

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50656/2021
(22) Anmeldetag: 12.08.2021
(43) Veröffentlicht am: 15.12.2022

(51) Int. Cl.: **H01M 8/04858** (2016.01)
H01M 8/04955 (2016.01)
H01M 8/249 (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 WO 03083975 A2
 EP 1638159 A2
 US 2010092819 A1
 EP 2858159 A1

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

(72) Erfinder:
Aldrian David Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)
Weingrill Katharina B. Eng.
8020 Graz (AT)

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

(54) Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Brennstoffzellennetzwerks

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Brennstoffzellennetzwerks (200) mit wenigstens zwei separaten Brennstoffzellensystemen (100) mit jeweils wenigstens einem Brennstoffzellenstapel (110) zum Erzeugen elektrischer Energie für einen Antrieb eines Hochleistungsfahrzeugs (300), gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- Erfassen einer Leistungsanforderung (LAF) für den Antrieb des Hochleistungsfahrzeugs (300),
- Aufteilen der Leistungsanforderung (LAF) auf die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100),
- Betreiben der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100) mit Betriebsleistungen (BL) für ein kombiniertes Erfüllen der Leistungsanforderung (LAF),
- Erfassen wenigstens einer reversiblen Schädigung der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100),
- Temporäres Betreiben wenigstens eines Brennstoffzellensystems (100) in einem Regenerationsbetrieb (RB) zum wenigstens teilweisen Beheben der reversiblen Schädigung, wobei wenigstens ein weiteres Brennstoffzellensystem (100) in einem Ausgleichsbetrieb (AB) betrieben wird zum Ausgleich der fehlenden Betriebsleistung (BL) des Brennstoffzellensystems (100) beim Erfüllen der Leistungsanforderung (LAF).

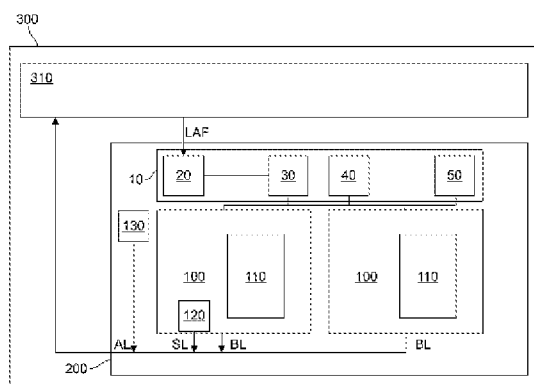


Fig. 1

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Brennstoffzellennetzwerks (200) mit wenigstens zwei separaten Brennstoffzellensystemen (100) mit jeweils wenigstens einem Brennstoffzellenstapel (110) zum Erzeugen elektrischer Energie für einen Antrieb eines Hochleistungsfahrzeugs (300), **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:

- Erfassen einer Leistungsanforderung (LAF) für den Antrieb des Hochleistungsfahrzeugs (300),
- Aufteilen der Leistungsanforderung (LAF) auf die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100),
- Betreiben der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100) mit Betriebsleistungen (BL) für ein kombiniertes Erfüllen der Leistungsanforderung (LAF),
- Erfassen wenigstens einer reversiblen Schädigung der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100),
- Temporäres Betreiben wenigstens eines Brennstoffzellensystems (100) in einem Regenerationsbetrieb (RB) zum wenigstens teilweisen Beheben der reversiblen Schädigung, wobei wenigstens ein weiteres Brennstoffzellensystem (100) in einem Ausgleichsbetrieb (AB) betrieben wird zum Ausgleich der fehlenden Betriebsleistung (BL) des Brennstoffzellensystems (100) beim Erfüllen der Leistungsanforderung (LAF).

Fig. 1

Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Brennstoffzellennetzwerks

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Brennstoffzellennetzwerks, eine Kontrollvorrichtung zur Durchführung eines solchen Kontrollverfahrens sowie ein Brennstoffzellennetzwerk mit einer solchen Kontrollvorrichtung.

Es ist bekannt, dass Brennstoffzellensysteme eingesetzt werden, um für Mobilitätsfunktionen elektrische Energie zur Verfügung zu stellen. Dies ist beispielsweise für Lastkraftfahrzeuge oder Automobile denkbar. Bei Hochleistungsfahrzeugen, welche eine sehr hohe Antriebsleistung erfordern, wie dies beispielsweise für maritime Anwendungen, für Flugzeuge oder für Züge gilt, sind Brennstoffzellensysteme bisher nicht oder nur zu Versuchszwecken im Einsatz. Dies beruht insbesondere auf der Tatsache, dass solche Hochleistungsfahrzeuge einen sehr großen Bedarf an elektrischer Energie aufweisen, sodass entsprechende Brennstoffzellensysteme ebenfalls sehr groß ausgebildet sein müssten. Bisher gibt es kaum eine Verfügbarkeit für so große Brennstoffzellensysteme, welche beispielsweise Leistungsanforderungen von 300 Kilowatt oder mehr zur Verfügung stellen können. Um dieser Problematik Rechnung zu tragen, ist es aus dem Stand der Technik bekannt, mehrere Brennstoffzellensysteme parallel miteinander zu verschalten, um hohe Leistungsanforderungen zu erfüllen. Nachteilig dabei ist, dass es hierbei insbesondere bei einem lang andauernden Betrieb ohne Pause zu merklichen Effizienzverlusten kommt.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise auch für den Hochleistungsbetrieb Brennstoffzellensysteme zur Verfügung zu stellen, welche eine langlebige Verfügbarkeit aufweisen.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst durch ein Kontrollverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, eine Kontrollvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 11 sowie ein Brennstoffzellennetzwerk mit den Merkmalen des Anspruchs 12. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Kontrollvor-

richtung sowie dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellennetzwerk, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

Erfindungsgemäß dient ein Kontrollverfahren einer Kontrolle eines Brennstoffzellennetzwerks mit wenigstens zwei separaten Brennstoffzellensystemen mit jeweils wenigstens einem Brennstoffzellenstapel zum Erzeugen elektrischer Energie für einen Antrieb eines Hochleistungsfahrzeugs. Ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren zeichnet sich durch die folgenden Schritte aus:

- Erfassen einer Leistungsanforderung für den Antrieb des Hochleistungsfahrzeugs,
- Aufteilen der Leistungsanforderung auf die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme,
- Betreiben der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme mit Betriebsleistungen für ein kombiniertes Erfüllen der Leistungsanforderung,
- Erfassen wenigstens einer reversiblen Schädigung der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme,
- Temporäres Betreiben wenigstens eines Brennstoffzellensystems in einem Regenerationsbetrieb zum wenigstens teilweisen Beheben der reversiblen Schädigung, wobei wenigstens ein weiteres Brennstoffzellensystem in einem Ausgleichsbetrieb betrieben wird, zum Ausgleich der fehlenden Betriebsleistung des Brennstoffzellensystems beim Erfüllen der Leistungsanforderung.

Ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren dient dazu, die Brennstoffzellentechnik auch für den elektrischen Antrieb von Hochleistungsfahrzeugen einzusetzen. Hochleistungsfahrzeuge sind dabei im Sinne der vorliegenden Erfindung Fahrzeuge, welche für ihren Betrieb einen sehr hohen Antriebsenergiebedarf aufweisen. Dabei kann es sich zum Beispiel um LKWs, Sattelschlepper, Züge, maritime Fahrzeuge oder Flugzeuge handeln. Auch Schwerlastfahrzeuge, wie sie beispielsweise im Bergwerksbetrieb vorkommen, können als Hochleistungsfahrzeuge im Sinne der vorliegenden Erfindung verstanden werden.

Ein erster erfindungsgemäßer Kerngedanke liegt darin, dass die zum Antrieb der Hochleistungsfahrzeuge notwendige elektrische Energie nicht aus einem einzigen Brennstoffzellensystem, sondern vielmehr aus modular miteinander zu einem Brennstoffzellennetzwerk kombinierten separaten Brennstoffzellensystemen zur Verfügung gestellt wird. Wird beispielsweise eine maximale Antriebsleistung von 300 Kilowatt benötigt, so können drei separate Brennstoffzellensysteme mit jeweils einer Maximalleistung von 100 Kilowatt modular zusammen das Brennstoffzellennetzwerk ausbilden. Im normalen Betrieb führt dies dazu, dass je nach aktueller Antriebssituation des Hochleistungsfahrzeugs eine aktuelle Leistungsanforderung des Hochleistungsfahrzeugs ermittelt wird. Diese Leistungsanforderung kann beispielsweise in Kilowatt angegeben werden. So kann beispielsweise für den Betrieb eines Schiffes in einer Betriebssituation eine aktuelle Leistungsanforderung von 150 Kilowatt vorliegen. Bei dem oben erwähnten Beispiel mit drei separaten Brennstoffzellensystemen mit jeweils einer Maximalleistung von 100 Kilowatt bedeutet dies, dass unterschiedliche Betriebsweisen dieses Brennstoffzellennetzwerks möglich sind. Bei der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Kontrollverfahrens wird nun die Leistungsanforderung auf die Brennstoffzellensysteme aufgeteilt. Bei dem genannten Beispiel kann dieses Aufteilen auf zwei Brennstoffzellensysteme mit jeweils 75 Kilowatt oder auf alle drei Brennstoffzellensysteme mit entsprechend reduzierter Leistung von 50 Kilowatt erfolgen.

Durch das erfindungsgemäße Kontrollverfahren lässt sich eine optimale, insbesondere individuell an die Situation angepasste Aufteilung von Leistungsanforderungen von zumindest zwei Brennstoffzellensystemen realisieren. Besonders vorteilhaft kann beispielsweise auch ein Brennstoffzellensystem gestoppt werden, um einzelne oder mehrere Komponenten desselben zu regenerieren. Dabei kann das entsprechende Fahrzeug jedoch problemlos weiter betrieben werden, da die notwendige Leistung vom zweiten Brennstoffzellensystem zur Verfügung gestellt wird.

Üblicherweise ist die Effizienz eines Brennstoffzellensystems unterhalb der maximalen Leistung gegeben. Dies führt beim gegebenen Beispiel dazu, dass für eine Steigerung der Effizienz, welche als eine Zielvorgabe für ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren gegeben werden kann, ein Aufteilen auf alle drei Brennstoffzellensysteme, vorzugsweise in gleichmäßiger Aufteilung, erfolgen kann.

Für den Normalbetrieb werden nun also die Brennstoffzellensysteme mit einzelnen Betriebsleitungen so betrieben, dass in Kombination aller Betriebsleistungen die aktuell erfasste Leistungsanforderung des Hochleistungsfahrzeugs erfüllt wird.

Für diesen voranstehend beschriebenen Normalbetrieb der Brennstoffzellensysteme kann von unterschiedlichen Schädigungsmechanismen ausgegangen werden. So kann beispielsweise über einen längeren Betrieb eines Brennstoffzellensystems eine reversible Schädigung der Membran der einzelnen Brennstoffzellen in dem jeweiligen Brennstoffzellenstapel stattfinden. Da es sich um einen reversiblen Schädigungsmechanismus handelt, führt dies dazu, dass eine Umkehr dieser reversiblen Schädigung durch einen Regenerationsbetrieb möglich ist. Ein solcher Regenerationsbetrieb kann in einfachster Weise ein temporäres Ausschalten des jeweiligen Brennstoffzellensystems sein, sodass durch die reduzierte Last am Brennstoffzellensystem eine Regeneration der reversiblen Schädigung erfolgen kann. Sofern dies regelmäßig erfolgt, kann ein Kumulieren reversibler Schädigungen, wirksam vermieden oder zumindest auf ein Minimum reduziert werden. Insbesondere können dadurch Schädigungen vermieden oder zumindest minimiert werden. Durch das temporäre Ausschalten eines Brennstoffzellensystems können reversible Schädigungen rückgängig gemacht werden. Dies erfolgt vorteilhaft während eines Betriebes des Fahrzeuges, da die für den Betrieb notwendige Leistung von einem weiteren Brennstoffzellensystem zur Verfügung gestellt wird. Reversible Schädigungen können vorteilhaft in einem Regenerationsbetrieb während des Betriebes eines Fahrzeuges rückgängig gemacht werden. Dabei handelt es sich um eine besonders effiziente Methode zur Kontrolle eines Brennstoffzellennetzwerkes.

Diese Regeneration ist in einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellennetzwerk durch ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren auch dann möglich, wenn eine Leistungsanforderung für den Betrieb des Hochleistungsfahrzeugs vorliegt. Diese Situation wird nachfolgend näher erläutert. Hier wird Bezug genommen auf das oben angeführte Beispiel mit einer Leistungsanforderung von 150 Kilowatt auf ein Brennstoffzellennetzwerk mit drei separaten Brennstoffzellensystemen mit einer jeweiligen Maximalleistung von 100 Kilowatt. Ein Normalbetrieb für eine Erfüllung dieser Leistungsanforderungen kann durch gleichmäßiges Aufteilen auf alle drei Brennstoffzellensysteme erfolgen. Über den andauernden Betrieb, beispielsweise über mehrere Stunden, entwickeln sich reversible Schädigungen in den einzelnen Brennstoffzellensystemen. Eine solche reversible Schädigung kann beispielsweise eine Degradation der

Membran in den Brennstoffzellen eines Brennstoffzellenstapels der Brennstoffzellensysteme sein. Diese reversible Schädigung führt dazu, dass der Umsetzungsgrad in elektrische Energie sich über die Zeit im Normalbetrieb reduziert.

Der erfindungsgemäße Kerngedanke beruht nun darauf, selektiv wenigstens eines der Brennstoffzellensysteme temporär aus diesem Normalbetrieb in einen Regenerationsbetrieb zu überführen. In einfachster Weise ist dieser Regenerationsbetrieb ein temporäres Ausschalten, als ein lastfreies oder lastarmes Betreiben dieses Brennstoffzellensystems. Wird dieser Regenerationsbetrieb für wenigstens ein Brennstoffzellensystem ausgewählt, so führt dies dazu, dass sich die Betriebsleistung dieses Brennstoffzellensystems im Regenerationsbetrieb ändert. In den meisten Fällen wird im Regenerationsbetrieb die Betriebsleistung des zu regenerierenden Brennstoffzellensystems absinken.

Um bei gleichbleibender Leistungsanforderung, beispielsweise gleichbleibend 150 Kilowatt für das Hochleistungsfahrzeug, diese elektrische Antriebsleistung nun auch im Regenerationsbetrieb eines Brennstoffzellensystems weiter gewährleisten zu können, wird durch das erfindungsgemäße Kontrollverfahren zumindest ein anderes Brennstoffzellensystem von einem Normalbetrieb in einen Ausgleichsbetrieb überführt. Dieser Ausgleichsbetrieb zielt darauf ab, die durch den Regenerationsbetrieb am zu regenerierenden Brennstoffzellensystem nun fehlende Betriebsleistung auszugleichen, indem das Betreiben des Brennstoffzellensystems im Ausgleichsbetrieb eine höhere Betriebsleistung zum Ausgleich dieser fehlenden Betriebsleistung und damit zum fortdauernden Erfüllen der Leistungsanforderung zur Verfügung stellt.

Dabei ist in einem ersten Schritt unerheblich, auf welche Weise dieser Ausgleichsbetrieb stattfindet. Die Ausgleichsleistung kann direkt durch eine verstärkte Auslastung dieses jeweiligen ausgleichenden Brennstoffzellensystems zur Verfügung gestellt werden. Jedoch können auch komplexere Ausgestaltungsformen, wie beispielsweise elektrische Speichervorrichtungen in Form von Batterievorrichtungen oder Kondensatorvorrichtungen, im Ausgleichsbetrieb die fehlende Betriebsleistung zur Verfügung stellen. Selbstverständlich ist zusätzlich oder alternativ auch das Verwenden eines Ausgleichs-Brennstoffzellensystems denkbar, um für die kurzen Regenerationszeitspannen den Ausgleichsbetrieb zu gewährleisten.

Es ist noch darauf hinzuweisen, dass in einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren der Regenerationsbetrieb nur temporär erfolgt. Dies ist insbesondere mit Bezug auf

die später noch erläuterte Normalbetriebszeitspanne deutlich kürzer als dieselbe. So kann beispielsweise eine Normalbetriebszeitspanne über mehrere Stunden, beispielsweise 10 oder mehr Stunden, erfolgen, während der anschließende Regenerationsbetrieb über eine sehr kurze Regenerationszeitspanne im Bereich weniger Minuten oder sogar weniger Sekunden erfolgen kann. Mit anderen Worten erfolgt ein andauernder Betrieb in Normalbetriebsweise für alle Brennstoffzellensysteme, wobei nach einer langen Normalbetriebszeitspanne von beispielsweise 10 oder mehr Stunden ein kurzzeitiges Lastfreischalten eines einzelnen Brennstoffzellensystems für einen Regenerationsbetrieb sorgt. Um diesen Regenerationsbetrieb auszugleichen wird für diese gleiche kurze Regenerationszeitspanne vorzugsweise eine identisch lange Ausgleichszeitspanne an einem anderen Brennstoffzellensystem zur Verfügung gestellt, um die Leistungsanforderung kontinuierlich zu erfüllen und die durch die Regeneration fehlende Betriebsleistung zu kompensieren.

Wie aus der voranstehenden Erläuterung ersichtlich wird, kann nun eine Kombination von mehreren Vorteilen durch ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren erzielt werden. Zudem wird es möglich, auch Hochleistungsfahrzeuge in einfacher und kostengünstiger Weise mit elektrischer Antriebsenergie aus einem Brennstoffzellennetzwerk zu versorgen. Dies ist insbesondere deswegen möglich, da eine modulare Kombination einer Mehrzahl einzelner Brennstoffzellensysteme in Kombination im Brennstoffzellennetzwerk sehr hohe Hochleistungsanforderungen erfüllen kann.

Die Kombination in einem Brennstoffzellennetzwerk wird darüber hinaus mit langen Betriebsweisen kombinierbar. Über solche langen Betriebsweisen besteht ansonsten die Problematik einer fortdauernden reversiblen Schädigung der einzelnen Brennstoffzellensysteme. Insbesondere bei langen Betriebssituationen bei Schiffen über mehrere Tage oder bei Langstreckenflügen, also bei Flugstrecken über 10 Stunden und mehr, würde dies zu signifikanten Leistungsabfällen an den einzelnen Brennstoffzellensystemen und der notwendigen Leistung für den Betrieb des Hochleistungsfahrzeugs führen. Um dies auszugleichen, wird das erfindungsgemäße Kontrollverfahren eingesetzt, um diese reversiblen Schädigungen regelmäßig, insbesondere, wie später noch erläutert wird, in zyklischer Weise, durch Regenerationsbetrieb zumindest teilweise zu beheben. Dies führt dazu, dass ein Brennstoffzellennetzwerk, wie es ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist, im Wesentlichen beliebig lange ohne maßgebliche Leistungseinbußen betrieben werden kann.

Es kann Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren die Aufteilung der Leistungsanforderung gleichmäßig oder im Wesentlichen gleichmäßig auf die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme erfolgt. Ein solches gleichmäßiges Aufteilen ist insbesondere dann der Fall, wenn die einzelnen Brennstoffzellensysteme identische oder sehr ähnliche Maximalleistungen aufweisen. Im eingangs bereits erläuterten Beispiel wären dies drei separate Brennstoffzellensysteme mit 100 Kilowatt Maximalleistung, wobei bei einer Leistungsanforderung von in diesem Fall nun 150 Kilowatt, eine Aufteilung gleichmäßig von jeweils 50 Kilowatt auf jedes einzelne Brennstoffzellensystem erfolgen würde. Selbstverständlich kann jedoch ein gleichmäßiges Aufteilen auch an unterschiedlich große Brennstoffzellensysteme angepasst sein. Auch ist es grundsätzlich denkbar, dass ein oder mehrere Brennstoffzellensysteme in Teillastbetrieben vollständig ausgeschaltet werden, wie dies später noch erläutert wird.

Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren die Aufteilung der Leistungsanforderung die Betriebseffizienz der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme berücksichtigt, sodass die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme insbesondere mit einem identischen oder im Wesentlichen identischen Wirkungsgrad betrieben werden. Der Wirkungsgrad ist dabei insbesondere die Umsetzungsrate, also die Energieeffizienz bei der Umsetzung von einem Betriebsgas des Brennstoffzellensystems in elektrische Energie. Dieser Wirkungsgrad kann von der Bauweise, der Größe, der aktuellen Betriebssituation oder der Temperatursituation des Brennstoffzellensystems abhängig sein. So kann dieser Wirkungsgrad selbstverständlich über den Lauf der Einsatzdauer auch unterschiedlich ausfallen. Insbesondere wird darauf abgezielt, dass bei der Aufteilung der Leistungsanforderung die gesamte Effizienz, also der gesamte Wirkungsgrad beim Einsatz aller Brennstoffzellensysteme maximiert wird. Dies kann für gleichgroße, aber auch für unterschiedliche Brennstoffzellensysteme Verwendung finden.

Vorteilhaft ist es ebenfalls, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren zumindest eines der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme zum Erfüllen einer erfassten niedrigen Leistungsanforderung ausgeschaltet wird. Beispielsweise wird wiederum bei der Ausgestaltungsform eines Brennstoffzellennetzwerks mit 300 Kilowatt in einem niedrigen Lastbetrieb nur eine Leistungsanforderung von zum Beispiel 80 Kilowatt erfasst. In einem solchen Fall kann ein Aufteilen von jeweils 40 Kilowatt auf zwei Brennstoffzellensysteme erfolgen, wobei insbesondere der erhöhte Wirkungs-

grad in diesem Leistungsbereich der Brennstoffzellensysteme Berücksichtigung findet. Das dritte Brennstoffzellensystem kann bei dieser Leistungsanforderung sogar vollständig ausgeschaltet bleiben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass vorzugsweise beim Ausschalten einzelner Brennstoffzellensysteme in Niedriglastbereichen die Auswahl des auszuschaltenden Brennstoffzellensystems zyklisch variiert wird. Dies führt dazu, dass in einer Niedriglastsituation immer unterschiedliche Brennstoffzellensysteme ausgeschaltet werden, sodass entsprechend der Verschleiß und insbesondere bei langfristigem Dauerbetrieb entstehende irreversible Schädigungen, gleichmäßig auf alle Brennstoffzellensysteme des Brennstoffzellennetzwerks verteilt werden können.

Von Vorteil kann es darüber hinaus sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren für den Ausgleichsbetrieb wenigstens eine der folgenden Betriebsweisen eingesetzt wird:

- Erhöhen der Betriebsleistung des wenigstens einen weiteren Brennstoffzellensystems,
- Ergänzen der Betriebsleistung des wenigstens einen weiteren Brennstoffzellensystems mit einer Speicherleistung aus einer elektrischen Speichervorrichtung.

Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Die einzelnen Betriebsweisen können selbstverständlich auch miteinander kombiniert werden. Im einfachsten Fall wird ein Brennstoffzellensystem im Regenerationsbetrieb des anderen Brennstoffzellensystems mit einer erhöhten Betriebsleistung betrieben, um die entsprechende Ausgleichsleistung zur Verfügung zu stellen. Alternativ oder zusätzlich kann auch eine elektrische Speichervorrichtung vorgesehen sein, welche im Normalbetrieb aufgeladen wird, sodass in einem Regenerationsbetrieb zumindest ein Teil der fehlenden Betriebsleistung aus dieser elektrischen Speichervorrichtung kompensiert werden kann. Ebenfalls alternativ oder zusätzlich ist es denkbar, dass bei sehr großen Brennstoffzellennetzwerken ein oder mehrere kleine Ausgleichs-Brennstoffzellensysteme vorgesehen sind. Diese können beispielsweise auf 10% der Maximalleistung eines der modularen Brennstoffzellensysteme ausgelegt sein. So kann beispielsweise ein Ausgleichsbrennstoffzellensystem vorgesehen sein, mit einer Maximalleistung von 10 Kilowatt, welches in der Lage ist, alleine oder im Zusammenspiel mit erhöhten Betriebsleistungen der anderen Brennstoffzellensys-

teme und/oder einer elektrischen Speichervorrichtung den notwendigen Ausgleich zum Erfüllen der Leistungsanforderung gewährleisten zu können. Selbstverständlich ist auch der Einsatz klassischer Verbrennungsmaschinen mit einer Generatorvorrichtung in Form einer Hybridfunktionalität im Rahmen des vorliegenden erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens denkbar.

Beispielhaft kann bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren der Regenerationsbetrieb für eine Regenerationszeitspanne erfolgen, welche zu einer Normalbetriebszeitspanne des Brennstoffzellensystems in einem Normalbetrieb ein Regenerationsverhältnis im Bereich von circa 0,005% bis circa 0,5% aufweist. Mit anderen Worten liegt die Regenerationszeitspanne im Bereich von 0,005% und 0,5% der zugehörigen Normalbetriebszeitspanne. Vorteilhaft ist es, wenn die Regenerationszeitspanne weniger als 10 % der Normalbetriebszeitspanne beträgt. Befindet sich das Brennstoffzellennetzwerk oder das entsprechende Brennstoffzellensystem beispielsweise über eine Normalbetriebszeitspanne von 11 Stunden im Normalbetrieb, so kann eine Regenerationszeitspanne von beispielsweise 2 Sekunden eingesetzt werden. Dies zeigt gut die Verhältnisse bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren für das temporäre Betreiben wenigstens eines Brennstoffzellensystems im Regenerationsbetrieb. Grundsätzlich ist es jedoch vorteilhaft vorgesehen, dass die Regenerationszeitspanne unabhängig vom vorhergegangenen Betrieb ist. Sprich, eine Regeneration dauert in der Regel immer gleich lang. Eine Zeitdauer des Betriebes vorher spielt dabei in der Regel keine Rolle.

Vorteile bringt es weiter mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren zwei unterschiedliche Brennstoffzellensysteme des Brennstoffzellennetzwerks nacheinander im Regenerationsbetrieb betrieben werden. Darunter ist zu verstehen, dass, insbesondere in zyklischer Weise, alle Brennstoffzellensysteme regelmäßig in einen Regenerationsbetrieb versetzt werden. Die bereits erläuterte reversible Schädigung der einzelnen Brennstoffzellensysteme wird nun durch das Regenerieren aller Brennstoffzellensysteme für alle behoben, sodass das gesamte Brennstoffzellennetzwerk vor reversibler, kumulierender Schädigung geschützt ist. Die erfindungsgemäßen Vorteile werden somit für das gesamte Brennstoffzellennetzwerk erzielbar.

Bei der Ausführungsform gemäß dem voranstehenden Absatz kann es Vorteile mit sich bringen, wenn bei dem Kontrollverfahren der Regenerationsbetrieb der unterschiedlichen Brennstoffzellensysteme identisch oder im Wesentlichen identisch er-

folgt. Insbesondere ist die Regenerationszeitspanne und/oder die Regenerationsbetriebsweise für alle Regenerationsbetriebe identisch. So kann beispielsweise eine 2-sekündige und lastfreie Betriebsweise als Regenerationsbetrieb für alle Brennstoffzellensysteme angewendet werden. Grundsätzlich kann es auch vorteilhaft sein, wenn sich eine Dauer des Regenerationsbetriebes nach einem Ausmaß der Degradation richtet.

Von Vorteil ist es ebenfalls, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren der Regenerationsbetrieb der unterschiedlichen Brennstoffzellensysteme zyklisch erfolgt. So kann ein mehrfaches und insbesondere zyklisch vorgegebenes Regenerieren stattfinden, sodass beispielsweise alle 11 Stunden ein Regenerationsbetrieb in versetzter Weise für alle Brennstoffzellensysteme stattfindet. Damit ist auch ein sehr langfristiger Dauerbetrieb, beispielsweise bei einem Hochleistungsfahrzeug in Form eines Schiffes mit einem kontinuierlichen Betrieb über mehrere Tage, in mehr oder weniger schädigungsfreier Weise denkbar.

Von Vorteil ist es weiter, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren der Regenerationsbetrieb und das jeweilige Brennstoffzellensystem lastfrei oder im Wesentlichen lastfrei erfolgt. Mit anderen Worten wird im Regenerationsbetrieb das jeweilige Brennstoffzellensystem temporär und damit kurzfristig ausgeschaltet. Dies kann zum Beispiel durch Unterbrechen einer Betriebsgaszufuhr erfolgen. Zusätzlich oder alternativ wird die entsprechende Leistungsanforderung an diesem Brennstoffzellensystem reduziert, um einen lastfreien oder lastarmen Betrieb an dem zu regenerierenden Brennstoffzellensystem gewährleisten zu können.

Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren die Erfassung der reversiblen Schädigung wenigstens einen der folgenden Schritte aufweist:

- Erfassung wenigstens eines Schädigungsparameters mittels eines Schädigungssensors;
- Erfassung eines Effizienzverlustes;
- Simulation wenigstens eines Schädigungsmechanismus;
- Vergleich mit einem Schädigungskennfeld.

Auch bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Werden Schädigungssensoren vorgesehen, so kann eine direkte oder indirekte Bestimmung über einen Schädigungsparameter erfolgen. Beispielsweise kann aus Informationen aus einem Versuchsbetrieb auf einem Prüfstand des Brennstoffzellensystems die Kenntnis erlangt werden, über welche Zeitspanne eine Degradation der Membran erfolgt. Diese Degradationskennlinie kann als reversible Schädigungskennlinie einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren zugrunde gelegt werden. Selbstverständlich ist auch eine komplexe Simulation im laufenden Betrieb von reversiblen Schädigungen denkbar. Dies erlaubt es, in algorithmischer Weise, die real ablaufenden komplexen Schädigungsmechanismen durch Simulation nachzuhalten, sodass sie insbesondere in Bezug gesetzt werden auf die tatsächliche Betriebsweise des Brennstoffzellensystems über die Normalbetriebszeitspanne. In einem beispielhaften Fall wird der Regenerationsbetrieb gestartet, wenn eine Abweichung zwischen einer Solleffizienz und einer Isteffizienz einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet. Ein derartiger Effizienzverlust wird insbesondere durch eine Spannungsmessung des Brennstoffzellenstapels festgestellt.

Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Kontrollvorrichtung zur Durchführung eines Kontrollverfahrens für eine Kontrolle eines Brennstoffzellennetzwerks mit wenigstens zwei separaten Brennstoffzellensystemen mit jeweils wenigstens einem Brennstoffzellenstapel zum Erzeugen elektrischer Energie für einen Antrieb des Hochleistungsfahrzeugs. Eine solche Kontrollvorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass ein Leistungsmodul vorgesehen ist, zum Erfassen einer Leistungsanforderung für den Antrieb des Hochleistungsfahrzeugs. Weiter ist ein Aufteilmodul vorgesehen zum Aufteilen der Leistungsanforderung auf die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme. Mithilfe eines Schädigungsmoduls ist ein Erfassen wenigstens einer reversiblen Schädigung der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme möglich. Die Kontrollvorrichtung weist weiter ein Betriebsmodul auf, zum Betreiben der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme mit Betriebsleistungen für ein kombiniertes Erfüllen der Leistungsanforderung. Weiter dient das Betriebsmodul zum temporären Betreiben wenigstens eines Brennstoffzellensystems in einem Regenerationsbetrieb zum wenigstens teilweisen Beheben der reversiblen Schädigung. Dabei wird wenigstens ein weiteres Brennstoffzellensystem in einem Ausgleichsbetrieb betrieben, zum Ausgleich der fehlenden Betriebsleistung des Brennstoffzellensystems beim Erfüllen der Leistungsanforderung. Insbesondere ist das Leistungsmodul, das

Aufteilmodul, das Betriebsmodul und das Schädigungsmodul für eine Durchführung eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens ausgebildet.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Brennstoffzellennetzwerk mit wenigstens zwei separaten Brennstoffzellensystemen mit jeweils wenigstens einem Brennstoffzellenstapel zum Erzeugen elektrischer Energie für einen Antrieb eines Hochleistungsfahrzeugs. Ein solches Brennstoffzellennetzwerk zeichnet sich durch eine erfindungsgemäße Kontrollvorrichtung aus. Damit bringt ein erfindungsgemäßes Brennstoffzellennetzwerk die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf eine erfindungsgemäße Kontrollvorrichtung sowie mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren erläutert worden sind.

Es kann Vorteile mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellennetzwerk die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme identisch oder im Wesentlichen identisch ausgebildet sind. Somit können identische Module ausgebildet werden, welche in einem Brennstoffzellennetzwerk zusammengesetzt werden, sodass im Wesentlichen beliebig große skalierbare Brennstoffzellennetzwerke durch die Einzelmodule der Brennstoffzellensysteme ausbildbar sind. Ein Angleichen, insbesondere ein identisches Ausbilden der einzelnen Brennstoffzellensysteme, erlaubt es, ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren noch einfacher, kostengünstiger und vor allem rechenärmer durchzuführen.

Von Vorteil ist es ebenfalls, wenn bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellennetzwerk wenigstens eine elektrische Speichervorrichtung und/oder wenigstens ein Ausgleichs-Brennstoffzellensystem vorgesehen ist, insbesondere als Teil eines der Brennstoffzellensysteme, zum Ausgleich der fehlenden Betriebsleistung des Brennstoffzellensystems im Regenerationsbetrieb. Damit ist ein zusätzlicher oder alternativer Ausgleich der fehlenden Betriebsleistungen in einer Regenerationssituation möglich. Eine solche elektrische Speichervorrichtung kann beispielsweise eine Batterievorrichtung und/oder eine Kondensatorvorrichtung aufweisen. Somit ist also ein Pufferbetrieb möglich, um in einer Regenerationssituation die notwendige Leistungsanforderung weiter zur Verfügung stellen zu können.

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

- Fig. 1 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung in einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellennetzwerk,
- Fig. 2 eine Möglichkeit der Durchführung eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens,
- Fig. 3 eine weitere Möglichkeit einer Durchführung eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens,
- Fig. 4 eine Darstellung der Betriebsweise eines Brennstoffzellensystems in einem Brennstoffzellennetzwerk.

Figur 1 zeigt schematisch ein Hochleistungsfahrzeug 300, welches zum Beispiel ein Containerschiff sein kann. Um dieses Containerschiff als Hochleistungsfahrzeug 300 antreiben zu können, ist hier ein Hochleistungsantrieb 310 vorgesehen, welcher zum Beispiel die Schiffsschraube mit Drehmoment versorgen kann. Dieser Hochleistungsantrieb 310 benötigt elektrische Antriebsleistung, welche hier von einem Brennstoffzellennetzwerk 200 zur Verfügung gestellt wird.

Das Brennstoffzellennetzwerk 200 der Figur 1 ist hier beispielhaft mit zwei Brennstoffzellensystemen 100 dargestellt. Diese beiden Brennstoffzellensysteme 100 sind im Wesentlichen identisch ausgebildet und jeweils mit einem Brennstoffzellenstapel 110 ausgestattet. In einer normalen Betriebssituation im Normalbetrieb NB wird vom einem Leistungsmodul 20 der Kontrollvorrichtung 10 eine aktuelle Leistungsanforderung LAF vom Hochleistungsantrieb 310 erfasst. Diese aktuelle Leistungsanforderung soll erfüllt werden und wird daher vom Aufteilmodul 30 der Kontrollvorrichtung 10 auf die hier schematisch dargestellten zwei Brennstoffzellensysteme 100 aufgeteilt. Diese werden nun vom Betriebsmodul 50 so betrieben, dass die Betriebsleistungen BL kombiniert die aktuelle Leistungsanforderung erfüllen und entsprechend die exakt ausreichende Menge elektrischer Energie für die aktuelle Antriebssituation des Hochleistungsfahrzeugs 300 dem Hochleistungsantrieb 310 zur Verfügung gestellt wird.

Bei der Ausführungsform der Figur 1 ist darüber hinaus noch zu erkennen, dass mithilfe eines Schädigungsmoduls 40 reversible Schädigungen der einzelnen Brennstoffzellensysteme überwacht werden können. Wie später noch mit Bezug auf die Figuren 2, 3 und 4 erläutert wird, kann dementsprechend immer eines der Brennstoffzellensysteme 100 in einen Regenerationsbetrieb RB versetzt werden. Um in einem

solchen Regenerationsbetrieb RB immer noch die jeweilige Leistungsanforderung LAF des Hochleistungsantriebs 310 erfüllen zu können, sind hier zwei zusätzliche Ausgleichsmöglichkeiten dargestellt. Neben einem Ausgleichsbetrieb AB des weiter betriebenen Brennstoffzellensystems 100 kann hier eine Speicherleistung SL aus einer elektrischen Speichervorrichtung 120 diesen Ausgleich zur Verfügung stellen. Auch ist es möglich, dass ein Ausgleichs-Brennstoffzellensystem 130 eine Ausgleichsleistung AL für den Ausgleich einer solchen Fehlleistung im Regenerationsbetrieb RB zur Verfügung stellt.

Die Figur 2 zeigt schematisch die Betriebsweisen der hier mit I und II bezeichneten beiden Brennstoffzellensysteme 100 über einen Langzeitbetrieb. Während das Brennstoffzellensystem 100 mit der Ziffer I in einem Normalbetrieb NB bei circa 60% der Maximalleistung betrieben wird, nimmt eine reversible Schädigung über den Dauerbetrieb zu. Um diese reversible Schädigung auszugleichen wird nun zu einem ersten Zeitpunkt ein Regenerationsbetrieb RB durchgeführt. Dies ist in der oberen Diagrammdarstellung für den Betrieb des Brennstoffzellensystems 100 mit der Ziffer I dadurch zu erkennen, dass im Regenerationsbetrieb RB die Betriebsleistung BL dieses Brennstoffzellensystems 100 auf 0% und damit lastfrei abgesenkt wird. Mit anderen Worten wird bei gleichbleibender Leistungsanforderung LAF nun von diesem Brennstoffzellensystemen 100 keine Betriebsleistung BL mehr zur Verfügung gestellt. Um trotzdem die aktuell angeforderte Leistungsanforderung LAF erfüllen zu können, wird vom Brennstoffzellensystem 100 mit der Ziffer II im unteren Diagramm nun ein Ausgleichsbetrieb AB durchgeführt, mit einer entsprechend angehobenen Betriebsleistung BL, hier bei circa 100% der Maximalleistung. Mit anderen Worten gleicht das II. Brennstoffzellensystem 100 im Ausgleichsbetrieb AB die fehlende Betriebsleistung BL im Regenerationsbetrieb RB des I. Brennstoffzellensystem 100 aus. Über den weiteren Zeitverlauf wird nach dem temporär kurzzeitigen, zum Beispiel 2-sekündigen, Regenerationsbetrieb RB wieder ein Normalbetrieb NB für beide Brennstoffzellensysteme 100 erfolgen.

Nun ist es möglich, auch eine Regeneration des II. Brennstoffzellensystems 100 durchzuführen und in gleicher Weise einen Ausgleich der fehlenden Betriebsleistung BL nun im Ausgleichsbetrieb AB für das I. Brennstoffzellensystem durchzuführen. Dies kann selbstverständlich beliebig für mehrere Brennstoffzellensysteme 100 erweitert werden. Insbesondere erfolgt die Kombination aus Regenerationsbetrieben

RB und Ausgleichsbetrieben AB, wie sie im Voranstehenden zur Figur 2 erläutert worden sind, in zyklischer Weise.

Die Figur 3 zeigt eine ähnliche Ausgestaltung wie die Figur 2. Jedoch wird hier im jeweiligen Regenerationsbetrieb RB das jeweils andere Brennstoffzellensystem 100 im Normalbetrieb NB mit gleichbleibender, insbesondere konstanter, Betriebsleistung BL weiterbetrieben. Im Ausgleichsbetrieb AB fehlende Betriebsleistung BL vom jeweils zu regenerierenden Brennstoffzellensystem 100 wird hier separat von einem Ausgleichs-Brennstoffzellensystem 130 in Form einer Ausgleichsleistung AL oder von einer Speichervorrichtung 120 in Form einer Speicherleistung SL zur Verfügung gestellt. Dies kann selbstverständlich auch mit der Ausführungsform gemäß der Figur 2 kombiniert werden.

Figur 4 zeigt nochmals die Größenverhältnisse der einzelnen Zeitspannen. Beispielsweise erfolgt hier bei einem schematisch dargestellten ersten Brennstoffzellensystem 100 ein Normalbetrieb NB über eine sehr lange Normalbetriebszeitspanne NZ von beispielsweise 11 Stunden. Für die über diese Zeit angehäuften reversible Schädigung erfolgt ein sehr kurzfristiger temporärer Regenerationsbetrieb RB, über eine Regenerationszeitspanne RZ, von beispielsweise 2 Sekunden. In diesem Regenerationsbetrieb RB wird das Brennstoffzellensystem 100 lastfrei geschaltet, die Betriebsleistung BL also auf 0% oder im Wesentlichen 0% gesenkt. In ähnlicher Weise ist hier ein Ausgleichsbetrieb AB dargestellt, welcher über eine Ausgleichszeitspanne AZ durchgeführt wird. Diese Ausgleichszeitspanne AZ kann kleiner oder insbesondere identisch lang wie die Regenerationszeitspanne RZ des jeweils anderen Brennstoffzellensystems 100 ausgebildet sein.

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

Bezugszeichenliste

10	Kontrollvorrichtung
20	Leistungsmodul
30	Aufteilmodul
40	Schädigungsmodul
50	Betriebsmodul
100	Brennstoffzellensystem
110	Brennstoffzellenstapel
120	Speichervorrichtung
130	Ausgleichs-Brennstoffzellensystem
200	Brennstoffzellennetzwerk
300	Hochleistungsfahrzeug
310	Hochleistungsantrieb
LAF	Leistungsanforderung
BL	Betriebsleistung
SL	Speicherleistung
AL	Ausgleichsleistung
RB	Regenerationsbetrieb
RZ	Regenerationszeitspanne
AB	Ausgleichsbetrieb
AZ	Ausgleichszeitspanne
NB	Normalbetrieb
NZ	Normalbetriebszeitspanne

Patentansprüche

1. Kontrollverfahren für eine Kontrolle eines Brennstoffzellennetzwerks (200) mit wenigstens zwei separaten Brennstoffzellensystemen (100) mit jeweils wenigstens einem Brennstoffzellenstapel (110) zum Erzeugen elektrischer Energie für einen Antrieb eines Hochleistungsfahrzeugs (300), **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:
 - Erfassen einer Leistungsanforderung (LAF) für den Antrieb des Hochleistungsfahrzeugs (300),
 - Aufteilen der Leistungsanforderung (LAF) auf die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100),
 - Betreiben der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100) mit Betriebsleistungen (BL) für ein kombiniertes Erfüllen der Leistungsanforderung (LAF),
 - Erfassen wenigstens einer reversiblen Schädigung der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100),
 - Temporäres Betreiben wenigstens eines Brennstoffzellensystems (100) in einem Regenerationsbetrieb (RB) zum wenigstens teilweisen Beheben der reversiblen Schädigung, wobei wenigstens ein weiteres Brennstoffzellensystem (100) in einem Ausgleichsbetrieb (AB) betrieben wird zum Ausgleich der fehlenden Betriebsleistung (BL) des Brennstoffzellensystems (100) beim Erfüllen der Leistungsanforderung (LAF).
2. Kontrollverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aufteilung der Leistungsanforderung (LAF) gleichmäßig oder im Wesentlichen gleichmäßig auf die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100) erfolgt.
3. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aufteilung der Leistungsanforderung (LAF) die Betriebseffizienz der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100) berücksichtigt, so dass die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100) insbesondere mit einem identischen oder im Wesentlichen identischen Wirkungsgrad betrieben werden.

4. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eines der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100) zum Erfüllen einer erfassten niedrigen Leistungsanforderung (LAF) ausgeschaltet wird.
5. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Ausgleichsbetrieb (AB) wenigstens eine der folgenden Betriebsweisen eingesetzt wird:
 - Erhöhen der Betriebsleistung (BL) des wenigstens einen weiteren Brennstoffzellensystems (100)
 - Ergänzen der Betriebsleistung (BL) des wenigstens einen weiteren Brennstoffzellensystems (100) mit einer Speicherleistung (SL) aus einer elektrischen Speichervorrichtung (120).
6. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei unterschiedliche Brennstoffzellensysteme (100) des Brennstoffzellennetzwerks (200) nacheinander im Regenerationsbetrieb (RB) betrieben werden.
7. Kontrollverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Regenerationsbetrieb (RB) der unterschiedlichen Brennstoffzellensysteme (100) identisch oder im Wesentlichen identisch erfolgt.
8. Kontrollverfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Regenerationsbetrieb (RB) der unterschiedlichen Brennstoffzellensysteme (100) zyklisch erfolgt.
9. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Regenerationsbetrieb (RB) für das jeweilige Brennstoffzellensystem (100) lastfrei oder im Wesentlichen lastfrei erfolgt.
10. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Erfassung der reversiblen Schädigung wenigstens einen der folgenden Schritte aufweist:
 - Erfassung wenigstens eines Schädigungsparameters mittels eines Schädigungssensors;

- Erfassung eines Effizienzverlustes;
 - Simulation wenigstens eines Schädigungsmechanismus;
 - Vergleich mit einem Schädigungskennfeld.
11. Kontrollvorrichtung (10) zur Durchführung eines Kontrollverfahrens für eine Kontrolle eines Brennstoffzellennetzwerks (200) mit wenigstens zwei separaten Brennstoffzellensystemen (100) mit jeweils wenigstens einem Brennstoffzellenstapel (110) zum Erzeugen elektrischer Energie für einen Antrieb eines Hochleistungsfahrzeugs (300), **gekennzeichnet durch** ein Leistungsmodul (20) zum Erfassen einer Leistungsanforderung (LAF) für den Antrieb des Hochleistungsfahrzeugs (300), ein Aufteilmodul (30) zum Aufteilen der Leistungsanforderung (LAF) auf die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100), ein Schädigungsmodul (40) zum Erfassen wenigstens einer reversiblen Schädigung der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100) und ein Betriebsmodul (50) zum Betreiben der wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100) mit Betriebsleistungen (BL) für ein kombiniertes Erfüllen der Leistungsanforderung (LAF) und zum temporären Betreiben wenigstens eines Brennstoffzellensystems (100) in einem Regenerationsbetrieb (RB) zum wenigstens teilweisen Beheben der reversiblen Schädigung, wobei wenigstens ein weiteres Brennstoffzellensystem (100) in einem Ausgleichsbetrieb (AB) betrieben wird zum Ausgleich der fehlenden Betriebsleistung (BL) des Brennstoffzellensystems (100) beim Erfüllen der Leistungsanforderung (LAF), wobei das Leistungsmodul (20), das Aufteilmodul (30), das Betriebsmodul (50) und das Schädigungsmodul (40) insbesondere ausgebildet sind für eine Durchführung eines Kontrollverfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 10.
12. Brennstoffzellennetzwerk (200) mit wenigstens zwei separaten Brennstoffzellensystemen (100) mit jeweils wenigstens einem Brennstoffzellenstapel (110) zum Erzeugen elektrischer Energie für einen Antrieb eines Hochleistungsfahrzeugs (300), **gekennzeichnet durch** eine Kontrollvorrichtung (10) mit den Merkmalen des Anspruchs 11.
13. Brennstoffzellennetzwerk (200) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens zwei Brennstoffzellensysteme (100) identisch oder im Wesentlichen identisch ausgebildet sind.

14. Brennstoffzellennetzwerk (200) nach einem der Ansprüche 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine elektrische Speichervorrichtung (120) und/oder wenigstens ein Ausgleichs-Brennstoffzellensystem (130) vorgesehen ist, insbesondere als Teil eines der Brennstoffzellensysteme (100), zum Ausgleich der fehlenden Betriebsleistung (BL) des Brennstoffzellensystems (100) im Regenerationsbetrieb (RB).

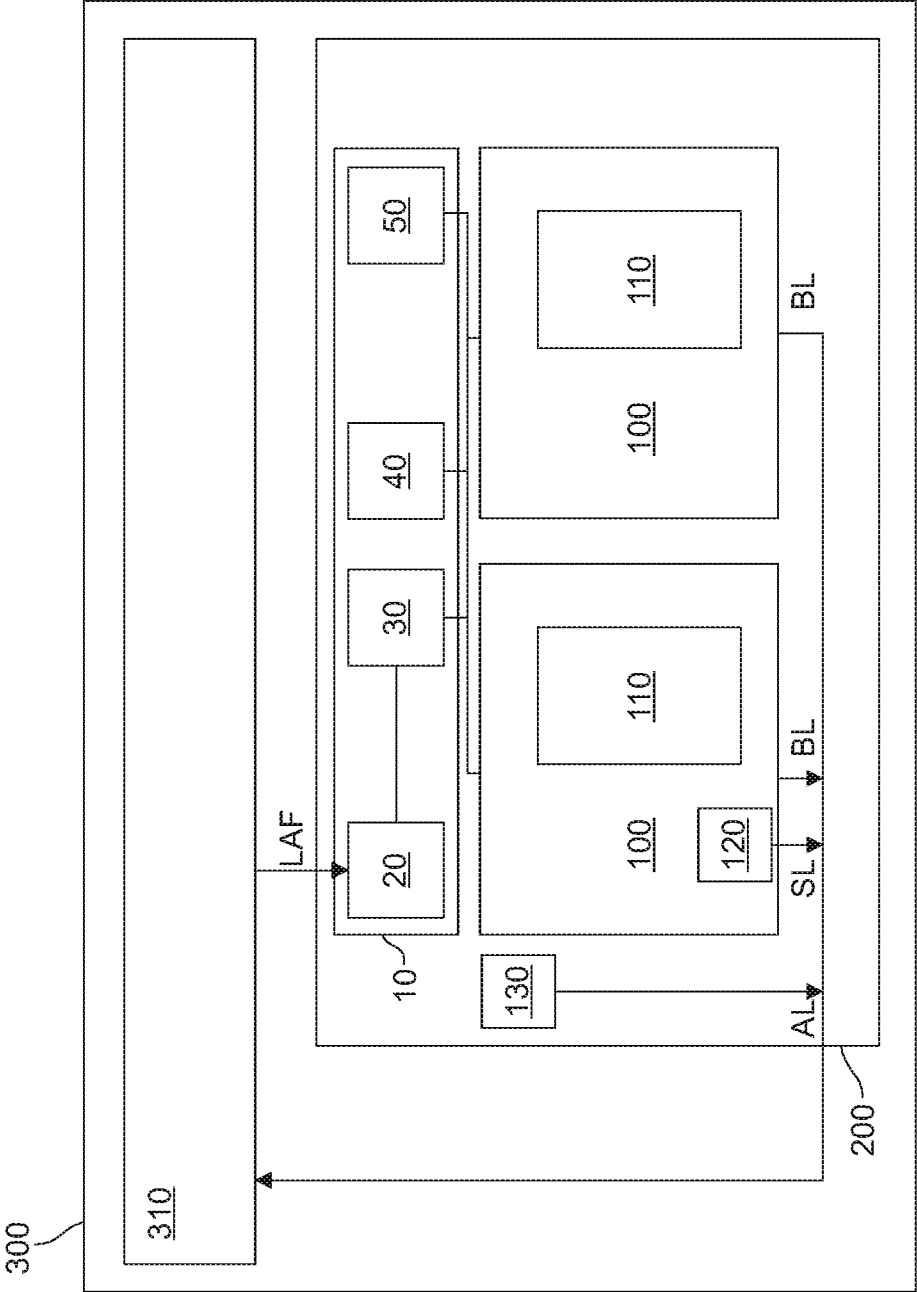


Fig. 1

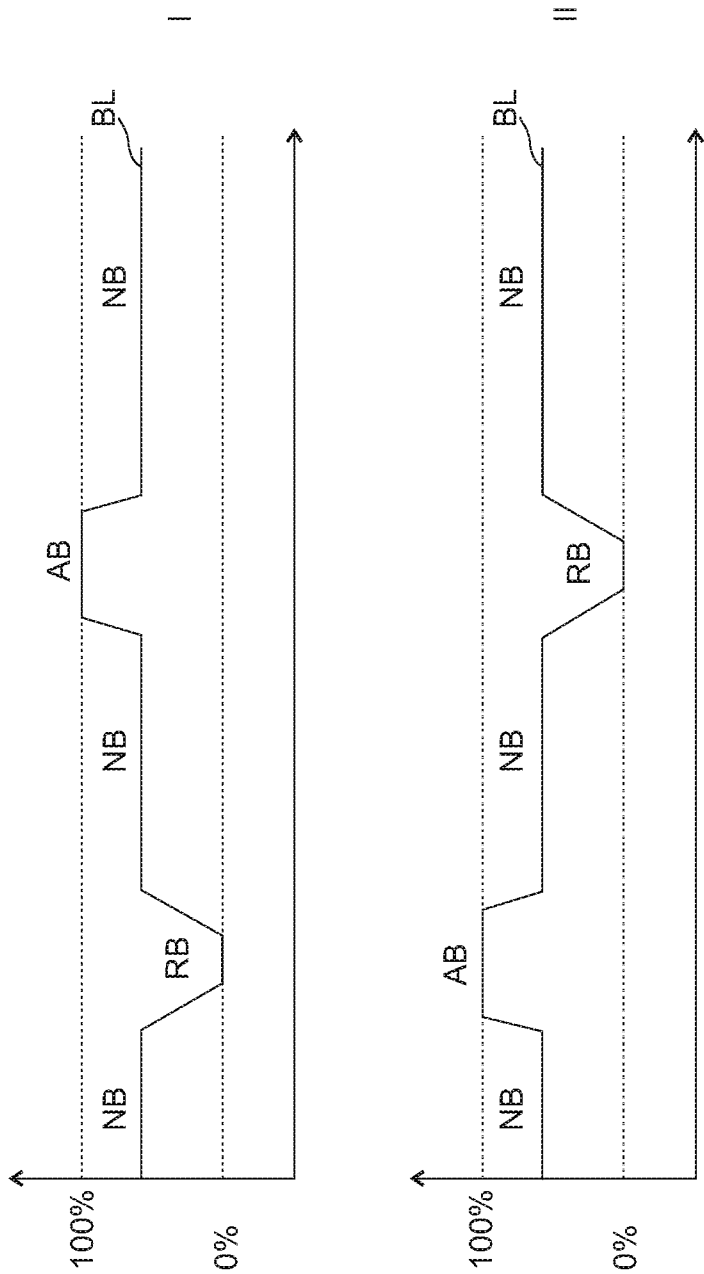


Fig. 2

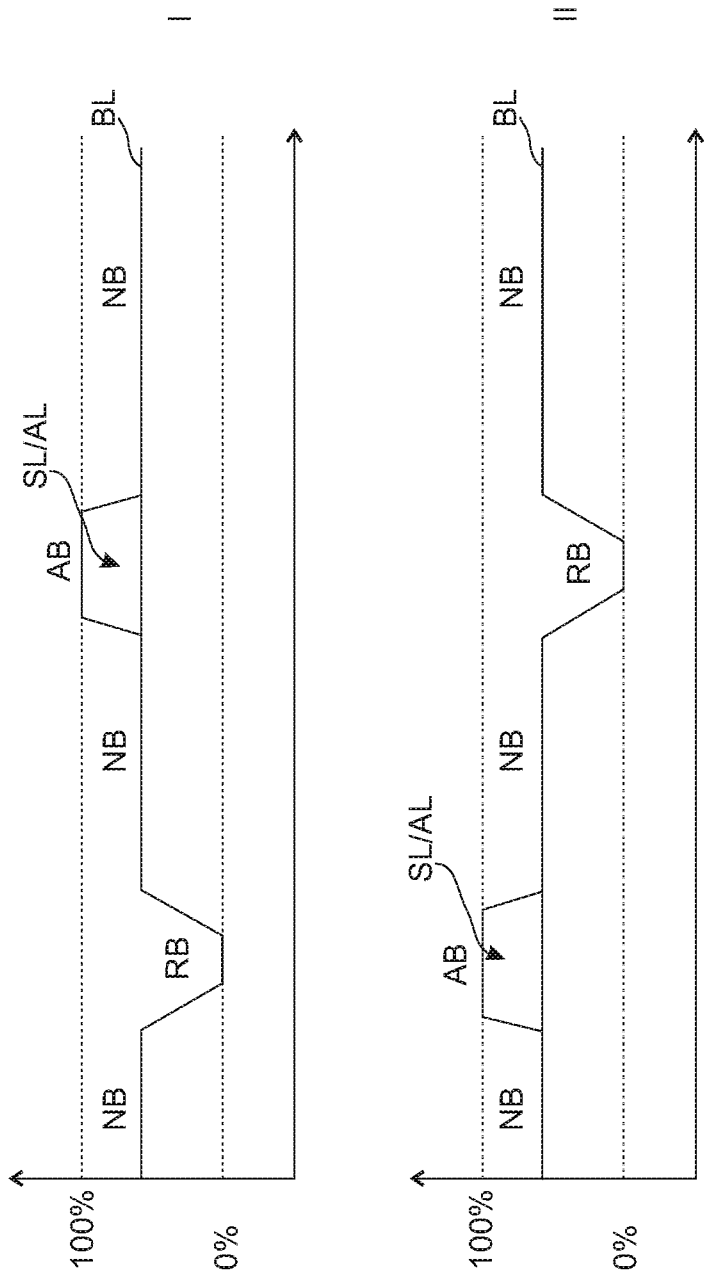


Fig. 3

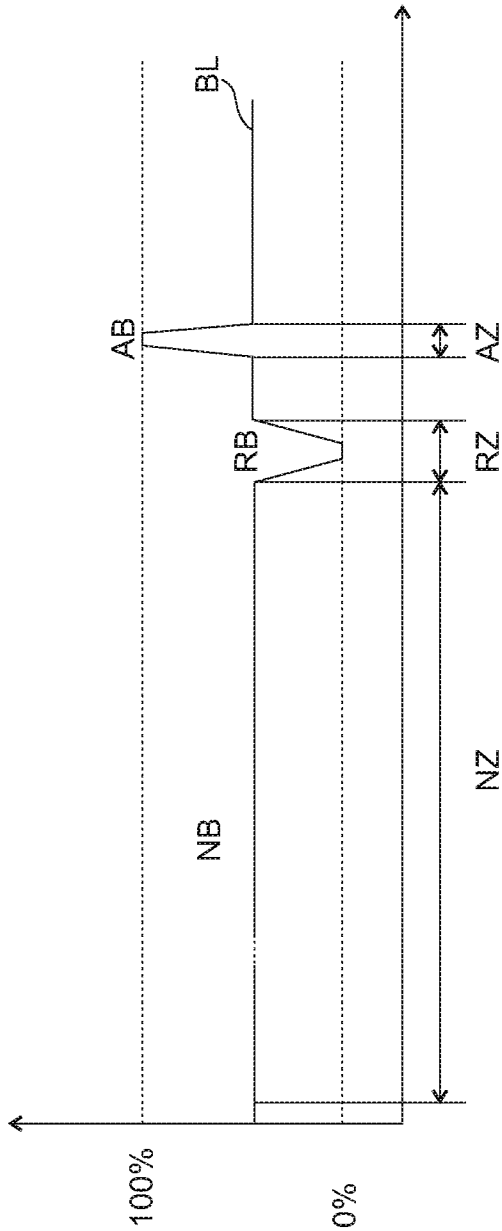


Fig. 4