

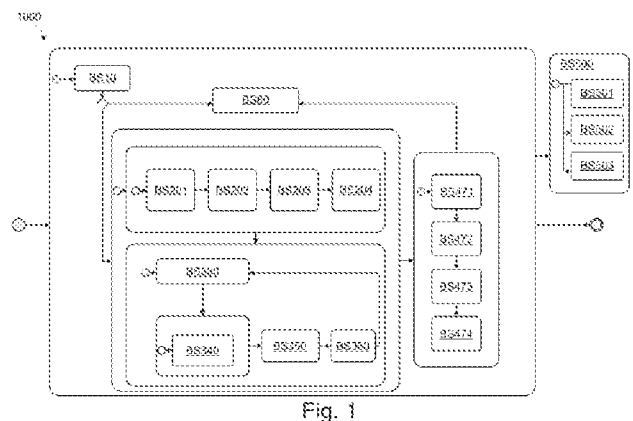
(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50973/2023 (51) Int. Cl.: **H01M 8/04228** (2016.01)
(22) Anmeldetag: 05.12.2023 **H01M 8/04225** (2016.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.06.2025 **H01M 8/04302** (2016.01)
H01M 8/04303 (2016.01)
H01M 8/04014 (2016.01)
H01M 8/04007 (2016.01)
H01M 8/12 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen: EP 3633778 A1 WO 2021119715 A1 US 2023238552 A1	(71) Patentanmelder: AVL List GmbH 8020 Graz (AT) (72) Erfinder: Pandya Bhargav PhD 8020 Graz (AT) Neubauer Raphael Dr. 8042 Graz (AT) Hadl Klaus Dr. 8010 Graz (AT) Kogler-Lichtenegger Markus Dipl.-Ing. 8511 St. Stefan ob Stainz (AT) (74) Vertreter: Gamper Bettina Dr. techn. 8020 Graz (AT)
--	--

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10), welches wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (100) mit einer Luftseite (120) und einer Brennstoffseite (130) sowie verschiedene Betriebssituationen aufweist. Das Verfahren weist ein Erfassen einer Betriebssituation des Brennstoffzellensystems (10) und ein Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation auf. In dem Verfahren wird eine Betriebssituation des Brennstoffzellensystems (10) als Sonder-Betriebssituation erfasst, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems (10) zur elektrischen Leistungsabgabe. In einer erfassten Sonder-Betriebssituation wird eine Lufttemperatur von Luft, welche dem Brennstoffzellensystem (10) über einen Lufteinlassabschnitt (112) zuführbar ist, mittels wenigstens eines elektrischen Heizers (223, 243) kontrolliert. Ferner wird ein Verlauf wenigstens eines Strömungspfad der so geheizten Luft in dem Brennstoffzellensystem (10) in Abhängigkeit von der erfassten Sonder- Betriebssituation kontrolliert. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Computerprogrammprodukt und eine Kontrollvorrichtung (20) zur Ausführung des Verfahrens. Ferner betrifft die Erfindung ein Brennstoffzellensystem (10).



Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10), welches wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (100) mit einer Luftseite (120) und einer Brennstoffseite (130) sowie verschiedene Betriebssituationen aufweist. Das Verfahren weist ein Erfassen einer Betriebssituation des Brennstoffzellensystems (10) und ein Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation auf. In dem Verfahren wird eine Betriebssituation des Brennstoffzellensystems (10) als Sonder-Betriebssituation erfasst, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems (10) zur elektrischen Leistungsabgabe. In einer erfassten Sonder-Betriebssituation wird eine Lufttemperatur von Luft, welche dem Brennstoffzellensystem (10) über einen Lufteinlassabschnitt (112) zuführbar ist, mittels wenigstens eines elektrischen Heizers (223, 243) kontrolliert. Ferner wird ein Verlauf wenigstens eines Strömungspfad der so geheizten Luft in dem Brennstoffzellensystem (10) in Abhängigkeit von der erfassten Sonder-Betriebssituation kontrolliert. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Computerprogrammprodukt und eine Kontrollvorrichtung (20) zur Ausführung des Verfahrens. Ferner betrifft die Erfindung ein Brennstoffzellensystem (10).

Fig. 1

Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems, und ein Computerprogrammprodukt und eine Kontrollvorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens. Die Erfindung betrifft ferner ein Brennstoffzellensystem.

Brennstoffzellen stellen eine geeignete Lösung dar, aus Energieträgern, wie Erdgas oder Biomethan, unter Vermeidung von Emissionen elektrische Energie zu gewinnen. Hierzu kann Erdgas oder Biomethan in einem Reformer zur Versorgung der Brennstoffzelle in Wasserstoff umgewandelt werden. In der Brennstoffzelle entstehen bei der elektro-chemischen Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff neben Strom, Wasser und Wärme keine umweltschädlichen Emissionen, wie Kohlenstoffdioxid.

Als besonders vorteilhaft herausgestellt haben sich hierbei Festoxid-Brennstoffzellen (kurz SOFC für Englisch "Solid Oxide Fuel Cell), die besonders effizient bei Temperaturen zwischen 500°C und 900°C arbeiten.

Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, solche Brennstoffzellensysteme in verschiedenen Betriebszuständen zu betreiben, wie einem Ruhezustand oder einem aktiven Betriebszustand. Aufgrund der für die Hochtemperatur-Elektrolyse notwendigen hohen Temperaturen stellen gerade Zwischenzustände, die zwischen einem Ruhezustand und aktiven Betriebszustand auftreten, besondere technische Herausforderungen an die Betriebsstrategie zur Kontrolle des Brennstoffzellensystems. Beispielsweise sind Hochfahr- und Rückfahrvorgänge gerade für Temperatur-sensible Bauteile auszulegen und die Anlagensicherheit ist zu gewährleisten.

Nachteile existierender Betriebsstrategien sind, dass die darin umgesetzten Hochfahr- und Rückfahrvorgänge relativ lange dauern und einen hohen Energiebedarf haben. Dabei werden die Bauteile des Brennstoffzellensystems relativ stark thermisch und mechanisch belastet. Ferner wird bei den Hochfahr- und Rückfahrvorgängen oftmals ein Schutzgas oder Inertgas benötigt, um das Brennstoffzellensystem in solchen Übergangszuständen sicher betreiben zu können. Dies hat den Nachteil, dass für den Einsatz des Schutzgases das Brennstoffzellensystem konstruktiv und regelungstechnisch auszulegen ist. Dies führt zu einer hohen Komplexität der

Kontrollsoftware und des Brennstoffzellensystems. Entsprechend erhöhen sich die Kosten für Auslegung, Herstellung und Betrieb des Brennstoffzellensystems. Ferner kann der Einsatz von Schutzgasen auch mit zusätzlichem Energieaufwand verbunden sein, der zu einer Reduzierung der Effizienz des Brennstoffzellensystems führen kann.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Effizienz von Hochtemperatur-Brennstoffzellensystemen in kostengünstiger und einfacher Weise zu steigern. Ferner bevorzugt soll von der Erfindung eine Lösung bereitgestellt werden, die es ermöglicht, in Übergangszuständen beim Betrieb des Brennstoffzellensystems auf den Einsatz von Schutz- oder Inertgasen verzichten zu können.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 13, eine Kontrollvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 14, und ein Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des Anspruchs 15.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt, mit der erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung und dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise Bezug genommen werden kann.

Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems. Das Brennstoffzellensystem weist wenigstens einen Brennstoffzellenstapel mit einer Luftseite und einer Brennstoffseite, sowie verschiedene Betriebssituationen auf. In dem Verfahren wird eine Betriebssituation des Brennstoffzellensystems erfasst. Das Brennstoffzellensystem wird in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation kontrolliert. Als Sonder-Betriebssituation wird dabei eine Betriebssituation erfasst, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems zur elektrischen Leistungsabgabe. Für die erfasste Sonder-Betriebssituation wird eine Lufttemperatur von Luft, die dem Brennstoffzellensystem über einen Lufteinlassabschnitt zuführbar ist, wenigstens

mittels eines elektrischen Heizers kontrolliert. Für die erfasste Sonder-Betriebssituation wird ferner wenigstens ein Strömungspfad der geheizten Luft in dem Brennstoffzellensystem in Abhängigkeit von der erfassten Sonder-Betriebssituation in seinem Verlauf kontrolliert.

Mit anderen Worten wird ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems bereitgestellt. Das Verfahren kann beispielsweise eine Betriebsstrategie implementieren.

Dabei kann unter einem „Betreiben eines Systems“ bevorzugt ein Anleiten des Systems zum Arbeiten verstanden werden. Das Brennstoffzellensystem kann beispielsweise ein Hochtemperatur-Brennstoffzellensystem oder SOFC-Brennstoffzellensystem sein.

Das Brennstoffzellensystem weist wenigstens einen Brennstoffzellenstapel mit einer Luftseite und einer Brennstoffseite, sowie verschiedene Betriebssituationen auf.

Im Rahmen der Erfindung kann eine „Betriebssituation“ insbesondere als eine Situation oder als Umstände verstanden werden, die während des Betriebs des Brennstoffzellensystems auftreten. Eine Betriebssituation kann durch das momentane Beschaffensein und/oder einen Kontrollzustand des Brennstoffzellensystems definiert sein. Auch kann eine Betriebssituation beispielsweise durch physikalische Größen, wie Ist-Drücke oder Ist-Temperaturen, welche in dem Brennstoffzellensystem auftreten, und/oder durch einen Kontrollbefehl definiert sein. Das Brennstoffzellensystem weist eine Vielzahl unterschiedlicher Betriebssituationen auf. Bevorzugt kann das Brennstoffzellensystem zu einem Zeitpunkt stets nur eine Betriebssituation aufweisen. Eine Betriebssituation kann so definiert sein, dass auftretende Umstände des Brennstoffzellensystems nur einer Betriebssituation zuordenbar sind.

Gemäß der Erfindung wird eine Betriebssituation als Sonder-Betriebssituation erfasst, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems zur elektrischen Leistungsabgabe.

Im Rahmen der Erfindung kann unter einem „Erfassen einer Betriebssituation“ insbesondere ein Registrieren einer Betriebssituation verstanden werden. So kann ein Erfassen beispielsweise neben einem Aufnehmen und/oder Messen von zu Betriebssituationen gehörigen Informationen vorzugsweise auch ein Auswerten oder ein Klassifizieren dieser Informationen umfassen. So kann beispielsweise eine

Betriebssituation aus den zu einer Betriebssituation aufgenommenen Informationen ermittelt werden. Als „Sonder-Betriebssituation“ kann im Rahmen der Erfindung insbesondere eine Betriebssituation verstanden werden, die abweicht von einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems. Bei einer Sonder-Betriebssituation kann es sich somit insbesondere um Ruhe- und/oder Übergangszustände des Brennstoffzellensystems handeln, die beispielsweise vor und/oder nach einem Normalbetrieb auftreten. Als „Normalbetrieb“ kann im Rahmen der Erfindung insbesondere ein stationärer oder ein wenigstens teilstationärer Betrieb des Brennstoffzellensystems verstanden werden. Während des Normalbetriebs wird von dem Brennstoffzellensystem bestimmungsgemäß chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt und als elektrischer Strom abgegeben. Bevorzugt kann ein Normalbetrieb einen Betrieb des Brennstoffzellensystems unter Volllast und/oder Teillast (bevorzugt wenigstens 50% Produktionskapazität) umfassen.

Gemäß der Erfindung wird das Brennstoffzellensystem in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation kontrolliert.

Im Rahmen der Erfindung kann unter einem „Kontrollieren“ insbesondere ein Steuern und/oder Regeln von Eingangsgrößen, Parametern, Stellgrößen und/oder Komponenten des Brennstoffzellensystems verstanden werden.

Für die erfasste Sonder-Betriebssituation wird eine Lufttemperatur von Luft, welche dem Brennstoffzellensystem über einen Lufteinlassabschnitt zuführbar ist, mittels wenigstens eines elektrischen Heizers kontrolliert. Ferner wird für die erfasste Sonder-Betriebssituation wenigstens ein Strömungspfad der elektrisch geheizten Luft in dem Brennstoffzellensystem in Abhängigkeit von der erfassten Sonder-Betriebssituation hinsichtlich seines Verlaufs im Brennstoffzellensystem kontrolliert.

Im Rahmen der Erfindung kann dabei unter einem „Strömungspfad“ insbesondere ein Fließ- und/oder Strömungsweg eines Fluides verstanden werden. Bevorzugt kann sich der Strömungspfad zwischen zwei Punkten erstrecken, welche bevorzugt Teil der Strecke zwischen Quelle und Senke der Strömung sind. Im Rahmen der Erfindung kann unter einem „Verlauf“ insbesondere eine Erstreckung oder eine Kurve verstanden werden, die zwei Punkte verbindet. Unter einem „Kontrollieren eines Verlaufs“ kann im Rahmen der Erfindung insbesondere ein Vorgeben und/oder Einstellen eines Fließweges verstanden werden. Durch die Kontrolle des Verlaufs kann der elektrisch

geheizten Luft ein Strömungsweg aus der Zahl, der in dem Brennstoffzellensystem möglichen Strömungswege aufgeprägt werden.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können Betriebssituationen, die nicht dem Normalbetrieb entsprechen, identifiziert und situationsspezifisch kontrolliert werden. In Betriebssituationen, die bei Übergängen zu und von einem Normalbetrieb auftreten, werden elektrische Heizer zum Heizen verwendet, die schnell und genau eine definierte Wärmemenge bereitstellen können. Ferner kann durch die Kontrolle des Strömungspfad es die Wärme lokal und spezifisch in dem Brennstoffzellensystem verteilt werden. Die Kombination vorgenannter Ausgestaltungsmerkmale ermöglicht es, auf Schutzgas oder Inertgas verzichten zu können, da Abschnitte und/oder Komponenten des Brennstoffzellensystems spezifisch und in einer vorgebbaren Reihenfolge aufgeheizt und abgekühlt werden können. Entsprechend erlaubt es das Verfahren, Aufheiz- und Abkühlvorgänge allein mit Betriebsmitteln des Normalbetriebs umzusetzen. In Folge können Energieaufwand und Betriebskosten gesenkt werden, ohne dabei Kompromisse hinsichtlich der Anlagensicherheit eingehen zu müssen.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem eine erste Aufwärm-Betriebssituation zum Aufwärmen des Brennstoffzellensystems sein. Die Sonder-Betriebssituation kann eine erste Aufwärm-Betriebssituation aufweisen. Hierbei kann das Verfahren eine dem Normalbetrieb vorangehende erste Aufwärm-Betriebssituation erfassen, wenn eine Prozessaufforderung zum Aufwärmen des Brennstoffzellensystems erfolgt. Das Brennstoffzellensystem kann in einer ersten Aufwärm-Betriebssituation bevorzugt einen primären elektrischen Heizer auf eine Heizertemperatur aufheizen. In jedem Fall kann in einer ersten Aufwärm-Betriebssituation die Lufttemperatur wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers kontrolliert werden. Zur Kontrolle der Lufttemperatur kann bevorzugt eine Katalysator-Aufwärmkurve verwendet werden. Ein Strömungspfad der Luft, die von dem sekundären Heizer erhitzt wird, kann kontrolliert werden, so dass er zu einem Katalysator des Brennstoffzellensystems, welcher zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas vorgesehen ist, verläuft. Die Kontrolle des Verlaufs dieses Strömungspfad es kann bevorzugt wenigstens so lange stattfinden bis der Katalysator eine Katalysator-Starttemperatur aufweist.

Im Rahmen der Erfindung kann dabei eine „Prozessaufforderung“ insbesondere als ein Programmierbefehl oder Steuerungsbefehl durch den Benutzer verstanden werden, welcher beispielsweise an eine Kontrollvorrichtung übermittelt werden kann.

Somit wird es möglich, zu Beginn eines Aufheizvorgangs ein Aufheizen des Katalysators auf eine Aktivierungstemperatur zu erreichen. Das Erreichen der Aktivierungstemperatur ermöglicht es, das Brennstoffzellensystem mit weiteren Betriebsstoffen zu versorgen, ohne befürchten zu müssen, schädliche Substanzen aus dem Brennstoffzellensystem zu entlassen. Zugleich kann mittels katalytischer Verbrennung Wärme in dem Brennstoffzellensystem erzeugt und von dem Katalysator aus verteilt werden. Hierdurch kann der Aufheizprozess beschleunigt und zugleich sicher durchgeführt werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem ferner eine zweite Aufwärm-Betriebssituation zum Aufwärmen des Brennstoffzellensystems aufweisen. Diese kann dem Normalbetrieb vorangehen und bevorzugt der ersten Aufwärm-Betriebssituation folgen. Die Sonder-Betriebssituation kann eine zweite Aufwärm-Betriebssituation sein. Die zweite Aufwärm-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn der Katalysator zumindest eine Katalysator-Starttemperatur eines Katalysators des Brennstoffzellensystems zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas aufweist. In einer zweiten Aufwärm-Betriebssituation kann ein Heizgas, wie Methan, über eine Brennstoffleitung einem Brennstoffzuführabschnitt der Brennstoffseite zum Zuführen des Brennstoffs zugeführt werden. Das Heizgas kann ferner in einer Rezirkulationsleitung des Brennstoffzellensystems rezirkuliert werden. Hierbei kann sich die Rezirkulationsleitung zwischen einem Brennstoffabgasabschnitt der Brennstoffseite zum Abführen des Brennstoffabgases und einem Abschnitt der Brennstoffleitung stromaufwärts des Brennstoffzuführabschnitts erstrecken. Ferner kann die Lufttemperatur wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers kontrolliert werden. Bevorzugt kann hierbei eine Brennstoffleitung-Aufwärmkurve verwendet werden. Zudem kann ein Strömungspfad mit der von dem sekundären Heizer erhitzten Luft kontrolliert werden, so dass er zu einem Luftzuführabschnitt der Luftseite verläuft. Bevorzugt kann diese Kontrolle des Strömungspfades wenigstens so lange durchgeführt werden, bis die Rezirkulationsleitung und die Brennstoffleitung eine Leitungs-Mindesttemperatur aufweisen. Bevorzugt kann die Leitungs-

Mindesttemperatur wenigstens eine Wasserdampf-Kondensationstemperatur sein. Bevorzugt kann die Wasserdampf-Kondensationstemperatur durch den Betriebsdruck in der Brennstoffleitung definiert sein.

Somit wird es möglich, die Brennstoffleitung auf eine bestimmte Temperatur aufzuheizen. Insbesondere kann verhindert werden, dass Wasserdampf, der einem Reformer zum Reformieren zugeführt werden soll, in der Brennstoffleitung kondensiert. Hierbei ist es von Vorteil, dass das Heizgas im Brennstoffzellenstapel Wärme aufnehmen kann und über die Rezirkulation wiederholt zum Aufwärmen nutzen kann. Hierdurch kann der Aufheizprozess beschleunigt und zugleich sicher durchgeführt werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem ferner eine dritte Aufwärm-Betriebssituation zum Aufwärmen des Brennstoffzellensystems aufweisen. Die dritte Aufwärm-Betriebssituation kann dabei dem Normalbetrieb vorangehen und bevorzugt der zweiten Aufwärm-Betriebssituation folgen. Die Sonder-Betriebssituation kann eine dritte Aufwärm-Betriebssituation sein. Die dritte Aufwärm-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn eine Brennstoffleitung und eine Rezirkulationsleitung des Brennstoffzellensystems wenigstens eine Leitungs-Mindesttemperatur aufweisen. Bevorzugt kann die Leitungs-Mindesttemperatur die Wasserdampf-Kondensationstemperatur sein. Für eine dritte Aufwärm-Betriebssituation kann die Lufttemperatur mittels wenigstens eines sekundären elektrischen Heizers kontrolliert werden. Ein Strömungspfad der Luft, die von dem sekundären Heizer erhitzt wird, kann dabei kontrolliert werden, so dass er zu einem Eingang eines Reformer-Wärmetauschers eines Reformers verläuft. Der Reformer kann dabei in dem Brennstoffzellensystem zur Erzeugung von der Brennstoffseite zuzuführenden Brennstoffs vorgesehen sein. Alternativ oder zusätzlich kann der Strömungspfad kontrolliert werden, so dass er zu einem Katalysator des Brennstoffzellensystems zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft. Ferner kann eine Temperatur des Reformers auf eine Reformer-Starttemperatur kontrolliert werden, indem eine Durchflussmenge der erhitzten Luft durch den Reformer-Wärmetauscher mittels eines Kontrollventils kontrolliert wird. Das Kontrollventil kann dabei entlang des Strömungspfades stromaufwärts des Eingangs des Reformer-Wärmetauschers vorgesehen sein. Die Reformertemperatur kann derart bevorzugt gemäß einer Reformer-Aufwärmkurve kontrolliert werden. Wasserdampf

kann zu dem Reformer geführt werden, sobald der Reformer die Reformer-Starttemperatur aufweist.

Derart kann ein Aufwärmen des Reformers zu dessen Aktivierungstemperatur erreicht werden. Hierbei können schnelle Aufheizzeiten erreicht werden, da sowohl Wärme von dem sekundären Heizer als auch von dem Brennstoffzellenstapel genutzt werden kann. Die Kontrolle der Reformer-Temperatur mittels Kontrollventil ermöglicht eine einfache und genaue Temperaturkontrolle. Da Wasserdampf mit Erreichen der Aktivierungstemperatur des Reformers zugegeben wird, kann eine Carbonisierung der Katalysatoroberfläche des Reformers verhindert werden. So kann der Aufheizprozess schnell und sicher erreicht werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem ferner eine vierte Aufwärm-Betriebssituation zum Aufwärmen des Brennstoffzellensystems aufweisen. Die vierte Aufwärm-Betriebssituation kann dem Normalbetrieb vorangehen und bevorzugt der dritten Aufwärm-Betriebssituation folgen. Die Sonder-Betriebssituation kann eine vierte Aufwärm-Betriebssituation sein. Die vierte Aufwärm-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn ein Reformer des Brennstoffzellensystems zur Erzeugung von Brennstoff, der der Brennstoffseite zuzuführen ist, wenigstens eine Reformer-Starttemperatur aufweist. Für die vierte Aufwärm-Betriebssituation kann die Lufttemperatur mittels eines primären elektrischen Heizers und/oder eines sekundären elektrischen Heizers bis zum Erreichen einer Stapel-Mindesttemperatur des Brennstoffzellenstapels kontrolliert werden. Ein Strömungspfad der Luft, die von dem oder den Heizer(n) erhitzt wird, kann kontrolliert werden, so dass er zu einem Leitungsabschnitt verläuft, der wärmeübertragend oder fluidtechnisch gekoppelt ist mit einem Abschnitt eines zu der Luftseite Luft führenden Luftzuführpfades. Ferner kann Wasserdampf und Heizgas dem Reformer zugeführt werden, um den Brennstoff zu erzeugen. Zudem kann der so erzeugte Brennstoff und erhitzte Luft dem Brennstoffzellenstapel zugeführt werden.

Derart kann in dem Reformer ein Synthesegas als Reformat erzeugt werden. Mit diesem Synthesegas und erhitzter Luft kann ein zusätzliches Aufheizen des Brennstoffzellenstapels erreicht werden. Die Luft kann dabei sowohl elektrisch als auch indirekt durch katalytische Verbrennung des Synthesegases im Katalysator erhitzt werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem ferner eine Bereithalte-Betriebssituation aufweisen. Die Bereithalte-Betriebssituation kann dem Normalbetrieb vorangehen und bevorzugt der vierten Aufwärm-Betriebssituation folgen. Bevorzugt kann eine Bereithalte-Betriebssituation eine Sonder-Betriebssituation sein. Die Bereithalte-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn die Temperatur des Brennstoffzellenstapels wenigstens eine Stapel-Mindesttemperatur aufweist. Für eine Bereithalte-Betriebssituation kann Wasserdampf und Heizgas dem Reformier zugeführt werden, um den Brennstoff zu erzeugen. Ferner kann dem Brennstoffzellenstapel der so erzeugte Brennstoff, und geheizte Luft zugeführt werden. Zudem kann die Durchflussmenge der erhitzten Luft und des Brennstoffs zu dem Brennstoffzellenstapel auf minimale Durchflussmengen kontrolliert werden, bei denen der Brennstoffzellenstapel wenigstens die Stapel-Mindesttemperatur aufweist.

Somit kann das Brennstoffzellensystem in einem Bereithalte-Zustand vorgehalten werden, von dem aus es beispielsweise in einen Normalbetrieb als aktiven Betrieb versetzt werden kann. Die Ressourcen, die für das Aufrechterhalten dieses Zustands notwendig sind, können dabei auf das hierzu notwendige Minimum reduziert werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem eine mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation aufweisen. Bevorzugt kann eine Normalbetrieb-Betriebssituation einer Niedrigleistung-Betriebssituation folgen. Die Normalbetrieb-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn der Brennstoffzellenstapel wenigstens eine Stapel-Mindesttemperatur aufweist. In einer Normalbetrieb-Betriebssituation kann Luft und Brennstoff dem Brennstoffzellenstapel zugeführt werden. Elektrischer Strom kann in dem Brennstoffzellenstapel aus der zugeführten Luft und dem Brennstoff erzeugt werden. Die Temperatur des Brennstoffzellenstapels kann dabei mittels katalytischer Heizung erfolgen. Entsprechend kann bevorzugt der wenigstens eine elektrische Heizer deaktiviert werden. Katalytisches Heizen kann erreicht werden, indem Luft von dem Lufteinlassabschnitt und Brennstoffabgas aus einem Brennstoffabgasabschnitt der Brennstoffseite zu einem Katalysator des Brennstoffzellensystems geführt wird. Wärme des Brennstoffabgases kann dabei mittels zumindest eines Brennstoff-Wärmetauschers an den zuzuführenden Brennstoff übertragen werden. Das Brennstoffabgas kann mittels des Katalysators katalytisch verbrannt werden. Wärme

des sich daraus ergebenden Katalysator-Abgasstroms kann mittels zumindest eines Luft-Wärmetauschers an die zuzuführende Luft übertragen werden.

Im Rahmen der Erfindung kann dabei unter „katalytischem Heizen“ insbesondere ein Wärmeeintrag in das Brennstoffzellensystem mittels Wärmeerzeugung in einem Katalysator verstanden werden. Unter einem „Deaktivieren des elektrischen Heizers“ kann insbesondere ein Unterbrechen der Leistungsversorgung des elektrischen Heizers verstanden werden.

Somit kann durch aktives Betreiben des Brennstoffzellensystems bestimmungsgemäß in dem Brennstoffzellenstapel chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt und nach Außen abgegeben werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem ferner eine Niedrigleistung-Betriebssituation aufweisen. Eine Niedrigleistung-Betriebssituation kann bevorzugt dem Normalbetrieb unmittelbar vorangehen oder folgen. Alternativ oder zusätzlich kann eine Niedrigleistung-Betriebssituation der Bereithalte-Betriebssituation oder der Normalbetrieb-Betriebssituation folgen. Die Niedrigleistung-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn eine Prozessaufforderung zur Erzeugung und Abgabe elektrischer Leistung erfolgt. Für die Niedrigleistung-Betriebssituation kann der erzeugte Brennstoff und die erhitzte Luft dem Brennstoffzellenstapel zugeführt werden. Elektrischer Strom kann in dem Brennstoffzellenstapel aus der zugeführten Luft und dem Brennstoff erzeugt werden. Die Durchflussmenge der erhitzten Luft und des Brennstoffs zu dem Brennstoffzellenstapel kann bevorzugt gemäß einer Stapelleistung-Abgabekurve kontrolliert werden.

Somit kann das Brennstoffzellensystem unter Beachtung von endothermen Bereichen zu einem aktiven Betrieb hingeführt oder weggeführt werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem ferner eine erste Abkühl-Betriebssituation zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems aufweisen. Bevorzugt kann die erste Abkühl-Betriebssituation dem Normalbetrieb folgen und ferner bevorzugt der Niedrigleistung-Betriebssituation folgen. Bevorzugt kann die erste Abkühl-Betriebssituation eine Sonder-Betriebssituation sein. Die erste Abkühl-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn eine Prozessaufforderung zum Herunterkühlen des Brennstoffzellensystems erfolgt. In einer ersten Abkühl-

Betriebssituation kann die Lufttemperatur bevorzugt gemäß einer Abkühlkurve mittels wenigstens eines sekundären elektrischen Heizers kontrolliert werden. Ferner kann ein Strömungspfad mit der von dem sekundären Heizer erhitzten Luft kontrolliert werden, so dass er zu einem Eingang eines Reformer-Wärmetauschers verläuft. Der Reformer-Wärmetauscher wird von einem Reformer des Brennstoffzellensystems, welcher zur Erzeugung von der Brennstoffseite zuzuführenden Brennstoffs vorgesehen ist, aufgewiesen. Ferner kann Luftabgas von der Luftseite dem Eingang des Reformer-Wärmetauschers zugeführt werden. Die Temperatur des Reformers kann kontrolliert werden, indem eine Durchflussmenge des Gasgemisches aus der erhitzten Luft und dem Luftabgas durch den Reformer-Wärmetauscher mittels eines Kontrollventils kontrolliert wird. Das Kontrollventil kann dabei entlang des Strömungspfades stromaufwärts des Eingangs des Reformer-Wärmetauschers vorgesehen sein. Bevorzugt kann die Temperatur des Reformers gemäß einer Reformer-Abkühlkurve kontrolliert werden. Auch kann die Temperatur des Brennstoffzellenstapels auf eine erste Stapel-Abkühltemperatur kontrolliert werden. Dies kann bevorzugt gemäß einer Stapel-Abkühlkurve erfolgen. Für die Kontrolle der Temperatur des Brennstoffzellenstapels kann eine Durchflussmenge von Brennstoff, welcher der Brennstoffseite zuzuführen ist, kontrolliert werden, bis die erste Stapel-Abkühltemperatur erreicht ist. Bei dem Brennstoff kann es sich bevorzugt um Brennstoff handeln, der in dem Reformer erzeugt wird. Bevorzugt kann die erste Stapel-Abkühltemperatur 377°C aufweisen.

Derart kann der Brennstoffzellenstapel durch das Reformat aus dem Reformer heruntergekühlt werden. Ein zu starkes oder schnelles Abkühlen der Temperatur des Reformers kann durch Wärmeübertragung von Luftabgas und elektrisch geheizter Luft an den Reformer verhindert werden. Hierbei ermöglicht das Kontrollventil eine schnelle und effiziente Kontrolle.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem ferner eine zweite Abkühl-Betriebssituation zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems aufweisen. Die zweite Abkühl-Betriebssituation kann dem Normalbetrieb und bevorzugt der ersten Abkühl-Betriebssituation folgen. Bevorzugt kann die zweite Abkühl-Betriebssituation eine Sonder-Betriebssituation sein. Die zweite Abkühl-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn der Brennstoffzellenstapel eine erste Stapel-Abkühltemperatur aufweist. In einer zweiten Abkühl-

Betriebssituation kann die Lufttemperatur wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers kontrolliert werden. Bevorzugt kann die Kontrolle gemäß einer Abkühlkurve erfolgen. Ferner kann ein Strömungspfad mit der von dem sekundären Heizer erhitzten Luft kontrolliert werden, so dass er zu einem Katalysator des Brennstoffzellensystems zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft. Ferner kann eine Temperatur eines Reformers des Brennstoffzellensystems zur Erzeugung von der Brennstoffseite zuzuführenden Brennstoffs auf eine Reformer-Starttemperatur kontrolliert werden, indem Heizgas und Wasserdampf in den Reformer geführt werden. Dies kann bevorzugt so lange erfolgen bis der Reformer eine Temperatur von höchstens der Reformer-Starttemperatur aufweist. Sobald der Reformer eine Temperatur kleiner als die Reformer-Starttemperatur aufweist, kann das Zuführen von Wasserdampf an den Reformer unterbunden werden.

Derart kann der Reformer unterhalb seine Aktivierungstemperatur heruntergekühlt werden. Durch frühzeitiges Unterbinden der Wasserdampfungabe kann eine Carbonisierung der Katalysatoroberfläche des Reformers verhindert werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem ferner eine dritte Abkühl-Betriebssituation zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems aufweisen. Bevorzugt kann eine dritte Abkühl-Betriebssituation dem Normalbetrieb und bevorzugt der zweiten Abkühl-Betriebssituation folgen. Bevorzugt kann die dritte Abkühl-Betriebssituation eine Sonder-Betriebssituation sein. Eine dritte Abkühl-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn eine Temperatur eines Reformers des Brennstoffzellensystems zur Erzeugung von der Brennstoffseite zuzuführenden Brennstoffs kleiner als eine Reformer-Starttemperatur ist. Für die dritte Abkühl-Betriebssituation kann die Lufttemperatur auf eine Katalysator-Mindesttemperatur wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers kontrolliert werden. Dabei kann bevorzugt eine Abkühlkurve durchlaufen werden. Ferner kann ein Strömungspfad mit der von dem sekundären Heizer erhitzten Luft kontrolliert werden, so dass er zu einem Katalysator des Brennstoffzellensystems zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft. Ferner kann die Temperatur des Brennstoffzellenstapels auf eine zweite Stapel-Abkühltemperatur kontrolliert werden, indem Durchflussmengen eines Heizgases, welches an einen Brennstoffzuführabschnitt der Brennstoffseite zuführbar ist, und der Luft so lange

kontrolliert werden, bis die zweite Stapel-Abkühltemperatur erreicht ist. Bevorzugt kann dabei eine Stapel-Abkühlkurve durchlaufen werden.

Somit kann der Brennstoffzellenstapel mit Luft und Erdgas gekühlt werden. Zugleich kann sichergestellt werden, dass die Temperatur des Katalysators nicht unter dessen Aktivierungstemperatur fällt, so dass nur nicht-brennbare Stoffe das Brennstoffzellensystem verlassen. So kann die Sicherheit und Effizienz des Brennstoffzellensystems erhöht werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem ferner eine vierte Abkühl-Betriebssituation zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems aufweisen. Eine vierte Abkühl-Betriebssituation kann dem Normalbetrieb und bevorzugt der dritten Abkühl-Betriebssituation folgen. Bevorzugt kann die vierte Abkühl-Betriebssituation eine Sonder-Betriebssituation sein. Eine vierte Abkühl-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn der Brennstoffzellenstapel eine Temperatur von höchstens einer zweiten Stapel-Abkühltemperatur aufweist. Bevorzugt kann die zweite Stapel-Abkühltemperatur höchstens Raumtemperatur (also bspw. 19°C bis 22°C) aufweisen. Für die vierte Abkühl-Betriebssituation kann die Lufttemperatur auf eine Katalysator-Ruhetemperatur wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers kontrolliert werden. Bevorzugt kann dabei eine Abkühlkurve durchlaufen werden. Ein Strömungspfad wird mit der von dem sekundären Heizer erhitzten Luft kann kontrolliert, so dass er zu einem Katalysator des Brennstoffzellensystems zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft. Ferner kann die Temperatur des Katalysators auf die Katalysator-Ruhetemperatur, bevorzugt gemäß einer Katalysator-Abkühlkurve, kontrolliert werden, indem Durchflussmengen eines Heizgases, das an einen Brennstoffzuführabschnitt der Brennstoffseite zuführbar ist, und der Luft so lange kontrolliert werden, bis die zweite Stapel-Abkühltemperatur erreicht ist.

Somit kann der Katalysator weiter abgekühlt werden und das Brennstoffzellensystem in einen sicheren Zustand gebracht werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem ferner eine Sicherheitsabschalt-Betriebssituation aufweisen. Eine Sicherheitsabschalt-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn das Brennstoffzellensystem einen kritischen Zustand einnimmt. Für die Sicherheitsabschalt-Betriebssituation kann die

Zuführung von Luft zu der Luftseite und die Zuführung von Brennstoff zu der Brennstoffseite unterbunden werden.

Im Rahmen der Erfindung kann dabei unter einem „kritischen Zustand“ insbesondere ein Auftreten von Bauteilversagen, Leckagen, Temperaturen, Drücken oder Reaktionsprodukten außerhalb der Betriebsgrenzen des Brennstoffzellensystems verstanden werden.

Somit wird es möglich, das Brennstoffzellensystem in einen sicheren Betriebsbereich zu versetzen, wenn in dem Brennstoffzellensystem Umstände eintreten, die potentiell gefährliche Konsequenzen für die Anlage und/oder Menschen führen können. Derart kann die Sicherheit beim Betrieb des Brennstoffzellensystems weiter erhöht werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann das Brennstoffzellensystem ferner eine Überprüfung-Betriebssituation aufweisen. Eine Überprüfung-Betriebssituation kann einer Sonder-Betriebssituation und/oder einer Normalbetrieb-Betriebssituation vorangehen. Eine Überprüfung-Betriebssituation kann erfasst werden, wenn eine Prozessaufforderung zum Überprüfen der Funktionsfähigkeit des Brennstoffzellenstapels erfolgt. In einer Überprüfung-Betriebssituation können Ist-Betriebsparameter des Brennstoffzellenstapels, bevorzugt wenigstens dessen Ist-Temperatur und/oder dessen darin auftretender Ist-Druck, bezüglich Operationsgrenzen verglichen werden.

Somit ist es möglich, das Brennstoffzellensystem in regelmäßigen Zeitabschnitten und insbesondere vor Inbetriebnahme bezüglich Funktionsfähigkeit und Zustand zu überprüfen. Derart kann die Sicherheit beim Betrieb des Brennstoffzellensystems weiter erhöht werden.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Computerprogrammprodukt mit Befehlen, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das zuvor beschriebene Verfahren auszuführen.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Kontrollvorrichtung zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems. Das Brennstoffzellensystem weist wenigstens einen Brennstoffzellenstapel mit einer Luftseite und einer Brennstoffseite auf, und wenigstens einen elektrischen Heizer zum Kontrollieren der Lufttemperatur von Luft, welche dem Brennstoffzellensystem über einen Lufteinlassabschnitt zuführbar ist. Das Brennstoffzellensystem weist ferner verschiedene Betriebssituationen auf. Die

Kontrollvorrichtung weist ein Erfassungsmodul zum Erfassen einer Betriebssituation des Brennstoffzellensystems auf. Dabei ist das Erfassungsmodul dazu eingerichtet, eine Betriebssituation als Sonder-Betriebssituation zu erfassen, wenn die erfasste Betriebssituation von einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems zur elektrischen Leistungsabgabe abweicht. Ferner weist die Kontrollvorrichtung ein Situationskontrollmodul zum Kontrollieren des Brennstoffzellensystems in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation auf. Dabei ist das Situationskontrollmodul dazu eingerichtet ist, für die erfasste Sonder-Betriebssituation die Lufttemperatur mittels des wenigstens einen elektrischen Heizers zu kontrollieren. Ferner ist das Situationskontrollmodul dazu eingerichtet ist, für die erfasste Sonder-Betriebssituation wenigstens einen Strömungspfad der elektrisch geheizten Luft in dem Brennstoffzellensystem in Abhängigkeit von der erfassten Sonder-Betriebssituation zu kontrollieren.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem. Das Brennstoffzellensystem weist wenigstens einen Brennstoffzellenstapel mit einer Luftseite und einer Brennstoffseite aufweisen. Ferner weist das Brennstoffzellensystem wenigstens einen elektrischen Heizer zum Kontrollieren der Lufttemperatur von Luft, welche dem Brennstoffzellensystem über einen Lufteinlassabschnitt zuführbar ist, auf. Zudem weist das Brennstoffzellensystem verschiedene Betriebssituationen auf. Die Betriebssituationen umfassen wenigstens eine mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation und wenigstens eine Sonder-Betriebssituation, die von einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems zur elektrischen Leistungsabgabe abweicht. Das Brennstoffzellensystem weist zudem die zuvor beschriebene Kontrollvorrichtung auf. Das Brennstoffzellensystem kann bspw. ein SOFC- oder SOEC-Brennstoffzellensystem sein.

Mit den zuvor genannten Computerprogrammprodukt, Brennstoffzellensystem und Kontrollvorrichtung können jeweils sämtliche Vorteile erreicht werden, die für das erfindungsgemäße Verfahren bereits erläutert wurden.

Nachfolgend sind zur Unterscheidung von Komponenten oder Elementen gleicher Art oder gleichen Typs voneinander, wie beispielsweise von Wärmetauschern, Absperrorganen, Teilpfaden oder Bypasspfaden, Komponenten oder Elemente gleicher Art oder gleichen Typs durchnummeriert und werden als erste Komponente,

zweite Komponente, usw. bezeichnet, also beispielsweise erster Wärmetauscher, zweiter Wärmetauscher usw. Diese Bezeichnung anhand der Nummerierung dient allein dazu, Komponenten oder Elemente gleicher Art oder gleichen Typs zu unterscheiden, und beschränkt daher nicht deren Beschaffenheit.

Die hierin erwähnten Verbindungen sind fluidführende, wie 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 strömungsbeeinflussende Vorrichtungen angeordnet sein, wie 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.

Absperrorgane dienen zumindest dazu, in den Verbindungen den Strom des jeweiligen, darin strömenden Fluids, insbesondere Gases, anzuhalten oder durchzulassen. Auch ein Kontrollieren der Durchflussmenge ist je nach Ausführungstyp des eingesetzten Absperrorgans möglich. Hierzu können die Absperrorgane entsprechend eine Kontrollelektronik und Sensorik aufweisen. Das Absperrorgan kann unterschiedlich ausgeführt werden, beispielsweise als Ventil, Absperrschieber, Absperrhahn oder Absperrklappe.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung. In der Beschreibung werden Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Figuren beschrieben. Es zeigen schematisch:

Fig. 1 eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 eine Ausführungsform des Brennstoffzellensystems gemäß der Erfindung und eine Ausführungsform der Kontrollvorrichtung gemäß der Erfindung,

- Fig. 3 eine weitere Ausführungsform des Brennstoffzellensystems gemäß der Erfindung und dessen erfindungsgemäßer Betrieb in einer Überprüfung-Betriebssituation,
- Fig. 4 das Brennstoffzellensystem aus Figur 3 bei einem erfindungsgemäßen Betrieb in einer ersten Aufwärm- und in einer vierten Abkühl-Betriebssituation,
- Fig. 5 das Brennstoffzellensystem aus Figur 3 bei einem Betrieb in einer zweiten Aufwärm-Betriebssituation gemäß der Erfindung,
- Fig. 6 das Brennstoffzellensystem aus Figur 3 bei einem Betrieb in einer dritten Aufwärm-Betriebssituation gemäß der Erfindung,
- Fig. 7 das Brennstoffzellensystem aus Figur 3 bei einem Betrieb in einer vierten Aufwärm-Betriebssituation gemäß der Erfindung,
- Fig. 8 das Brennstoffzellensystem aus Figur 3 bei einem Betrieb in einer Normalbetrieb-Betriebssituation,
- Fig. 9 das Brennstoffzellensystem aus Figur 3 bei einem Betrieb in einer ersten Abkühl-Betriebssituation gemäß der Erfindung,
- Fig. 10 das Brennstoffzellensystem aus Figur 3 bei einem Betrieb in einer zweiten Abkühl-Betriebssituation gemäß der Erfindung, und
- Fig. 11 das Brennstoffzellensystem aus Figur 3 bei einem Betrieb in einer dritten Abkühl-Betriebssituation gemäß der Erfindung.

Die Figuren zeigen unterschiedliche Aspekte und Ausführungsformen der Erfindung.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren 1000 zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems, das verschiedene Betriebssituationen aufweist. Das in den Figuren 2 bis 11 dargestellte Brennstoffzellensystem 10 kann beispielsweise mit dem Verfahren 1000 betrieben werden. Betriebssituation können in einem ersten Annäherungsschritt veranschaulicht werden als Situationen, die für einen Normalbetrieb, Ruhebetrieb oder bei Betriebs-Übergängen vorliegen können.

In dem Verfahren 1000 wird eine Betriebssituation des Brennstoffzellensystems 10 zunächst erfasst und darauf basierend das Brennstoffzellensystem 10 kontrolliert. Figur 1 zeigt exemplarisch Betriebssituationen, die von dem Verfahren 1000 erfasst und kontrolliert werden.

In dem Verfahren 1000 wird eine Betriebssituation des Brennstoffzellensystems 10 als Sonder-Betriebssituation erfasst, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems 10 zur elektrischen Leistungsabgabe. Hierzu weist das Brennstoffzellensystem 10 wenigstens einen Brennstoffzellenstapel 100 mit einer Luftseite 110 und einer Brennstoffseite 130 auf. In Abhängigkeit von der erfassten Sonder-Betriebssituation wird dann die Temperatur und der Verlauf eines Strömungspfad von Luft, welche dem Brennstoffzellensystem 10 über einen Lufteinlassabschnitt 2101 zuführbar ist, mittels wenigstens eines elektrischen Heizers 223, 243 kontrolliert. Diese Ausgestaltung des Verfahrens 1000 kann insbesondere den Figuren 4 bis 7 und 9 bis 11 entnommen werden, in denen eine Kontrolle des Brennstoffzellensystems 10 für Sonder-Betriebssituationen gezeigt wird. Figur 8 hingegen zeigt eine Kontrolle für einen Normalbetrieb.

Nachfolgend wird das Verfahren 1000 anhand des beispielhaften Betriebszyklus aus Figur 1 für das Brennstoffzellensystems 10 aus den Figuren 2 und 3 beschrieben. Der beispielhaft beschriebene Betriebszyklus umfasst dabei einen Start aus einem kalten Standby-Modus (BS80), von dem aus das Brennstoffzellensystem 10 zunächst aufgeheizt wird (BS201 bis BS204; Figuren 4 bis 7), einen aktiven Betrieb (BS350; Figur 8) und die Rückkehr zu dem kalten Standby-Modus, für die das Brennstoffzellensystem 10 wieder heruntergekühlt werden muss (Figuren 9 bis 11).

Figur 4 zeigt beispielhaft Schritte des Verfahrens 1000, wenn eine Sonderbetriebssituation in Form einer ersten Aufwärm-Betriebssituation BS201 erfasst wird. Diese kann auftreten, wenn beispielsweise im kalten Standby-Modus eine Prozessaufforderung zum Aufheizen erhalten wird. In der ersten Aufwärm-Betriebssituation BS201 soll bevorzugt ein in dem Brennstoffzellensystem 10 vorgesehener Katalysator 511 aufgeheizt werden. Hierzu wird Luft aus dem Lufteinlassabschnitt 2101 mit einem sekundären elektrischen Heizer 243 aufgeheizt. Bevorzugt kann die Luft hierzu zunächst durch einen Luftfilter 210 geführt und durch einen Luftbläser 211 transportiert werden. Um mit der erhitzten Luft den Katalysator

511 aufzuheizen, wird ein Strömungspfad der erhitzten Luft von dem sekundären Heizer 243 zu dem Katalysator 511 geleitet. Hierzu können beispielsweise Verbindungsstellen 241, 246, 512 und Absperrorgane entlang des Strömungspfades entsprechend kontrolliert werden. Der Katalysator 511 wird in dieser Weise bis zu einer Katalysator-Starttemperatur aufgeheizt. Das Erreichen der Katalysator-Starttemperatur ermöglicht katalytisches Verbrennen von Brennstoffabgas. Figur 4 zeigt durch dicke Linienführung den Strömungsweg der Luft von dem Lufteinlassabschnitt 2101, über den die Luft in das Brennstoffzellensystem 10 eintritt, via dem Katalysator 511 entlang eines Abgasabfuhrpfades 3500 zu einem Abgasabfuhrabschnitt 3502, über den Abgas das Brennstoffzellensystem 10 verlässt. Bevorzugt kann ferner in der ersten Aufwärm-Betriebssituation BS201 ein weiterer primärer elektrischer Heizer 223 auf eine Heizertemperatur aufgeheizt werden.

Figur 5 zeigt beispielhaft Schritte des Verfahrens 1000, wenn eine Sonderbetriebssituation in Form einer zweiten Aufwärm-Betriebssituation BS202 erfasst wird. Die zweite Aufwärm-Betriebssituation BS202 tritt beispielsweise auf, wenn an dem Katalysator 511 zumindest die Katalysator-Starttemperatur erfasst wird. In der zweiten Aufwärm-Betriebssituation BS202 sollen bevorzugt Brennstoff-führende Leitungen aufgeheizt werden. Um einen wasserstoffreichen Brennstoff zu erzeugen, wird oftmals eine Mischung aus Dampf und Erdgas verwendet. Die Brennstoff-führende Leitungen müssen daher vor der Dampfzufuhr vorgewärmt werden, um jede Möglichkeit der Kondensation zu vermeiden. Ein Teil der hierzu benötigten Wärme kann von dem primären elektrischen Heizer 223 bereitgestellt werden. Ein Strömungspfad der so erhitzten Luft wird dabei von dem primären elektrischen Heizer 223 zu einem Luftzufuhrabschnitt 112 der Luftseite 110 gelenkt. Figur 5 zeigt den korrespondierenden Strömungspfad durch dicke Linienführung. Da der Katalysator 511 zur katalytischen Umwandlung in nicht-brennbare Gase bereit ist, kann das Heizgas über einen Heizgaszufuhrabschnitt 3101 in das Brennstoffzellensystem 10 eingeleitet werden. Das Heizgas kann durch eine Brennstoffleitung 3100 zu einem Brennstoffzufuhrabschnitt 131 der Brennstoffseite 130 geleitet werden. Hier kann das Heizgas Wärme von der erhitzten Luft aufnehmen. Das so erwärmte Heizgas kann den Brennstoffzellenstapel 100 über einen Brennstoffabgasabschnitt 132 wieder verlassen und mittels eines Rezirkulationsgebläses 311 durch eine Rezirkulationsleitung 3700 rezirkuliert werden. Entsprechend kann die Brennstoffleitung 3100 und die Rezirkulationsleitung 3700 auf eine Leitungs-Mindesttemperatur aufgewärmt werden.

Die Leitungs-Mindesttemperatur kann dabei eine Temperatur sein, ab der ein Kondensieren von Wasserdampf verhindert wird. Bevorzugt kann die Rezirkulationsleitung 3700 sich von einer Verzweigungsstelle 371 des Brennstoffabgasabfuhrpfads 3200 wegerstrecken und in einer Verbindungsstelle 317 der Brennstoffleitung 3100 münden.

Figur 6 zeigt beispielhaft Schritte des Verfahrens 1000, wenn eine Sonderbetriebssituation in Form einer dritten Aufwärm-Betriebssituation BS203 erfasst wird. Die dritte Aufwärm-Betriebssituation BS203 wird beispielsweise erfasst, wenn die Brennstoffleitung 3100 und die Rezirkulationsleitung 3700 wenigstens eine Leitungs-Mindesttemperatur aufweisen. In der dritten Aufwärm-Betriebssituation BS203 soll insbesondere ein Reformer 248, welcher zur Erzeugung von Brennstoff für den Brennstoffzellenstapel 100 vorgesehen ist, auf dessen Aktivierungstemperatur aufgeheizt werden. Die hierzu notwendige Wärme wird wenigstens teilweise von dem sekundären elektrischen Heizer 243 bereitgestellt. Figur 6 zeigt den korrespondierenden Strömungspfad durch dicke Linienführung. Ferner kann auch erhitzte Luft, welche die Luftseite 110 verlässt, Wärme bereitstellen. Die erhitzte Luft aus dem Brennstoffzellenstapel 100 kann beispielsweise Luft sein, die durch zweiten Luftleitungsabschnitt 230 geführt wird, in dem Luft-Wärmetauscher 235 vorgesehen ist. Der Luft-Wärmetauscher 235 kann Wärme aus dem Abgas des Katalysators 511 übertragen, welches aufgrund katalytischer Verbrennung heiß ist. Die so erhitzte Luft wird zu einem Eingang eines Reformer-Wärmetauschers 248 des Reformers 314 geführt. Bevorzugt wird die Luft ferner auch weiterhin dem Katalysator 511 zugeführt. Hierbei ist von Vorteil, dass der sekundäre elektrische Heizer 243 in Reihe sowohl mit dem Katalysator 511 als auch dem Reformer-Wärmetauscher 248 geschaltet ist. Verzweigungsstelle 246 kann hierbei den Luftstrom in zwei Ströme aufteilen. Die eigentliche Kontrolle des Aufheizvorgangs des Reformers 314 kann durch Kontrolle der Öffnung eines Kontrollventils 247 erfolgen. Die Öffnung des Kontrollventils 247 kann so die Aufheizrampe des Reformers 314 kontrollieren. Das Kontrollventil 247 kann dabei zwischen der Verzweigungsstelle 246 und dem Reformer-Wärmetauscher 248 angeordnet sein. Sobald der Reformer 314 die Aktivierungstemperatur (auch bezeichnet als: Reformer-Starttemperatur) aufweist, kann Wasserdampf zugeführt werden, um eine Kohlenstoffbildung (Carbonisierung) auf der katalytischen Oberfläche des Reformers 314 zu verhindern. Dies ist in Figur 6 durch geöffnete Pfeilspitzen angedeutet. Der Wasserdampf kann dabei in einem Dampferzeuger 330 erzeugt

werden. Der so erzeugte Dampf kann über eine Verbindungsstelle 331 in die Brennstoffleitung 3100 eingeleitet werden.

Figur 7 zeigt beispielhaft Schritte des Verfahrens 1000, wenn eine Sonderbetriebssituation in Form einer vierten Aufwärm-Betriebssituation BS204 erfasst wird. Die vierte Aufwärm-Betriebssituation BS204 tritt beispielsweise auf, wenn der Reformer 314 wenigstens die Reformer-Starttemperatur aufweist. In der vierten Aufwärm-Betriebssituation BS204 soll der Brennstoffzellenstapel 100 bis auf eine Stapel-Mindesttemperatur aufgeheizt werden. Die hierzu notwendige Wärme kann wenigstens teilweise von dem primären elektrischen Heizer 223 und/oder dem sekundären elektrischen Heizer 243 bereitgestellt werden. Die erhitzte Luft von dem primären Heizer 223 kann dem Brennstoffzellenstapel 100 über Luftzufuhrpfad 2100 direkt bereitgestellt werden. Figur 7 zeigt den korrespondierenden Strömungspfad durch dicke Linienführung. Ferner kann Wärmeenergie freigesetzt werden, indem in dem Reformer 314 Brennstoff aus Wasserdampf und Heizgas erzeugt wird und der so erzeugte Brennstoff wie auch die erhitzte Luft dem Brennstoffzellenstapel 100 zugeführt wird.

Figur 8 zeigt beispielhaft Schritte des Verfahrens 1000, wenn eine Normalbetrieb-Betriebssituation BS350, welche mit einem Normalbetrieb korrespondiert, erfasst wird. Dies kann beispielsweise eintreten, wenn der Brennstoffzellenstapel 100 wenigstens eine Stapel-Mindesttemperatur aufweist. Während eines Normalbetriebs wird dem Brennstoffzellenstapel 100 Luft und Brennstoff zugeführt, um daraus elektrischen Strom zu erzeugen. Bevorzugt werden keine elektrischen Heizer 223, 243 benötigt, um den Normalbetrieb am Laufen zu halten. Die notwendige Wärmeenergie kann beispielsweise allein mittels katalytischer Heizung durch den Katalysator 511 bereitgestellt werden. So kann die Wärme aus dem Katalysator-Abgasstrom der katalytischen Verbrennung in dem Katalysator 511 mittels des Luft-Wärmetauschers 235 an die zuzuführende Luft übertragen werden. An den zuzuführenden Brennstoff kann Wärme des Brennstoffabgases mittels zweier Brennstoff-Wärmetauscher 315, 316 übertragen werden. Der Brennstoff-Wärmetauscher 315 kann dabei in einem Abschnitt des Brennstoffabgasabfuhrpfads 3200 angeordnet sein. Der Brennstoff-Wärmetauscher 316 kann bevorzugt in einem Abschnitt des Rezirkulationsleitung 3700 angeordnet sein. Der erzeugte elektrische Strom kann über eine elektrische

Verbindung 611 mit einem Relay 614 zu einem Stromausgang 610 geführt werden. Figur 8 zeigt aktive Bauteile und Strömungspfade durch dicke Linienführung.

Figur 9 zeigt beispielhaft Schritte des Verfahrens 1000, wenn eine Sonderbetriebssituation in Form einer ersten Abkühl-Betriebssituation BS471 erfasst wird, in der das Brennstoffzellensystem 10 abzukühlen ist. Die erste Abkühl-Betriebssituation BS471 tritt beispielsweise auf, wenn eine Prozessaufforderung zum Herunterkühlen des Brennstoffzellensystems 10 ergeht. In der ersten Abkühl-Betriebssituation BS471 soll vornehmlich der Brennstoffzellenstapel 100 unter Einhaltung von Temperaturgradienten auf eine erste Stapel-Abkühltemperatur (bspw. 377°C) abgekühlt werden. Hierzu können die dem Brennstoffzellenstapel 100 zugeführte Luft und der Brennstoff verwendet werden. Beispielsweise kann die Durchflussmenge an Brennstoff kontrolliert werden, bis die erste Stapel-Abkühltemperatur erreicht ist. Die Temperatur des Brennstoffs und des Reformers 314 kann vornehmlich mittels des sekundären elektrischen Heizers 243 kontrolliert werden. Hierzu kann ein Strömungspfad der von dem sekundären Heizer 243 erhitzten Luft zu dem Reformer-Wärmetauscher 248 geführt werden. Figur 9 zeigt den korrespondierenden Strömungspfad durch dicke Linienführung. Ferner kann das sich zunehmend abkühlende Luftabgas aus dem Luftauslassabschnitt 115 von der Luftseite 110 zu dem Eingang des Reformer-Wärmetauschers 248 geführt werden. Die Temperatur des Reformers 314 kann dabei durch die Kontrolle des Kontrollventils 247 eingestellt werden.

Figur 10 zeigt beispielhaft Schritte des Verfahrens 1000, wenn eine Sonderbetriebssituation in Form einer zweiten Abkühl-Betriebssituation BS472 erfasst wird. Die zweite Abkühl-Betriebssituation BS472 tritt beispielsweise auf, wenn der Brennstoffzellenstapel 100 auf die erste Stapel-Abkühltemperatur heruntergekühlt ist. In der zweiten Abkühl-Betriebssituation BS472 soll der Reformer 314 unter seine Aktivierungstemperatur gekühlt werden. Hierzu wird die Lufttemperatur mittels des sekundären elektrischen Heizers 243 eingestellt und zu dem Katalysator 511 geleitet, um diesen oberhalb dessen Aktivierungstemperatur weiter betreiben zu können. Figur 10 zeigt den korrespondierenden Strömungspfad durch dicke Linienführung. Zugleich wird das bevorzugt in der ersten Abkühl-Betriebssituation BS471 geöffnete Kontrollventil 247 geschlossen, so dass der Reformer 314 durch das Heizgas und den Wasserdampf auf eine Reformer-Starttemperatur heruntergekühlt werden kann. Die

Dampfzufuhr wird dabei bevorzugt unterbrochen, sobald der Reformer 314 auf die Reformer-Starttemperatur gesunken ist, so dass keine Kohlenstoffbildung stattfinden kann.

Figur 11 zeigt beispielhaft Schritte des Verfahrens 1000, wenn eine Sonderbetriebssituation in Form einer dritten Abkühl-Betriebssituation BS473 erfasst wird. Die dritte Abkühl-Betriebssituation BS473 tritt beispielsweise auf, wenn eine Temperatur des Reformers 314 kleiner als die Reformer-Starttemperatur ist. In der dritten Abkühl-Betriebssituation BS473 soll der Brennstoffzellenstapel 100 weiter bevorzugt auf Raumtemperatur abgekühlt werden. Hierzu wird mittels des sekundären elektrischen Heizers 243 die Lufttemperatur auf wenigstens die Aktivierungstemperatur des Katalysators 511 eingestellt und ein entsprechender Strömungspfad der so erhitzten Luft zu dem Katalysator 511 gelenkt, um die katalytische Umsetzung in dem Katalysator 511 aufrechtzuerhalten. Figur 11 zeigt den korrespondierenden Strömungspfad durch dicke Linienführung. Der Brennstoffzellenstapel 100 wird durch Kontrolle der Durchflussmengen des Heizgases und der Luft hinsichtlich seiner Temperatur so lange kontrolliert, bis eine zweite Stapel-Abkühltemperatur (bevorzugt Raumtemperatur) von dem Brennstoffzellenstapel 100 eingenommen wird. Somit kann der Brennstoffzellenstapel 100 von der zugeführten Luft und dem Heizgas gekühlt werden.

Die bereits diskutierte Figur 4 zeigt beispielhaft auch Schritte des Verfahrens 1000, wenn eine Sonderbetriebssituation in Form einer vierten Abkühl-Betriebssituation BS474 erfasst wird. Die vierte Abkühl-Betriebssituation BS474 tritt beispielsweise auf, wenn der Brennstoffzellenstapel 100 eine Temperatur von höchstens der zweiten Stapel-Abkühltemperatur aufweist. In der vierten Abkühl-Betriebssituation BS474 soll nun auch der Katalysator 511 auf eine Temperatur unterhalb dessen Aktivierungstemperatur und insbesondere auf Raumtemperatur gebracht werden. Hierzu kann Wärme von dem sekundären elektrischen Heizer 243 bereitgestellt werden. Ein Strömungspfad der so erhitzten Luft wird zu dem Katalysator 511 geleitet. Figur 4 zeigt den korrespondierenden Strömungspfad durch dicke Linienführung. Zugleich wird dem Katalysator 511 weiter Heizgas zugeführt und in der Durchflussmenge kontrolliert, um den Katalysator 511 weiter abzukühlen.

Figur 1 zeigt weitere Betriebssituationen, die im Folgenden kurz beschrieben werden:

So kann beispielsweise zu Beginn des Verfahrens 1000 eine Überprüfung-Betriebssituation BS10 erfasst werden, wenn eine Prozessaufforderung zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Brennstoffzellensystems 10 erfolgt. Hierauf können Komponenten überprüft werden. Figur 3 kann beispielhaft zur Darstellung dieser Betriebssituation herangezogen werden.

Ferner kann das Brennstoffzellensystem 10 außerhalb von Diagnosezyklen auch eine Kalt-Standby-Betriebssituation BS80 aufweisen. Diese Betriebssituation wird beispielsweise erfasst, wenn keine Prozessaufforderung zum Aufheizen oder Betrieb vorliegt und das Brennstoffzellensystem 10 auf Raumtemperatur ist.

Eine Bereithalte-Betriebssituation BS330 kann auftreten, wenn das Brennstoffzellensystem 10 eine ausreichend hohe Temperatur aufweist und auf eine Aufforderung zum Übertreten in den Normalbetrieb gewartet wird. In dieser Betriebssituation soll vornehmlich der Zustand hinsichtlich Temperatur, Druck und Medienverteilung gehalten werden.

Eine Niedrigleistung-Betriebssituation BS340, BS360 kann jeweils unmittelbar vor oder nach dem Normalbetrieb auftreten. Hierbei kann die elektrische Abgabeleistung langsam hoch- oder heruntergefahren werden.

Um auf Fehlerfälle während des Betriebs reagieren zu können, kann in dem Verfahren 100 auch eine Sicherheitsabschalt-Betriebssituation BS500 erfasst werden. Je nach Fehlerfall kann eine erste kritische Betriebssituation BS501, eine zweite kritische Betriebssituation BS502 und eine dritte kritische Betriebssituation BS503 erfasst werden. In der ersten kritischen Betriebssituation BS501 kann beispielsweise abrupt der Betrieb unterbrochen und das Brennstoffzellensystem 10 in einen sicheren Zustand überführt werden. Die zweite kritischen Betriebssituation BS502 können insbesondere kritische Ereignisse, wie ein Stromausfall, während eines Volllast- oder Teillast-Betriebs behandelt werden. In der dritten kritischen Betriebssituation BS503 können insbesondere kritische Ereignisse, wie ein Stromausfall, während Aufheiz- oder Abkühlvorgängen behandelt werden.

Eine erfindungsgemäße Kontrollvorrichtung 20 mit einem Erfassungsmodul 21 und einem Situationskontrollmodul 22 wird beispielhaft in Figur 2 gezeigt. Die Kontrollvorrichtung 20 kann über eine Kontrollverbindung 23 mit dem

Brennstoffzellensystem 10 verbunden sein. Bevorzugt ist die Kontrollvorrichtung 20 zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens 1000 eingerichtet.

Figur 2 zeigt ferner Anschlüsse und Kopplungsstellen des Brennstoffzellensystems 10 mit externen Versorgungseinheiten. So kann beispielsweise eine Heizgasversorgung 9310 den Heizgaszuführabschnitt 3101 mit Heizgas, wie Erdgas oder Methan, versorgen. Eine Wasserversorgung 9330 kann einen Wasserzuführabschnitt 3301 des Brennstoffzellensystems 10 mit Wasser für die Wasserdampferzeugung versorgen. Aus der Umgebung 9500 kann das Brennstoffzellensystem 10 über den Lufteinlassabschnitt 2101 mit Luft versorgt werden. In die Umgebung 9500 kann über den Abgasabführabschnitt 3502 das Abgas aus dem Brennstoffzellensystem 10 ausgeleitet werden. Eine Kühlmittelversorgung 9800 kann Kühlmittel zur Kühlung des Abgases über einen Kühlmittelzuführabschnitt 801 zu dem Brennstoffzellensystem 10 leiten und aus diesem über einen Kühlmittelabführabschnitt 802 wieder herausleiten. Wie in Figur 3 beispielhaft gezeigt, wird ein Abgaskühler 350 von dem Kühlmittel gespeist.

Figur 2 zeigt weitere Einzelheiten eines beispielhaften erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems 10, welches die Kontrollvorrichtung 10 aufweist. Besonders hervorgehoben werden kann insbesondere, dass der sekundäre elektrische Heizer 243 durch die parallele Leitungsführung des Katalysators 511 und des Reformers-Wärmetauscher 248 beide Komponenten mit Wärme zeitgleich versorgen kann. Der Luftzuführpfad 2100 kann insbesondere vier Luftleitungsabschnitte 220, 230, 240, 250 aufweisen, welche jeweils ein Absperrorgan 222, 232, 242, 252 aufweisen. Der vierte Luftleitungsabschnitt 250 kann bevorzugt einen Wärmetauscher 253 aufweisen, um Wärme von dem Heizgas auf die Luft stromaufwärts der Luftseite 110 zu übertragen. Die so erwärmte Luft kann über eine Verbindungsstelle 236 stromaufwärts des Luftwärmetauschers 235 in den zweiten Luftleitungsabschnitt 230 eingeleitet werden. Der zweite Luftleitungsabschnitt 230 kann die Luftseite 110 direkt speisen. In dem Brennstoffzellensystem 10 können ferner statische Mischer 213, 312, 510 vorgesehen sein.

Die voranstehende Erläuterung der Ausführungsformen beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

Bezugszeichenliste

1000	Verfahren
BS10	Überprüfung-Betriebssituation
BS80	Kalt-Standby-Betriebssituation
BS201	erste Aufwärm-Betriebssituation
BS202	zweite Aufwärm-Betriebssituation
BS203	dritte Aufwärm-Betriebssituation
BS204	vierte Aufwärm-Betriebssituation
BS330	Bereithalte-Betriebssituation
BS340	Niedrigleistung-Betriebssituation
BS350	Normalbetrieb-Betriebssituation
BS360	Niedrigleistung-Betriebssituation
BS471	erste Abkühl-Betriebssituation
BS472	zweite Abkühl-Betriebssituation
BS473	dritte Abkühl-Betriebssituation
BS474	vierte Abkühl-Betriebssituation
BS500	Sicherheitsabschalt-Betriebssituation
BS501	erste kritische Betriebssituation
BS502	zweite kritische Betriebssituation
BS503	dritte kritische Betriebssituation
10	Brennstoffzellensystem
100	Brennstoffzellenstapel
110	Luftseite
112	Lufteinlassabschnitt
115	Luftauslassabschnitt
130	Brennstoffseite
131	Brennstoffzuführabschnitt
132	Brennstoffabgasabschnitt
210	Luftfilter
211	Luftbläser
213	statischer Luft-Mischer
214	weiterer Luft-Wärmetauscher
220	erste Luftleitungsabschnitt

222	Absperrorgan
223	primärer elektrischer Heizer
230	zweite Luftleitungsabschnitt
232	Absperrorgan
235	Luft-Wärmetauscher
236	Verbindungsstelle
237	Verbindungsstelle
240	dritte Luftleitungsabschnitt
241	Verbindungsstelle
242	Absperrorgan
243	sekundärer elektrischer Heizer
246	Verzweigungsstelle
247	Kontrollventil
248	Reformer-Wärmetauscher
249	Verbindungsstelle
250	vierte Luftleitungsabschnitt
252	Absperrorgan
253	weiterer Luft-Wärmetauscher
311	Rezirkulationsgebläse
312	statischer Brennstoff-Mischer
314	Reformer
315, 316	Brennstoff-Wärmetauscher
317	Verbindungsstelle
330	Dampferzeuger
331	Verbindungsstelle
350	Abgaskühler
371	Verzweigungsstelle
510	statischer Abgas-Mischer
511	Katalysator
512	Verbindungsstelle
610	Stromausgang
611	elektrische Verbindung
614	Relay
801	Kühlmittelzuführabschnitt

802	Kühlmittelabführabschnitt
2100	Luftzuführpfad
2101	Lufteinlassabschnitt
3101	Heizgaszuführabschnitt
3200	Brennstoffabgasabführpfad
3301	Wasserzuführabschnitt
3500	Abgasabführpfad
3502	Abgasabführabschnitt
3700	Rezirkulationsleitung
9310	Heizgasversorgung
9330	Wasserversorgung
9500	Umgebung
9800	Kühlmittelversorgung
20	Kontrollvorrichtung
21	Erfassungsmodul
22	Situationskontrollmodul
23	Kontrollverbindung

Patentansprüche

1. Verfahren (1000) zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10), welches wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (100) mit einer Luftseite (110) und einer Brennstoffseite (130), sowie verschiedene Betriebssituationen aufweist, aufweisend die Schritte:

- Erfassen einer Betriebssituation des Brennstoffzellensystems (10);
- Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation;

gekennzeichnet durch die Schritte:

- Erfassen einer Betriebssituation des Brennstoffzellensystems (10) als Sonder-Betriebssituation, wenn die erfasste Betriebssituation abweicht von einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems (10) zur elektrischen Leistungsabgabe; und
- Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die erfasste Sonder-Betriebssituation, aufweisend die Schritte:
 - o Kontrollieren einer Lufttemperatur von Luft, welche dem Brennstoffzellensystem (10) über einen Lufteinlassabschnitt (2101) zuführbar ist, mittels wenigstens eines elektrischen Heizers (223, 243), und
 - o Kontrollieren eines Verlaufs wenigstens eines Strömungspfad der elektrisch geheizten Luft in dem Brennstoffzellensystem (10) in Abhängigkeit von der erfassten Sonder-Betriebssituation.

2. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 1, **gekennzeichnet durch**

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb vorangehenden ersten Aufwärm-Betriebssituation (BS201), wenn eine Prozessaufforderung zum Aufwärmen des Brennstoffzellensystems (10) erfolgt;
- Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die erste Aufwärm-Betriebssituation (BS201), aufweisend die Schritte:

- bevorzugt Aufheizen eines primären elektrischen Heizers (223) auf eine Heizertemperatur.
 - Kontrollieren der Lufttemperatur wenigstens mittels eines primären elektrischen Heizers (223) bevorzugt gemäß einer Katalysator-Aufwärmkurve; und
 - Kontrollieren eines Strömungspfadest der von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft, bevorzugt wenigstens bis der Katalysator (511) eine Katalysator-Starttemperatur aufweist.
3. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, **gekennzeichnet durch**
- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb vorangehenden zweiten Aufwärm-Betriebssituation (BS202) zum Aufwärmen des Brennstoffzellensystems (10), welche bevorzugt der ersten Aufwärm-Betriebssituation (BS201) folgt, wenn der Katalysator (511) zumindest eine Katalysator-Starttemperatur eines Katalysators des Brennstoffzellensystems (10) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas aufweist;
 - Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die zweite Aufwärm-Betriebssituation (BS202), aufweisend die Schritte:
 - Zuführen eines Heizgases, bevorzugt Methan, über eine Brennstoffleitung (3100) zu einem Brennstoffzuführabschnitt (131) der Brennstoffseite (130) zum Zuführen des Brennstoffs;
 - Rezirkulieren des Heizgases in einer Rezirkulationsleitung (3700) des Brennstoffzellensystems (10), welche sich zwischen einem Brennstoffabgasabschnitt (132) der Brennstoffseite (130) zum Abführen des Brennstoffabgases und einem Abschnitt der Brennstoffleitung (3100) stromaufwärts des Brennstoffzuführabschnitts (131) erstreckt;

- Kontrollieren der Lufttemperatur bevorzugt gemäß einer Brennstoffleitung-Aufwärmkurve wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243); und
- Kontrollieren eines Strömungspfad es der von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Luftzuführabschnitt (112) der Luftseite (110) verläuft, bevorzugt wenigstens bis die Rezirkulationsleitung (3700) und die Brennstoffleitung (3100) eine Leitungs-Mindesttemperatur aufweisen, wobei ferner bevorzugt die Leitungs-Mindesttemperatur wenigstens eine Wasserdampf-Kondensationstemperatur ist.

4. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb vorangehenden dritten Aufwärm-Betriebssituation (BS203) zum Aufwärmen des Brennstoffzellensystems (10), welche bevorzugt der zweiten Aufwärm-Betriebssituation (BS202) folgt, wenn eine Brennstoffleitung (3100) und eine Rezirkulationsleitung (3700) des Brennstoffzellensystems (10) wenigstens eine Leitungs-Mindesttemperatur aufweisen;
- Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die dritte Aufwärm-Betriebssituation (BS203), aufweisend die Schritte:
 - Kontrollieren der Lufttemperatur wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243);
 - Kontrollieren eines Strömungspfad es der von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Eingang eines Reformer-Wärmetauschers (248) eines Reformers (314) des Brennstoffzellensystems (10) zur Erzeugung von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoffs und bevorzugt zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft;
 - Kontrollieren der Temperatur des Reformers (314) auf eine Reformer-Starttemperatur, bevorzugt gemäß einer Reformer-

Aufwärmkurve, durch Kontrolle einer Durchflussmenge der erhitzten Luft durch den Reformer-Wärmetauscher (248) mittels eines Kontrollventils (247), welches entlang des Strömungspfad stromaufwärts des Eingangs des Reformer-Wärmetauschers (248) vorgesehen ist; und

- Zuführen von Wasserdampf zu dem Reformer (314) sobald der Reformer (314) die Reformer-Starttemperatur aufweist.

5. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb vorangehenden vierten Aufwärm-Betriebssituation (BS204) zum Aufwärmen des Brennstoffzellensystems (10), welche bevorzugt der dritten Aufwärm-Betriebssituation (BS203) folgt, wenn ein Reformer (314) des Brennstoffzellensystems (10) zur Erzeugung von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoff wenigstens eine Reformer-Starttemperatur aufweist;
- Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die vierte Aufwärm-Betriebssituation (BS204), aufweisend die Schritte:
 - Kontrollieren der Lufttemperatur mittels eines primären elektrischen Heizers (223) bis zum Erreichen einer Stapel-Mindesttemperatur des Brennstoffzellenstapels (100);
 - Kontrollieren eines Strömungspfad der von dem primären elektrischen Heizer (223) erhitzten Luft, so dass er zu der Luftseite (110) verläuft;
 - Zuführen von Wasserdampf und Heizgas zu dem Reformer (314), um den Brennstoff zu erzeugen; und
 - Zuführen von dem erzeugten Brennstoff und von erhitzter Luft zu dem Brennstoffzellenstapel (100).

6. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb vorangehenden Bereithalte-Betriebssituation (BS330), welche bevorzugt der vierten Aufwärm-Betriebssituation (BS204) folgt, wenn die Temperatur des Brennstoffzellenstapels (100) wenigstens eine Stapel-Mindesttemperatur aufweist;
- Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die Bereithalte-Betriebssituation (BS330), aufweisend die Schritte:
 - o Zuführen von Wasserdampf und Heizgas zu dem Reformer (314), um den Brennstoff zu erzeugen;
 - o Zuführen von dem erzeugten Brennstoff und von erhitzter Luft zu dem Brennstoffzellenstapel (100); und
 - o Kontrolle der Durchflussmenge der erhitzten Luft und des Brennstoffs zu dem Brennstoffzellenstapel (100) auf minimale Durchflussmengen, bei denen der Brennstoffzellenstapel (100) wenigstens die Stapel-Mindesttemperatur aufweist.

7. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer mit einem Normalbetrieb korrespondierender Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350), welche bevorzugt einer Bereithalte-Betriebssituation (BS330) folgt, wenn der Brennstoffzellenstapel (100) wenigstens eine Stapel-Mindesttemperatur aufweist; und
- Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350), aufweisend die Schritte:
 - o Zuführen von Luft und Brennstoff zu dem Brennstoffzellenstapel (100);
 - o Erzeugen von elektrischem Strom in dem Brennstoffzellenstapel (100) aus der zugeführten Luft und dem Brennstoff;

- bevorzugt Deaktivieren des wenigstens einen elektrischen Heizers (223, 243); und
 - Kontrollieren der Temperatur des Brennstoffzellenstapels (100) im Normalbetrieb mittels katalytischer Heizung, umfassend:
 - Zuführen von Luft von dem Lufteinlassabschnitt (112) und von Brennstoffabgas aus einem Brennstoffabgasabschnitt (132) der Brennstoffseite (130) zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10);
 - Übertragen von Wärme des Brennstoffabgases mittels zumindest eines Brennstoff-Wärmetauschers (315, 316) an den zuzuführenden Brennstoff;
 - katalytisches Verbrennen des Brennstoffabgases mittels des Katalysators (511); und
 - Übertragen von Wärme eines Katalysator-Abgasstroms der katalytischen Verbrennung in dem Katalysator (511) mittels zumindest eines Luft-Wärmetauschers (235) an die zuzuführende Luft.
8. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**
- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb unmittelbar vorangehenden oder folgenden Niedrigleistung-Betriebssituation (BS340, BS360), welche bevorzugt der Bereithaltung-Betriebssituation (BS330) oder der Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350) folgt, wenn eine Prozessaufforderung zur Erzeugung und Abgabe elektrischer Leistung erfolgt;
 - Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die Niedrigleistung-Betriebssituation (BS340, BS360), aufweisend die Schritte:
 - Zuführen von dem erzeugten Brennstoff und von erhitzter Luft zu dem Brennstoffzellenstapel (100);

- Erzeugen von elektrischem Strom in dem Brennstoffzellenstapel (100) aus der zugeführten Luft und dem Brennstoff; und
 - Kontrolle der Durchflussmenge der erhitzten Luft und des Brennstoffs zu dem Brennstoffzellenstapel (100) bevorzugt gemäß einer Stapelleistung-Abgabekurve.
9. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**
- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb folgenden ersten Abkühl-Betriebssituation (BS471) zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems (10), welche bevorzugt der Niedrigleistung-Betriebssituation (BS340, BS360) folgt, wenn eine Prozessaufforderung zum Herunterkühlen des Brennstoffzellensystems (10) erfolgt; und
 - Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die erste Abkühl-Betriebssituation (BS471), aufweisend:
 - Kontrollieren der Lufttemperatur bevorzugt gemäß einer Abkühlkurve wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243);
 - Kontrollieren eines Strömungspfadest der von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Eingang eines Reformer-Wärmetauschers (248) eines Reformers (314) des Brennstoffzellensystems (10) zur Erzeugung von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoff verläuft;
 - Zuführen von Luftabgas von der Luftseite (110) zu dem Eingang des Reformer-Wärmetauschers (248);
 - Kontrollieren der Temperatur des Reformers (314), bevorzugt gemäß einer Reformer-Abkühlkurve, durch Kontrolle einer Durchflussmenge des Gasgemisches aus der erhitzten Luft und dem Luftabgas durch den Reformer-Wärmetauscher (248) mittels eines Kontrollventils (247), welches entlang des Strömungspfadest stromaufwärts des Eingangs des Reformer-Wärmetauschers (248) vorgesehen ist; und

- Kontrollieren der Temperatur des Brennstoffzellenstapels (100) auf eine erste Stapel-Abkühltemperatur, bevorzugt gemäß einer Stapel-Abkühlkurve, durch Kontrolle einer Durchflussmenge von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoffs, bis die erste Stapel-Abkühltemperatur erreicht ist, wobei der Brennstoff bevorzugt in dem Reformer (314) des Brennstoffzellensystems (10) erzeugt wird.

10. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb folgenden zweiten Abkühl-Betriebssituation (BS472) zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems (10), welche bevorzugt der ersten Abkühl-Betriebssituation (BS471) folgt, wenn der Brennstoffzellenstapel (100) eine erste Stapel-Abkühltemperatur aufweist; und
- Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die zweite Abkühl-Betriebssituation (BS472), aufweisend:
 - Kontrollieren der Lufttemperatur bevorzugt gemäß einer Abkühlkurve wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243);
 - Kontrollieren eines Strömungspfades der von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft;
 - Kontrollieren einer Temperatur eines Reformers (314) des Brennstoffzellensystems (10) zur Erzeugung von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoffs auf eine Reformer-Starttemperatur durch Zuführen von Heizgas und Wasserdampf in den Reformer (314), bis der Reformer (314) eine Temperatur von höchstens der Reformer-Starttemperatur aufweist; und
 - Unterbinden des Zuführens von Wasserdampf an den Reformer (314), sobald der Reformer (314) eine Temperatur kleiner als die Reformer-Starttemperatur aufweist.

**11. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch**

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb folgenden dritten Abkühl-Betriebssituation (BS473) zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems (10), welche bevorzugt der zweiten Abkühl-Betriebssituation (BS472) folgt, wenn eine Temperatur eines Reformers (314) des Brennstoffzellensystems (10) zur Erzeugung von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoffs kleiner als eine Reformer-Starttemperatur ist; und
- Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die dritte Abkühl-Betriebssituation (BS473), aufweisend:
 - o Kontrollieren der Lufttemperatur auf eine Katalysator-Mindesttemperatur bevorzugt gemäß einer Abkühlkurve wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243);
 - o Kontrollieren eines Strömungspfad der von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft; und
 - o Kontrollieren der Temperatur des Brennstoffzellenstapels (100) auf eine zweite Stapel-Abkühltemperatur, bevorzugt gemäß einer Stapel-Abkühlkurve, durch Kontrolle von Durchflussmengen eines Heizgases, welches an einen Brennstoffzuführabschnitt (131) der Brennstoffseite (130) zuführbar ist, und der Luft, bis die zweite Stapel-Abkühltemperatur erreicht ist.

**12. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch**

- Erfassen einer Sonderbetriebssituation in Form einer dem Normalbetrieb folgenden vierten Abkühl-Betriebssituation (BS474) zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems (10), welche bevorzugt der dritten Abkühl-Betriebssituation (BS473) folgt, wenn der Brennstoffzellenstapel (100) eine

Temperatur von höchstens einer zweiten Stapel-Abkühltemperatur aufweist, bevorzugt von höchstens Raumtemperatur aufweist; und

- Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) für die vierte Abkühl-Betriebssituation (BS474), aufweisend:
 - o Kontrollieren der Lufttemperatur auf eine Katalysator (511)-Ruhetemperatur bevorzugt gemäß einer Abkühlkurve wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243);
 - o Kontrollieren eines Strömungspfadest, der von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft; und
 - o Kontrollieren der Temperatur des Katalysators auf die Katalysator-Ruhetemperatur, bevorzugt gemäß einer Katalysator-Abkühlkurve, durch Kontrolle von Durchflussmengen eines Heizgases, welches an einen Brennstoffzuführabschnitt (131) der Brennstoffseite (130) zuführbar ist, und der Luft, bis die zweite Stapel-Abkühltemperatur erreicht ist.
- 13.** Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, ein Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 12 auszuführen.
- 14.** Kontrollvorrichtung (20) zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10) mit wenigstens einem Brennstoffzellenstapel (100), welcher eine Luftseite (110) und eine Brennstoffseite (130) aufweist, und mit wenigstens einem elektrischen Heizer (223, 243) zum Kontrollieren der Lufttemperatur von Luft, welche dem Brennstoffzellensystem (10) über einen Lufteinlassabschnitt (112) zuführbar ist, wobei das Brennstoffzellensystem (10) verschiedene Betriebssituationen aufweist,

gekennzeichnet durch

- ein Erfassungsmodul (21) zum Erfassen einer Betriebssituation des Brennstoffzellensystems (10), wobei das Erfassungsmodul (21) dazu eingerichtet ist, eine Betriebssituation als Sonder-Betriebssituation zu

erfassen, wenn die erfasste Betriebssituation von einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems (10) zur elektrischen Leistungsabgabe abweicht; und

- ein Situationskontrollmodul (22) zum Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in Abhängigkeit von der erfassten Betriebssituation,

wobei das Situationskontrollmodul (22) für die erfasste Sonder-Betriebssituation dazu eingerichtet ist, die Lufttemperatur mittels des wenigstens einen elektrischen Heizers (223, 243) zu kontrollieren, und

wobei das Situationskontrollmodul (22) ferner für die erfasste Sonder-Betriebssituation dazu eingerichtet ist, wenigstens einen Strömungspfad der elektrisch geheizten Luft in dem Brennstoffzellensystem (10) in Abhängigkeit von der erfassten Sonder-Betriebssituation in seinem Verlauf zu kontrollieren.

15. Brennstoffzellensystem (10), bevorzugt ein SOFC-Brennstoffzellensystem, aufweisend:

- wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (100), welcher eine Luftseite (110) und eine Brennstoffseite (130) aufweist,
- wenigstens einen elektrischen Heizer (223, 243) zum Kontrollieren der Lufttemperatur von Luft, welche dem Brennstoffzellensystem (10) über einen Lufteinlassabschnitt (112) zuführbar ist, und
- verschiedene Betriebssituationen, aufweisend wenigstens eine mit einem Normalbetrieb korrespondierende Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350), und wenigstens eine Sonder-Betriebssituation, welche von einem Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems (10) zur elektrischen Leistungsabgabe abweicht,

gekennzeichnet durch

- eine Kontrollvorrichtung (20) gemäß Anspruch 14.

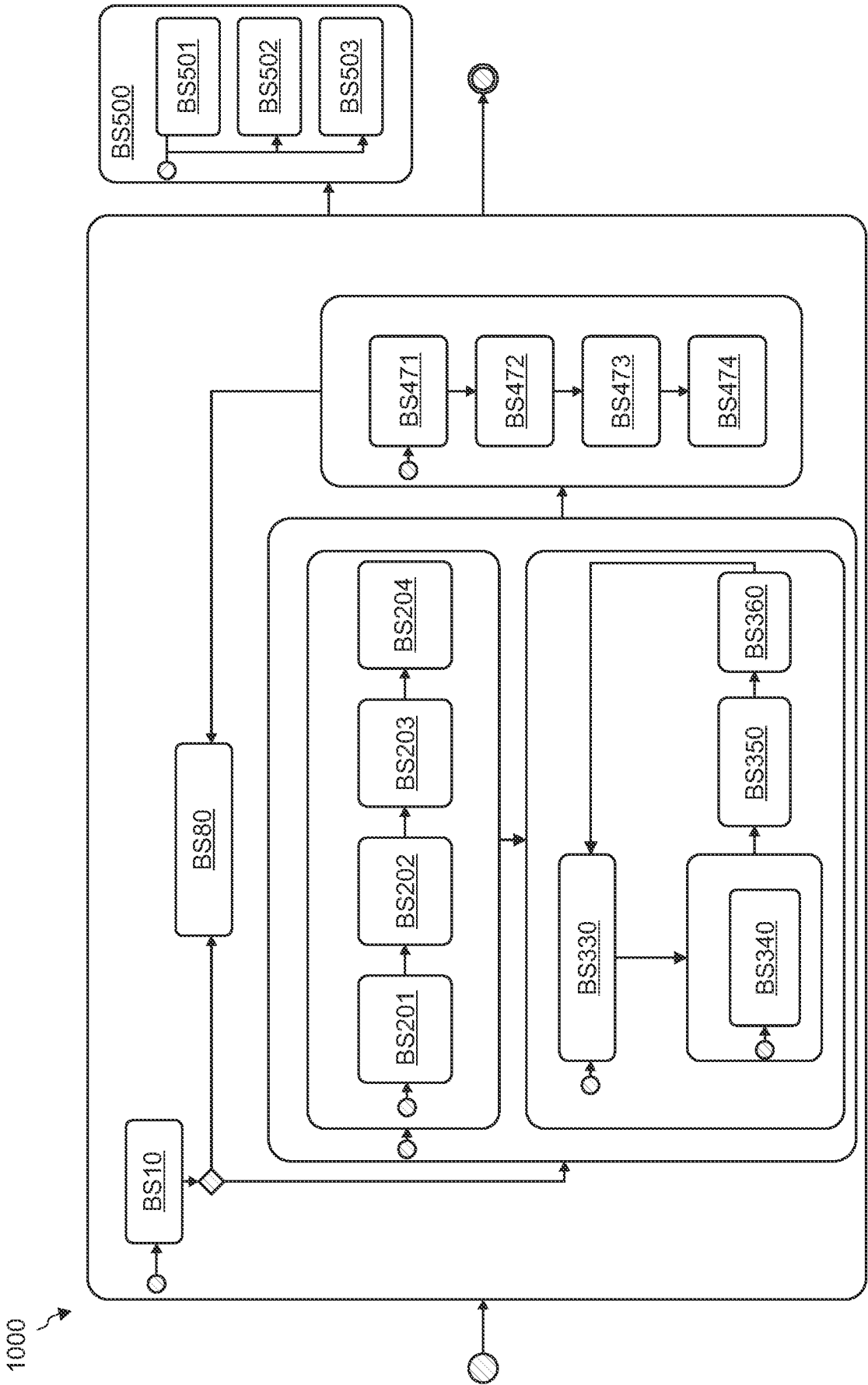


Fig. 1

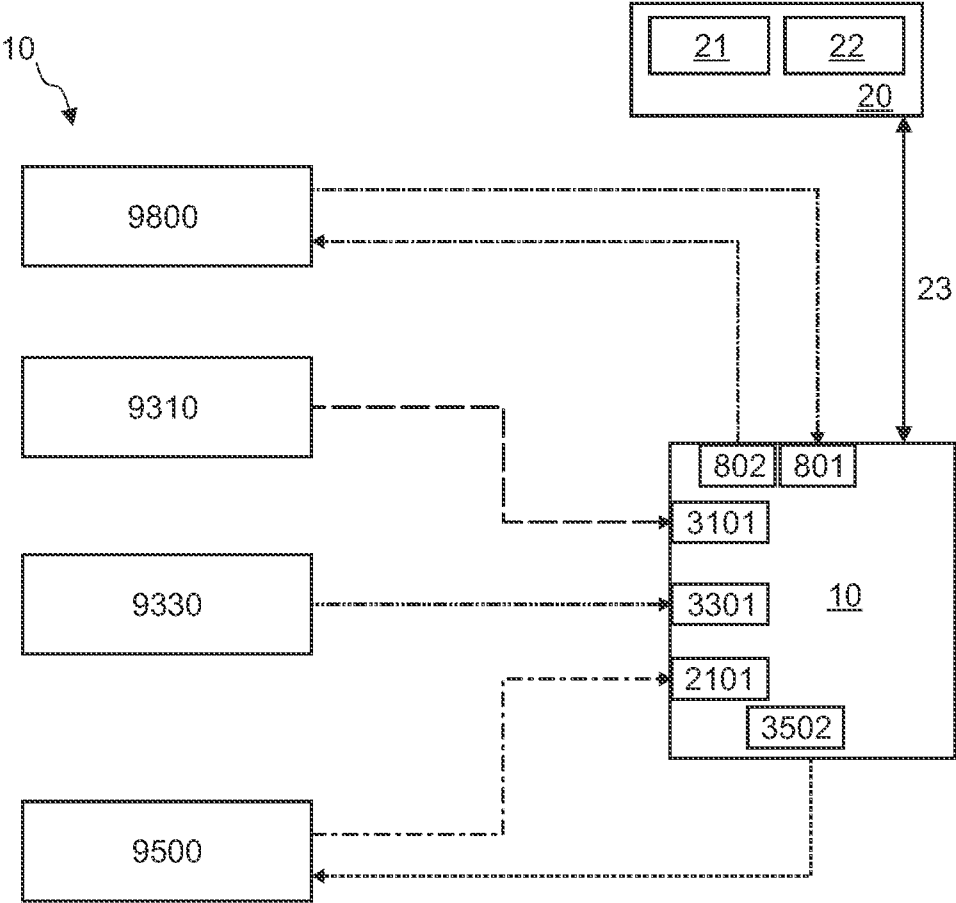
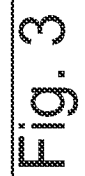


Fig. 2



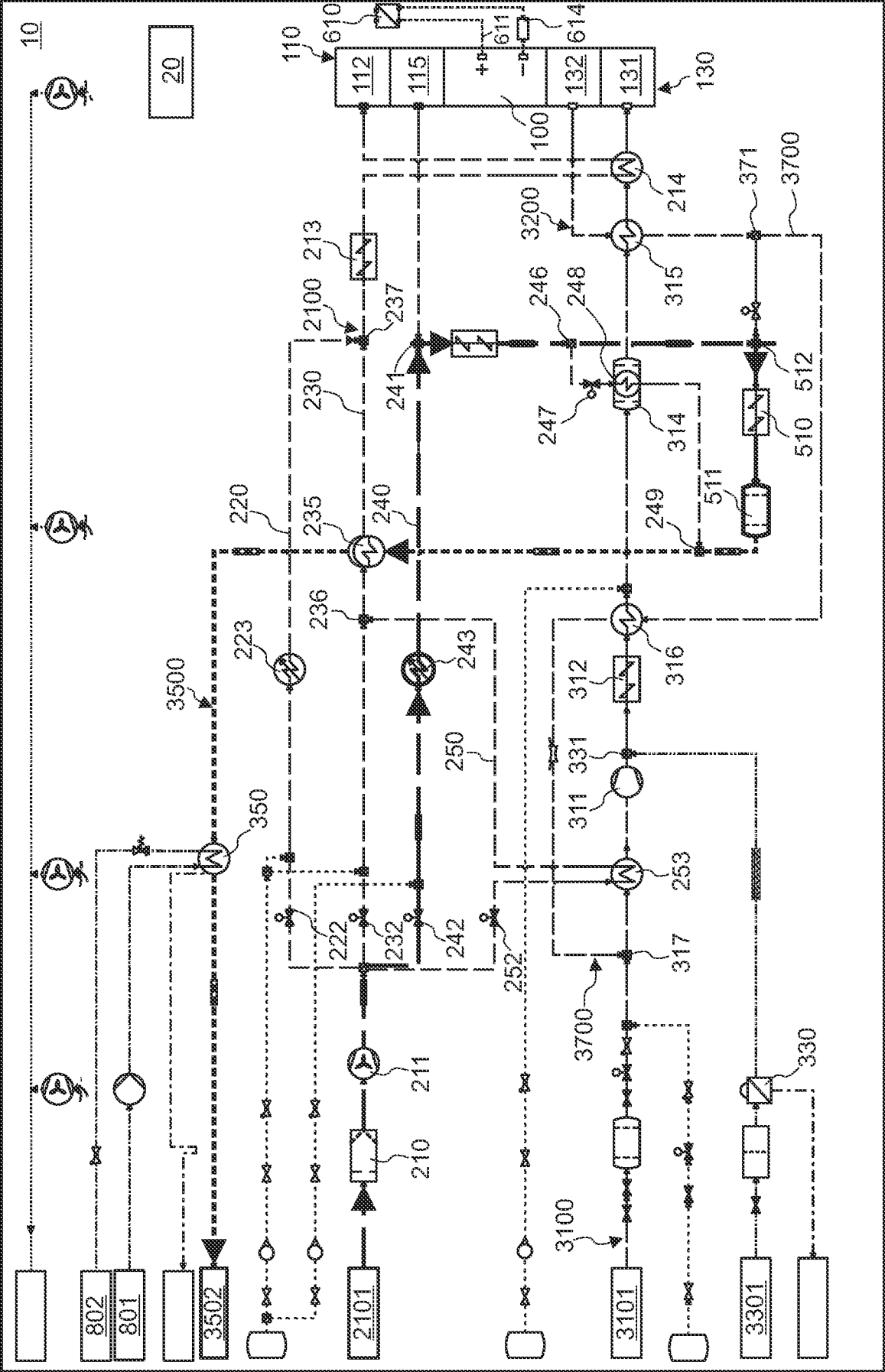


Fig. 4

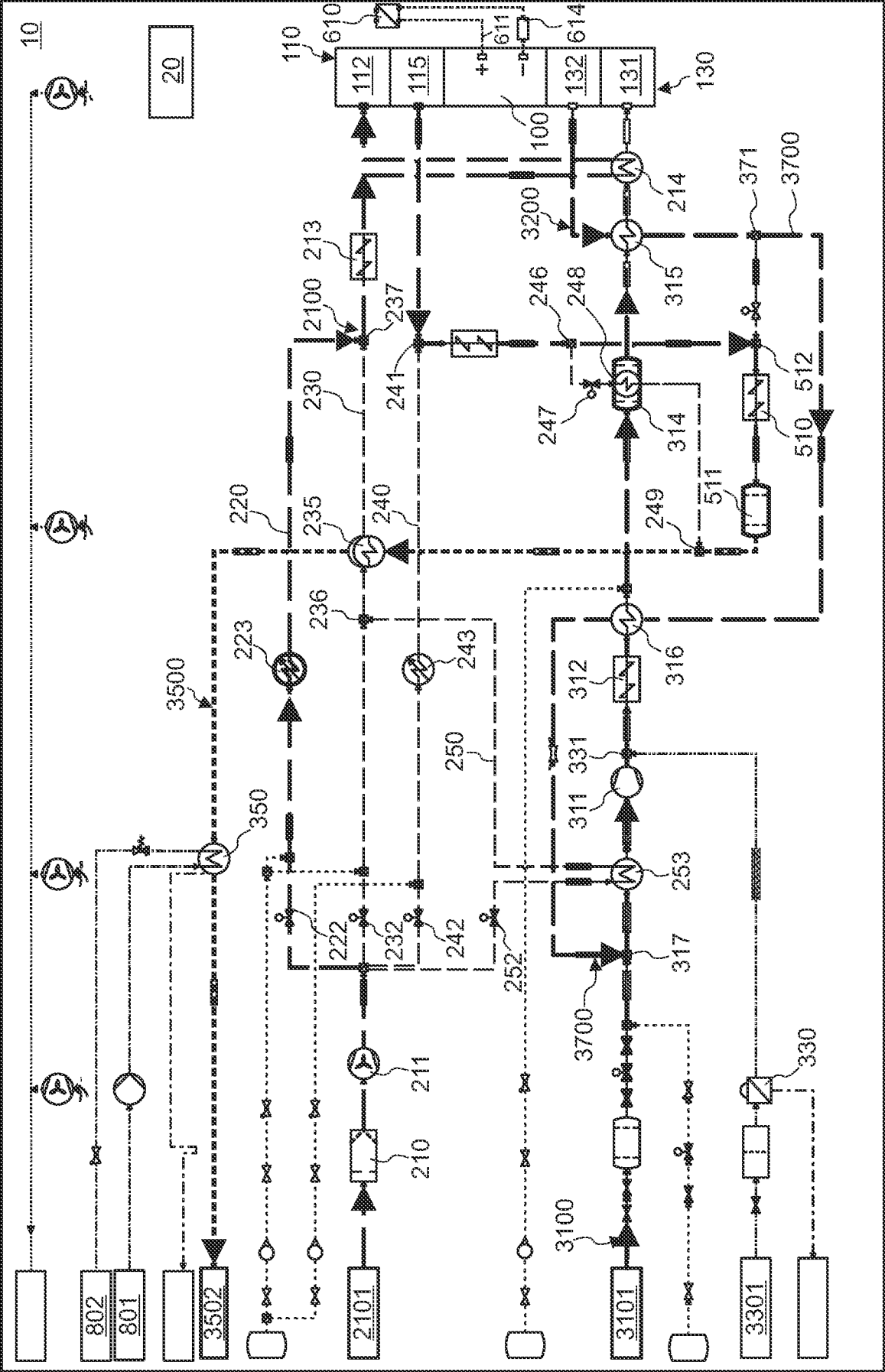


Fig. 5

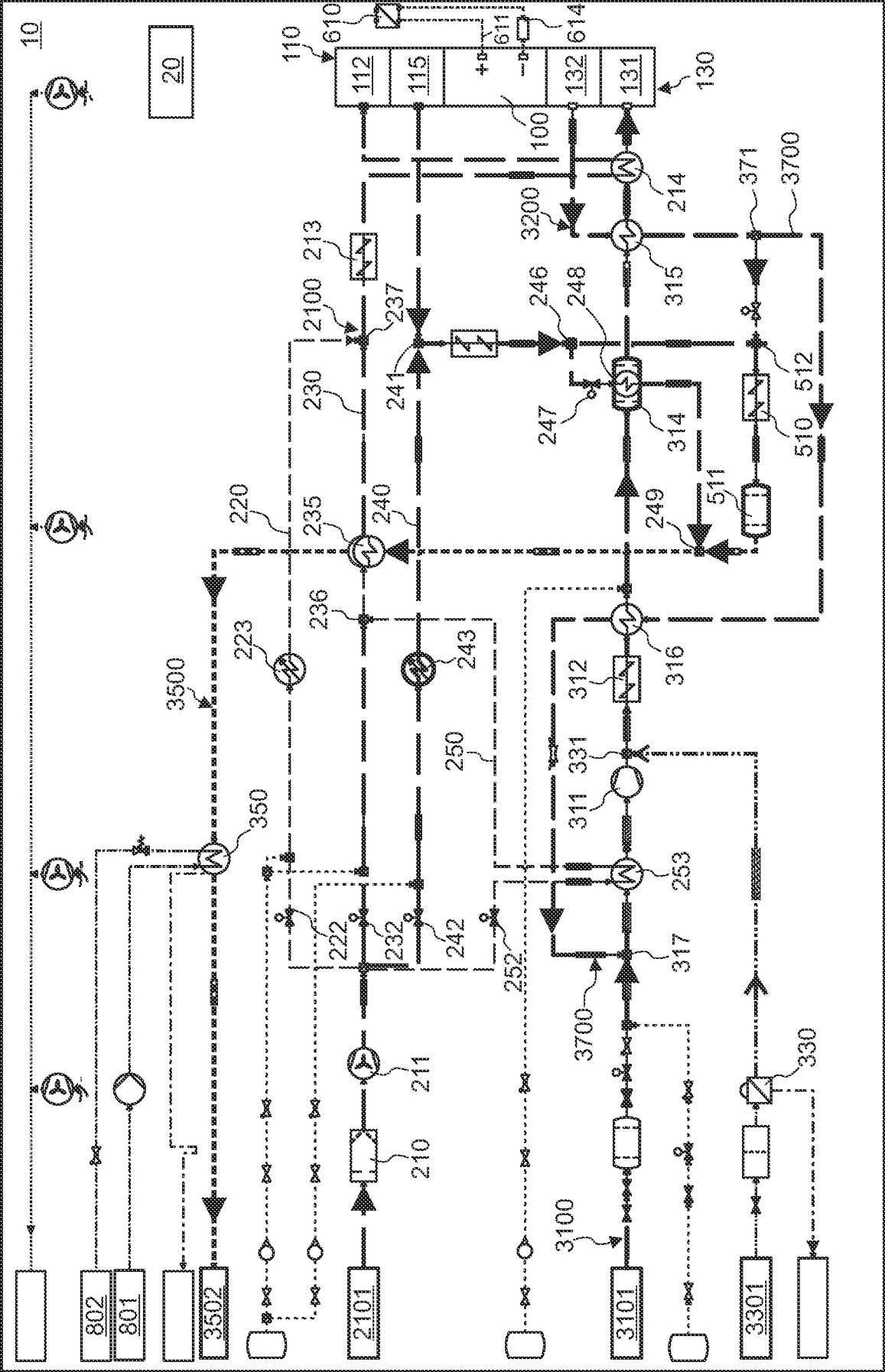


Fig. 6

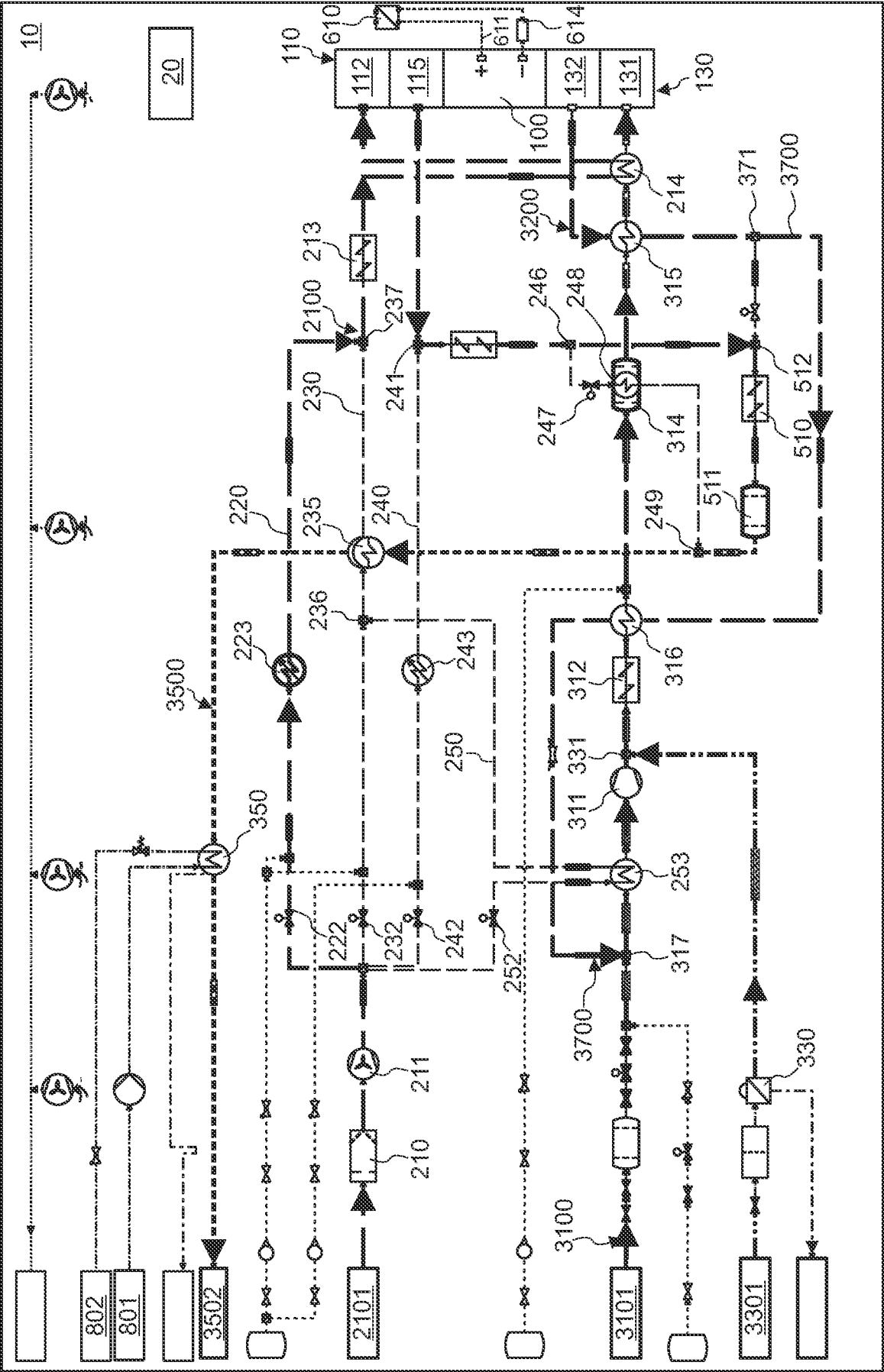


Fig. 7



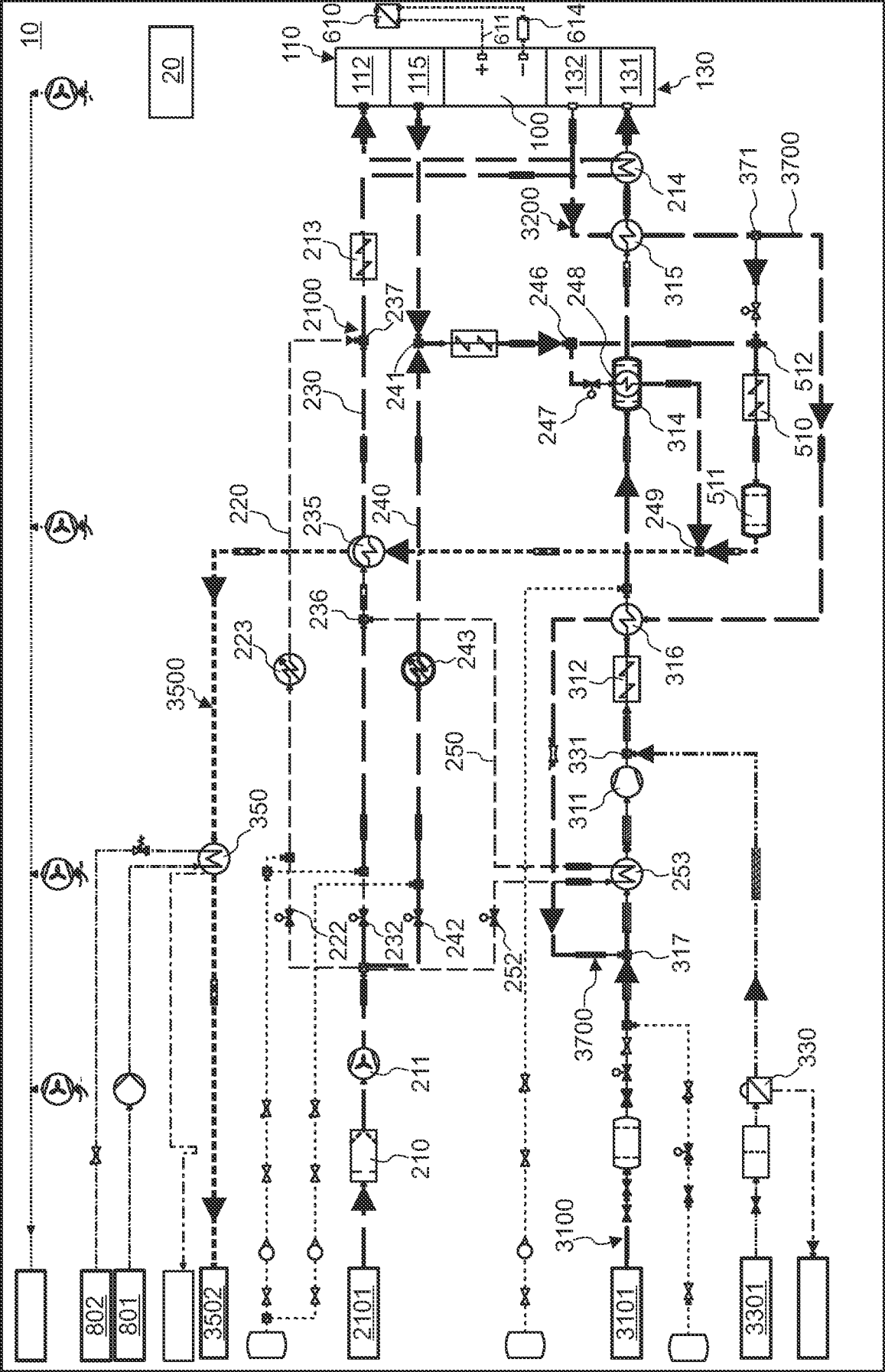


Fig. 9

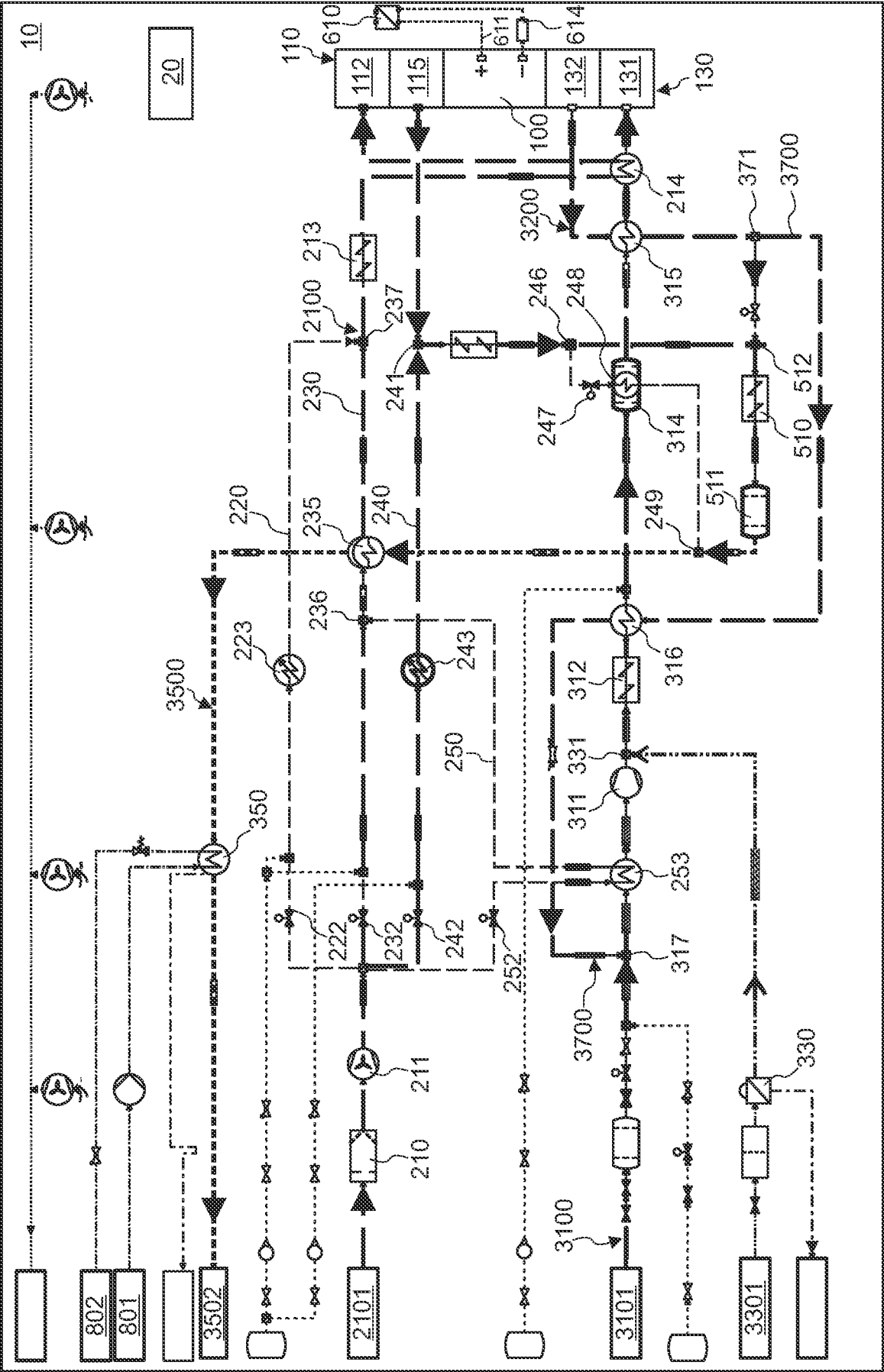


Fig. 10

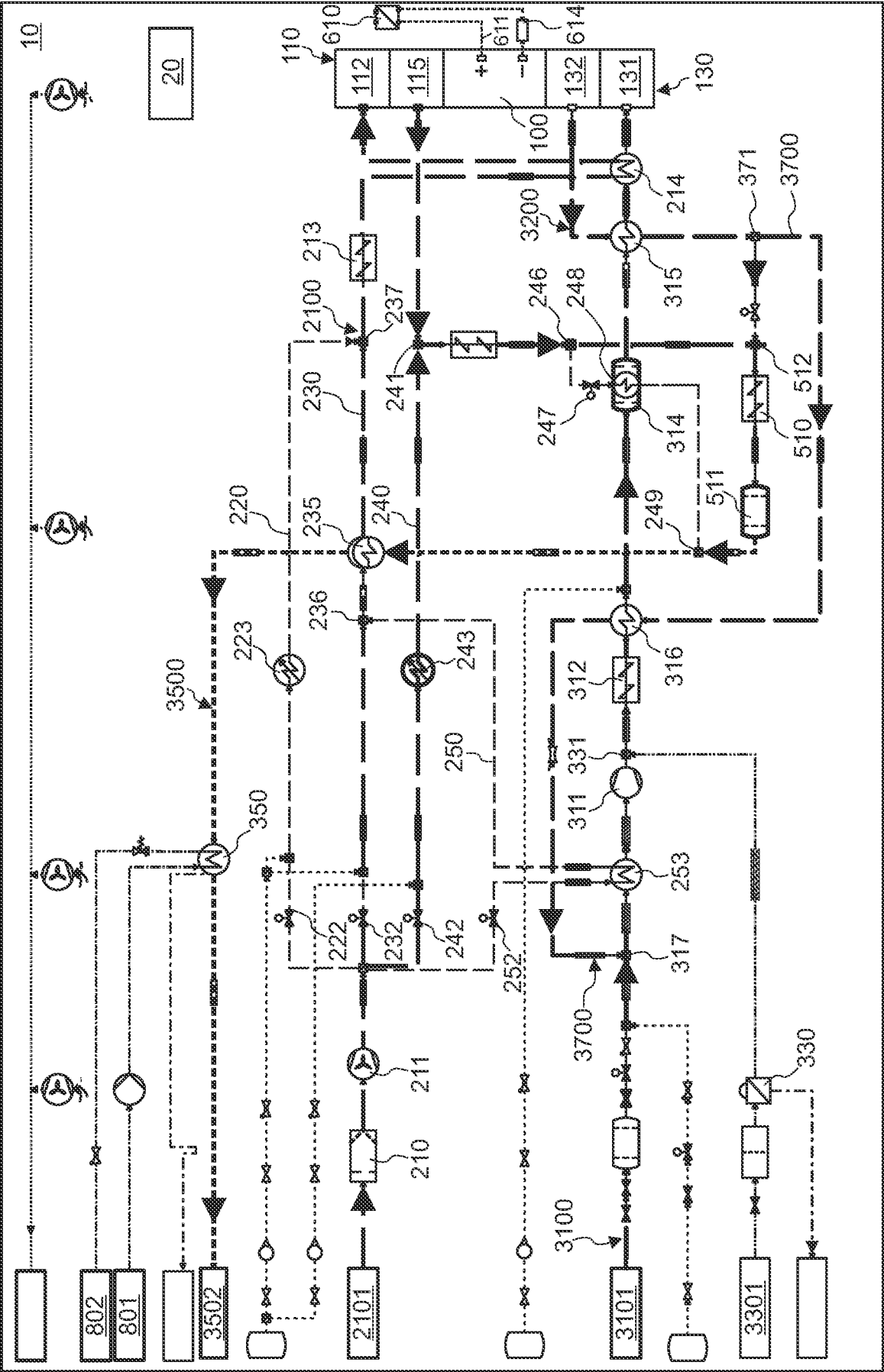


Fig. 11

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

H01M 8/04228 (2016.01); **H01M 8/04225** (2016.01); **H01M 8/04302** (2016.01); **H01M 8/04303** (2016.01); **H01M 8/04014** (2016.01); **H01M 8/04007** (2016.01); **H01M 8/12** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

H01M 8/04228 (2016.02); **H01M 8/04225** (2022.02); **H01M 8/04302** (2016.02); **H01M 8/04303** (2016.02); **H01M 8/04022** (2016.02); **H01M 8/04037** (2016.02); **H01M 2008/1293** (2022.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

H01M

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC, WPI, Volltextpatentdatenbanken, Nichtpatentliteratur, KIME

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 27.11.2024 eingereichten Ansprüchen 1-10 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	EP 3633778 A1 (MICO LTD [KR]) 08. April 2020 (08.04.2020) gesamtes Dokument	1-10
A	WO 2021119715 A1 (AVL LIST GMBH [AT]) 24. Juni 2021 (24.06.2021) gesamtes Dokument	1-10
A	US 2023238552 A1 (WANG HONGGANG [US], BENJAMIN MICHAEL ANTHONY [US], HONG SEUNG-HYUCK [US], HART RICHARD L [US]) 27. Juli 2023 (27.07.2023) gesamtes Dokument	1-10
Datum der Beendigung der Recherche: 06.02.2025		
Seite 1 von 1		Prüfer(in): PLESSL Christof

^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung von Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand 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. Verfahren (1000) zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (10), welches wenigstens einen Brennstoffzellenstapel (100) mit einer Luftseite (110) und einer Brennstoffseite (130), sowie verschiedene Betriebssituationen aufweist, welche wenigstens eine Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350) für einen Normalbetrieb des Brennstoffzellensystems (10) zur elektrischen Leistungsabgabe und Sonderbetriebssituationen für Übergangszustände vor und/oder nach dem Normalbetrieb aufweisen und welche ferner so definiert sind, dass das Brennstoffzellensystem (10) zu einem Zeitpunkt stets nur eine Betriebssituation aufweist, aufweisend die Schritte:
 - Erfassen einer der Betriebssituationen des Brennstoffzellensystems (10), wobei als eine der Sonderbetriebssituationen eine dem Normalbetrieb vorangehende zweite Aufwärm-Betriebssituation (BS202) zum Aufheizen von Brennstoffleitungen erfasst wird, wenn ein in dem Brennstoffzellensystem (10) angeordneter Katalysator (511) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas zumindest eine Katalysator-Starttemperatur aufweist; und
 - Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in Abhängigkeit von der jeweils erfassten Betriebssituation, wobei das Kontrollieren in der zweiten Aufwärm-Betriebssituation (BS202) aufweist:
 - o Kontrollieren einer Lufttemperatur von Luft, welche dem Brennstoffzellensystem (10) über einen Lufteinlassabschnitt (2101) zuführbar ist, mittels eines primären elektrischen Heizers (223);
 - o Kontrollieren eines Strömungspfad des von dem primären Heizer (223) erhitzten Luft, so dass er zu einem Luftzuführabschnitt (112) der Luftseite (110) verläuft,
 - o Zuführen eines Heizgases über eine Brennstoffleitung (3100) zu einem Brennstoffzuführabschnitt (131) der Brennstoffseite (130) zum Zuführen des Brennstoffs, um dort Wärme von der erhitzten Luft aufzunehmen; und

- Rezirkulieren des Heizgases über eine Rezirkulationsleitung (3700) des Brennstoffzellensystems (10), welche sich zwischen einem Brennstoffabgasabschnitt (132) der Brennstoffseite (130) zum Abführen des Brennstoffabgases und einem Abschnitt der Brennstoffleitung (3100) stromaufwärts des Brennstoffzuführabschnitts (131) erstreckt;

wobei solange gemäß der zweiten Aufwärm-Betriebssituation (BS202) kontrolliert wird, bis die Rezirkulationsleitung (3700) und die Brennstoffleitung (3100) eine Leitungs-Mindesttemperatur aufweisen, welche wenigstens eine Wasserdampf-Kondensationstemperatur ist.

2. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch, dass**

- als eine weitere der Sonderbetriebssituationen eine dem Normalbetrieb und der zweiten Aufwärm-Betriebssituation (BS202) vorangehende erste Aufwärm-Betriebssituation (BS201) erfasst wird, wenn eine Prozessaufforderung zum Aufwärmen des Brennstoffzellensystems (10) erfolgt;
- ein Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in der ersten Aufwärm-Betriebssituation (BS201) aufweist:
 - Kontrollieren der Lufttemperatur wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243) bevorzugt gemäß einer Katalysator-Aufwärmkurve;
 - Kontrollieren eines Strömungspfad der von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft, bevorzugt wenigstens bis der Katalysator (511) eine Katalysator-Starttemperatur aufweist; und
 - bevorzugt ferner Aufheizen des primären elektrischen Heizers (223) auf eine Heizertemperatur.

3. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, dass

- als eine weitere der Sonderbetriebssituationen eine dem Normalbetrieb vorangehende dritte Aufwärm-Betriebssituation (BS203) erfasst wird, wenn eine Brennstoffleitung (3100) und eine Rezirkulationsleitung (3700) des Brennstoffzellensystems (10) wenigstens eine Leitungs-Mindesttemperatur aufweisen, wobei die dritte Aufwärm-Betriebssituation (BS203) auf die zweite Aufwärm-Betriebssituation (BS202) folgt;
- ein Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in der dritten Aufwärm-Betriebssituation (BS203) aufweist:
 - Kontrollieren der Lufttemperatur wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243);
 - Kontrollieren eines Strömungspfad der von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Eingang eines Reformer-Wärmetauschers (248) eines Reformers (314) des Brennstoffzellensystems (10) zur Erzeugung von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoffs und bevorzugt zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft;
 - Kontrollieren der Temperatur des Reformers (314) auf eine Reformer-Starttemperatur, bevorzugt gemäß einer Reformer-Aufwärmkurve, durch Kontrolle einer Durchflussmenge der erhitzten Luft durch den Reformer-Wärmetauscher (248) mittels eines Kontrollventils (247), welches entlang des Strömungspfad stromaufwärts des Eingangs des Reformer-Wärmetauschers (248) vorgesehen ist; und
 - Zuführen von Wasserdampf zu dem Reformer (314) sobald der Reformer (314) die Reformer-Starttemperatur aufweist.

4. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 3, gekennzeichnet dadurch, dass

- als eine weitere der Sonderbetriebssituationen eine dem Normalbetrieb vorangehende vierte Aufwärm-Betriebssituation (BS204) erfasst wird, wenn ein Reformer (314) des Brennstoffzellensystems (10) zur Erzeugung von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoff wenigstens eine Reformer-Starttemperatur aufweist, wobei die vierte Aufwärm-Betriebssituation (BS204) auf die dritte Aufwärm-Betriebssituation (BS203) folgt;
- ein Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in der vierten Aufwärm-Betriebssituation (BS204) die Schritte aufweist:
 - o Kontrollieren der Lufttemperatur mittels des primären elektrischen Heizers (223) bis zum Erreichen einer Stapel-Mindesttemperatur des Brennstoffzellenstapels (100);
 - o Kontrollieren eines Strömungspfad der von dem primären elektrischen Heizer (223) erhitzten Luft, so dass er zu der Luftseite (110) verläuft;
 - o Zuführen von Wasserdampf und Heizgas zu dem Reformer (314), um den Brennstoff zu erzeugen; und
 - o Zuführen von dem erzeugten Brennstoff und von erhitzter Luft zu dem Brennstoffzellenstapel (100).

5. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass

- die Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350) erfasst wird, wenn der Brennstoffzellenstapel (100) wenigstens eine Stapel-Mindesttemperatur aufweist; und
- ein Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in der Normalbetrieb-Betriebssituation (BS350) aufweist:
 - o Zuführen von Luft und Brennstoff zu dem Brennstoffzellenstapel (100);

- Erzeugen von elektrischem Strom in dem Brennstoffzellenstapel (100) aus der zugeführten Luft und dem Brennstoff;
- bevorzugt Deaktivieren wenigstens des primären elektrischen Heizers (223, 243); und
- Kontrollieren der Temperatur des Brennstoffzellenstapels (100) im Normalbetrieb mittels katalytischer Heizung, umfassend:
 - Zuführen von Luft von dem Lufteinlassabschnitt (112) und von Brennstoffabgas aus einem Brennstoffabgasabschnitt (132) der Brennstoffseite (130) zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10);
 - Übertragen von Wärme des Brennstoffabgases mittels zumindest eines Brennstoff-Wärmetauschers (315, 316) an den zuzuführenden Brennstoff;
 - katalytisches Verbrennen des Brennstoffabgases mittels des Katalysators (511); und
 - Übertragen von Wärme eines Katalysator-Abgasstroms der katalytischen Verbrennung in dem Katalysator (511) mittels zumindest eines Luft-Wärmetauschers (235) an die zuzuführende Luft.

6. Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,

gekennzeichnet dadurch, dass

- als eine weitere der Sonderbetriebssituationen eine dem Normalbetrieb folgende erste Abkühl-Betriebssituation (BS471) zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems (10) erfasst wird, wenn eine Prozessaufforderung zum Herunterkühlen des Brennstoffzellensystems (10) erfolgt; und
- ein Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in der ersten Abkühl-Betriebssituation (BS471) aufweist:

- Kontrollieren der Lufttemperatur bevorzugt gemäß einer Abkühlkurve wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243);
- Kontrollieren eines Strömungspfad es der von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Eingang eines Reformer-Wärmetauschers (248) eines Reformers (314) des Brennstoffzellensystems (10) zur Erzeugung von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoff verläuft;
- Zuführen von Luftabgas von der Luftseite (110) zu dem Eingang des Reformer-Wärmetauschers (248);
- Kontrollieren der Temperatur des Reformers (314), bevorzugt gemäß einer Reformer-Abkühlkurve, durch Kontrolle einer Durchflussmenge des Gasgemisches aus der erhitzten Luft und dem Luftabgas durch den Reformer-Wärmetauscher (248) mittels eines Kontrollventils (247), welches entlang des Strömungspfad es stromaufwärts des Eingangs des Reformer-Wärmetauschers (248) vorgesehen ist; und
- Kontrollieren der Temperatur des Brennstoffzellenstapels (100) auf eine erste Stapel-Abkühltemperatur, bevorzugt gemäß einer Stapel-Abkühlkurve, durch Kontrolle einer Durchflussmenge von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoffs, bis die erste Stapel-Abkühltemperatur erreicht ist, wobei der Brennstoff bevorzugt in dem Reformer (314) des Brennstoffzellensystems (10) erzeugt wird.

7. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 6, gekennzeichnet dadurch, dass

- als eine weitere der Sonderbetriebssituationen eine zweite Abkühl-Betriebssituation (BS472) zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems (10) erfasst wird, wenn der Brennstoffzellenstapel (100) eine erste Stapel-Abkühltemperatur aufweist, wobei die zweite Abkühl-Betriebssituation (BS472) der ersten Abkühl-Betriebssituation (BS471) folgt; und

- ein Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in der zweiten Abkühl-Betriebssituation (BS472) aufweist:
 - Kontrollieren der Lufttemperatur bevorzugt gemäß einer Abkühlkurve wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243);
 - Kontrollieren eines Strömungspfadest der von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft;
 - Kontrollieren einer Temperatur eines Reformers (314) des Brennstoffzellensystems (10) zur Erzeugung von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoffs auf eine Reformer-Starttemperatur durch Zuführen von Heizgas und Wasserdampf in den Reformer (314), bis der Reformer (314) eine Temperatur von höchstens der Reformer-Starttemperatur aufweist; und
 - Unterbinden des Zuführens von Wasserdampf an den Reformer (314), sobald der Reformer (314) eine Temperatur kleiner als die Reformer-Starttemperatur aufweist.

8. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 7, gekennzeichnet dadurch, dass

- als eine weitere der Sonderbetriebssituationen eine dritte Abkühl-Betriebssituation (BS473) zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems (10) erfasst wird, welche auf die zweite Abkühl-Betriebssituation (BS472) folgt, wenn eine Temperatur eines Reformers (314) des Brennstoffzellensystems (10) zur Erzeugung von der Brennstoffseite (130) zuzuführenden Brennstoffs kleiner als eine Reformer-Starttemperatur ist; und
- ein Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in der dritten Abkühl-Betriebssituation (BS473) aufweist:
 - Kontrollieren der Lufttemperatur auf eine Katalysator-Mindesttemperatur bevorzugt gemäß einer Abkühlkurve wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243);

- Kontrollieren eines Strömungspfad des von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft; und
- Kontrollieren der Temperatur des Brennstoffzellenstapels (100) auf eine zweite Stapel-Abkühltemperatur, bevorzugt gemäß einer Stapel-Abkühlkurve, durch Kontrolle von Durchflussmengen eines Heizgases, welches an einen Brennstoffzuführabschnitt (131) der Brennstoffseite (130) zuführbar ist, und der Luft, bis die zweite Stapel-Abkühltemperatur erreicht ist.

9. Verfahren (1000) gemäß Anspruch 8, gekennzeichnet dadurch, dass

- als eine weitere der Sonderbetriebssituationen eine vierte Abkühl-Betriebssituation (BS474) zur Abkühlung des Brennstoffzellensystems (10) erfasst wird, wenn der Brennstoffzellenstapel (100) eine Temperatur von höchstens einer zweiten Stapel-Abkühltemperatur aufweist, wobei die vierte Abkühl-Betriebssituation (BS474) auf die dritte Abkühl-Betriebssituation (BS473) folgt; und
- ein Kontrollieren des Brennstoffzellensystems (10) in der vierten Abkühl-Betriebssituation (BS474) aufweist:
 - Kontrollieren der Lufttemperatur auf eine Katalysator (511)-Ruhetemperatur bevorzugt gemäß einer Abkühlkurve wenigstens mittels eines sekundären elektrischen Heizers (243);
 - Kontrollieren eines Strömungspfad des von dem sekundären Heizer (243) erhitzten Luft, so dass er zu einem Katalysator (511) des Brennstoffzellensystems (10) zur katalytischen Verbrennung von Brennstoffabgas verläuft; und
 - Kontrollieren der Temperatur des Katalysators auf die Katalysator-Ruhetemperatur, bevorzugt gemäß einer Katalysator-Abkühlkurve, durch Kontrolle von Durchflussmengen eines Heizgases, welches an einen Brennstoffzuführabschnitt (131) der Brennstoffseite (130)

zuführbar ist, und der Luft, bis die zweite Stapel-Abkühltemperatur erreicht ist.

- 10.** Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, ein Verfahren (1000) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 9 auszuführen.