

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50665/2023 (51) Int. Cl.: **H01M 8/12** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 22.08.2023 **C25B 1/23** (2021.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2025 **C25B 15/021** (2021.01)
C25B 15/08 (2006.01)
C10G 2/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
JP 2023093823 A
WO 2022031726 A2
EP 4130342 A1

(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

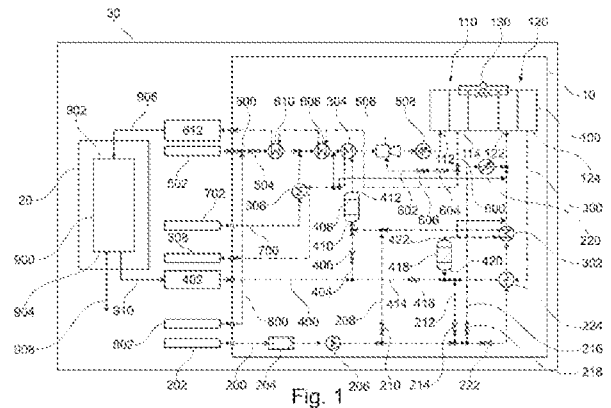
(72) Erfinder:
Tandl Manuel Dipl.-Ing.
8010 Graz (AT)
Erharter Lukas BSc
8020 Graz (AT)

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

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

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein 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.



Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein 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.

Fig. 1

Brennstoffzellensystem, Brennstoffzellenanlage und Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas

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

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 Hochtemperatur-elektrolyse (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.

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

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch eine Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1, eine Brennstoffzellenanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 13 sowie ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 14. 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.

Erfindungsgemäß ist ein Brennstoffzellensystem vorgesehen. Das Brennstoffzellensystem weist einen Brennstoffzellenstapel mit einem Kathodenabschnitt, welcher einen Kathodenzuführabschnitt und einen Kathodenabführabschnitt aufweist, und einem Anodenabschnitt, welcher einen Anodenzuführabschnitt und einen Anodenab-

führabschnitt 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 wenigstens einen mittels einer Restgaszuführverbindung fluidtechnisch mit dem Restgaszuführanschluss gekoppelte und in der Anodenabführverbindung angeordnete Katalysatoren zur katalytischen Verbrennung des Restgases auf. Außerdem weist das Brennstoffzellensystem zumindest einen Wärmetauscher auf, der in der Restgaszuführverbindung in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt angeordnet ist, und wärmeübertragend mit der Anodenzuführverbindung und/oder der Kathodenzuführverbindung verbunden ist. Weiter ist die Restgaszuführverbindung stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers mit der Anodenzuführverbindung und/oder der Kathodenzuführverbindung fluidkommunizierend verbunden für eine Rückführung des katalytisch verbrannten Restgases in die Anodenzuführverbindung und/oder die Kathodenzuführverbindung.

Ein wesentlicher Vorteil der vorliegenden Erfindung ist die doppelte Nutzung des Restgases, welches auch als Tailgas bezeichnet werden kann. Eine erste Nutzung des Restgases erfolgt durch die katalytische Verbrennung und die damit verbunden thermische Umsetzung zumindest eines Teils des chemischen Energiegehalts des Restgases. Das erwärmte Restgas kann anschließend diese thermische Energie in dem wenigstens einen Wärmetauscher an andere Prozessgase, insbesondere eine

Anodenzuführungsgas und/oder ein Kathodenabführungsgas abgeben und auf diese Weise die energetische Effizienz beim Betrieb des Brennstoffzellensystems steigern.

Die weitere Nutzung des Restgases bezieht sich auf dessen chemische Zusammensetzung. Da im Restgas üblicherweise Kohlenstoff direkt als Kohlendioxid und/oder als kurzkettige Kohlenwasserstoffe enthalten ist, wird bei der vorliegenden Erfindung dieser Kohlenstoff wieder dem Brennstoffzellenstapel zugeführt. Mit anderen Worten erfolgte eine nochmalige Umsetzung des Restgases mittels des Brennstoffzellenstapels. Neben der Steigerung der Umsetzungseffizienz kann auf diese Weise der Bedarf an extern zugeführtem Kohlenstoffdioxid gesenkt werden.

Zusammenfassend bringt ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem damit eine energetische und eine chemische Effizienzsteigerung mit sich. Die Produktion von Synthesegas kann mit reduziertem Energieeinsatz und verringerter Menge an Kohlenstoffdioxid durchgeführt werden. Ein weiterer Nebeneffekt der mehrfachen Nutzung des Restgases ist die Reduktion der anfallenden Abgase aus der Syntheseanlage. Die Menge an Restgas, welche nicht als Nutzgas aus der Syntheseanlage genutzt werden kann, muss also nicht nachbehandelt und an die Umgebung abgegeben werden. Vielmehr reduzierte sich durch die Rückführung des Restgases in das Brennstoffzellensystem die Abgasmenge um diese Rückführmenge. Neben der Effizienzsteigerung wird also auch eine Abgasreduktion erreicht.

Erfindungsgemäß wird damit die Effizienz eines Brennstoffzellensystems gesteigert, indem Restgas aus dem Syntheseprozess zur Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen zur katalytischen Verbrennung insbesondere 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 auch ein zweiter Wärmetauscher

und ein dritter Wärmetauscher bei niedrigeren Katalysator-Temperaturen mit derselben Wärmemenge versorgt werden können. Auch können höhere Temperaturen an dem zweiten Wärmetauscher und dem dritten Wärmetauscher bei gleichen Katalysator-Temperaturen erzielt werden. Diese und weitere Vorteile der Erfindung werden im Folgenden näher erläutert und deutlich.

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.

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 im reversen Modus betreibbar, 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.

Für die vorstehend beschriebene Reaktion 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 Ka-

thodenzuführabschnitt 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 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 Synthesystem mit einer Syntheseanlage verbunden sein, um dort das synthetische Gas zur Herstellung der synthetischen Kohlenwasserstoffe bereitzustellen. Bei diesem Syntheseprozess kann typischerweise nicht das gesamte Synthesegas umgesetzt werden und/oder es entstehen kurzkettige Kohlenwasserstoffe, die abgeschieden werden. Dieser abgeschiedene Gasanteil wird hierin als Restgas bezeichnet (im Englischen auch als sog. „Tail gas“ bekannt). Es wurde nämlich herausgefunden, dass dieses Restgas einen hohen Heizwert birgt und sich vorteilhafterweise zur Wärmebereitstellung in der Hochtemperaturelektrolyse einsetzen lässt, womit sich in der erfindungsgemäßen Art und Weise die Effizienz des Brennstoffzellensystems erhöhen lässt.

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 Ele-

mente) 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 dieses 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.

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.

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.

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.

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 Ausfüh-

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

Es kann von Vorteil sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem die Restgaszuführverbindung einen Restgasbypass aufweist, welcher an dem zumindest einen Wärmetauscher vorbei fluidkommunizierend mit der Anodenzuführverbindung und/oder der Kathodenzuführverbindung verbunden ist. Es kann dabei Vorteile mit sich bringen, wenn die Wärme, welche durch die katalytische Verbrennung im Restgas entsteht, nicht separat über Wärmetauscher dem jeweiligen Anodenzuführgas und/oder Kathodenzuführgas zugeführt wird. Da bei Wärmetauschern Betriebsverluste möglich sind und insbesondere eine Aufheizphase zu berücksichtigen ist, kann insbesondere dann, wenn ein maximaler Wärmeeintrag in eines dieser Zuführgase gewünscht ist, der Restgasbypass durch die direkte Vermischung des aufgeheizten Restgases mit dem Anodenzuführgas oder dem Kathodenzuführgas, einen maximalen Wärmeeintrag ermöglichen. Bei dieser Betriebsweise ist insbesondere auf die Gaszusammensetzung des Restgases zu achten. So wird beispielsweise beim Vorhandensein von CO₂ eine solche direkte Einbringen in den Luftpfad unterbunden. Ein solcher Restgasbypass kann zum Beispiel mit Hilfe eines Bypassventils ausgestaltet sein, um eine Teilmenge und/oder auch die vollständige aufgeheizte Restgasmenge in das jeweilige Zuführgas zu überführen. Mit anderen Worten wird das katalytisch verbrannte Restgas und das auf diese Weise aufgeheizte Restgas direkt über einen Restgasbypass dem jeweiligen Zuführgasstrom zugemischt und gelangt zusammen mit diesem Anodenzuführgas oder dem Kathodenzuführgas als Mischgas direkt in den Brennstoffzellenstapel.

Bei einem Brennstoffzellensystem gemäß dem voranstehenden Absatz kann es von Vorteil sein, wenn der Restgasbypass ein Bypassventil aufweist für eine Kontrolle der direkten fluidkommunizierenden Verbindung an dem zumindest einen Wärmetauscher vorbei. Bevorzugt ist der Restgasbypass so ausgestaltet, dass er an allen möglicherweise vorhandenen Wärmetauschern vorbei einen Bypass ausbildet. Das Bypassventil kann als reines Stellventil zwischen einer Offenposition und einer Geschlossenposition schaltbar ausgebildet sein. Bevorzugt ist jedoch ein variables Regelventil, um eine variable Kontrolle, insbesondere in quantitativer Weise, für die gewünschte Bypassmenge durch den Restgasbypass zur Verfügung zu stellen. Wie bereits im voranstehenden Absatz erläutert worden ist, kann auf diese Weise die ge-

wünschte Mischtemperatur im Anodenzuführabschnitt, sofern das Restgas frei von CO₂ ist, und/oder Kathodenzuführabschnitt und damit die Temperatur des sich ergebenden Mischgases kontrolliert eingestellt werden.

Weitere Vorteile können erzielt werden, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellenstapel die Restgaszuführverbindung wenigstens abschnittsweise die Anodenabführverbindung ausbildet. Während grundsätzlich die Restgasnachbehandlung komplett separat von allen anderen Anodenabgas- und Kathodenabgasverbindungen ausgestaltet sein kann, ist bei dieser Ausführungsform eine Integration möglich. Die Restgaszuführverbindung wird hier in die Anodenabführverbindung integriert und bindet damit diese Anodenabführverbindung mit aus. Dies führt dazu, dass es möglich ist, Anodenabgas aus dem Anodenabschnitt des Brennstoffzellenstapels mit dem Restgas zu kombinieren. Bevorzugt findet diese Vermischung von Anodenabgas und Restgas stromaufwärts des wenigstens einen Katalysators statt, sodass hier ein Mischgas aus Restgas und Anodenabgas der katalytischen Verbrennung zugeführt wird. Auch später noch erläuterte Bypässe aus der Zuluft, also dem Anodenzuführabschnitt, sind hier grundsätzlich denkbar, insbesondere um die stöchiometrischen Verhältnisse für die katalytische Verbrennung kontrolliert anpassen zu können für eine optimierte katalytische Verbrennung und eine auf diese Weise verbesserte energetische Umsetzung in der Katalysatorvorrichtung.

Bei einem Brennstoffzellensystem gemäß dem voranstehenden Absatz kann es von Vorteil sein, wenn stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers und stromaufwärts der fluidkommunizierenden Verbindung zu der Anodenzuführverbindung und/oder zu der Kathodenzuführverbindung ein Abzweigabschnitt angeordnet ist in die Anodenabführverbindung. Dies erlaubt es, je nach tatsächlicher chemischer Zusammensetzung in der Restgaszuführverbindung über den Abzweigabschnitt einen Teil der katalytisch verbrannten Restgase oder Mischgase über die Anodenabführverbindung wieder abzuführen. Auch hier ist es möglich, je nach Betriebssituation des Brennstoffzellensystems flexibel auf die unterschiedlichen chemischen und thermischen Gassituationen einzugehen und den Volumenstrom, insbesondere für die Rückführung in den Anodenzuführabschnitt und/oder den Kathodenzuführabschnitt, variabel anzupassen. Auch dieser Abzweigabschnitt ist vorzugsweise mit einem Abzweigventil ausgestattet, welches entweder quantitativ, zum Beispiel in Form eines Sperrventils, oder quantitativ in Form eines variablen Regelventils ausgebildet ist. Dies erlaubt es, den Abzweigabschnitt einfach zu öffnen und abzusperrern oder

mit Hilfe der quantitativen Regelventile eine definierte Kontrolle eines Volumenstroms über diesen Abzweigabschnitt vorzugeben.

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.

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.

Vorteilhaft ist zudem, wenn jeder der beiden Teilpfade jeweils vor einem Katalysator-zuführabschnitt eines der beiden Katalysatoren mit der Anodenabführverbindung fluidechnisch 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.

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.

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.

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.

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 Zusatzzuführanschluss zugeführte Wasser oder den zugeführten Wasserdampf zu erhitzen und dadurch die Effizienz des Brennstoffzellensystems weiter zu steigern.

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.

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.

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.

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 zugeführte Anodengases noch weiter steigern, um den Brennstoffzellenstapel betriebspunktoptimiert zu betreiben.

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.

Vorteilhaft ist ferner, wenn zumindest einer der beiden Katalysatoren als ein Oxidationskatalysator 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, auch die Emissionen von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen und auch von Feinstaub aus dem Restgas können deutlich reduziert werden.

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.

Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Brennstoffzellenanlage mit einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem und einem Synthesystem 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.

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

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 zwei Katalysatoren eines Brennstoffzellensystems,
- katalytisches Verbrennen des Restgases mittels der beiden Katalysatoren des Brennstoffzellensystems,
- Übertragen von Wärme eines Katalysator-Abgasstroms der katalytischen Verbrennung der beiden Katalysatoren 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,
- Zuführen des katalytisch verbrannten Restgases in den Anodenzuführabschnitt und/oder den Kathodenzuführabschnitt, und
- Erzeugen des Synthesegases mittels des Brennstoffzellenstapels aus dem zugeführten Anodengas, Kathodengas und elektrischem Strom.

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

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

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 Stickstoffdioxid, Wasserdampf und/oder ein Schutzgas, verstanden. Dies schließt das Kathodenabgas, also das vom Kathodenabschnitt abgeführte synthetische Gas, aus.

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 Kathodenzuführverbindung. Ganz besonders kann dabei vorteilhafterweise im Wesentlichen dieselbe Wärmemenge an beiden Wärmetauschern und damit an der Anodenzuführverbindung und der Kathodenzuführverbindung erfolgen, indem der Restgasstrom in den beiden Teilpfaden entsprechend kontrolliert wird.

Dazu ist es vorteilhaft, wenn der Katalysator-Abgasstrom in den beiden Teilpfäden jeweils mittels eines Absperrorgans in jedem der beiden Teilpfade hinter dem jeweiligen Wärmetauscher des jeweiligen Teilpfades kontrolliert wird.

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.

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.

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.

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.

Ferner ist vorteilhaft, wenn dem Restgas-Anodenabgas-Gemisch Anodengas beige-mischt 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.

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.

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.

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

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.

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:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage,

Fig. 2 eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage, und

- Fig. 3 eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage.
- Fig. 4 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage.

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

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.

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 reversen Modus zur Hochtemperatur-Co-Elektrolyse verwendet.

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.

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 Anodenab-

gas, 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.

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 Syntheseanlage 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.

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.

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 224 und hinter dem dritten Bypasspfad 216 ein viertes Absperrorgan 222 angeordnet.

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.

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-Abgasen 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.

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 Stickstoffdioxid, aus dem Kathodenzuführanschluss 502 zum Kathodenzuführabschnitt 112 zugeführt. In Strömungsrichtung des Anodengases vor dem Kathodenab-

schnitt 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.

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 Katalysatorzführabschnitt 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.

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.

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 Ententhalpiemenge 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.

Wie in der Figur 1 dargestellt, stehen bei dieser Ausführungsform zwei parallele Rückführmöglichkeiten zur Verfügung. Zum einen handelt es sich um eine Rückführung in den Anodenzuführabschnitt 200 und zum anderen um eine Rückführung in den Kathodenzuführabschnitt 500. Auch Ausführungsformen mit nur einer dieser beiden Rückführungen sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung denkbar.

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.

In Strömungsrichtung des Katalysator-Abgases hinter dem zweiten Wärmetauscher 304 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.

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.

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 achtes Absperrorgan 606, insbesondere ein Ventil, angeordnet.

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.

Der gemäß der vorstehend beschriebenen Art und Weise mit Anodengas, umfassend Luft, und Kathodengas, umfassend Stickstoffdioxid, Wasserdampf und Schutzgas, versorgte Brennstoffzellenstapel 100 erzeugt im reversen Modus durch Hochtemperatur-Co-Elektrolyse das Kathodenabgas in Form von Synthesegas, umfassend Wasserstoff und Stickstoffmonoxid, 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.

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.

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.

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

Figur 3 zeigt eine Variation der Brennstoffzellenanlage 30 der Ausführungsform der Fig. 1, bei welcher Restgasbypässe 430 vorgesehen sind, welche an dem jeweiligen Wärmetauscher 304, 302 vorbei das Restgas in der katalytisch verbrannten Form in den Anodenzuführabschnitt 200, sofern das Restgas frei von CO₂ ist, und/oder den Kathodenzuführabschnitt 500 einbringen. Weiter zeigt die Variante der Figur 3 die Möglichkeit eine Trennung des Anodenabgases und des Restgases. So kann hier stromabwärts des Wärmetauschers 224 das Anodenabgas direkt dem Anodenabführanschluss 308 zugeführt werden. Mittels eines Abzweigabschnitts 440 besteht die Möglichkeit einer Überführung des Restgases in die Anodenabführverbindung 300.

In der Figur 4 ist eine Alternative Ausführungsform dargestellt. Bei dieser handelt es sich um eine Variante mit dem ersten Wärmetauscher 220 in einem separaten Pfad der Anodenzuführverbindung 200. Dieser separate Pfad kann mit nicht dargestellten Ventilen qualitativ und/oder quantitativ als Bypass geschaltet werden. Auf diese Weise kann die Kontrollierbarkeit, insbesondere die Regelbarkeit der Betriebsweise weiter verbessert werden. Diese Ausführungsform kann auf allen anderen Varianten, insbesondere die der Figuren 1 bis 3 ebenfalls angewendet werden.

Die voranstehenden Erläuterungen der Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

Bezugszeichenliste

10	Brennstoffzellensystem
20	Synthesystem
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	Gebälse
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 Katalysatorabführabschnitt
410 erster Katalysatorzuführabschnitt
412 zweiter Katalysatorzuführabschnitt
414 zweiter Teilpfad
416 sechstes Absperrorgan
418 zweiter Katalysator
420 zweiter Katalysatorzuführabschnitt
422 zweiter Katalysatorabführabschnitt
430 Restgasbypass
440 Abzweigabschnitt
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
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

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,
- wenigstens einen mittels einer Restgaszuführverbindung (400) fluidtechnisch mit dem Restgaszuführanschluss (402) gekoppelten Katalysator (404) zur katalytischen Verbrennung des Restgases,

- zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320), der in der Restgaszuführverbindung (400) in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabfuhrabschnitt (408) angeordnet ist, und wärmeübertragend mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) verbunden ist,
 - wobei weiter die Restgaszuführverbindung (400) stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers (304, 310, 314, 320) mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) fluidkommunizierend verbunden ist für eine Rückführung des katalytisch verbrannten Restgases in die Anodenzuführverbindung (200) und/oder die Kathodenzuführverbindung (500).
2. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Restgaszuführverbindung (400) einen Restgasbypass (430) aufweist, welcher an dem zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) vorbei fluidkommunizierend mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) verbunden ist.
 3. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Restgasbypass (430) ein Bypassventil aufweist für eine Kontrolle der direkten fluidkommunizierenden Verbindung an dem zumindest einen Wärmetauscher (304, 310, 314, 320) vorbei.
 4. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Restgaszuführverbindung (400) wenigstens abschnittsweise die Anodenabfuhrverbindung (300) ausbildet.
 5. Brennstoffzellensystem (10) nach einem Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers (304, 310, 314, 320) und stromaufwärts der fluidkommunizierenden Verbindung zu der Anodenzuführverbindung (200) und/oder zu der Kathodenzuführverbindung (500) ein Abzweigabschnitt (440) angeordnet ist in die Anodenabfuhrverbindung (300).

6. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der vorangegangenen Ansprüche 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieser weiter aufweist:
 - 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 (304) und einen dritten Wärmetauscher (310), die in der Anodenabführverbindung (300) in Strömungsrichtung hinter zumindest je einem der beiden Katalysatoren (408, 418) angeordnet sind.
7. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Katalysatoren (408, 418) mit unterschiedlichen, sich aufteilenden Teilpfaden (404, 414) der Restgaszuführverbindung (400) gekoppelt sind.
8. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 6 oder 7, **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.
9. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche Anspruch 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** einer von dem zweiten und dritten Wärmetauscher (302, 304) wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung (200) gekoppelt ist.
10. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** einer von dem zweiten und dritten Wärmetauscher (302, 304) wärmetechnisch mit der Kathodenzuführverbindung (500) gekoppelt ist.
11. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **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 Zusatz-

- zuführanschluss (702) zum Zuführen von Wasser oder Wasserdampf zum Kathodenzuführabschnitt (112) verbindet.
12. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 11, **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.
13. 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 einem Restgaszuführanschluss (402) gekoppelt ist.
14. Verfahren 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),
- Zuführen des katalytisch verbrannten Restgases in den Anodenzuführabschnitt (200) und/oder den Kathodenzuführabschnitt (500), und
- Erzeugen des Synthesegases mittels des Brennstoffzellenstapels (100) aus dem zugeführten Anodengas, Kathodengas und elektrischem Strom.

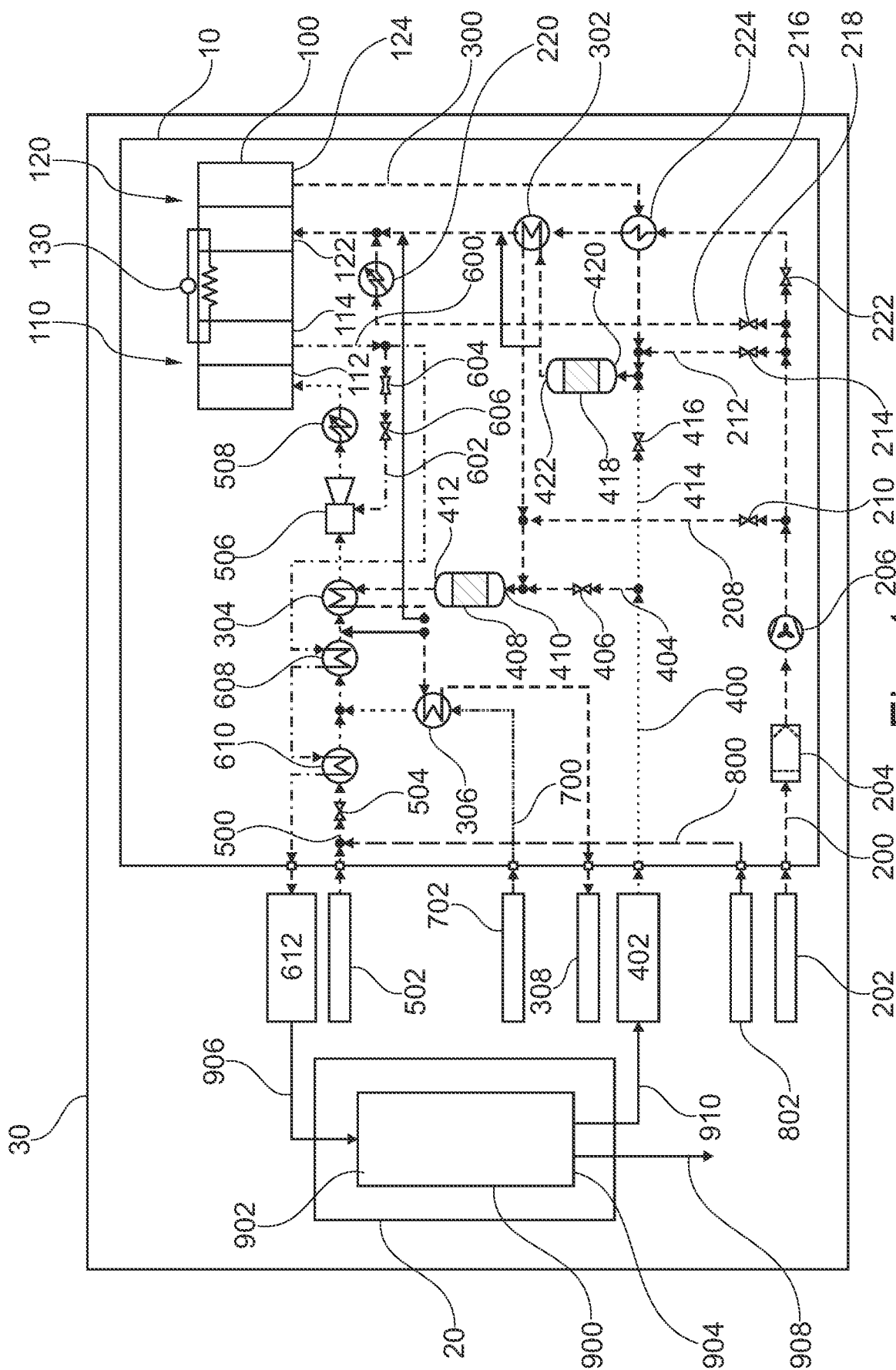


Fig. 1

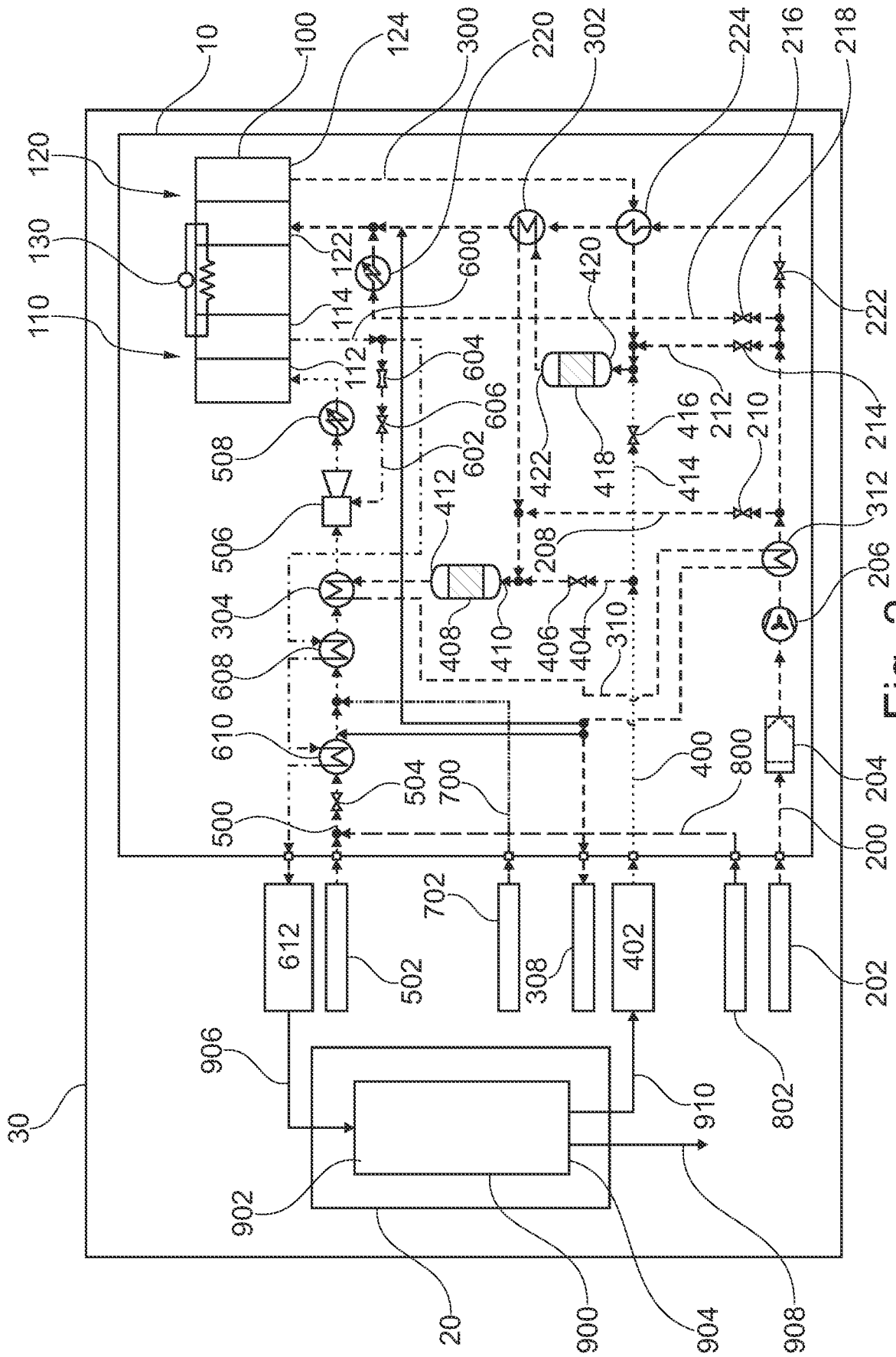
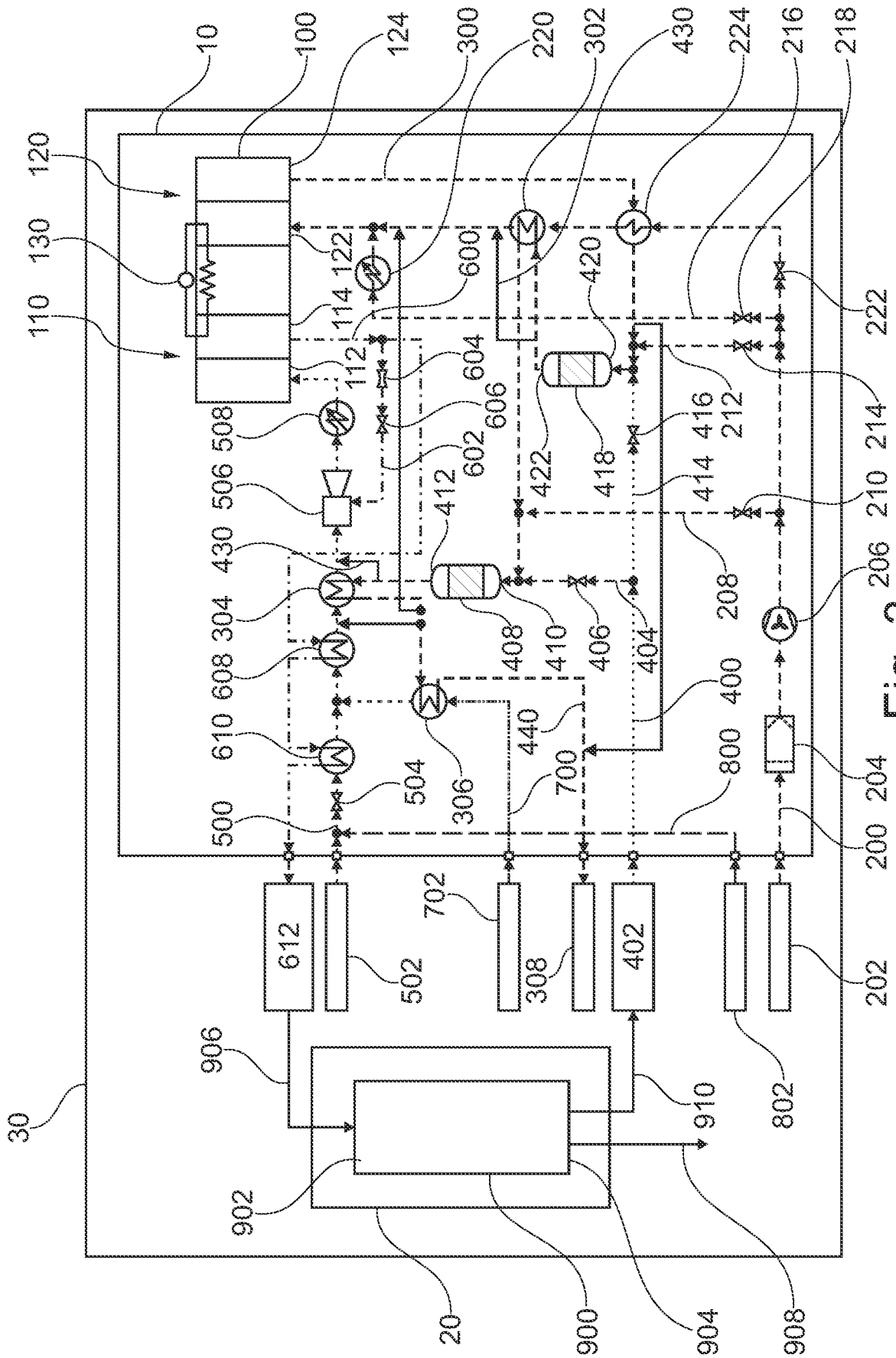


Fig. 2



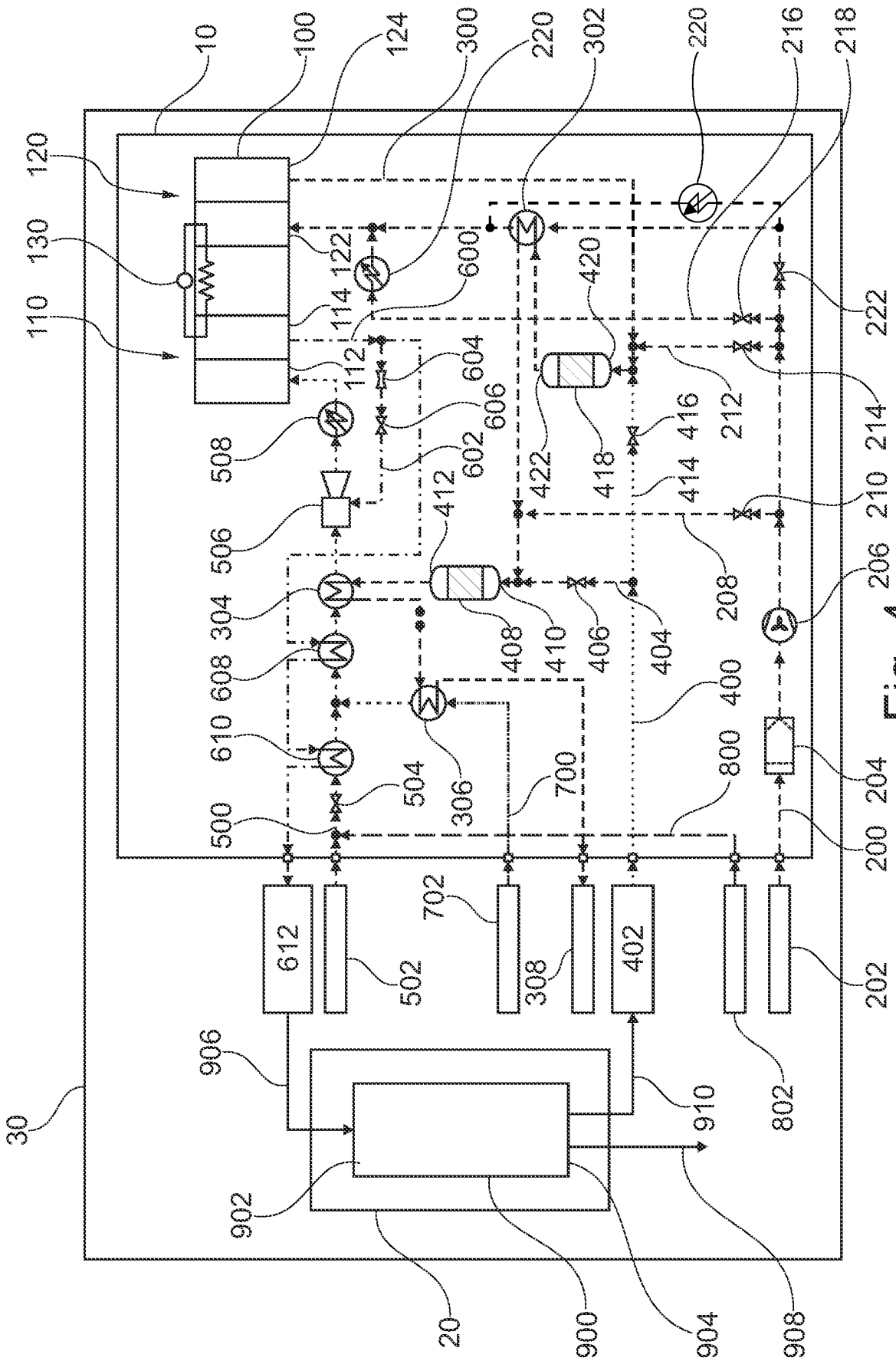


Fig. 4

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß IPC: H01M 8/12 (2006.01); C25B 1/23 (2021.01); C25B 15/021 (2021.01); C25B 15/08 (2006.01); C10G 2/00 (2006.01)		
Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß CPC: H01M 8/12 (2013.01); C25B 1/23 (2021.01); C25B 15/021 (2021.01); C25B 15/081 (2021.01); C10G 2/30 (2013.01); H01M 2008/1293 (2022.01)		
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): H01M, C25B, C10G		
Konsultierte Online-Datenbank: EPODOC, WPI, Volltext-Patentdatenbanken EN und DE		
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 22.08.2023 eingereichten Ansprüchen 1-14 erstellt.		
Kategorie*)	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	JP 2023093823 A (TOSHIBA CORP., TOSHIBA ENERGY SYSTEM & SOLUTION CORP.) 05. Juli 2023 (05.07.2023) (übersetzt) [online] [abgerufen am 10.05.2024]. Abgerufen von EPOQUE: TXPMTJEA / EPO Figur 1 und darauf bezogene Beschreibung	1, 4, 13, 14
X	WO 2022031726 A2 (OPUS 12 INCORPORATED) 10. Februar 2022 (10.02.2022) [0194]-[0208]; Figur 6A	1-3, 13, 14
A	EP 4130342 A1 (OSAKA GAS CO., LTD.) 08. Februar 2023 (08.02.2023) Figur 1	1-14
Datum der Beendigung der Recherche: 10.05.2024		Seite 1 von 1
		Prüfer(in): ENGLISCH Julia
*) Kategorien der angeführten Dokumente: X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden. Y Veröffentlichung von Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.		
A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert. P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde. E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „ älteres Recht “ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.		

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 (100) 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 (100) im Elektrolysemodus erzeugtem Synthesegas, wobei das Brennstoffzellensystem (10) ferner aufweist:
 - einen Restgaszuführanschluss (402) zum Bereitstellen von Restgas, welches bei einem nachfolgenden Syntheseprozess zur Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen aus dem von dem Brennstoffzellenstapel (100) erzeugten Synthesegas abgeschieden wird,
 - wenigstens einen mittels einer Restgaszuführverbindung (400) fluidtechnisch mit dem Restgaszuführanschluss (402) gekoppelten Katalysator (408, 418) zur katalytischen Verbrennung des Restgases,

- zumindest einen Wärmetauscher (302, 304, 306, 310), der in der Restgaszuführverbindung (400) in Strömungsrichtung hinter dem Katalysatorabführabschnitt (412, 422) angeordnet ist, und wärmeübertragend mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) verbunden ist,

wobei weiter die Restgaszuführverbindung (400) stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers (302, 304, 306, 310) mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) fluidkommunizierend verbunden ist für eine Rückführung des katalytisch verbrannten Restgases in die Anodenzuführverbindung (200) und/oder die Kathodenzuführverbindung (500), wobei die Restgaszuführverbindung (400) wenigstens abschnittsweise die Anodenabführverbindung (300) ausbildet,

dadurch gekennzeichnet, dass

- zwei mittels der Restgaszuführverbindung (400) fluidtechnisch mit dem Restgaszuführanschluss (402) gekoppelte und in der Anodenabführverbindung (300) angeordnete Katalysatoren (408, 418) zur katalytischen Verbrennung des Restgases vorgesehen sind, und
 - ein zweiter Wärmetauscher (302) und ein dritter Wärmetauscher (304) vorgesehen sind, 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 Restgaszuführverbindung (400) einen Restgasbypass (430) aufweist, welcher an dem zumindest einen Wärmetauscher (302, 304, 306, 310, 314, 320) vorbei fluidkommunizierend mit der Anodenzuführverbindung (200) und/oder der Kathodenzuführverbindung (500) verbunden ist.
3. Brennstoffzellensystem (10) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Restgasbypass (430) ein Bypassventil aufweist für eine Kontrolle der direkten fluidkommunizierenden Verbindung an dem zumindest einen Wärmetauscher (302, 304, 306, 310) vorbei.

4. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromabwärts des zumindest einen Wärmetauschers (302, 304, 306, 310) und stromaufwärts der fluidkommunizierenden Verbindung zu der Anodenzuführverbindung (200) und/oder zu der Kathodenzuführverbindung (500) ein Abzweigabschnitt (440) angeordnet ist in die Anodenabführverbindung (300), wobei der Abzweigabschnitt (440) von der Anodenabführverbindung (300) stromabwärts des ersten Wärmetauschers (224) abzweigt.
5. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Katalysatoren (408, 418) mit unterschiedlichen, sich aufteilenden Teilpfaden (404, 414) der Restgaszuführverbindung (400) gekoppelt sind.
6. Brennstoffzellensystem (10) einem der Ansprüche 1 bis 5, **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.
7. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche Anspruch 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** einer von dem zweiten und dritten Wärmetauscher (302, 304) wärmetechnisch mit der Anodenzuführverbindung (200) gekoppelt ist.
8. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** einer von dem zweiten und dritten Wärmetauscher (302, 304) wärmetechnisch mit der Kathodenzuführverbindung (500) gekoppelt ist.
9. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **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.

10. Brennstoffzellensystem (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **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.
11. Brennstoffzellenanlage (30) mit einem Brennstoffzellensystem (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche und einem Synthesystem (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 synthetischen Kohlenwasserstoffen aus von dem Brennstoffzellenstapel (100) im Elektrolysemodus erzeugtem und mittels der Synthesegaszuführverbindung (906) zugeführtem Synthesegas eingerichtet ist, und
 - die Syntheseanlage (900) mittels einer Restgasabführverbindung (910) zum Bereitstellen von Restgas fluidtechnisch mit einem Restgaszuführanschluss (402) gekoppelt ist.
12. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas mittels eines Brennstoffzellensystems (10) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 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 (408, 418) des Brennstoffzellensystems (10),
 - Übertragen von Wärme eines Katalysator-Abgasstroms der katalytischen Verbrennung mittels zumindest eines Wärmetauschers (302, 304, 306, 310) an ein Anodengas und/oder ein Kathodengas,

- Zuführen des Anodengases, des Kathodengases und von elektrischem Strom zu einem Brennstoffzellenstapel (100) des Brennstoffzellensystems (10),
- Zuführen des katalytisch verbrannten Restgases in den Anodenzuführabschnitt (200) und/oder den Kathodenzuführabschnitt (500), und
- Erzeugen des Synthesegases mittels des Brennstoffzellenstapels (100) aus dem zugeführten Anodengas, Kathodengas und elektrischem Strom.