dem Brennstoffzellensystem 10 kann alternativ zu der in Fig. 1 gezeigten Anordnung auch dergestalt sein, dass der dritte Wärmetauscher 304 im Katalysator-Abgasstrom des zweiten Katalysators 418 und der zweite Wärmetauscher 302 im Katalysator-Abgasstrom des ersten Katalysators 408 angeordnet ist. Insoweit wird noch einmal darauf hingewiesen, dass die Bezeichnung der Komponenten oder Elemente gleicher Art oder gleichen Typs hier lediglich der Unterscheidung dieser voneinander dienen und nicht etwa einer technisch notwendigen Reihenfolge oder dergleichen folgen.

[0073] In Strömungsrichtung des Katalysator-Abgases hinter dem zweiten Wärmetauscher 302

befindet sich in der Ausführungsform der Fig. 1 in der Anodenabführverbindung 300 ein vierter Wärmetauscher 306. Der vierte Wärmetauscher 306 ist wärmetechnisch mit einer ersten Zusatzzuführverbindung 700 gekoppelt, die einen ersten Zusatzzuführanschluss 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 306 erwärmt wird und zur Kathodenzuführverbindung 500 strömt.

[0074] 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 Synthesesystem 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.

[0075] Ein vierter Bypasspfad 602 führt von dem Kathodenabführabschnitt 600 zum Ejektor 506. In dem vierten Bypasspfad 602 sind eine Düse 604, insbesondere eine Venturidüse, und ein achttes Absperrorgan 606, insbesondere ein Ventil, angeordnet.

[0076] Eine zweite Zusatzzuführverbindung 800 verbindet einen zweiten Zusatzzuführanschluss 802 zum Zuführen eines Schutzgases fluidtechnisch mit der Kathodenzuführverbindung 500 in Strömungsrichtung der Kathodenzuführverbindung 500 vor dem siebten Absperrorgan 504.

[0077] 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 die beiden Katalysatoren 408, 418 zusammen mit Restgas katalytisch verbrannt, sodass vom Brennstoffzellensystem 10 an dem Anodenabführanschluss 308 Katalysator-Abgase abgeschieden werden.

[0078] 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.

[0079] Figur 2 zeigt eine Abwandlung der Ausführungsform der Brennstoffzellenanlage 30 der Fig. 1. Und zwar wurde in der Fig. 2 auf den vierten Wärmetauscher 306 verzichtet. Stattdessen wurde ein fünfter Wärmetauscher 310 in der Anodenabführverbindung 300 in Strömungsrichtung hinter den beiden Wärmetauschern 302, 304 eingesetzt, der wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung 200, insbesondere in Strömungsrichtung des Anodengases hinter dem Gebläse 206 und vor dem ersten Wärmetauscher 224, gekoppelt ist. Dies erlaubt es, die Restwärme in dem Anodenabgas bzw. dem Katalysator-Abgas alternativ für das Anodengas bereitzustellen. Gleichwohl ist natürlich auch möglich, sowohl den vierten Wärmetauscher 306 als auch den fünften Wärmetauscher 310 vorzusehen, entweder in Reihenschaltung oder in Parallelschaltung mit entsprechenden Absperrorganen und Bypasspfaden.

[0080] Darüber hinaus ist eine beliebige Konfiguration der gezeigten Wärmetauscher 224, 302, 304, 306, 310, 608, 610 möglich, was bedeutet, dass diese Wärmetauscher jeweils alleine oder in beliebiger Auswahl daraus in dem Brennstoffzellensystem 10 eingesetzt werden können, so-

dass es nicht notwendig ist, das Brennstoffzellensystem 10 mit allen Wärmetauschern 224, 302, 304, 306, 310, 608, 610 auszustatten.

[0081] 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 Synthesanlage 900 gezeigt, die insbesondere einen entsprechenden Reaktor in der Synthesanlage 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.

[0082] 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.

[0083] In einem ersten Verfahrensschritt 1002 des Verfahrens 1000 wird aus dem in der Synthesanlage 900 ablaufenden Syntheseprozess, bei dem das Synthesegas aus dem Kathodenabführanschluss 612 in Kohlenwasserstoffe umgesetzt wird, Restgas abgeschieden. Das Restgas wird mittels der Restgasabführverbindung 910 an dem Restgaszuführanschluss 402 bereitgestellt und so den beiden Katalysator 408, 418 mittels der Teilpfade 404, 414 der Restgaszuführverbindung 400 des Brennstoffzellensystems 10 bereitgestellt.

[0084] In dem zweiten Verfahrensschritt 1004 des Verfahrens 1000 erfolgt ein katalytisches Verbrennen des Restgases mittels der beiden Katalysatoren 408, 418. Aus deren Katalysatorabführabschnitten 412, 422 treten entsprechende Katalysator-Abgase aus. Die Katalysator-Abgase können eine Temperatur im Bereich von 800 bis 1.000 °C aufweisen. Das Restgas vor dem zweiten Katalysator 418 kann, wie in den Fig. 1 bis 3 ersichtlich ist, zuvor mit dem Anodenabgas, also der Abluft aus dem Brennstoffzellenstapel 100, und optional mittels des zweiten Bypasspfades 212 auch mit dem Anodengas, also Frischluft, vermischt werden, sodass in den zweiten Katalysatorzuführabschnitt 420 ein Restgas-Anodenabgas-Gemisch eintritt. Auch das Restgas kann vor dem ersten Katalysator 408 kann, wie in den Fig. 1 bis 3 ersichtlich ist, zuvor mit dem Anodenabgas, also dem sauerstoffreichen Katalysator-Abgas aus dem zweiten Katalysator 418, und optional mittels des ersten Bypasspfades 208 auch mit dem Anodengas, also Frischluft, vermischt werden, sodass in den ersten Katalysatorzuführabschnitt 410 ein Restgas-Anodenabgas-Gemisch eintritt. Das Restgas-Anodenabgas-Gemisch kann jeweils eine Temperatur im Bereich von 300 bis 550 °C aufweisen.

[0085] In dem dritten Verfahrensschritt 1006 des Verfahrens 1000 erfolgt ein Übertragen von Wärme der Katalysator-Abgasströme der beiden Katalysatoren 408, 418 der katalytischen Verbrennung zumindest mittels der Wärmetauscher 302, 304 an das Anodengas in der Anodenzuführverbindung 200 und das Kathodengas in der Kathodenzuführverbindung 500, und vorteilhafterweise auch mittels des vierten Wärmetauschers 306 und/oder des fünften Wärmetauschers 310.

[0086] Die derart erwärmten Anodengase und Kathodengase werden in einem vierten Verfahrensschritt 1008 des Verfahrens 1000 unter Zuführung von elektrischem Strom dem Brennstoffzellenstapel 100 des Brennstoffzellensystems 10 zugeführt. Schließlich kann in dem fünften Verfahrensschritt 1010 das Erzeugen des Synthesegases mittels des Brennstoffzellenstapels 100 aus dem zugeführten Anodengas, Kathodengas und elektrischem Strom erfolgen.

[0087] Die Verfahrensschritte 1002 bis 1010 des Verfahrens 1000 werden dabei kontinuierlich ausgeführt, wie durch den Pfeil von Verfahrensschritt 1010 auf Verfahrensschritt 1002 angedeutet ist.

[0088] 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	dritter Bypasspfad
218	drittes Absperrorgan
220	erste Heizeinrichtung
222	viertes Absperrorgan
224	erster Wärmetauscher
300	Anodenabführverbindung
302	zweiter Wärmetauscher
304	dritter Wärmetauscher
306	vierter Wärmetauscher
308	Anodenabführanschluss
310	fünfter Wärmetauscher
400	Restgaszuführverbindung
402	Restgaszuführanschluss
404	erster Teilpfad
406	fünftes Absperrorgan
408	erster Katalysator
410	erster Katalysatorzuführabschnitt

412	zweiter Katalysatorzuführabschnitt
414	zweiter Teilpfad
416	sechstes Absperrorgan
418	zweiter Katalysator
420	zweiter Katalysatorzuführabschnitt
422	zweiter Katalysatorabführabschnitt
500	Kathodenzuführverbindung
502	Kathodenzuführanschluss
504	siebtes Absperrorgan
506	Ejektor
508	zweite Heizeinrichtung
600	Kathodenabführverbindung
602	vierter Bypasspfad
604	Düse
606	achtes Absperrorgan
608	sechster Wärmetauscher
610	siebter Wärmetauscher
612	Kathodenabführanschluss
700	erste Zusatzzuführverbindung
702	erster Zusatzzuführanschluss
800	zweite Zusatzzuführverbindung
802	zweiter Zusatzzuführanschluss
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 (308) 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,

dadurch gekennzeichnet, dass

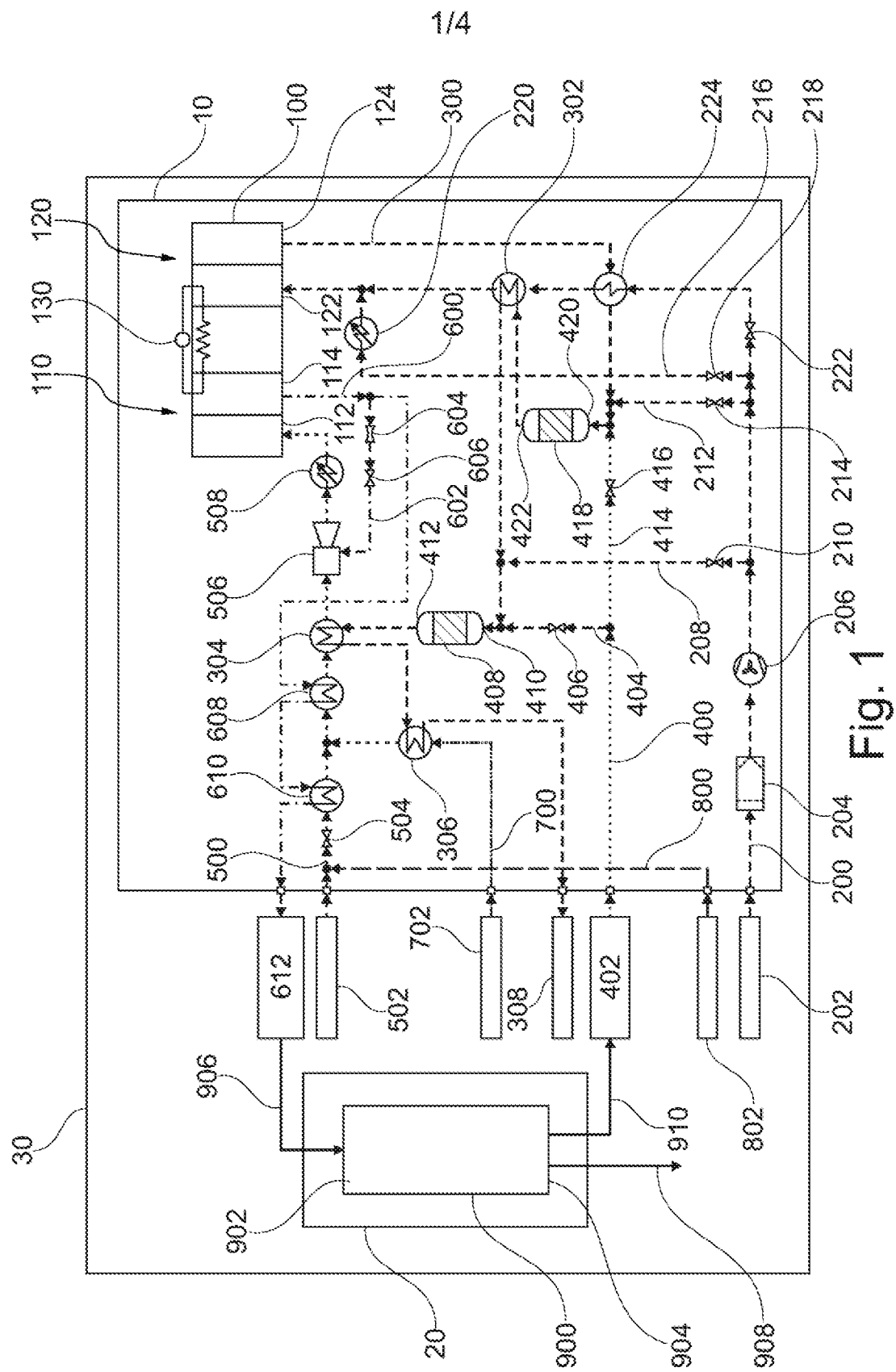
das Brennstoffzellensystem (10) ferner aufweist:

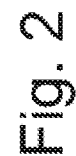
 - einen Restgaszuführanschluss (402) zum Bereitstellen von Restgas, welches bei einer Synthese des von dem Brennstoffzellenstapel (100) erzeugten Synthesegases abgeschieden wird,
 - zwei mittels einer Restgaszuführverbindung (400) fluidtechnisch mit dem Restgaszuführanschluss (402) gekoppelte und in der Anodenabführverbindung (300) angeordnete Katalysatoren (408, 418) zur katalytischen Verbrennung des Restgases, und
 - einen zweiten Wärmetauscher (302) und einen dritten Wärmetauscher (304), die in der Anodenabführverbindung (300) in Strömungsrichtung hinter zumindest je einem der beiden Katalysatoren (408, 418) angeordnet sind.
2. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beiden Katalysatoren (408, 418) mit unterschiedlichen, sich aufteilenden Teilpfaden (404, 414) der Restgaszuführverbindung (400) gekoppelt sind.
3. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass in zumindest einem der beiden Teilpfade (404, 414) ein Absperrorgan (406, 416) angeordnet ist.
4. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder der beiden Teilpfade (404, 414) jeweils vor einem Katalysatorzuführabschnitt (410, 420) eines der beiden Katalysatoren (408, 418) mit der Anodenabführverbindung (300) fluidtechnisch verbunden ist, um das Restgas und das Anodenabgas zu einem Restgas-Anodenabgas-Gemisch zu vermischen.
5. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein erster Katalysator (408) der beiden Katalysatoren (408, 418) in Strömungsrichtung der Anodenabführverbindung (300) hinter einem zweiten Katalysator (418) der beiden Katalysatoren (408, 418) angeordnet ist.
6. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass einer von dem zweiten und dritten Wärmetauscher (302, 304) wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung (200) gekoppelt ist.

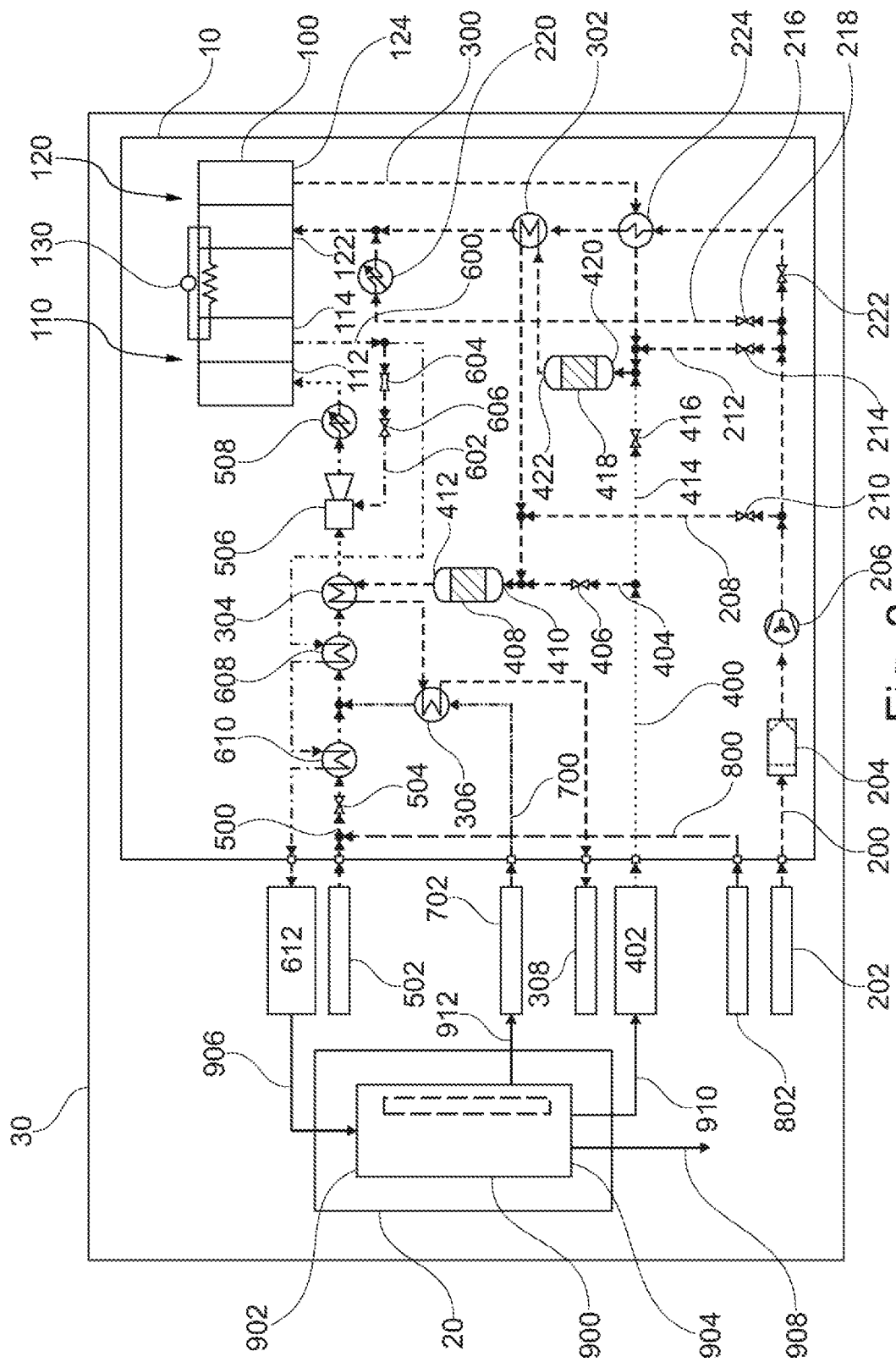
7. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass einer von dem zweiten und dritten Wärmetauscher (302, 304) wärmetechnisch mit der Kathodenzuführverbindung (500) gekoppelt ist.
8. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein vierter Wärmetauscher (306) in Strömungsrichtung in der Anodenabführverbindung (300) hinter dem zweiten und dritten Wärmetauscher (302, 304) angeordnet ist und 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.
9. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein fünfter Wärmetauscher (310) in Strömungsrichtung in der Anodenabführverbindung (300) hinter dem zweiten und dritten Wärmetauscher (302, 304) angeordnet ist und wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung (200) gekoppelt ist.
10. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein erster Wärmetauscher (224) in der Anodenzuführverbindung (200) angeordnet ist und in Strömungsrichtung vor den beiden Katalysatoren (408, 418) wärmetechnisch mit der Anodenabführverbindung (300) gekoppelt ist.
11. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein dritter Bypasspfad (216) die Anodenzuführverbindung (200) in Strömungsrichtung vor dem ersten Wärmetauscher (224) mit der Anodenzuführverbindung (200) in Strömungsrichtung hinter dem ersten Wärmetauscher (224) miteinander verbindet, wobei in dem den ersten Wärmetauscher (224) umgehenden dritten Bypasspfad (216) ein drittes Absperrorgan (218) angeordnet ist und/oder in der Anodenzuführverbindung (200) in Strömungsrichtung hinter einer Abzweigung von der Anodenzuführverbindung (200) zum dritten Bypasspfad (216) und vor dem ersten Wärmetauscher (224) ein viertes Absperrorgan (222) angeordnet ist.
12. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem dritten Bypasspfad (216) eine erste Heizeinrichtung (220) angeordnet ist.
13. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anodenabführverbindung (300) in Strömungsrichtung vor zumindest einem der beiden Katalysatoren (408, 318) mittels eines Bypasspfads (208, 212) mit der Anodenzuführverbindung (200) verbunden ist.
14. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest einer der beiden Katalysatoren (404) als ein Oxidationskatalysator ausgebildet ist.
15. 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.
16. 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.

17. 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 Restgas zu zwei Katalysatoren (408, 418) eines Brennstoffzellensystems (10),
 - katalytisches Verbrennen des Restgases mittels der beiden Katalysatoren (408, 418) des Brennstoffzellensystems (10),
 - Übertragen von Wärme von Katalysator-Abgasströmen der katalytischen Verbrennung der beiden Katalysatoren (408, 418) mittels zweier Wärmetauscher (302, 304) jeweils an ein Anodengas und 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.
18. Verfahren (1000) nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Restgasstrom in zwei Teilpfade (404, 414) aufgeteilt und mittels je eines der beiden Teilpfade (404, 414) je einem der beiden Katalysatoren (408, 418) Restgas zugeführt wird.
19. Verfahren (1000) nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Zuführen des Restgasstroms zu jedem der beiden Katalysatoren (408, 418) mittels jeweils eines Absperrorgans (406, 416) in jedem der beiden Teilpfade (404, 414) kontrolliert wird.
20. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Katalysator-Abgasstrom eines der beiden Katalysatoren (408, 418) mittels der Anodenabführverbindung (300) dem anderen der beiden Katalysatoren (408, 418) zugeführt wird.
21. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 17 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Katalysator-Abgasströme für eine weitere Wärmeübertragung durch einen vierten Wärmetauscher (306) zum Erwärmen von dem Brennstoffzellensystem (10) zugeführten Wasser oder Wasserdampf und/oder durch einen fünften Wärmetauscher (310) zum Erwärmen des Anodengases strömen.
22. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 17 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Restgas in Strömungsrichtung vor den Katalysatoren (408, 418) mit Anodenabgas des Brennstoffzellenstapels (100) zu einem Restgas-Anodenabgas-Gemisch vermischt wird.
23. Verfahren (1000) nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Anodenabgas vor dem Vermischen mit dem Restgas mittels eines ersten Wärmetauschers (224) Wärme an das zugeführte Anodengas überträgt.
24. Verfahren (1000) nach Anspruch 22 oder 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Restgas-Anodenabgas-Gemisch Anodengas beigemischt wird.
25. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 22 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Restgas-Anodenabgas-Gemisch eine Temperatur im Bereich von 300 bis 550 °C aufweist.
26. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 17 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Katalysator-Abgase der katalytischen Verbrennung eine Temperatur im Bereich von 800 bis 1.000 °C aufweisen.
27. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 17 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erzeugte Synthesegas dem Syntheseprozess zugeführt wird, aus dem das Restgas abgeschieden und den beiden Katalysatoren (404) zugeführt wird.
28. Verfahren (1000) nach einem der Ansprüche 17 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Syntheseprozess ein Fischer-Tropsch-Prozess ist.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen







3
2
1
0

4/4

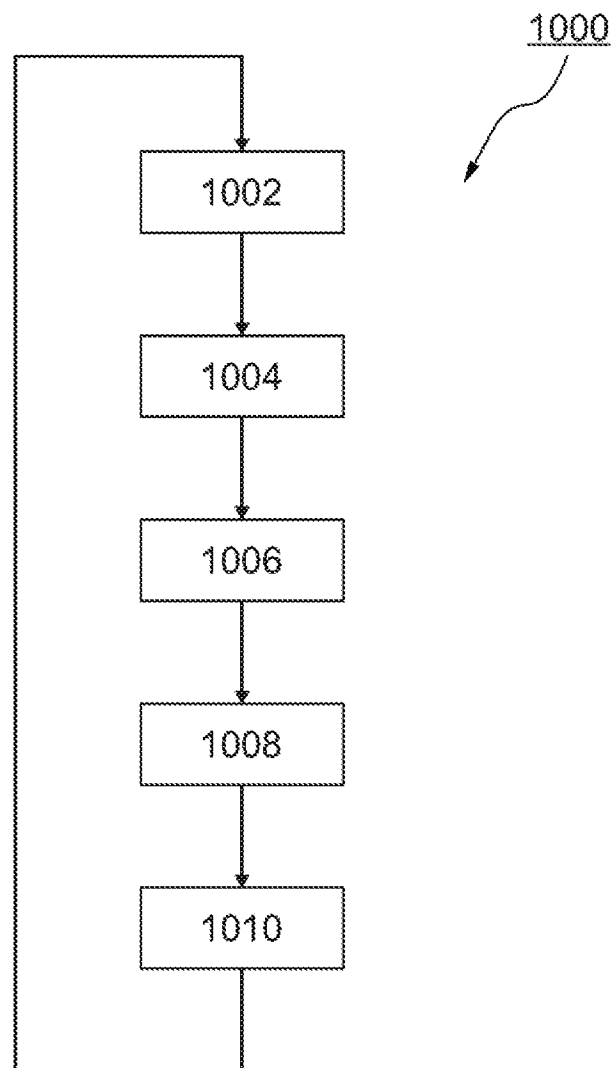


Fig. 4