

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50464/2023 (51) Int. Cl.: **H01M 8/0432** (2016.01)
(22) Anmeldetag: 14.06.2023 **H01M 8/04701** (2016.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.09.2024 **H01M 8/04225** (2016.01)
H01M 8/12 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen: US 2017179508 A1 PEKSEN, M. "Safe heating-up of a full scale SOFC system using 3D multiphysics modelling optimisation" International Journal of Hydrogen Energy [online]. 4. Jänner 2018 (04.01.2018). Bd. 43, Nr. 1, Seiten 354–362. [ermittelt am 25. Jänner 2024]. <doi:10.1016/j.ijhydene.2017.11.026>. Ermittelt von < https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319917343161 >	(71) Patentanmelder: AVL List GmbH 8020 Graz (AT) (72) Erfinder: Gruber Christoph Dipl.-Ing. 8010 Graz (AT) Cappelli Samuele 8047 Graz (AT) (74) Vertreter: Gamper Bettina Dr.techn. 8020 Graz (AT)
---	---

(54) **Verfahren, Vorrichtung und System für eine Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren (10) für eine Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems (200). Das Kontrollverfahren (10) weist einen Schritt auf, in dem wenigstens ein Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) von wenigstens einer Komponente (201, 202, 203) des Brennstoffzellensystems (200) erfasst wird. Ferner wird in einem Schritt ein Komponenten-Temperaturgradient (KTG) zu dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) ermittelt. Der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient (KTG) wird mit einem Gradientensollwert (KGS) verglichen. In einem weiteren Schritt wird eine Heizleistung (HL) einer Heizvorrichtung (190) für das Aufheizen der Komponente (201, 202, 203) erhöht bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient (KTG) den Gradientensollwert (KGS) erreicht. Die Erfindung betrifft ferner eine Kontrollvorrichtung (100), welche zur Umsetzung des erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens (10) ausgebildet ist. Die Erfindung betrifft zudem ein Brennstoffzellensystem (200) mit der Kontrollvorrichtung (100).

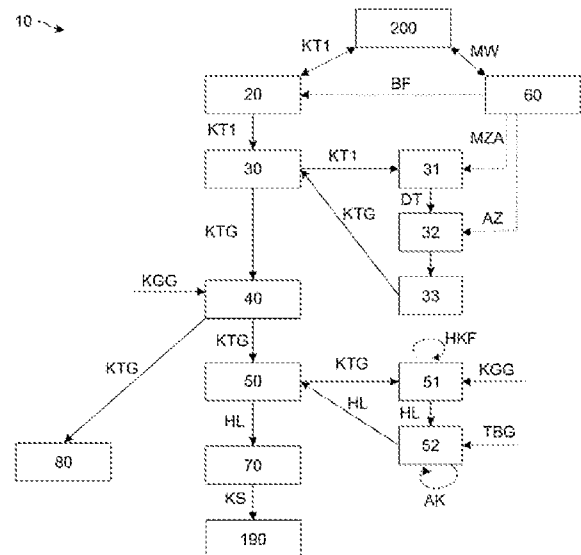


Fig. 1

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren (10) für eine Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems (200). Das Kontrollverfahren (10) weist einen Schritt auf, in dem wenigstens ein Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) von wenigstens einer Komponente (201, 202, 203) des Brennstoffzellensystems (200) erfasst wird. Ferner wird in einem Schritt ein Komponenten-Temperaturgradient (KTG) zu dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) ermittelt. Der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient (KTG) wird mit einem Gradientensollwert (KGS) verglichen. In einem weiteren Schritt wird eine Heizleistung (HL) einer Heizvorrichtung (190) für das Aufheizen der Komponente (201, 202, 203) erhöht bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient (KTG) den Gradientensollwert (KGS) erreicht. Die Erfindung betrifft ferner eine Kontrollvorrichtung (100), welche zur Umsetzung des erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens (10) ausgebildet ist. Die Erfindung betrifft zudem ein Brennstoffzellensystem (200) mit der Kontrollvorrichtung (100).

Fig. 1

Verfahren, Vorrichtung und System für eine Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems

Die Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren und eine Kontrollvorrichtung für eine Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems, in denen wenigstens ein Komponenten-Temperaturverlauf einer Komponente des Brennstoffzellensystems erfasst wird und eine Heizleistung einer Heizvorrichtung angepasst wird. Die Erfindung betrifft ferner ein Brennstoffzellensystem mit der vorgenannten Kontrollvorrichtung.

Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) und Festoxid-Elektrolyseurzellen (SOEC) werden bei relativ hohen Temperaturen betrieben. Die Betriebstemperaturen können dabei in einem Bereich von 600°C bis 1000°C liegen. Entsprechend sind die Bauteile derartiger Festoxid-Systeme für thermische Belastungen bei diesen Temperaturen ausgelegt. Zusätzliche technische Herausforderungen, die ebenfalls die thermische Belastung von Bauteilen betreffen, stellen sich beim Aufheizen von solchen Festoxid-Systemen. So sind einige der Bauteile in ihrer Aufheizgeschwindigkeit beschränkt. Die Bauteile weisen also eine Limitierung hinsichtlich der Zunahme ihrer Körpertemperatur innerhalb einer definierten Zeitspanne auf. Zu hohe Aufheizgeschwindigkeiten können zu Materialermüdung oder Beschädigung der Bauteile führen. Beispielsweise kann es zu ungleichmäßigen Dehnungen kommen, die zu Bruch oder Einschränkungen der Funktionweise der Bauteile führen können. Entsprechend ist für den Aufheizvorgang von Festoxid-Systemen eine geeignete Aufheizstrategie vorzusehen.

Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, die für den Aufheizvorgang notwendige Heizleistung kontinuierlich zu erhöhen. Die hierzu notwendige Parametrierung wird in Versuchen an dem Festoxid-System mit verschiedenen Aufheizkurven ermittelt. Für die Limitierung der Aufheizgeschwindigkeit wird üblicherweise das Bauteil mit der geringsten erlaubten Aufheizgeschwindigkeit gewählt und dessen Körpertemperatur während des Aufheizens beobachtet. Nach dem Ermitteln einer optimalen Aufheizkurve wird diese Aufheizkurve für die Steuerung zukünftiger Aufheizvorgänge abgespeichert und entsprechend wiederverwendet.

Ein Nachteil derartiger Lösungen ist, dass die Bauteile und ihre Materialien mit zunehmender Betriebsdauer Wärmeleit- und Wärmeaufnahmefähigkeiten sowie Wärmeverluste verändern können. Auch die Heizkomponenten können über die

Lebensdauer degradieren. Somit kann es dazu kommen, dass die zum Aufheizen bereitgestellte Wärme sich mit zunehmender Betriebsdauer in dem Festoxid-System anders verteilt als zu dem Zeitpunkt, an dem die optimale Aufheizkurve ermittelt wurde. Entsprechend kann ein sensibles Bauteil aufgrund der verminderten Wärmeaufnahme anderer Bauteile mit einer ungeeigneten, zu hohen Aufheizgeschwindigkeit aufgeheizt werden. Ähnliche Effekte können auftreten, wenn beispielsweise im Rahmen von Wartungsarbeiten Bauteile ersetzt oder ausgetauscht werden. Eine erneute Ermittlung einer optimalen Aufheizkurve ist aufgrund von Zeit- und Kostengründen oft nicht umsetzbar. Somit kann über die Betriebsdauer des Festoxid-Systems die Einhaltung von Limitierungen in der Aufheizgeschwindigkeit einzelner Bauteile nicht gewährleistet werden, was sich nachteilig auf Sicherheit und Lebensdauer sensibler Bauteile auswirken kann.

Ein weiterer Nachteil bekannter Lösungen ist, dass aus Sicherheitserwägungen oftmals eine Aufheizkurve mit einer bewusst niedrigen Aufheizgeschwindigkeit gewählt wird und damit langsamer als eigentlich notwendig aufgeheizt wird. Entsprechend ist die Effizienz des Aufheizens reduziert und der Aufheizvorgang verlängert sich unnötig.

Zudem gilt es auch zu berücksichtigen, dass der Heizleistungsbedarf zu Beginn eines Aufheizvorgangs oftmals höher als am Ende des Aufheizvorgangs sein kann. Ein rein kontinuierlich konstantes Erhöhen der Heizleistung kann daher nachteilhaft sein. Dies ist, da mit einer solchen Aufheizstrategie ab einem bestimmten Punkt im Ablauf des Heizvorgangs von Außen mehr Wärme zugeführt wird als zum Einhalten der Limitierung der Aufheizgeschwindigkeit vorgesehen wäre. Die Lage des genannten Punktes bestimmt sich aus dem Umfang des Wärmeeintrags, der von dem Festoxid-System aufgenommen wurde, und ist nicht genau bekannt.

Insbesondere kann die Lage des Punktes von Umweltfaktoren abhängen, die zum Beispiel beim Ermitteln der optimalen Aufheizkurve nicht vorlagen. Somit weisen die aus dem Stand der Technik bekannten Lösungen keine Flexibilität auf, auf prozessbedingte Änderungen in der Wärmeaufnahme durch Anpassen der Aufheizgeschwindigkeit zu reagieren.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist eine Aufgabe der Erfindung, einen Aufheizvorgang derart zu kontrollieren, dass ein Kompromiss aus

schnellem Aufheizen und Schutz der Bauteile eines Festoxid-Systems vor zu starkem Aufheizen und Schädigung erreicht werden kann.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Kontrollverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, durch eine Kontrollvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 13 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 Kontrollverfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung und/oder dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird und Bezug genommen werden kann.

Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems. Das Verfahren weist einen Schritt auf, in dem wenigstens ein Komponenten-Temperaturverlauf von wenigstens einer Komponente des Brennstoffzellensystems erfasst wird. Ferner wird ein Komponenten-Temperaturgradient zu dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf ermittelt. Der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient wird mit einem Gradientensollwert verglichen. In einem weiteren Schritt wird eine Heizleistung einer Heizvorrichtung für das Aufheizen der Komponente erhöht bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient den Gradientensollwert erreicht. Der Gradientensollwert entspricht insbesondere einem Gradientengrenzwert einer schwächsten Komponente des Brennstoffzellensystems. Somit kann der Gradientensollwert im Rahmen der Erfindung auch als Komponenten-Gradientensollwert bezeichnet werden.

Mit anderen Worten wird von der Erfindung ein Kontrollverfahren bereitgestellt, das eine Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems ermöglicht und umsetzt. Insbesondere ist es dadurch möglich, den Aufheizvorgang auch zu kontrollieren, wenn beispielsweise Systemparameter wie ein Luftmassenstrom sich ändert und/oder unterschiedliche Umgebungsbedingungen unterschiedliche Wärmeverluste verursachen.

Im Rahmen der Erfindung kann dabei ein Brennstoffzellensystem insbesondere als ein System aus Brennstoffzellen verstanden werden. Die Brennstoffzellen können bevorzugt als Elektrolyseureinheiten und/oder als Wandlereinheiten zur Umsetzung von Brennstoffen in elektrische Energie betrieben werden. Das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem kann insbesondere ein Hochtemperatur-Brennstoffzellensystem, ein Festoxid-Brennstoffzellensystem (SOFC) und/oder ein Festoxid-Elektrolyseurzellensystem (SOEC) sein.

Ein Aufheizvorgang kann im Rahmen der Erfindung insbesondere als ein zeitlicher Ablauf verstanden werden, bei dem das Brennstoffzellensystem allmählich durch einen definierten Wärmeeintrag erwärmt wird.

Ferner kann unter Kontrolle eines Aufheizvorgangs insbesondere ein Steuern und Regeln desselben verstanden werden. So kann beispielsweise ein Ablauf und eine Intensität des Aufheizvorgangs kontrolliert werden.

In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird wenigstens ein Komponenten-Temperaturverlauf wenigstens einer Komponente erfasst.

Unter Erfassen eines Komponenten-Temperaturverlaufs kann dabei insbesondere die Bereitstellung von Temperaturdaten verstanden werden, welche zu verschiedenen Zeitpunkten vorliegen. Jedoch ist es auch vorstellbar, dass beim Erfassen des Komponenten-Temperaturverlaufs solche Temperaturdaten direkt von einem Sensor abgegriffen werden.

Als eine Komponente des Brennstoffzellensystems kann insbesondere ein Bauteil oder ein funktionaler Bauteilabschnitt des Brennstoffzellensystems verstanden werden. So kann beispielsweise der Brennstoffzellenstapel selbst oder ein Bauteil, das für den Betrieb des Brennstoffzellensystems erforderlich ist, als Komponente verstanden werden. Die zuletzt genannten Bauteile werden oft unter dem Begriff Balance-of-Plant (BoP) zusammengefasst und können beispielsweise Reformer, Sensoren, Pumpen, Kompressoren, Gebläsevorrichtungen, Wärmetauscher oder Dichtungen sein.

Gemäß der Erfindung wird ein Komponenten-Temperaturgradient zu dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf ermittelt.

Unter einem Temperaturgradient kann im Rahmen der Erfindung insbesondere ein auf eine Zeiteinheit normierte Änderungsrate einer Temperatur verstanden werden. Unter einem Ermitteln kann dabei insbesondere ein Berechnen, Approximieren und/oder Schätzen des Temperaturgradienten verstanden werden.

Der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient wird mit einem Gradientensollwert verglichen. In einem weiteren Schritt wird eine Heizleistung einer Heizvorrichtung für das Aufheizen der Komponente erhöht bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient den Gradientensollwert erreicht.

Im Rahmen der Erfindung kann dabei unter einer Heizleistung insbesondere eine pro Zeiteinheit auftretende Wärmeenergie verstanden werden, welche an das Brennstoffzellensystem bereitzustellen ist.

Ferner kann im Rahmen der Erfindung ein Erreichen des Gradientensollwerts insbesondere als ein Annähern des Komponenten-Temperaturgradienten an den Gradientensollwert von unten verstanden werden. Hierbei kann der Gradientensollwert von dem Komponenten-Temperaturgradienten auch innerhalb eines Toleranzbereiches unterschritten oder überschritten werden. Überschreitungen des Gradientensollwert sind dabei bevorzugt lediglich nur temporär für relativ kurze Zeitdauern, beispielsweise einer Zeitdauer von bis zu 10 Sekunden, vorgesehen. Der Toleranzbereich kann beispielsweise durch eine beidseitig des Gradientensollwerts symmetrische Abweichung von 5%, 2%, 1% oder 0,5% des Gradientensollwerts festgelegt sein. Natürlich ist es auch vorstellbar, dass der Toleranzbereich asymmetrisch vorgesehen ist. So kann der Toleranzbereich für Grenzwert-Überschreitungen kleiner sein als für Grenzwert Unterschreitungen.

Somit wird es durch die Erfindung möglich, den Aufheizvorgang gradientenbasiert zu kontrollieren. Die Erfindung ermöglicht es damit, eine Kontrolle eines Aufheizvorgangs basierend auf einer nicht direkt messbaren Größe zu implementieren. Da eine momentane Aufheizgeschwindigkeit wenigstens einer Komponente mit dem Kontrollverfahren ermittelt wird, kann auch auf Änderungen des Brennstoffsystems hinsichtlich dessen Wärmeaufnahmeverhalten und/oder Wärmeverluste flexibel reagiert werden. Zugleich kann auf eine gewollt vorgenommene Reduzierung der Aufheizgeschwindigkeit, um die Integrität sensibler Komponenten abzusichern, verzichtet werden. Derart kann das Brennstoffzellensystem schnellstmöglich aufgeheizt werden. Dies ist einerseits, da

keine sicherheitsbedingte Reduzierung der Aufheizgeschwindigkeit erforderlich ist. Andererseits wird in dem Kontrollverfahren nur der tatsächliche Temperaturgradient beobachtet, so dass eine Erhöhung der Heizleistung bei Unterschreiten der Limitierung stets ermöglicht wird. Anders als mit den aus dem Stand der Technik bekannten Lösungen können folglich mit dem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren Limitierungen der Aufheizgeschwindigkeit einzelner Komponenten eingehalten werden, ohne die Aufheizgeschwindigkeit unnötig reduzieren zu müssen. Zudem kann eine Erhöhung des Automatisierungsgrades von Aufheizvorgängen eines Brennstoffzellensystems erreicht werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann die Heizleistung gemäß einer Heizkontrollfunktion, insbesondere gemäß eines definierten Heizgradienten erhöht werden. Bevorzugt kann die Heizleistung gemäß der Heizkontrollfunktion zwischen zwei Grenzwerten begrenzt sein. Alternativ oder zusätzlich kann die Heizleistung gemäß der Heizkontrollfunktion wenigstens teilweise monoton stetig und/oder monoton sprunghaft erhöht werden.

Somit kann die Erhöhung der Heizleistung genau und kontinuierlich eingestellt werden. Insbesondere kann eine Anpassung der Heizkontrollfunktion an die jeweilige Kontrollsituation erfolgen, so dass die Gefahr von Übersteuerungen verringert werden kann.

Die Heizkontrollfunktion kann insbesondere als eine Funktion zur Bestimmung der zu erhöhenden Heizleistung verstanden werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann die Heizkontrollfunktion einen Gradienten-PID-Regler aufweisen. Der Gradienten-PID-Regler kann dabei den ermittelten Komponenten-Temperaturgradienten und den Gradientensollwert als Eingangsparameter aufweisen.

Somit wird es in dem Verfahren möglich, für die Erhöhung der Heizleistung die Reaktion des Komponenten-Temperaturgradienten auf vergangene Erhöhungen der Heizleistung zu berücksichtigen, sowie Prognosen zu dem zukünftigen Verlauf des Komponenten-Temperaturgradienten miteinzubeziehen. Ferner erlaubt diese Ausgestaltung eine reaktive Erhöhung der Heizleistung.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann die Heizkontrollfunktion auf dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf wenigstens einer weiteren Komponente

des Brennstoffzellensystems als Eingangsparameter basieren. Dabei kann die Heizkontrollfunktion wenigstens einen Zusatz-PID-Regler aufweisen, um die Heizleistung in Abhängigkeit von dem weiteren erfassten Komponenten-Temperatur(verlauf) zu begrenzen. Bevorzugt kann die Heizleistung hierbei zusätzlich auch noch in Abhängigkeit von einem für die weitere Komponente spezifischen Temperaturgrenzwert von dem Zusatz-PID-Regler limitiert werden. Die Heizkontrollfunktion kann ferner ein Auswahlkriterium aufweisen, um zwischen der nach der Heizkontrollfunktion des Gradienten-PID-Reglers zu erhöhenden Heizleistung und der nach der Heizkontrollfunktion des Zusatz-PID-Reglers zu begrenzenden Heizleistung auszuwählen. Beispielsweise kann das Auswahlkriterium ein Minimum aus der zu erhöhenden Heizleistung gemäß der Heizkontrollfunktion des Gradienten-PID-Reglers und der zu begrenzenden Heizleistung gemäß des Temperaturgrenzwerts des Zusatz-PID-Reglers sein.

Somit kann eine Erhöhung der Heizleistung unter Berücksichtigung der Temperaturverläufe mehrerer Komponenten erfolgen. Ferner können auch lokale Unterschiede in dem Temperaturverhalten des Brennstoffzellensystems berücksichtigt werden. Mittels simultan mitlaufender PID-Regler kann sichergestellt werden, dass vor einer Erhöhung der Heizleistung überprüft wird, wie die Heizleistung zu erhöhen ist, ohne Komponenten des Brennstoffzellensystems durch zu rasches Aufheizen zu beschädigen. Mit dem Auswahlkriterium kann dem Benutzer die Möglichkeit gegeben werden, derartige Sicherheitsmechanismen in das Kontrollverfahren zu integrieren.

Alternativ oder zusätzlich kann das Auswahlkriterium auf einem Vergleich wenigstens einer der erfassten Komponenten-Temperaturverläufe mit einer Temperaturbereichsgrenze basieren. Die Heizleistung kann dabei nach der Heizkontrollfunktion des Gradienten-PID-Reglers für Temperaturen des entsprechenden der erfassten Komponenten-Temperaturverläufe innerhalb eines ersten Temperaturbereichs erhöht werden. Die Heizleistung kann gemäß der Heizkontrollfunktion des Zusatz-PID-Reglers für Temperaturen des entsprechenden der erfassten Komponenten-Temperaturverläufe innerhalb eines weiteren Temperaturbereichs begrenzt werden. Durch die Auswahl des Minimums wird sichergestellt, dass keiner der Grenzwerte/Sollwerte überschritten wird. Alternativ oder zusätzlich kann am Ende der Minimal-Auswahl noch eine Limitierung eingefügt

werden, um die heizende Komponente zu schützen. Die Limitierung kann der maximal zulässigen Heizleistung der heizenden Komponente in verschiedenen Betriebspunkten entsprechen.

Somit wird es möglich, die auf dem Komponenten-Temperaturgradient basierende Kontrolle für einen oder mehrere Temperaturbereiche vorzusehen. Derart kann beispielsweise ein Übergang von der Kontrolle eines Aufheizvorgangs zu der Temperaturkontrolle eines Betriebszustands ermöglicht werden. Durch die Vorgabe, dass von dem Zusatz-PID-Regler wenigstens die Heizleistung mit der Heizleistung nach der Heizkontrollfunktion des Gradienten-PID-Reglers zu erhöhen ist, kann dieser Übergang fließend gestaltet werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann der Gradientensollwert für die Komponente des erfassten Komponenten-Temperaturverlaufs spezifisch sein. Bevorzugt kann die Komponente dabei eine zulässige Aufheizgeschwindigkeit aufweisen, welche jeweils kleiner als die von anderen Komponenten des Brennstoffzellensystems ist. Alternativ oder zusätzlich kann der Gradientensollwert gemäß einer Grenzwertfunktion vorgegeben sein. Dabei kann bevorzugt die Grenzwertfunktion wenigstens teilweise einen konstanten Verlauf aufweisen. Bevorzugt kann die Grenzwertfunktion den erfassten Komponenten-Temperaturverlauf als Eingangsparameter aufweisen.

Derart kann das Kontrollverfahren auf die Kontrolle eines Aufheizvorgangs einer spezifischen Komponente zugeschnitten werden. Ferner ist es möglich, den Gradientensollwert flexibel und situationsbedingt anpassen zu können. Derart kann beispielsweise ein temperaturabhängiges Dehnungsverhalten eines Materials oder mehrerer Materialien, welche Bestandteil einer Komponente sind, berücksichtigt werden. So kann beispielsweise die Dehnung eines ersten Materials nur in einem ersten Temperaturbereich problematisch sein, während die Dehnung eines zweiten Materials mit Eintritt in einen weiteren Temperaturbereich problematisch wird. Natürlich können auch die Gradientensollwerte unterschiedlicher Komponenten Berücksichtigung finden. Derart kann das Kontrollverfahren besonders flexibel an das jeweilige Brennstoffzellensystems angepasst werden.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann das Ermitteln des Komponenten-Temperaturgradienten einen Schritt aufweisen, in dem Durchschnittstemperaturen aus dem Komponenten-Temperaturverlauf berechnet

werden. Die Durchschnittstemperaturen können bevorzugt über aufeinanderfolgende Mittelungszeitabschnitte gleicher oder variabler Länge des Komponenten-Temperaturverlaufs gemittelt werden. Der Komponenten-Temperaturgradient kann in einem weiteren Schritt als eine zeitliche Änderung aus den berechneten Durchschnittstemperaturen berechnet werden. Die Durchschnittstemperaturen liegen dabei innerhalb eines Änderungszeitraums des Komponenten-Temperaturverlaufs vor. Bevorzugt kann der Änderungszeitraum ein Beobachtungszeitfenster für den erfassten Komponenten-Temperaturverlauf sein.

Derart wird eine Möglichkeit bereitgestellt, den Komponenten-Temperaturgradient effizient und genau aus dem Komponenten-Temperaturverlauf zu ermitteln.

Im Sinne der Erfindung kann dabei als Mitteln insbesondere ein arithmetischer oder geometrischer Mittelwert verstanden werden. Das Beobachtungszeitfenster kann insbesondere als ein gleitendes Zeitfenster verstanden werden, mit dem Temperaturdaten des Komponenten-Temperaturverlaufs ausgewählt werden. So kann beispielsweise die zeitliche Länge des Komponenten-Temperaturverlaufs definiert werden. Entsprechend kann auch der Änderungszeitraum als ein gleitendes Zeitfenster verstanden werden, durch das vorgegeben werden kann, welche der Durchschnittstemperaturen für die Berechnung der zeitlichen Änderung heranzuziehen sind.

Bevorzugt kann der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient auf eine Obergrenze und/oder Untergrenze begrenzt werden.

Damit kann beispielsweise sichergestellt werden, dass Unregelmäßigkeiten in den Temperaturdaten des Komponenten-Temperaturverlaufs nicht zu einer gefährlichen Erhöhung der Heizleistung führen. So können beispielsweise Messungenauigkeiten oder Messwert-Ausreißer zu einer unzutreffenden Ermittlung des Komponenten-Temperaturgradienten und folglich zu einer fehlgeleiteten Erhöhung der Heizleistung führen.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung können Parameter für das Ermitteln des Komponenten-Temperaturgradienten aus Versuchen an dem Brennstoffzellensystem ermittelt werden. Dabei können die Parameter das Beobachtungszeitfenster für den Komponenten-Temperaturverlauf, den Änderungszeitraum zur Berechnung des

Komponenten-Temperaturgradienten und/oder die Länge der Mittelungszeitabschnitte aufweisen.

Derart kann der Komponenten-Temperaturgradient mittels der vorgenannten Berechnungsschritte noch genauer ermittelt werden. So können die Parameter insbesondere von Einstellungen der Messtechnik und deren Konfiguration abhängig sein. So kann beispielsweise die verwendete Messrate oder Messgenauigkeit der verwendeten Messtechnik Einfluss darauf haben, wie groß das Beobachtungszeitfenster oder der Änderungszeitraum zu wählen sind. Ferner können auch Charakteristiken der Komponente des Komponenten-Temperaturverlaufs Einfluss auf die Parameter haben. So kann es beispielsweise erforderlich sein, das mit einem Komponenten-Temperaturverlauf korrespondierende Signal aufgrund von Messrauschen oder Fluktuationen über ein größeres Beobachtungszeitfenster zu erfassen. Versuche zur Ermittlung der Parameter können beispielsweise eine sprunghafte Wärmeanregung des Brennstoffzellensystems oder eine Wärmeanregung des Brennstoffzellensystems entlang einer vorgegebenen Kurve sein.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann in einem weiteren Schritt, ein Kontrollsignal zum Erhöhen der Heizleistung einer Heizvorrichtung ausgegeben werden. Dabei kann das Kontrollsignal zur Kontrolle einer elektrischen und/oder katalytischen Heizvorrichtung vorgesehen sein. Beispielsweise kann das Kontrollsignal ein pulswittemoduliertes Signal sein.

Somit kann das Erhöhen der Heizleistung in einfacher Weise für verschiedenste Heizvorrichtungen implementiert werden.

Günstig kann es auch sein, wenn das erfindungsgemäße Kontrollverfahren für eine Abkühlung eines Brennstoffzellensystems verwendet wird. Das oben beschriebenen Kontrollverfahren wird bevorzugt auch zur Abkühlung und/oder Reduzierung einer Heizleistung verwendet. Der Vergleich des Sollwerts und aktuellen Wertes bestimmen dabei das Vorzeichen der zu erhöhenden Heizleistung, welche auch negativ sein kann. Die oben beschriebenen Schritte gelten dann entsprechend *mutatis mutandis*.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Computerprogrammprodukt. Das Computerprogrammprodukt weist Befehle auf, welche bei der Ausführung durch

einen Computer diesen veranlassen, die Schritte eines der vorgenannten Kontrollverfahren auszuführen.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Kontrollvorrichtung zur Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems. Die Kontrollvorrichtung weist dabei ein Erfassungsmodul zum Erfassen von wenigstens einem Komponenten-Temperaturverlauf von wenigstens einer Komponente des Brennstoffzellensystems auf. Die Kontrollvorrichtung weist ferner ein Ermittlungsmodul zum Ermitteln eines Komponenten-Temperaturgradienten zu dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf sowie ein Vergleichsmodul zum Vergleichen des ermittelten Komponenten-Temperaturgradienten mit einem Gradientensollwert auf. Zudem weist die Kontrollvorrichtung ein Kontrollmodul auf, um eine Heizleistung einer Heizvorrichtung für das Aufheizen der Komponente zu erhöhen bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient den Gradientensollwert erreicht.

Bevorzugt können das Erfassungsmodul, das Ermittlungsmodul, das Vergleichsmodul und das Kontrollmodul ausgebildet sein, das oben beschriebene Verfahren auszuführen.

Gemäß einer ferner bevorzugten Ausgestaltung kann die Kontrollvorrichtung eine Sensorvorrichtung zur Erfassung des Komponenten-Temperaturverlaufs aufweisen. Dabei kann die Sensorvorrichtung bevorzugt zur Erfassung einer Kathodentemperatur in dem Brennstoffsystem anordenbar sein. Alternativ oder zusätzlich kann die Kontrollvorrichtung eine kontrollierbare Heizvorrichtung zur Abgabe einer Heizleistung an die Komponente aufweisen. Bevorzugt können die Sensorvorrichtung und die Heizvorrichtung zueinander beabstandet vorgesehen sein.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem. Insbesondere kann das Brennstoffzellensystem ein Festoxidbrennstoffzellensystem sein. Das Brennstoffzellensystem weist einen Brennstoffzellenstapel mit einem Anodenabschnitt und mit einem Kathodenabschnitt auf, wobei eine Vielzahl von Brennstoffzellen stapelförmig in dem Brennstoffzellenstapel angeordnet ist. Der Anodenabschnitt weist einen Anodenzuführabschnitt zum Zuführen von Anodenzuführgas und einen Anodenabführabschnitt zum Abführen von Anodenabgas auf. Der Kathodenabschnitt weist einen Kathodenzuführabschnitt zum Zuführen von Kathodenzuführgas und einen Kathodenabführabschnitt zum Abführen

von Kathodenabgas auf. Ferner weist das Brennstoffzellensystem die vorgenannte Kontrollvorrichtung auf.

Mit dem vorgenannten Computerprogrammprodukt, der vorgenannten Kontrollvorrichtung und dem vorgenannten Brennstoffzellensystem können dieselben technischen Effekte und Vorteile erreicht werden, die bereits für das Kontrollverfahren beschrieben wurden. Daher wird nachfolgend lediglich auf die entsprechend korrespondierenden Ausführungen verwiesen.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich zudem aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben werden.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung und einer Ausführungsform eines Brennstoffzellensystems.

Figur 1 zeigt beispielhaft eine Ausführungsform eines Kontrollverfahrens 10 gemäß der Erfindung. Das Kontrollverfahren 10 ist zur Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems 200 angepasst. Das Brennstoffzellensystem 200 weist eine Komponente 201 auf, welche beispielsweise ein Brennstoffzellenstapel 210 sein kann. Das Brennstoffzellensystem 200 ist in Figur 1 nur schematisch dargestellt, wird jedoch unter Bezugnahme auf die Figur 2 in einem der folgenden Abschnitte noch erläutert.

In dem Kontrollverfahren 10 wird in einem Erfassungsschritt 20 ein Komponenten-Temperaturverlauf KT1 der Komponente 201 erfasst. Bevorzugt kann der Komponenten-Temperaturverlauf KT1 für ein zeitlich gleitendes Beobachtungsfenster BF erfasst werden.

Aus diesem Komponenten-Temperaturverlauf KT1 wird dann in einem Ermittlungsschritt 30 ein Komponenten-Temperaturgradient KTG ermittelt. In dem Ermittlungsschritt 30 können eine Reihe von Verarbeitungsschritten ablaufen, um den Komponenten-Temperaturgradient KTG zu ermitteln. So können beispielsweise in einem Mittelungsschritt 31 aus dem Komponenten-Temperaturverlauf KT1

Durchschnittstemperaturen DT für einzelne Mittelungszeitabschnitte MZA berechnet werden. Mit den Durchschnittstemperaturen DT kann dann in einem Ableitungsschritt 32 eine zeitliche Änderung der Durchschnittstemperaturen DT eines Änderungszeitraums AZ berechnet werden. In einem Einschränkungsschritt 33 kann beispielsweise überprüft werden, ob die zeitliche Änderung der Durchschnittstemperaturen DT innerhalb eines erlaubten Wertebereichs liegt und die Änderung gegebenenfalls auf einen zulässigen Wert begrenzt werden soll. Auf die vorgenannte beispielhaft beschriebene Weise kann der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient KTG aus dem Komponenten-Temperaturverlauf KT1 ermittelt werden.

Bevorzugt kann das Kontrollverfahren 10 einen Parameterermittlungsschritt 60 aufweisen, in dem Parameter, welche für die signaltechnische Erfassung des Komponenten-Temperaturverlaufs KT1 und die numerische Ermittlung des Komponenten-Temperaturgradient KTG benötigt werden, aus einer Vielzahl von Messwerten MW identifiziert werden. Die Messwerte MW können eine Temperatur oder andere physikalischen Größen des Brennstoffzellensystems 200 sein. In dem Parameterermittlungsschritt 60 kann beispielsweise die Größe des Beobachtungszeitraums BF für den Komponenten-Temperaturverlauf KT1, des Änderungszeitraums AZ und/oder der Mittelungszeitabschnitte MZA ermittelt werden.

In einem Vergleichsschritt 40 wird der Komponenten-Temperaturgradienten KTG mit einem Gradientensollwert KGS, welcher auch als Komponenten-Gradientensollwert KGS bezeichnet wird, verglichen. Für den Fall, dass der Komponenten-Temperaturgradient KTG beispielsweise deutlich über dem Gradientensollwert KGS liegt, kann beispielsweise eine Warnung an einen Nutzer mit Ausgabe des Komponenten-Temperaturgradienten KTG in einem Meldeschritt 80 erfolgen. Dies ist jedoch lediglich als Beispiel aufzufassen und das Kontrollverfahren 10 kann auf ein Überschreiten des Gradientensollwert KGS auch in anderer Weise reagieren, beispielsweise durch Maßnahmen zur Reduzierung des Komponenten-Temperaturgradienten KTG.

In einem Kontrollschritt 50 wird eine Heizleistung HL einer Heizvorrichtung 190 für das Aufheizen der Komponente 201 erhöht bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient KTG den Gradientensollwert KGS erreicht. Hierzu kann der Kontrollschritt 50 einen Heizleistungsbestimmungsschritt 51 aufweisen, in dem die

Erhöhung der Heizleistung HL beispielsweise gemäß einer Heizkontrollfunktion HKF bestimmt wird. So kann beispielsweise die Erhöhung der Heizleistung HL aus dem Komponenten-Temperaturgradient KTG und dem Gradientensollwert KGS mittels einer Übertragungsfunktion eines Reglers als der Heizkontrollfunktion HKF bestimmt werden. Die derart bestimmte, zu erhöhende Heizleistung HL kann in einem Auswahlschritt 52 hinsichtlich eines Auswahlkriteriums AK nochmals angepasst oder verändert werden. So kann beispielsweise in Abhängigkeit einer Temperaturbereichsgrenze TBG des Komponenten-Temperaturverlaufs KT1 die zu erhöhende Heizleistung HL begrenzt werden ehe die Erhöhung der Heizleistung HL durchgeführt wird. Dies kann insbesondere wiederkehrend durchgeführt werden.

Im Übrigen sei noch darauf hingewiesen, dass der zuvorbeschriebene Vergleichsschritt 40 auch Bestandteil des Kontrollschritts 50 und insbesondere der Heizkontrollfunktion HKF sein kann. So kann beispielsweise der Vergleich des Komponenten-Temperaturgradient KTG mit dem Gradientensollwert KGS Bestandteil der Heizkontrollfunktion HKF sein.

In einem optionalen Ausgabeschritt 70 kann ein Kontrollsignal KS ausgegeben werden, um die Heizleistung HL der Heizvorrichtung 190 zu erhöhen. Bei der Heizvorrichtung 190 kann es sich beispielsweise um eine elektrische und/oder katalytische Heizvorrichtung handeln. Mit dem Kontrollsignal KS kann beispielsweise ein pulswittemoduliertes Signal zur direkten Ansteuerung der Heizvorrichtung 190 ausgegeben werden. Alternativ oder zusätzlich kann mit dem Kontrollsignal KS eine Kraftstoffmenge oder Kraftstoffkonzentration an die intern in dem Brennstoffzellensystem 200 vorgesehene Heizvorrichtung 190 übermittelt werden.

Figur 2 zeigt beispielhaft eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Brennstoffsystems 200 mit einer erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung 100.

Die Kontrollvorrichtung 100 ist dazu ausgebildet, einen Aufheizvorgang eines Brennstoffzellensystems 200 zu kontrollieren.

Die Kontrollvorrichtung 100 weist dazu ein Erfassungsmodul 120 auf, mittels dessen Komponenten-Temperaturverläufe KT1, KT2, KT3 verschiedener Komponente 201, 202, 203 des Brennstoffzellensystems 200 erfasst werden können. Dies ist in Figur 2 exemplarisch durch die Verbindung des Erfassungsmoduls 120 mit zugehörigen

Sensorvorrichtungen 180 dargestellt. Die Sensorvorrichtung 180 kann beispielsweise ein Temperatursensor sein. Wie in Figur 2 dargestellt, kann die jeweilige Sensorvorrichtung 180 Bestandteil der Kontrollvorrichtung 100 oder des Brennstoffzellensystems 200 sein. Das Erfassungsmodul 120 kann beispielsweise ein Parameterermittlungsmodul 160 mit den Messwerten MW, welche beispielsweise den Komponenten-Temperaturverläufen KT1, KT2, KT3 zugeordnet sind, versorgen. Das Parameterermittlungsmodul 160 kann beispielsweise zur Ermittlung der in dem Parameterermittlungsschritt 60 genannten Parameter vorgesehen sein.

Die Kontrollvorrichtung 100 weist ferner ein Ermittlungsmodul 130 auf, mittels dessen der Komponenten-Temperaturgradienten KTG zu dem zugehörigen erfassten Komponenten-Temperaturverlauf KT1, ermittelt wird. Beispielsweise kann auch zu jedem oder einzelnen erfassten Komponenten-Temperaturverlauf KT1, KT2, KT3 jeweils der Komponenten-Temperaturgradienten KTG ermittelt werden.

Die Kontrollvorrichtung 100 weist ferner ein Vergleichsmodul 140 zum Vergleichen des ermittelten Komponenten-Temperaturgradienten KTG mit dem Gradientensollwert KGS auf. Der Gradientensollwert KGS kann dabei von einer Sollwertfunktion GWF bereitgestellt werden. Die Sollwertfunktion GWF kann dabei beispielsweise als Eingangsparameter einen oder mehrere Systemparameter aufweisen.

Die Kontrollvorrichtung 100 weist ferner ein Kontrollmodul 150 auf, mittels dessen die Heizleistung HL der Heizvorrichtung 190 für das Aufheizen der Komponente 201 erhöht wird bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient KTG den Gradientensollwert KGS erreicht.

Das Kontrollmodul 150 kann dabei einen die Heizkontrollfunktion HKF implementierenden Gradienten-PID-Regler GR aufweisen, mittels dessen die zu erhöhende Heizleistung HL aus dem Komponenten-Temperaturgradienten KTG und dem Gradientensollwert KGS bestimmt wird. Das Vergleichsmodul 140 kann beispielsweise Teil des Gradienten-PID-Reglers GR sein, in dem der Vergleich zwischen dem Komponenten-Temperaturgradienten KTG und dem Gradientensollwert KGS zum Beispiel durch Subtraktion voneinander zur Ermittlung einer Sollgrößenabweichung durchgeführt wird. Die zu erhöhende Heizleistung HL

wird in diesem Modul kontinuierlich aufsummiert. Dadurch steigt die Heizleistung stetig entsprechend des Komponenten-Gradientensollwerts.

Zusätzlich kann das Kontrollmodul 150 einen ersten Zusatz-PID-Regler ZR1 und einen zweiten Zusatz-PID-Regler ZR2 aufweisen. Diese können ebenfalls Bestandteil der Heizkontrollfunktion HKF sein. Natürlich ist es auch vorstellbar, dass das Kontrollmodul 150 weitere derartige Zusatz-PID-Regler aufweist. Mittels der Zusatz-PID-Regler ZR1, ZR2 kann basierend auf einem Temperaturgrenzwert TG, welcher jeweils für eine der weiteren Komponenten 202, 203 spezifisch ist, eine zu limitierende Heizleistung HL bestimmt werden.

Mittels eines Auswahlmoduls 151 kann aus den derart bestimmten zu erhöhenden Heizleistungen HL anhand des Auswahlkriteriums AK eine geeignete zu erhöhende Heizleistung HL ausgewählt werden. Hierzu kann in dem Auswahlmodul 151 ein Minimumwahl-Abschnitt 521 zur Auswahl eines Minimums aus den vorgenannten bestimmten zu erhöhenden Heizleistungen HL. So ist es auch vorstellbar, unter mehreren von den Gradienten-PID-Regler GR für andere Komponenten-Temperaturverläufen KT1, KT2, KT3 bestimmten Heizleistungen HL das Minimum zu bestimmen. Alternativ oder zusätzlich kann das Auswahlmodul 151 einen Temperaturbereichswahl-Abschnitt 522 aufweisen, in dem in Abhängigkeit von den Temperaturen wenigstens einer der Komponenten-Temperaturverläufe KT1, KT2, KT3 bezüglich der Temperaturbereichsgrenze TBG eine Auswahl getroffen werden kann.

Bevorzugt kann das Kontrollmodul 150 ferner ein Begrenzungsmodul 152 aufweisen, mittels dessen unzulässige Erhöhungen der zu erhöhenden Heizleistung HL begrenzt werden können. Damit ist eine Schutzfunktion für die heizende Komponente implementiert. Im Anschluss daran kann dann beispielsweise die Heizleistung HL der Heizvorrichtung 190 für das Aufheizen der Komponente 201 erhöht werden bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient KTG den Gradientensollwert KGS erreicht.

Zum Ansteuern der Heizvorrichtung 190 kann die Kontrollvorrichtung 100 beispielsweise ein Ausgabemodul 170 aufweisen. Mittels des Ausgabemoduls 170 können ein oder mehrere Kontrollsignale KS ausgegeben werden. Die Kontrollsignale KS repräsentieren beispielsweise die zu erhöhende Heizleistung HL.

In Figur 2 können beispielsweise die Stromstärke eines elektrischen Heizgerätes 192 und die Drehgeschwindigkeit eines Rotors 191 durch die Kontrollsignale KS angepasst werden. Der Rotor 191 und das Heizgerät 192 sind Bestandteile der beispielhaft als Heißluftgerät ausgebildeten Heizvorrichtung 190. Die Heizvorrichtung 190 kann Bestandteil der Kontrollvorrichtung 100 oder auch Bestandteil des Brennstoffsystems 200 sein. Bevorzugt kann die Heizvorrichtung 190 von der Sensorvorrichtung 180 mit einem Abstand vorgesehen sein, um Störeinflüsse und ein Überregeln zu vermeiden.

Das in Figur 2 dargestellte Brennstoffzellensystem 200 weist den Brennstoffzellenstapel 210 auf, welcher einen Anodenabschnitt 212 und einen Kathodenabschnitt 211 aufweist. Der Kathodenabschnitt 211 weist die Komponente 201 auf. Der Anodenabschnitt 212 weist weitere Komponenten 202, 203 auf. Die Sensorvorrichtungen 180 sind in Figur 2 als in dem Brennstoffzellenstapel 210 verteilt und zu der jeweiligen der Komponenten 201, 202, 203 benachbart angeordnet. Derart kann beispielsweise von der Sensorvorrichtung 180 eine Kathodentemperatur erfasst werden.

Die voranstehende Erläuterung der Ausführungsformen beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen. Selbstverständlich können einzelne Merkmale der Ausführungsformen, sofern technisch sinnvoll, frei miteinander kombiniert werden, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

10	Kontrollverfahren
20	Erfassungsschritt
30	Ermittlungsschritt
31	Mittelungsschritt
32	Ableitungsschritt
33	Einschränkungsschritt
40	Vergleichsschritt
50	Kontrollschritt
51	Heizleistungsbestimmungsschritt
52	Auswahlschritt
60	Parameterermittlungsschritt
70	Ausgabeschritt
80	Meldeschrift
100	Kontrollvorrichtung
120	Erfassungsmodul
130	Ermittlungsmodul
140	Vergleichsmodul
150	Kontrollmodul
151	Auswahlmodul
521	Minimumwahl-Abschnitt
522	Temperaturbereichswahl-Abschnitt
152	Begrenzungsmodul
160	Parameterermittlungsmodul
170	Ausgabemodul
180	Sensorvorrichtung
190	Heizvorrichtung
191	Rotor
192	elektrisches Heizgerät
200	Brennstoffzellensystem
201	Komponente
202, 203	weitere Komponenten

210	Brennstoffzellenstapel
211	Kathodenabschnitt
212	Anodenabschnitt
AK	Auswahlkriterium
AZ	Änderungszeitraum
BF	Beobachtungszeitraum, Beobachtungsfenster
DT	Durchschnittstemperaturen
MZA	Mittelungszeitabschnitte
HKF	Heizkontrollfunktion
GR	Gradienten-PID-Regler
ZR1	erster Zusatz-PID-Regler
ZR2	zweiter Zusatz-PID-Regler
GWF	Grenzwertfunktion
TG	Temperaturgrenzwert
TBG	Temperaturbereichsgrenze
KT1	Komponenten-Temperaturverlauf
KT2, KT3	weitere Komponenten-Temperaturverläufe
KTG	Komponenten-Temperaturgradient
KGSKGS	
HL	Heizleistung
KS	Kontrollsignal
MW	Messwerte

Patentansprüche

1. Kontrollverfahren (10) für eine Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems (200), aufweisend die folgenden Schritte:
 - Erfassen von wenigstens einem Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) von wenigstens einer Komponente (201, 202, 203) des Brennstoffzellensystems (200),
gekennzeichnet durch
 - Ermitteln eines Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) zu dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3),
 - Vergleich des ermittelten Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) mit einem Gradientensollwert (KGS), und
 - Erhöhen einer Heizleistung (HL) einer Heizvorrichtung (190) für das Aufheizen der Komponente (201, 202, 203) bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient (KTG) den Gradientensollwert (KGS) erreicht.
2. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 1, **gekennzeichnet durch**
Erhöhung der Heizleistung (HL) nach einer Heizkontrollfunktion (HKF),
wobei bevorzugt die Heizleistung (HL) gemäß der Heizkontrollfunktion (HKF) zwischen zwei Grenzwerten begrenzt ist, und/oder
wobei bevorzugt die Heizleistung (HL) gemäß der Heizkontrollfunktion (HKF) wenigstens teilweise monoton stetig und/oder monoton sprunghaft erhöht wird.
3. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 2, **gekennzeichnet, dadurch dass**
die Heizkontrollfunktion (HKF) einen Gradienten-PID-Regler (GR) aufweist, welche den ermittelten Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) und den Gradientensollwert (KGS) als Eingangsparameter aufweist.
4. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 3, **gekennzeichnet, dadurch dass**
die Heizkontrollfunktion (HKF) ferner auf dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) wenigstens einer weiteren Komponente

(201, 202, 203) des Brennstoffzellensystems (200) als Eingangsparameter basiert,

wobei die Heizkontrollfunktion (HKF) wenigstens einen Zusatz-PID-Regler (ZR1, ZR2) aufweist, um die Heizleistung (HL) in Abhängigkeit von dem weiteren erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) und bevorzugt von einem für die weitere Komponente (201, 202, 203) spezifischen Temperaturgrenzwert (TG) zu limitieren, und

wobei die Heizkontrollfunktion (HKF) ferner ein Auswahlkriterium (AK) zur Auswahl zwischen der zu erhöhenden Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Gradienten-PID-Reglers (GR) und der zu limitierenden Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Zusatz-PID-Reglers (ZR1, ZR2) aufweist.

5. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 4, **gekennzeichnet dadurch, dass** das Auswahlkriterium (AK) ein Minimum aus der zu erhöhenden Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Gradienten-PID-Reglers (GR) und der zu limitierenden Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Zusatz-PID-Reglers (ZR1, ZR2) ist.

6. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 4 oder Anspruch 5, **gekennzeichnet dadurch, dass**

das Auswahlkriterium (AK) auf einem Vergleich wenigstens einer der erfassten Komponenten-Temperaturverläufe (KT1, KT2, KT3) mit einer Temperaturbereichsgrenze (TBG) basiert,

wobei die Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Gradienten-PID-Reglers (GR) für Temperaturen des entsprechenden der erfassten Komponenten-Temperaturverläufe (KT1, KT2, KT3) innerhalb eines ersten Temperaturbereichs erhöht wird, und

wobei die Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Zusatz-PID-Reglers (ZR1, ZR2) für Temperaturen des entsprechenden der erfassten Komponenten-Temperaturverläufe (KT1, KT2, KT3) innerhalb eines weiteren Temperaturbereichs limitiert wird.

7. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 6, **gekennzeichnet dadurch, dass** die Heizleistung (HL) für den weiteren Temperaturbereich wenigstens auf die zu erhöhende Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Gradienten-PID-Reglers (GR) erhöht wird.
8. Kontrollverfahren (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet dadurch, dass** der Gradientensollwert (KGS) für die Komponente (201, 202, 203) des erfassten Komponenten-Temperaturverlaufs (KT1, KT2, KT3) spezifisch ist, und/oder der Gradientensollwert (KGS) gemäß einer Sollwertfunktion vorgegeben ist, wobei bevorzugt die Sollwertfunktion wenigstens teilweise einen konstanten Verlauf aufweist und/oder Systemparameter als Eingang aufweist.
9. Kontrollverfahren (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet dadurch, dass** das Ermitteln des Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) aufweist:
- Berechnen von Durchschnittstemperaturen (DT) aus dem Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3), welche über bevorzugt aufeinanderfolgende Mittelungszeitabschnitte (MZA) gleicher oder variabler Länge des Komponenten-Temperaturverlaufs (KT1, KT2, KT3) gemittelt werden,
 - Berechnen des Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) als eine zeitliche Änderung aus den berechneten Durchschnittstemperaturen (DT), welche innerhalb eines Änderungszeitraums (AZ) des Komponenten-Temperaturverlaufs (KT1, KT2, KT3) vorliegen, wobei bevorzugt der Änderungszeitraum ein Beobachtungszeitfenster (BF) für den erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) ist, und
 - bevorzugt Begrenzen des berechneten Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) auf eine Obergrenze und/oder Untergrenze.
 -

10. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 9, **gekennzeichnet durch**
- ein Ermitteln von Parametern für das Ermitteln des Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) aus Versuchen an dem Brennstoffzellensystem (200),
- wobei die Parameter das Beobachtungszeitfenster (BF) für Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3), den Änderungszeitraum (AZ) zur Berechnung des Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) und die Länge der Mittelungszeitabschnitte (MZA) aufweisen.
11. Kontrollverfahren (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**
- Ausgeben eines Kontrollsignals (KS) zum Erhöhen der Heizleistung (HL) einer Heizvorrichtung (190),
- wobei das Kontrollsignal (KS) zur Kontrolle einer elektrischen und/oder katalytischen Heizvorrichtung vorgesehen ist, wobei bevorzugt das Kontrollsignal (KS) ein pulswittemoduliertes Signal ist Oder eine andere repräsentative Größe für eine Heizleistung.
12. Computerprogrammprodukt, **gekennzeichnet durch**
- Befehle, welche bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte eines Kontrollverfahrens (10) mit Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen.
13. Kontrollvorrichtung (100) zur Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems (200), aufweisend
- ein Erfassungsmodul (120) zum Erfassen von wenigstens einem Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) von wenigstens einer Komponente (201, 202, 203) des Brennstoffzellensystems (200),
- gekennzeichnet durch**
- ein Ermittlungsmodul (130) zum Ermitteln eines Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) zu dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3),

- ein Vergleichsmodul (140) zum Vergleichen des ermittelten Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) mit einem Gradientensollwert (KGS), und
- ein Kontrollmodul (150) zum Erhöhen einer Heizleistung (HL) einer Heizvorrichtung (190) für das Aufheizen der Komponente (201, 202, 203) bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient (KTG) den Gradientensollwert (KGS) erreicht,

wobei das Erfassungsmodul (120), das Ermittlungsmodul (130), das Vergleichsmodul (140) und das Kontrollmodul (150) insbesondere ausgebildet sind für eine Ausführung eines Verfahrens (10) mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 12.

14. Kontrollvorrichtung (100) gemäß Anspruch 13, **gekennzeichnet durch**

- eine Sensorvorrichtung (180) zur Erfassung des Komponenten-Temperaturverlaufs (KT1, KT2, KT3), wobei die Sensorvorrichtung (180) bevorzugt zur Erfassung einer Kathodentemperatur anordenbar ist, und/oder
- eine kontrollierbare Heizvorrichtung (190) zur Abgabe einer Heizleistung (HL) an die Komponente (201, 202, 203), wobei bevorzugt die Sensorvorrichtung (180), sofern vorhanden, zu der Heizvorrichtung (190) beabstandet vorgesehen ist.

15. Brennstoffzellensystem (200), insbesondere Festoxidbrennstoffzellensystem, aufweisend

- einen Brennstoffzellenstapel (210) mit einem Anodenabschnitt (212) und mit einem Kathodenabschnitt (211), wobei eine Vielzahl von Brennstoffzellen stapelförmig in dem Brennstoffzellenstapel (210) angeordnet ist,

wobei der Anodenabschnitt (212) einen Anodenzuführabschnitt zum Zuführen von Anodenzuführgas und einen Anodenabführabschnitt zum Abführen von Anodenabgas aufweist, und

wobei der Kathodenabschnitt (211) einen Kathodenzuführabschnitt zum Zuführen von Kathodenzuführgas und einen Kathodenabführabschnitt zum Abführen von Kathodenabgas aufweist,

gekennzeichnet durch

- eine Kontrollvorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 13 und 14.

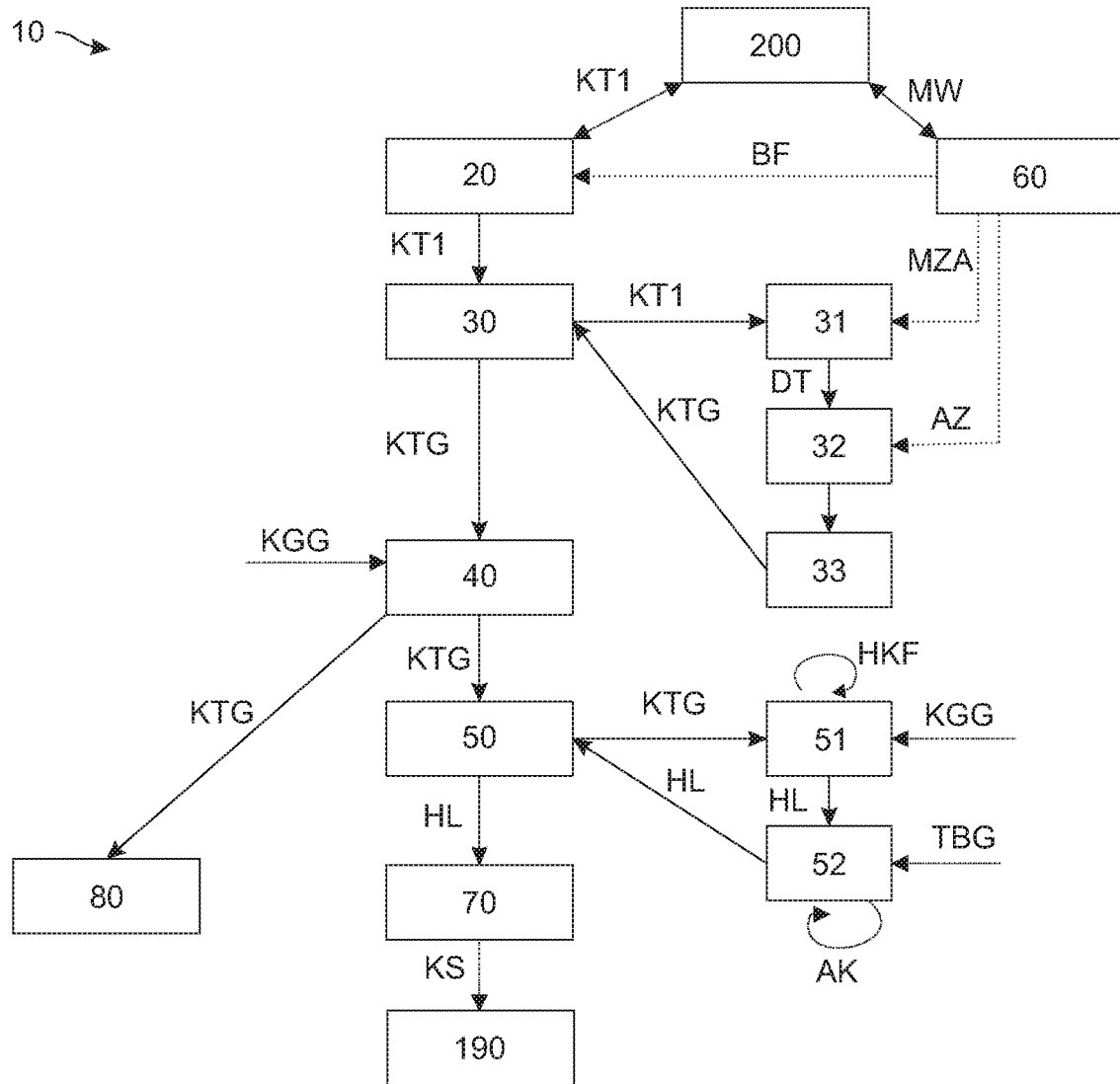
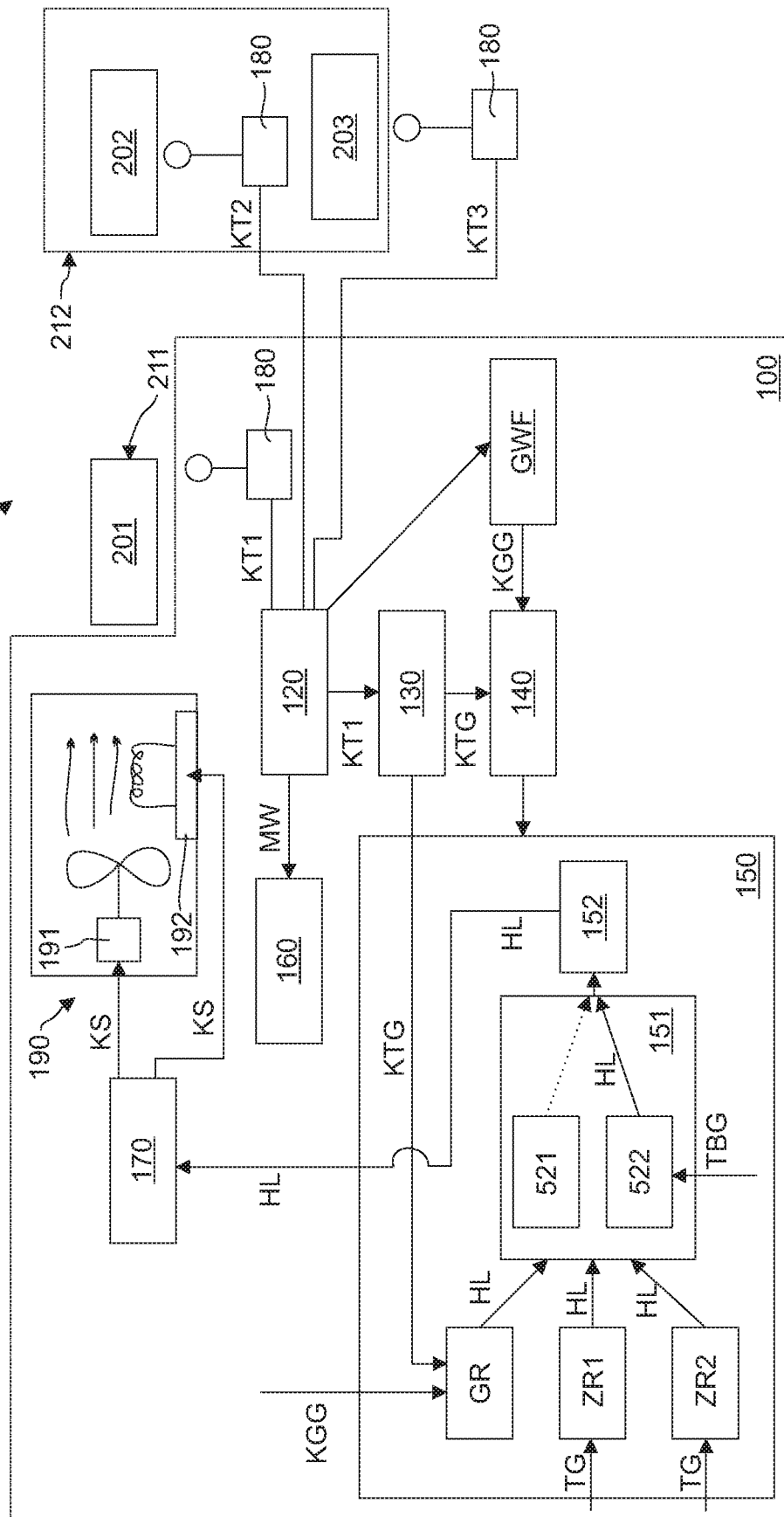


Fig. 1



294

Patentansprüche

1. Kontrollverfahren (10) für eine Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems (200), aufweisend die folgenden Schritte:
 - Erfassen von wenigstens einem Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) von wenigstens einer Komponente (201, 202, 203) des Brennstoffzellensystems (200),
gekennzeichnet durch
 - Ermitteln eines Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) zu dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3),
 - Vergleich des ermittelten Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) mit einem Gradientensollwert (KGS), und
 - Erhöhen einer Heizleistung (HL) einer Heizvorrichtung (190) für das Aufheizen der Komponente (201, 202, 203) bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient (KTG) den Gradientensollwert (KGS) erreicht.
2. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 1, **gekennzeichnet durch**
Erhöhung der Heizleistung (HL) nach einer Heizkontrollfunktion (HKF),
wobei bevorzugt die Heizleistung (HL) gemäß der Heizkontrollfunktion (HKF) zwischen zwei Grenzwerten begrenzt ist, und/oder
wobei bevorzugt die Heizleistung (HL) gemäß der Heizkontrollfunktion (HKF) wenigstens teilweise monoton stetig und/oder monoton sprunghaft erhöht wird.
3. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 2, **gekennzeichnet, dadurch dass**
die Heizkontrollfunktion (HKF) einen Gradienten-PID-Regler (GR) aufweist, welche den ermittelten Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) und den Gradientensollwert (KGS) als Eingangsparameter aufweist.
4. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 3, **gekennzeichnet, dadurch dass**
die Heizkontrollfunktion (HKF) ferner auf dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) wenigstens einer weiteren Komponente

(201, 202, 203) des Brennstoffzellensystems (200) als Eingangsparameter basiert,

wobei die Heizkontrollfunktion (HKF) wenigstens einen Zusatz-PID-Regler (ZR1, ZR2) aufweist, um die Heizleistung (HL) in Abhängigkeit von dem weiteren erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) und bevorzugt von einem für die weitere Komponente (201, 202, 203) spezifischen Temperaturgrenzwert (TG) zu limitieren, und

wobei die Heizkontrollfunktion (HKF) ferner ein Auswahlkriterium (AK) zur Auswahl zwischen der zu erhöhenden Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Gradienten-PID-Reglers (GR) und der zu limitierenden Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Zusatz-PID-Reglers (ZR1, ZR2) aufweist.

5. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 4, **gekennzeichnet dadurch, dass** das Auswahlkriterium (AK) ein Minimum aus der zu erhöhenden Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Gradienten-PID-Reglers (GR) und der zu limitierenden Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Zusatz-PID-Reglers (ZR1, ZR2) ist.

6. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 4 oder Anspruch 5, **gekennzeichnet dadurch, dass**

das Auswahlkriterium (AK) auf einem Vergleich wenigstens einer der erfassten Komponenten-Temperaturverläufe (KT1, KT2, KT3) mit einer Temperaturbereichsgrenze (TBG) basiert,

wobei die Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Gradienten-PID-Reglers (GR) für Temperaturen des entsprechenden der erfassten Komponenten-Temperaturverläufe (KT1, KT2, KT3) innerhalb eines ersten Temperaturbereichs erhöht wird, und

wobei die Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Zusatz-PID-Reglers (ZR1, ZR2) für Temperaturen des entsprechenden der erfassten Komponenten-Temperaturverläufe (KT1, KT2, KT3) innerhalb eines weiteren Temperaturbereichs limitiert wird.

7. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 6, **gekennzeichnet dadurch, dass** die Heizleistung (HL) für den weiteren Temperaturbereich wenigstens auf die zu erhöhende Heizleistung (HL) nach der Heizkontrollfunktion (HKF) des Gradienten-PID-Reglers (GR) erhöht wird.
8. Kontrollverfahren (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet dadurch, dass** der Gradientensollwert (KGS) für die Komponente (201, 202, 203) des erfassten Komponenten-Temperaturverlaufs (KT1, KT2, KT3) spezifisch ist, und/oder der Gradientensollwert (KGS) gemäß einer Sollwertfunktion vorgegeben ist, wobei bevorzugt die Sollwertfunktion wenigstens teilweise einen konstanten Verlauf aufweist und/oder Systemparameter als Eingang aufweist.
9. Kontrollverfahren (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet dadurch, dass** das Ermitteln des Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) aufweist:
- Berechnen von Durchschnittstemperaturen (DT) aus dem Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3), welche über bevorzugt aufeinanderfolgende Mittelungszeitabschnitte (MZA) gleicher oder variabler Länge des Komponenten-Temperaturverlaufs (KT1, KT2, KT3) gemittelt werden,
 - Berechnen des Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) als eine zeitliche Änderung aus den berechneten Durchschnittstemperaturen (DT), welche innerhalb eines Änderungszeitraums (AZ) des Komponenten-Temperaturverlaufs (KT1, KT2, KT3) vorliegen, wobei bevorzugt der Änderungszeitraum ein Beobachtungszeitfenster (BF) für den erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) ist, und
 - bevorzugt Begrenzen des berechneten Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) auf eine Obergrenze und/oder Untergrenze.
 -

10. Kontrollverfahren (10) gemäß Anspruch 9, **gekennzeichnet durch**
- ein Ermitteln von Parametern für das Ermitteln des Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) aus Versuchen an dem Brennstoffzellensystem (200),
- wobei die Parameter das Beobachtungszeitfenster (BF) für Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3), den Änderungszeitraum (AZ) zur Berechnung des Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) und die Länge der Mittelungszeitabschnitte (MZA) aufweisen.
11. Kontrollverfahren (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**
- Ausgeben eines Kontrollsignals (KS) zum Erhöhen der Heizleistung (HL) einer Heizvorrichtung (190),
- wobei das Kontrollsignal (KS) zur Kontrolle einer elektrischen und/oder katalytischen Heizvorrichtung vorgesehen ist, wobei bevorzugt das Kontrollsignal (KS) ein pulswittemoduliertes Signal ist Oder eine andere repräsentative Größe für eine Heizleistung.
12. Computerprogrammprodukt, **gekennzeichnet durch**
- Befehle, welche bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte eines Kontrollverfahrens (10) mit Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen.
13. Kontrollvorrichtung (100) zur Kontrolle eines Aufheizvorgangs eines Brennstoffzellensystems (200), aufweisend
- ein Erfassungsmodul (120) zum Erfassen von wenigstens einem Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3) von wenigstens einer Komponente (201, 202, 203) des Brennstoffzellensystems (200),
- gekennzeichnet durch**
- ein Ermittlungsmodul (130) zum Ermitteln eines Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) zu dem erfassten Komponenten-Temperaturverlauf (KT1, KT2, KT3),

- ein Vergleichsmodul (140) zum Vergleichen des ermittelten Komponenten-Temperaturgradienten (KTG) mit einem Gradientensollwert (KGS), und
- ein Kontrollmodul (150) zum Erhöhen einer Heizleistung (HL) einer Heizvorrichtung (190) für das Aufheizen der Komponente (201, 202, 203) bis der ermittelte Komponenten-Temperaturgradient (KTG) den Gradientensollwert (KGS) erreicht,

wobei das Erfassungsmodul (120), das Ermittlungsmodul (130), das Vergleichsmodul (140) und das Kontrollmodul (150) ausgebildet sind für eine Ausführung eines Verfahrens (10) mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 11.

14. Kontrollvorrichtung (100) gemäß Anspruch 13, **gekennzeichnet durch**

- eine Sensorvorrichtung (180) zur Erfassung des Komponenten-Temperaturverlaufs (KT1, KT2, KT3), wobei die Sensorvorrichtung (180) bevorzugt zur Erfassung einer Kathodentemperatur anordenbar ist, und/oder
- eine kontrollierbare Heizvorrichtung (190) zur Abgabe einer Heizleistung (HL) an die Komponente (201, 202, 203), wobei bevorzugt die Sensorvorrichtung (180), sofern vorhanden, zu der Heizvorrichtung (190) beabstandet vorgesehen ist.

15. Brennstoffzellensystem (200), insbesondere Festoxidbrennstoffzellensystem, aufweisend

- einen Brennstoffzellenstapel (210) mit einem Anodenabschnitt (212) und mit einem Kathodenabschnitt (211), wobei eine Vielzahl von Brennstoffzellen stapelförmig in dem Brennstoffzellenstapel (210) angeordnet ist,

wobei der Anodenabschnitt (212) einen Anodenzuführabschnitt zum Zuführen von Anodenzuführgas und einen Anodenabführabschnitt zum Abführen von Anodenabgas aufweist, und

wobei der Kathodenabschnitt (211) einen Kathodenzuführabschnitt zum Zuführen von Kathodenzuführgas und einen Kathodenabführabschnitt zum Abführen von Kathodenabgas aufweist,

gekennzeichnet durch

- eine Kontrollvorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 13 und 14.