



(10) **DE 10 2019 214 285 A1** 2021.03.25

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 214 285.0**

(22) Anmeldetag: **19.09.2019**

(43) Offenlegungstag: **25.03.2021**

(51) Int Cl.: **H01M 8/04089** (2016.01)

**H01M 8/04119** (2016.01)

**H01M 8/04111** (2016.01)

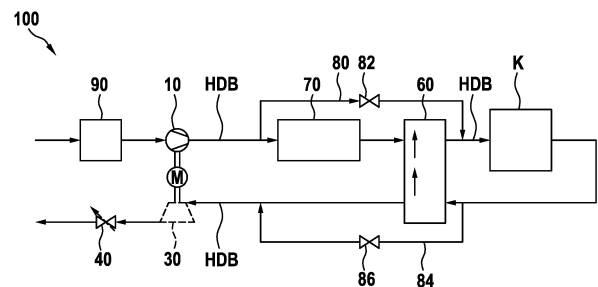
(71) Anmelder:  
**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Hahn, Sergei, 70199 Stuttgart, DE; Hellmann,  
Mark, 70825 Korntal-Münchingen, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems, Steuervorrichtung und Brennstoffzellensystem**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (100), aufweisend einen Brennstoffzellenstapel (20) mit einer Vielzahl an Brennstoffzellen (110) mit jeweils wenigstens einem Kathodenabschnitt (K) und wenigstens einem Anodenabschnitt (A), einen Verdichter (10) zur Förderung von Luft in die Kathodenabschnitte (K), ein Druckhalteventil (40) und eine Steuervorrichtung (50), wobei der wenigstens eine Kathodenabschnitt (K) stromabwärts von und fluidkommunizierend mit dem Verdichter (10) sowie stromaufwärts von und fluidkommunizierend mit dem Druckhalteventil (40) angeordnet ist, wobei das Brennstoffzellensystem (100) einen Hochdruckbereich (HDB) zwischen dem Verdichter (10) und dem Druckhalteventil (40) aufweist. Ferner betrifft die Erfindung eine Steuervorrichtung (50) sowie ein Brennstoffzellensystem (100).



**Beschreibung**

## Offenbarung der Erfindung

## Stand der Technik

**[0001]** Bei Brennstoffzellensystemen, insbesondere für den Antrieb von Kraftfahrzeugen, wird in der Regel das Oxidationsmittel Sauerstoff aus der Umgebungsluft benutzt, um in der Brennstoffzelle mit Wasserstoff zu Wasser (bzw. Wasserdampf) zu reagieren und damit durch elektrochemische Wandlung eine elektrische Leistung zu liefern. Die Dynamik des Brennstoffzellensystems ist dabei vor allem von der Dynamik des Luftsystems abhängig. Dabei ist der zur Reaktion notwendige Sauerstoff des Luftmassenstroms eine limitierende Größe. Bei Lastsprüngen hin zu höheren Brennstoffzellenleistungen, insbesondere Brennstoffzellenstapel-Leistungen, muss die Drehzahl bzw. die Leistung des Verdichters des Luftsystems und damit der Luftmassenstrom erhöht werden.

**[0002]** Des Weiteren folgt aus dem Wassermanagement des Brennstoffzellensystems eine zusätzliche Anforderung an das Luftsystem. Bei Sprüngen zu höheren Brennstoffzellenleistungen entsteht mehr Wärme, die aus dem System abgeführt werden muss. Um diese Wärme abführen zu können ist häufig eine Anhebung der Betriebstemperatur erforderlich. Die erhöhte Temperatur im stationären Zustand begünstigt jedoch eine Austrocknung der Membranen des Brennstoffzellen-Stapels, die sowohl einen negativen Einfluss auf die Performance als auch die Lebensdauer des Brennstoffzellen-Stapels hat. Um der Austragung von Wasser aus dem System entgegen zu wirken, muss deshalb der Betriebsdruck erhöht werden. Die Dynamik des Luftmassenstroms hängt von der Arbeitskennlinie des Verdichters und dem Luftströmungspfad ab. Die Arbeitskennlinie kann durch die Stellung eines Druckhalteventils des Brennstoffzellensystems beeinflusst werden. Die Dynamik des Luftströmungspfads hängt von der Dynamik des Verdichters ab. Der Verdichter ist jedoch in seiner Leistung begrenzt. Das zur Beschleunigung des Rotors verfügbare Moment resultiert aus einem Antriebsmoment der elektrischen Maschine abzüglich dem Reibmoment des Rotors des Verdichters und dem Moment aus dem Gegendruck der Druckseite des Rotors. In der Regel gibt es einen festen Zusammenhang zwischen dem Massenstrom und einem Druckverlust in Abhängigkeit von der Stellung des Druckhalteventils. Der Zusammenhang hängt dabei meist von den Anforderungen der stationären Betriebspunkte ab. Nachteilig ist den bekannten Lösungen gemein, dass ein Zielkonflikt zwischen einerseits einer sehr dynamischen Leistung und damit einer schnellen Änderung des Luftmassenstroms und andererseits einer Dauerlastfähigkeit des Brennstoffzellensystems auch bei fordernden Betriebsbedingungen, wie bspw. hohen Umgebungstemperaturen, besteht.

**[0003]** Die vorliegende Erfindung offenbart ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1, eine Steuervorrichtung gemäß den Merkmalen des Anspruchs 10 sowie ein Brennstoffzellensystem gemäß den Merkmalen des Anspruchs 11.

**[0004]** 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 Verfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Steuervorrichtung und dem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. werden kann.

**[0005]** Gemäß einem ersten Aspekt zeigt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems. Das Brennstoffzellensystem weist einen Brennstoffzellenstapel mit einer Vielzahl an Brennstoffzellen mit jeweils wenigstens einem Kathodenabschnitt und wenigstens einem Anodenabschnitt, einen Verdichter zur Förderung von Luft in die Kathodenabschnitte, ein Druckhalteventil und eine Steuervorrichtung auf. Der wenigstens eine Kathodenabschnitt ist stromabwärts von und fluidkommunizierend mit dem Verdichter sowie stromaufwärts von und fluidkommunizierend mit dem Druckhalteventil angeordnet. Das Brennstoffzellensystem weist einen Hochdruckbereich zwischen dem Verdichter und dem Druckhalteventil auf, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- a) Empfang einer Anforderung eines erhöhten Luftmassenstroms zu dem wenigstens einen Kathodenabschnitt durch die Steuervorrichtung,
- b) Reduzierung des Drucks in dem Hochdruckbereich durch zumindest teilweise Öffnung des Druckhalteventils durch die Steuervorrichtung,
- c) Erhöhung des Luftmassenstroms zu dem wenigstens einen Kathodenabschnitt durch eine Drehzahlerhöhung des Verdichters durch die Steuervorrichtung,
- d) Erhöhung des Drucks in dem Hochdruckbereich durch zumindest teilweise Schließung des Druckhalteventils bei konstantem oder annähernd konstantem Luftmassenstrom durch die Steuervorrichtung.

**[0006]** Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht besonders vorteilhaft eine Reaktion eines Brennstoffzellensystems auf eine Anforderung einer Lasterhöhung, sprich einem Bedarf an erhöhter Energieabgabe durch das Brennstoffzellensystem. Das erfin-

derungsgemäße Verfahren öffnet zunächst für einen erhöhten Luftmassenstrom am Eintritt des Kathodenabschnitts das Druckhalteventil nach dem Empfang einer Anforderung eines erhöhten Luftmassenstroms zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig. Der Luftmassenstrom des Brennstoffzellensystems wird durch das zumindest teilweise Öffnen des Druckhalteventils bei konstanter oder annähernd konstanter Drehzahl des Verdichters erhöht. Durch die Öffnung des Druckhalteventils wird dem Verdichter der Druckwiderstand des Brennstoffzellensystems reduziert und somit eine Erhöhung der Drehzahl des Verdichters erleichtert bzw. deutlich schneller ermöglicht. Durch die anschließende, vorzugsweise teilweise zeitgleiche, Drehzahlerhöhung des Verdichters und das Öffnen des Druckhalteventils wird ein erforderlicher Luftmassenstrom am Eintritt des Kathodenabschnitts vorteilhaft möglichst schnell eingestellt. Zur anschließenden bzw. teilweise parallelen Druckerhöhung erfolgt eine teilweise Schließung des Druckhalteventils bei konstantem oder annähernd konstantem Luftmassenstrom, insbesondere am Eintritt des Kathodenabschnitts. Um den Luftmassenstrom konstant oder annähernd konstant zu halten während das Druckhalteventil zumindest teilweise geschlossen wird, wird die Drehzahl des Verdichters weiter erhöht. Ein Hochdruckbereich ist im Rahmen der Erfindung als ein Bereich mit erhöhtem Druck zu verstehen. Ein erhöhter Druck wird in dem Hochdruckbereich durch den Verdichter in dem Strömungspfad stromabwärts des Verdichters erzeugt und vorzugsweise bis zu einem Druckhalteventil und/oder einer Turbine (siehe weitere Beschreibung der Anmeldung) aufrechterhalten. Ein Luftmassenstrom kann im Sinne der Erfindung Anteile von Wasser, insbesondere Wasserdampf, oder andere Stoffe enthalten. Ein vollständiges Schließen des Druckhalteventils ist logischerweise während des Betriebs des Verdichters nicht vorgesehen. Eine derartige Arbeitskennlinie des Verdichters ermöglicht eine besonders effiziente und schnelle Reaktion eines Brennstoffzellensystems auf eine Anforderung einer Lasterhöhung, sprich einem Bedarf an erhöhter Energieabgabe durch das Brennstoffzellensystem.

**[0007]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass das Brennstoffzellensystem ferner einen Befeuchter, insbesondere einen externen Befeuchter, zur Befeuchtung einer Membran des Brennstoffzellensystems aufweist, insbesondere wobei der externe Befeuchter stromaufwärts und/oder stromabwärts des wenigstens einen Kathodenabschnitts fluidkommunizierend mit dem Kathodenabschnitt angeordnet ist. Bei Sprüngen zu höheren Brennstoffzellenleistungen entsteht mehr Wärme, die aus dem System abgeführt werden muss. Um diese Wärme abführen zu können ist zumeist eine Anhebung der Betriebstemperatur erforderlich. Die erhöhte Temperatur im stationären Zustand begünstigt jedoch eine Austrock-

nung der Membran des Brennstoffzellensystems, die sowohl einen negativen Einfluss auf die Performance als auch die Lebensdauer des Brennstoffzellensystems hat. Zur Rückgewinnung von Fluid, insbesondere Wasser kann der Befeuchter erneut stromabwärts des Kathodenabschnitts durchströmt werden. Ein Befeuchter, insbesondere ein externer Befeuchter, zur Befeuchtung einer Membran ermöglicht eine vorteilhafte Lebensdauererweiterung und/oder eine Steigerung der Performance des Brennstoffzellensystems mit einfachen und kostengünstigen Mitteln.

**[0008]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Erhöhung des Drucks in dem Hochdruckbereich durch zumindest teilweise Schließung des Druckhalteventils in Abhängigkeit von einer Feuchte der Membran erfolgt. Eine Steigerung der Energieabgabe führt zu höheren Betriebstemperaturen des Brennstoffzellensystems. Die Druckverhältnisse innerhalb des Hochdruckbereichs stehen in direkter Wechselwirkung mit der Temperatur in dem Hochdruckbereich. Eine Steigerung der Temperatur, insbesondere bei dem teilweise Schließen des Druckhalteventils bei konstantem oder annähernd konstantem Massenstrom, ermöglicht eine Erhöhung des Drucks in dem Hochdruckbereich des Brennstoffzellensystems. Damit die wenigstens eine Membran des Brennstoffzellensystems stets eine ausreichende Feuchte aufweist, ist es eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wenn das zumindest teilweise Schließen des Druckhalteventils und damit die Temperatursteigerung in Abhängigkeit von der Feuchte der wenigstens einen Membran des Brennstoffzellensystems erfolgt. Ein Austrocknen der Membran und/oder eine Absenkung der Feuchte der Membran unter einen kritischen Wert kann somit vorteilhaft vermieden werden.

**[0009]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Reduzierung des Drucks in dem Hochdruckbereich durch zumindest teilweise Öffnung des Druckhalteventils bis an eine oder nahezu bis an eine Sperrgrenze eines Kennfelds des Verdichters erfolgt. Für eine möglichst effiziente Arbeitskennlinie des Verdichters und/oder ein schnelles Erreichen eines neuen Betriebspunkts des Verdichters für eine erhöhte Energieabgabe des Brennstoffzellensystems ist eine Reduzierung des Drucks in dem Hochdruckbereich des Brennstoffzellensystems durch zumindest teilweise Öffnung des Druckhalteventils bis an eine oder nahezu bis an eine Sperrgrenze eines Kennfelds des Verdichters besonders vorteilhaft. Durch den Betriebspunktverlauf des Verdichters bis an die Sperrgrenze des Kennfelds wird ein möglichst hoher Massenstrom bei zunächst konstanter Drehzahl des Verdichters erreicht. Eine anschließende Drehzahlerhöhung sowie Luftmassenstromerhöhung entlang der Sperrgrenze des Verdichterkenn-

felds stellt eine besonders effektive Steigerung des Massenstroms bei geringer Steigerung des Druckverhältnisses über den Verdichter dar. Der Betriebspunkt des Verdichters entfernt sich in dem letzten Schritt der Leistungssteigerung von der Sperrgrenze des Verdichterkennfelds durch die weitere Drehzahlerhöhung bei konstantem oder annähernd konstantem Luftmassenstrom und einer Steigerung des Druckverhältnisses.

**[0010]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass das Brennstoffzellensystem ferner eine Turbine aufweist, wobei die Turbine stromabwärts des Kathodenabschnitts und fluidkommunizierend mit dem Kathodenabschnitt angeordnet ist und wobei das Druckhalteventil stromabwärts oder stromaufwärts der Turbine angeordnet ist. Die Turbine ist vorzugsweise auf einer Achse mit dem Verdichter und einer Antriebsvorrichtung, insbesondere einem Motor, wirkverbunden angeordnet. Durch die Anordnung der Turbine stromabwärts des Kathodenabschnitts, insbesondere am Ende des Hochdruckbereichs des Brennstoffzellensystems, wird ein besonders effizienter Betrieb des Verdichters ermöglicht. Der Luftmassenstrom kann sich über die Turbine zumindest teilweise entspannen und durch das sinkende Druckverhältnis die Rotation des Verdichters unterstützen. Ein Motor dient als Antriebsvorrichtung der vorzugsweisen gemeinsamen Welle des Verdichters und der Turbine.

**[0011]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass das Brennstoffzellensystem ferner einen Ladeluftkühler aufweist, insbesondere wobei der Ladeluftkühler stromabwärts des Verdichters und/oder stromaufwärts des Kathodenabschnitts fluidkommunizierend mit dem Kathodenabschnitt angeordnet ist. Ein Ladeluftkühler kann vorteilhaft eine Kühlung des Luftmassenstroms, insbesondere vor dem Eintritt in den Befeuchter und/oder den Kathodenabschnitt, ermöglichen und damit die Effizienz des Brennstoffzellensystems weiter erhöhen bzw. die Austrocknung der Membran im Eintrittsbereich der Kathode reduzieren.

**[0012]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass das Brennstoffzellensystem wenigstens einen ersten Bypass mit wenigstens einem ersten Bypass-Ventil aufweist, wobei der wenigstens eine erste Bypass eine direkte fluidkommunizierende Strömungsführung von dem Verdichter zu dem Kathodenabschnitt, insbesondere parallel zu dem externen Befeuchter und/oder dem Ladeluftkühler, aufweist. Ein erster Bypass ermöglicht zusätzlich zu dem Öffnen des Druckhalteventils eine Widerstandsreduktion und/oder eine Verringerung des durchströmten Volumens des Brennstoffzellensystems für den Luftmassenstrom stromabwärts des Verdichters. Durch wenigstens einen ersten Bypass wird folglich bspw. ein

paralleler Strömungspfad zu dem Ladeluftkühler und/oder dem Befeuchter ermöglicht und somit der Luftwiderstand und/oder das Volumen des Ladeluftkühlers und/oder des Befeuchters umgangen. Ein derart ausgestaltetes Brennstoffzellensystem ermöglicht einen effizienteren Betrieb bzw. eine schnellere Reaktion auf eine Anforderung einer erhöhten Energieausgabe durch den verringerten Zeitbedarf bis zu dem Erreichen des neuen Betriebspunkts des Verdichters.

**[0013]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass das Brennstoffzellensystems wenigstens einen zweiten Bypass mit wenigstens einem zweiten Bypass-Ventil aufweist, wobei der wenigstens eine zweite Bypass eine direkte fluidkommunizierende Strömungsführung von dem Kathodenabschnitt zu dem Druckhalteventil und/oder der Turbine, insbesondere parallel zu dem externen Befeuchter, aufweist. Ein zweiter Bypass ermöglicht zusätzlich zu dem Öffnen des Druckhalteventils eine Widerstandsreduktion des Brennstoffzellensystems für den Luftmassenstrom stromabwärts des Kathodenabschnitts. Durch wenigstens einen ersten Bypass wird folglich bspw. ein paralleler Strömungspfad zu dem Befeuchter ermöglicht und somit der Luftwiderstand des Ladeluftkühlers umgangen. Ein derart ausgestaltetes Brennstoffzellensystem ermöglicht einen effizienteren Betrieb bzw. eine schnellere Reaktion auf eine Anforderung einer erhöhten Energieausgabe durch den verringerten Zeitbedarf bis zu dem Erreichen des neuen Betriebspunkts des Verdichters.

**[0014]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass das Brennstoffzellensystem ferner einen Luftfilter aufweist, insbesondere wobei der Luftfilter stromaufwärts des Verdichters fluidkommunizierend mit dem Verdichter angeordnet ist. Ein erfindungsgemäßer Luftfilter ermöglicht eine Filterung des Luftmassenstroms, insbesondere stromaufwärts des Verdichters, und damit eine erhöhte Luftqualität des Luftmassenstroms innerhalb des Brennstoffzellensystems. Somit wird ein Luftmassenstrom bspw. frei oder annähernd frei von ungewollten Partikeln, Fluiden und/oder Stoffen ermöglicht.

**[0015]** Gemäß einem zweiten Aspekt offenbart die vorliegende Erfindung eine Steuervorrichtung, umfassend eine Recheneinheit und eine Speichereinheit, wobei in der Speichereinheit ein Programm abgelegt ist, welches bei zumindest teilweiser Ausführung in der Recheneinheit ein Verfahren nach dem ersten Aspekt durchführt. Die Steuervorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung weist damit dieselben Vorteile auf, wie sie bereits zu dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung beschrieben worden sind. Ein erfindungsgemäßes Verfahren ist besonders vorteilhaft durchführbar, wenn dieses Verfahren mittels einer

Steuervorrichtung durchgeführt wird. Eine Steuervorrichtung kann ferner eine Ein- und/oder Ausgabevorrichtung umfassen zur Interaktion mit einem Bediener.

**[0016]** Gemäß einem dritten Aspekt offenbart die vorliegende Erfindung ein Brennstoffzellensystem, aufweisend einen Verdichter zur Förderung von Luft, einen Brennstoffzellenstapel mit einer Vielzahl an Brennstoffzellen mit jeweils wenigstens einem Kathodenabschnitt und wenigstens einem Anodenabschnitt, eine Turbine, ein Druckhalteventil und eine Steuervorrichtung, wobei der wenigstens eine Kathodenabschnitt stromabwärts von und fluidkommunizierend mit dem Verdichter sowie stromaufwärts von und fluidkommunizierend mit dem Druckhalteventil angeordnet ist, wobei das Brennstoffzellensystem einen Hochdruckbereich stromaufwärts des Druckhalteventils und stromabwärts des Verdichters aufweist, wobei das Brennstoffzellensystem zur Ausführung des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt ausgestaltet ist. Die Steuervorrichtung ist vorzugsweise gemäß dem zweiten Aspekt ausgestaltet. Das Brennstoffzellensystem gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung weist damit dieselben Vorteile auf, wie sie bereits zu dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung beschrieben worden sind. Ferner kann die Turbine vorzugsweise stromabwärts des Kathodenabschnitts und fluidkommunizierend mit dem Kathodenabschnitt angeordnet sein sowie das Druckhalteventil vorzugsweise stromabwärts oder stromaufwärts der Turbine angeordnet sein.

**[0017]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems ist vorgesehen, dass das Brennstoffzellensystem ferner einen Ladeluftkühler, einen ersten Bypass mit einem ersten Bypass-Ventil, einen zweiten Bypass mit einem zweiten Bypass-Ventil und/oder einen Luftfilter aufweist, insbesondere wobei der wenigstens eine erste Bypass eine direkte fluidkommunizierende Strömungsführung von dem Verdichter zu dem Kathodenabschnitt, insbesondere parallel zu dem externen Befeuchter und/oder dem Ladeluftkühler, und/oder wobei der wenigstens eine zweite Bypass eine direkte fluidkommunizierende Strömungsführung von dem Kathodenabschnitt zu dem Druckhalteventil und/oder der Turbine, insbesondere parallel zu dem externen Befeuchter, aufweist. Ferner kann der Luftfilter stromaufwärts des Verdichters fluidkommunizierend mit dem Verdichter angeordnet sein. Ferner kann die Turbine stromabwärts des Kathodenabschnitts und fluidkommunizierend mit dem Kathodenabschnitt angeordnet sein, wobei das Druckhalteventil stromabwärts oder stromaufwärts der Turbine angeordnet ist. Ferner kann der Ladeluftkühler stromabwärts des Verdichters und/oder stromaufwärts des Kathodenabschnitts fluidkommunizierend mit dem Kathodenabschnitt angeordnet sein. Die

ergänzenden Vorrichtungen und/oder Bypässe des Brennstoffzellensystems weisen die gleichen Vorteile auf, wie sie bereits zu dem erfindungsgemäßen Verfahren ausführlich beschrieben worden sind.

**[0018]** Es zeigen jeweils schematisch:

**Fig. 1** einen Strömungspfadverlauf des Brennstoffzellensystems mit einem Luftfilter, einer Turbine, einem Motor und einem Verdichter, einem Ladeluftkühler, einem Befeuchter, einem Kathodenabschnitt, einem Druckhalteventil sowie einem ersten und einem zweiten Bypass, jeweils mit einem ersten bzw. zweiten Bypass-Ventil,

**Fig. 2** ein Kennfeld eines Verdichters, in dem das Druckverhältnis über den Verdichter über dem Luftmassenstrom des Verdichters aufgetragen ist, mit einem Ausgangszustand und einem Zielzustand des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei das Kennfeld durch eine Sperrgrenze und eine Pumpgrenze begrenzt wird und Kurven gleicher Drehzahl aufweist,

**Fig. 3** ein Brennstoffzellensystem mit einer Brennstoffzelle eines Brennstoffzellenstapels und einer Steuervorrichtung.

**[0019]** In den nachfolgenden Figuren werden für die gleichen technischen Merkmale auch von unterschiedlichen Ausführungsbeispielen identische Bezugszeichen verwendet.

**[0020]** In **Fig. 1** ist ein schematischer, planartiger Strömungspfadverlauf des Brennstoffzellensystems **100** gezeigt. Die **Fig. 1** zeigt den Strömungspfadverlauf des Luftmassenstroms  $m_s$  innerhalb des Brennstoffzellensystems **100**. Das Brennstoffzellensystem **100** weist beispielhaft einen Luftfilter **90** stromaufwärts des Verdichters **10** auf. Der Verdichter **10** ist mittels bspw. einer Welle mit einem Motor und einer Turbine **30** wirkverbunden gekoppelt. Das Brennstoffzellensystem **100** weist ferner stromabwärts des Verdichters **10** einen Ladeluftkühler **70** zur Kühlung des Luftmassenstroms  $m_s$  auf. Das Brennstoffzellensystem **100** weist ferner einen Befeuchter **60**, insbesondere einen externen Befeuchter **60**, stromaufwärts des wenigstens einen Kathodenabschnitts **K** auf. Ein erster Bypass **80** mit einem ersten Bypass-Ventil **82** stellt einen parallelen Strömungspfad zu dem Ladeluftkühler **70** und dem Befeuchter **60** bereit, um einen direkten Strömungspfad von dem Verdichter **10** zu dem Kathodenabschnitt **K** zu ermöglichen. Zur Rückgewinnung von Fluid, insbesondere Wasser, wird der Befeuchter **60** erneut stromabwärts des Kathodenabschnitts **K** durchströmt. Ein zweiter Bypass **84** ermöglicht einen parallelen Strömungspfad stromabwärts des Kathodenabschnitts **K**. Ein erfindungsgemäßer Hochdruckbereich **HDB** erstreckt sich von dem Verdichter **10** stromabwärts bis zu einem Druckhalteventil **40** beziehungsweise einer Turbine **30** des Brennstoffzellensystems **100**. Ein der-

art ausgestaltetes erfindungsgemäßes Brennstoffzellensystem **100** ermöglicht mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Steuervorrichtung **50** besonders vorteilhaft eine schnelle und effiziente Reaktion eines Brennstoffzellensystems **100** auf eine Anforderung einer Lasterhöhung, sprich einem Bedarf an erhöhter Energieausgabe durch das Brennstoffzellensystem **100**.

**[0021]** Fig. 2 zeigt ein Kennfeld eines Verdichters **10**, in dem das Druckverhältnis über den Verdichter **10** über dem Luftmassenstrom  $m_s$  des Verdichters **10** aufgetragen ist. In das Kennfeld sind ein Ausgangszustand **P1** und ein Zielzustand **P4** eingezeichnet. Der Zielzustand **P4** stellt die Anforderung nach einer erhöhten Leistungsausgabe des Brennstoffzellensystems **100** dar. Für die erhöhte Leistungsausgabe des Brennstoffzellensystems **100** wird ein erhöhter Massenstrom  $m_s$  an dem Eintritt des Kathodenabschnitts **K** (nicht gezeigt) benötigt. Für eine besonders effiziente Leistungssteigerung des Brennstoffzellensystems **100** wird von dem Ausgangszustand **P1** entlang einer Linie **N** mit konstanter Drehzahl des Verdichters **10** der Luftmassenstrom  $m_s$  zu einem ersten Zwischenzustand **P2** erhöht. Die Erhöhung des Luftmassenstroms  $m_s$  erfolgt durch zumindest teilweise Öffnung des Druckhalteventils **40** (nicht gezeigt) am Ende des Hochdruckbereichs **HDB** (nicht gezeigt). Von dem ersten Zwischenzustand **P2** zu dem zweiten Zwischenzustand **P3** wird der Luftmassenstrom  $m_s$  weiter gesteigert durch die Erhöhung der Drehzahl des Verdichters **10**. Von dem zweiten Zwischenzustand **P3** zu dem Zielzustand **P4** wird bei konstantem Luftmassenstrom  $m_s$  das Druckverhältnis über den Verdichter **10** durch weitere Beschleunigung der Drehzahl des Verdichters **10** gesteigert. Eine derartige Arbeitskennlinie des Verdichters **10** ermöglicht eine besonders effiziente und schnelle Reaktion eines Brennstoffzellensystems **100** auf eine Anforderung einer Lasterhöhung, sprich einem Bedarf an erhöhter Energieausgabe durch das Brennstoffzellensystem **100**.

**[0022]** In Fig. 3 ist ein Brennstoffzellensystem **100** mit einer Brennstoffzelle **110** eines Brennstoffzellenstapels **20** und einer Steuervorrichtung **50** gezeigt. Die Steuervorrichtung **50** umfasst eine Recheneinheit **52** und eine Speichereinheit **54**, wobei in der Speichereinheit **54** ein Programm abgelegt ist, welches bei zumindest teilweise Ausführung in der Recheneinheit **52** ein Verfahren nach dem ersten Aspekt durchführt.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (100), aufweisend einen Brennstoffzellenstapel (20) mit einer Vielzahl an Brennstoffzellen (110) mit jeweils wenigstens einem Kathodenabschnitt (K) und wenigstens einem Anodenabschnitt

(A), einen Verdichter (10) zur Förderung von Luft in die Kathodenabschnitte (K), ein Druckhalteventil (40) und eine Steuervorrichtung (50), wobei der wenigstens eine Kathodenabschnitt (K) stromabwärts von und fluidkommunizierend mit dem Verdichter (10) sowie stromaufwärts von und fluidkommunizierend mit dem Druckhalteventil (40) angeordnet ist, wobei das Brennstoffzellensystem (100) einen Hochdruckbereich (HDB) zwischen dem Verdichter (10) und dem Druckhalteventil (40) aufweist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

a) Empfang einer Anforderung eines erhöhten Luftmassenstroms ( $m_s$ ) zu dem wenigstens einen Kathodenabschnitt (K) durch die Steuervorrichtung (50),  
 b) Reduzierung des Drucks in dem Hochdruckbereich (HDB) durch zumindest teilweise Öffnung des Druckhalteventils (40) durch die Steuervorrichtung (50),  
 c) Erhöhung des Luftmassenstroms ( $m_s$ ) zu dem wenigstens einen Kathodenabschnitt (K) durch eine Drehzahlerhöhung des Verdichters (10) durch die Steuervorrichtung (50),  
 d) Erhöhung des Drucks in dem Hochdruckbereich (HDB) durch zumindest teilweise Schließung des Druckhalteventils (40) bei konstantem oder annähernd konstantem Luftmassenstrom ( $m_s$ ) durch die Steuervorrichtung (50).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Brennstoffzellensystem (100) ferner einen Befeuchter (60), insbesondere einen externen Befeuchter (60), zur Befeuchtung einer Membran (22) aufweist, insbesondere wobei der externe Befeuchter (60) stromaufwärts und/oder stromabwärts des wenigstens einen Kathodenabschnitts (K) fluidkommunizierend mit dem Kathodenabschnitt (K) angeordnet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erhöhung des Drucks in dem Hochdruckbereich (HDB) durch zumindest teilweise Schließung des Druckhalteventils (40) in Abhängigkeit von einer Feuchte der Membran (22) erfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reduzierung des Drucks in dem Hochdruckbereich (HDB) durch zumindest teilweise Öffnung des Druckhalteventils (40) bis an eine oder nahezu bis an eine Sperrgrenze (SG) eines Kennfelds des Verdichters (10) erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Brennstoffzellensystem (100) ferner eine Turbine (30) aufweist, wobei die Turbine (30) stromabwärts des Kathodenabschnitts und fluidkommunizierend mit dem Kathodenabschnitt (K) angeordnet ist und wobei das Druckhalteventil (40) stromabwärts oder stromaufwärts der Turbine (30) angeordnet ist.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Brennstoffzellensystem (100) ferner einen Ladeluftkühler (70) aufweist, insbesondere wobei der Ladeluftkühler (70) stromabwärts des Verdichters (10) und/oder stromaufwärts des Kathodenabschnitts (K) fluidkommunizierend mit dem Kathodenabschnitt (K) angeordnet ist.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Brennstoffzellensystems (100) wenigstens einen ersten Bypass (80) mit wenigstens einem ersten Bypass-Ventil (82) aufweist, wobei der wenigstens eine erste Bypass (80) eine direkte fluidkommunizierende Strömungsführung von dem Verdichter (10) zu dem Kathodenabschnitt (K), insbesondere parallel zu dem externen Befeuchter (60) und/oder dem Ladeluftkühler, aufweist.

8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Brennstoffzellensystems (100) wenigstens einen zweiten Bypass (84) mit wenigstens einem zweiten Bypass-Ventil (86) aufweist, wobei der wenigstens eine zweite Bypass (84) eine direkte fluidkommunizierende Strömungsführung von dem Kathodenabschnitt (K) zu dem Druckhalteventil (40) und/oder der Turbine (30), insbesondere parallel zu dem externen Befeuchter (60), aufweist.

9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Brennstoffzellensystems (100) ferner einen Luftfilter (90) aufweist, insbesondere wobei der Luftfilter (90) stromaufwärts des Verdichters (10) fluidkommunizierend mit dem Verdichter (10) angeordnet ist.

10. Steuervorrichtung (50), umfassend eine Recheneinheit (52) und eine Speichereinheit (54), **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Speichereinheit (54) ein Programm abgelegt ist, welches bei zumindest teilweiser Ausführung in der Recheneinheit (52) ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 durchführt.

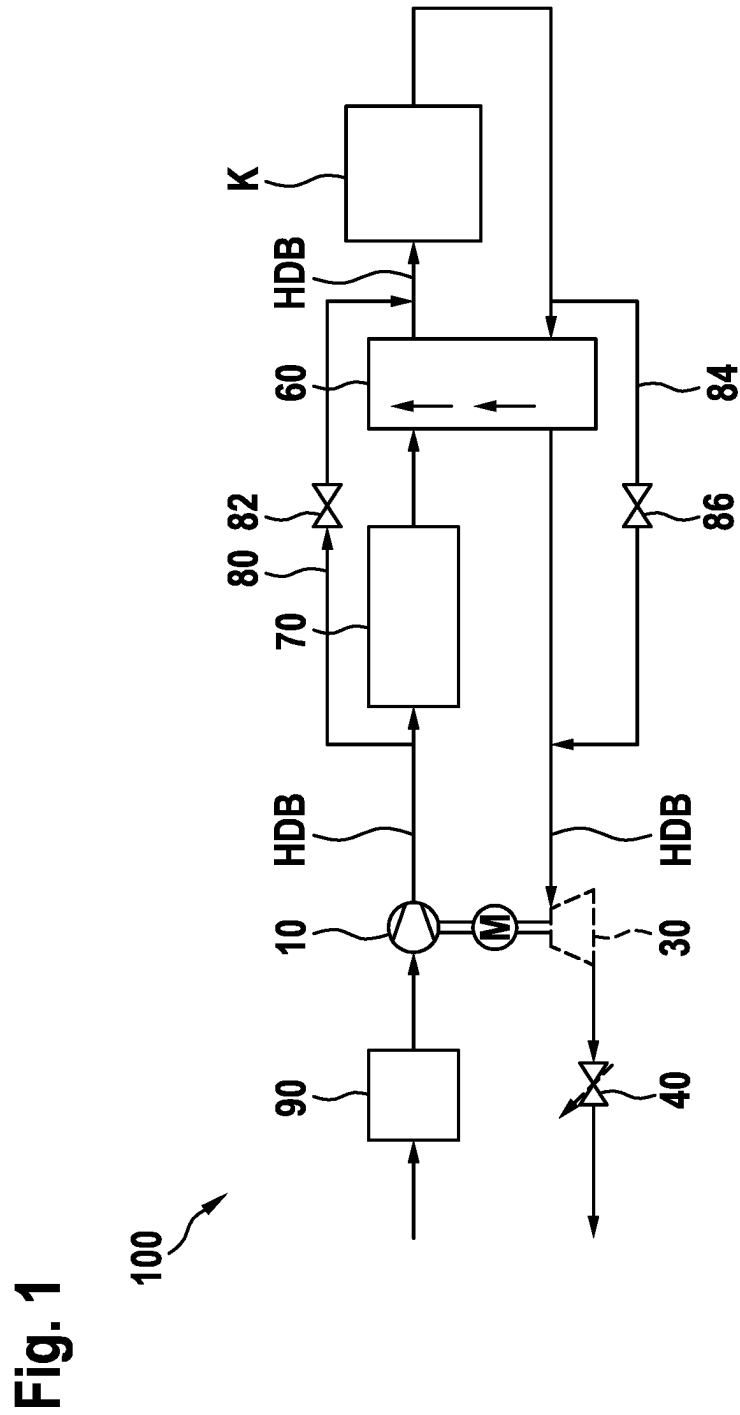
11. Brennstoffzellensystem (100), aufweisend einen Verdichter (10) zur Förderung von Luft, einen Brennstoffzellenstapel (20) mit einer Vielzahl an Brennstoffzellen (110) mit jeweils wenigstens einem Kathodenabschnitt (K) und wenigstens einem Anodenabschnitt (A), eine Turbine (30), ein Druckhalteventil (40) und eine Steuervorrichtung (50), wobei der wenigstens eine Kathodenabschnitt (K) stromabwärts von und fluidkommunizierend mit dem Verdichter (10) sowie stromaufwärts von und fluidkommunizierend mit dem Druckhalteventil (40) angeordnet ist, wobei das Brennstoffzellensystem (100) einen Hochdruckbereich (HDB) stromaufwärts des Druckhalteventils (40) und stromabwärts der Turbine (30) auf-

weist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Brennstoffzellensystem (100) zur Ausführung des Verfahrens gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 9 ausgestaltet ist.

12. Brennstoffzellensystem (100) nach Anspruch 9, ferner aufweisend einen Ladeluftkühler (70), einen ersten Bypass (80) mit einem ersten Bypass-Ventil (82), einen zweiten Bypass (84) mit einem zweiten Bypass-Ventil (86) und/oder einen Luftfilter (90), insbesondere wobei der wenigstens eine erste Bypass (80) eine direkte fluidkommunizierende Strömungsführung von dem Verdichter (10) zu dem Kathodenabschnitt (K), insbesondere parallel zu dem externen Befeuchter (60) und/oder dem Ladeluftkühler, aufweist und/oder wobei der wenigstens eine zweite Bypass (84) eine direkte fluidkommunizierende Strömungsführung von dem Kathodenabschnitt (K) zu dem Druckhalteventil (40) und/oder der Turbine (30), insbesondere parallel zu dem externen Befeuchter (60), aufweist.

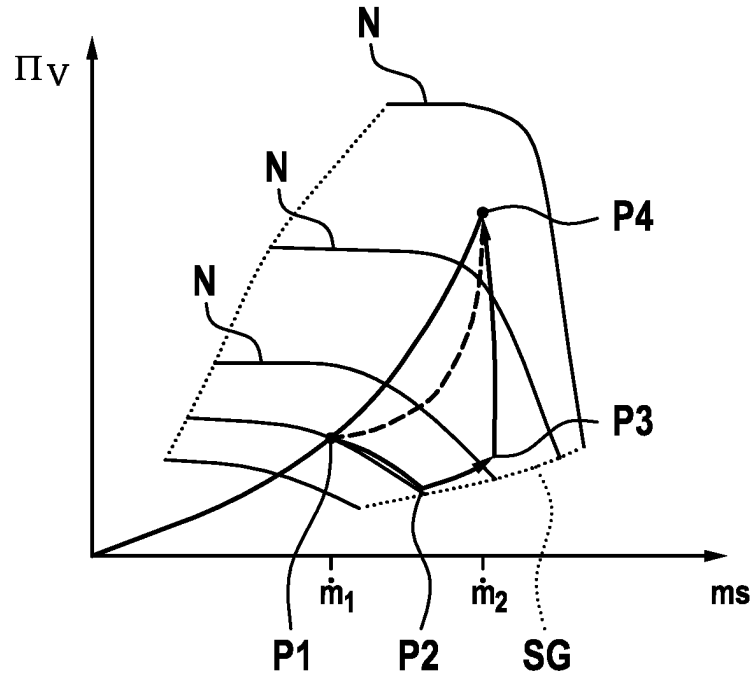
Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





**Fig. 2**



**Fig. 3**

