

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. Dezember 2022 (22.12.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/263182 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01M 8/04014 (2016.01) H01M 8/04007 (2016.01)
F01P 7/00 (2006.01) H01M 8/0432 (2016.01)
F01P 9/02 (2006.01) H01M 8/0438 (2016.01)
F28D 5/00 (2006.01) H01M 8/04701 (2016.01)
H01M 8/04029 (2016.01) H01M 8/04746 (2016.01)

(72) Erfinder: **BRÜMMER, Richard**; Dachsweg 6, 70499 Stuttgart (DE). **AUER, Markus**; Brackenhheimer Str. 17, 70435 Stuttgart (DE).

(74) Anwalt: **BRP RENAUD UND PARTNER MBB**; Königstraße 28, 70173 Stuttgart (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/064953

(22) Internationales Anmeldedatum:
01. Juni 2022 (01.06.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 206 016.1
14. Juni 2021 (14.06.2021) DE

(71) Anmelder: **MAHLE INTERNATIONAL GMBH**
[DE/DE]; Pragstraße 26-46, 70376 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A FUEL-CELL SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES BRENNSTOFFZELLENSYSTEMS

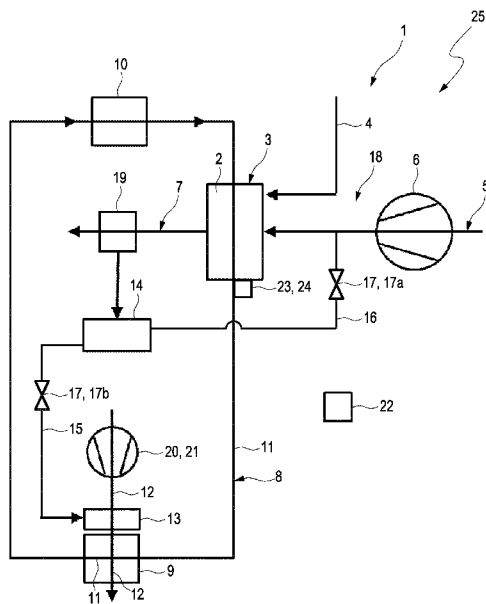


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to a method for operating a fuel-cell system (1), which has at least one fuel cell (2), a cooling circuit (8) for cooling the at least one fuel cell (2), a coolant cooler (9) for cooling a coolant circulating in the cooling circuit (8), and also a fan arrangement (20) for cooling the coolant in the coolant cooler (9). Increased efficiency of the fuel-cell system (1) and an increase in the available electrical energy, in particular during peaks in load, are achieved by a setpoint value of a variable that correlates with the temperature of the at least one fuel cell (2) being dependent in at least one region on an actual value of the air-mass flow (28) conveyed by the fan arrangement (20). The invention also relates to a fuel-cell system (1) operated in such a way and to a motor vehicle (25) with such a fuel-cell system (1).

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (1), welches zumindest eine Brennstoffzelle (2), einen Kühlkreis (8) zum Kühlen der zumindest einen Brennstoffzelle (2), einen Kühlmittelkühler (9) zum Kühlen eines im Kühlkreis (8) zirkulierenden Kühlmittels sowie einer Lüfteranordnung (20) zum Kühlen des Kühlmittels im Kühlmittelkühler (9) aufweist. Eine erhöhte Effizienz des Brennstoffzellensystems (1) sowie eine Erhöhung der verfügbaren elektrischen Energie, insbesondere in Lastspitzen, wird dadurch erreicht, dass ein Sollwert einer mit der Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle (2) korrelierenden Größe in zumindest einem Bereich von einem Istwert des mit der Lüfteranordnung (20) geförderten Luftmassenstroms (28) abhängt. Die Erfindung betrifft des Weiteren ein derart betriebenes Brennstoffzellensystem (1) sowie ein Kraftfahrzeug (25) mit einem solchen Brennstoffzellensystem (1).



WO 2022/263182 A1

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems, welches zumindest eine Brennstoffzelle sowie einen Kühlkreis zum Kühlen der Brennstoffzelle umfasst. Die Erfindung betrifft ferner ein solches Brennstoffzellensystem sowie ein Kraftfahrzeug mit einem solchen Brennstoffzellensystem.

Im Betrieb einer Brennstoffzelle werden der Brennstoffzelle ein Kathodengas sowie ein Brennstoff zugeführt, um elektrische Energie zu erzeugen. Hierbei entsteht Wärme. In einem zugehörigen Brennstoffzellensystem sind in der Regel mehrere solche Brennstoffzellen zu einem Stack zusammengefasst. Die Wärmeentwicklung in der jeweiligen Brennstoffzelle bzw. dem Stack können zu Beschädigungen der Brennstoffzelle oder benachbarter Komponenten führen. Im zugehörigen Brennstoffzellensystem ist daher in der Regel eine Kühlung der zumindest einen Brennstoffzelle vorgesehen.

Gewöhnlich kommt zu diesem Zweck ein Kühlkreis zum Einsatz, durch welchen im Betrieb ein Kühlmittel strömt und die zumindest eine Brennstoffzelle kühlt. Um das Kühlmittel zu kühlen, kommen üblicherweise Kühlmittelkühler zum Einsatz, welche im Betrieb vom Kühlmittel sowie, fluidisch vom Kühlmittel getrennt, von einem Kühlgas, nachfolgend allgemein als Luft bezeichnet, durchströmt sind. Somit kommt es im Kühlmittelkühler zu einem Wärmeübertrag vom Kühlmittel auf die Luft, sodass das Kühlmittel gekühlt wird.

Um die Kühlung des Kühlmittels im Kühlmittelkühler zu variieren, ist es üblich, die Strömung der den Kühlmittelkühler durchströmenden Luft zu variieren. Um Luft durch den Kühlmittelkühler zu fördern, kommt in der Regel zumindest ein Lüfter

zum Einsatz. Um die Strömung der Luft durch den Kühlmittelkühler zu variieren, ist es daher möglich, den Lüfter mit unterschiedlichen Leistungen zu betreiben. Der Lüfter ist dabei zum Betreiben zwischen einer Minimalleistung und einer Maximalleistung ausgelegt. Ist eine maximale Kühlung der zumindest einen Brennstoffzelle erforderlich, wird der Lüfter mit der maximalen Leistung betrieben. Die maximale Leistung führt zu einem entsprechend hohen Energieverbrauch des Lüfters, welche zu einer reduzierten Effizienz des Brennstoffzellensystems führt.

Da derartige Lüfter in der Regel und zunehmend elektrisch angetrieben werden, stellen sie im gesamten Brennstoffzellensystem oder in einer Anwendung, in welcher das Brennstoffzellensystem zum Einsatz kommt, einen elektrischen Energieverbraucher dar. Das Betreiben des Lüfters führt also zu einer entsprechend reduzierten, insgesamt verfügbaren elektrischen Energie.

Im Fall von mobilen Anwendungen, beispielsweise in Kraftfahrzeugen, führt der Energieverbrauch des Lüfters zu einer entsprechend reduzierten, maximal verfügbaren elektrischen Leistung und/oder zu einer reduzierten Reichweite.

Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich daher mit der Aufgabe, für ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems der eingangs genannten Art, für ein solches Brennstoffzellensystem sowie für ein Kraftfahrzeug mit einem solchen Brennstoffzellensystem verbesserte oder zumindest andere Ausführungsformen anzugeben, welche sich insbesondere durch eine erhöhte Effizienz auszeichnen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Die vorliegende Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, in einem Brennstoffzellensystem mit zumindest einer Brennstoffzelle, einem Kühlkreis zum Kühlen der Brennstoffzelle sowie einem Kühlmittelkühler, in welchem ein durch den Kühlkreis zirkulierendes Kühlmittel mittels einer zumindest einen Lüfter aufweisenden Lüfteranordnung gekühlt wird, für einen zu erreichenden Wert einer zumindest mit der Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle korrelierenden Größe abhängig vom aktuell mittels der Lüfteranordnung geförderten Luftmassenstrom unterschiedliche Werte zuzulassen. Es wird also für den Sollwert der Größe in zumindest einem Bereich, mit welcher die Lüfteranordnung betrieben wird, eine Änderung erlaubt. Im Gegensatz zu aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren, bei denen der Sollwert möglichst konstant gehalten wird, ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Sollwert abhängig vom Istwert des Luftmassenstroms variiert. Genutzt wird dabei die überraschende Kenntnis, dass die zumindest eine Brennstoffzelle temporär Temperaturen oberhalb einer üblicherweise zugelassenen Temperatur aufweisen kann, ohne dass es zu dauerhaften Beschädigungen der zumindest einen Brennstoffzelle oder zumindest zu hinnehmbaren Beeinträchtigungen der zumindest einen Brennstoffzelle kommt. Dies ermöglicht es, die Lüfteranordnung bei für die zumindest eine Brennstoffzelle zumutbaren Temperaturen mit einer reduzierten Leistung zu betreiben und den zumindest einen Lüfter erst dann mit der maximal möglichen Leistung zu betreiben und somit den maximal möglichen Luftmassenstrom zu fördern, wenn dauerhafte und unerwünschte Beschädigungen der zumindest einen Brennstoffzelle drohen. Somit wird ein reduzierter gesamter oder mittlerer Energieverbrauch des zumindest einen Lüfters erreicht. Daraus resultiert ein reduzierter Energieverbrauch der Lüfteranordnung, welche bei tolerierbarer Erhöhung der Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle zu einer Steigerung der Effizienz des Brennstoffzellensystems sowie einer Erhöhung der insgesamt für eine zugehörige Anwendung verfügbaren elektrischen Energie führt.

Dem Erfindungsgedanken entsprechend umfasst das Brennstoffzellensystem zumindest eine Brennstoffzelle, den Kühlkreis, den Kühlmittelkühler, den zumindest einen Lüfter sowie die Verdunstungskühlungseinrichtung. Vorteilhaft umfasst das Brennstoffzellensystem zumindest zwei, insbesondere mehrere, Brennstoffzellen, die in einem Stack zusammengefasst sind. Durch den Kühlkreis zirkuliert im Betrieb das Kühlmittel. Die zumindest eine Brennstoffzelle ist dabei derart im Kühlkreis eingebunden, dass das Kühlmittel die zumindest eine Brennstoffzelle kühlt. Durch den Kühlmittelkühler strömt im Betrieb das Kühlmittel sowie, vom Kühlmittel fluidisch getrennt, Luft. Im Betrieb überträgt das Kühlmittel Wärme auf die Luft und wird somit gekühlt. Zum Fördern der Luft durch den Kühlmittelkühler kommt der zumindest eine Lüfter zum Einsatz. Das Brennstoffzellensystem umfasst also eine zumindest einen Lüfter umfassende Lüfteranordnung. Die Lüfteranordnung fördert im Betrieb einen Luftmassenstrom. Dabei ist die Lüfteranordnung zum Fördern von Luft zwischen einem minimalen Luftmassenstrom und einem maximalen Luftmassenstrom ausgelegt, welche nachfolgend auch als Minimalmassenstrom und Maximalmassenstrom bezeichnet werden. Hierbei wird die Lüfteranordnung im Betrieb genommen, wenn die zumindest mit der Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle korrelierende Größe einen unteren Grenzwert überschreitet. Das heißt, dass die Lüfteranordnung oberhalb des unteren Grenzwerts Luft mit einem Luftmassenstrom zwischen dem Minimalmassenstrom und dem Maximalmassenstrom fördert. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass der zu erreichende Wert und somit der Sollwert der Größe in zumindest einem Bereich zwischen dem Minimalmassenstrom und dem Maximalmassenstrom vom Istwert des Luftmassenstroms abhängt.

Durch das Betreiben der Lüfteranordnung zum Fördern von Luft mit einer Luftmassenstrom zwischen dem Minimalmassenstrom und dem Maximalmassenstrom wird aktiv Luft gefördert. Dabei ist es möglich, dass Luft auch ohne den Einsatz der Lüfteranordnung, beispielsweise mittels fremder

Fördereinrichtungen, durch Fahrtwind und dergleichen, durch den Kühlmittelkühler strömt.

Der jeweilige Lüfter kann prinzipiell beliebig betrieben sein.

Zumindest einer der wenigstens einen Lüfter ist vorteilhaft elektrisch betrieben. Dies erlaubt insbesondere eine einfache Umsetzung sowie einen autarken Betrieb des Brennstoffzellensystems.

Das Ändern des mit der Lüfteranordnung geförderten Luftmassenstroms erfolgt zweckmäßig durch eine entsprechende Änderung einer Leistung, mit welcher die Lüfteranordnung betrieben wird. Dabei ist die Lüfteranordnung zwischen einer minimalen Leistung und einer maximalen Leistung betreibbar, welche nachfolgend auch als Minimalleistung und Maximalleistung bezeichnet werden. Zum Fördern des Minimalmassenstroms wird die Lüfteranordnung also mit der Minimalleistung und zum Fördern des Maximalmassenstroms mit der Maximalleistung betrieben. Dabei hängen der Luftmassenstrom und die Lüfterleistung zweckmäßig im Wesentlichen bzw. näherungsweise kubisch zusammen.

Das Ändern des mit der Lüfteranordnung geförderten Luftmassenstroms wird zweckmäßig durch eine entsprechende Änderung einer Drehzahl des zumindest einen Lüfters erreicht. Weist die Lüfteranordnung einen einzigen Lüfter auf, wird der Lüfter zum Fördern des Minimalmassenstroms mit einer minimalen Drehzahl, nachfolgend auch als Minimaldrehzahl bezeichnet, und zum Fördern des Maximalmassenstroms mit einer maximalen Drehzahl, nachfolgend auch als Maximaldrehzahl bezeichnet, betrieben. Weist die Lüfteranordnung zwei oder mehr Lüfter auf, gilt dies zweckmäßig für die Summe der Drehzahlen der Lüfter. Diese Summe entspricht einer Gesamtdrehzahl der Lüfter. Folglich werden die Lüfter zum Fördern des Minimalmassenstroms mit einer minimalen Gesamtdrehzahl, nachfolgend vereinfacht ebenfalls als Minimaldrehzahl

bezeichnet, und zum Fördern des Maximalmassenstroms mit einer maximalen Gesamtdrehzahl, nachfolgend vereinfacht ebenfalls als Maximaldrehzahl bezeichnet, betrieben. Ebenso wird nachfolgend die Gesamtdrehzahl vereinfacht ebenfalls als Drehzahl bezeichnet. Hierbei hängen die Drehzahl bzw. die Gesamtdrehzahl und der Luftmassenstrom zweckmäßig im Wesentlichen bzw. näherungsweise linear zusammen.

Bei bevorzugten Ausführungsformen ist der Sollwert bis zu einem Grenzmassenstrom zwischen dem Minimalmassenstrom und dem Maximalmassenstrom im Wesentlichen konstant und steigt oberhalb des Grenzmassenstroms bis zu einem oberen Grenzwert der Größe an. Dieser Grenzmassenstrom wird entsprechend der vorstehenden Erläuterung bei einer entsprechenden Grenze der Drehzahl erreicht, welche nachfolgend auch als Grenzdrehzahl bezeichnet wird. Daraus resultiert, dass der Luftmassenstrom ab dem unteren Grenzwert der Größe bis zum Grenzmassenstrom derart erhöht wird, um den Sollwert im Wesentlichen konstant zu halten. Oberhalb des Grenzmassenstroms wird ein Anstieg des Sollwerts der Größe bis zum oberen Grenzwert zugelassen. Mit anderen Worten, besagter Bereich ist vom Grenzmassenstrom bis zum Maximalmassenstrom begrenzt bzw. dadurch definiert. Somit werden insbesondere bei Betriebsspitzen, in denen Spitzen der mittels der zumindest einen Brennstoffzelle erzeugten Leistung erforderlich sind, und in denen im Stand der Technik die Lüfteranordnung konstant den Maximalmassenstrom fördert, das Erreichen des Maximalmassenstroms hinausgezögert. Es wird also der maximale Energieverbrauch der Lüfteranordnung hinausgezögert. Daraus resultiert, insbesondere bei Lastspitzen, eine erhöhte, für andere Anwendungen verfügbare Energie. Es wird somit also insbesondere bei Lastspitzen die für eine zugehörige Anwendung verfügbare elektrische Energie erhöht. Zudem führt dies zu einem reduzierten mittleren Energieverbrauch der Lüfteranordnung.

Bevorzugt ist es, wenn die Lüfteranordnung beim Erreichen des oberen Grenzwerts der Größe Luft mit dem Maximalmassenstrom fördert.

Der Anstieg des Luftmassenstroms vom Grenzmassenstrom bis zum Maximalmassenstrom kann prinzipiell beliebig erfolgen. Insbesondere kann der Luftmassenstrom vom Grenzmassenstrom sprunghaft, das heißt in einer Stufe, auf den Maximalmassenstrom erhöht werden.

Bevorzugt ist es, wenn der Luftmassenstrom oberhalb des Grenzmassenstroms bis zum Maximalmassenstrom erhöht wird. Insbesondere ist es vorstellbar, den Luftmassenstrom oberhalb des Grenzmassenstroms bis zum Maximalmassenstrom konstant, mehrstufig, kontinuierlich und dergleichen zu erhöhen.

Bei vorteilhaften Ausführungsformen beträgt der Grenzmassenstrom zwischen 30 % und 90 % des Maximalmassenstroms. Besonders bevorzugt beträgt der Grenzmassenstrom zwischen 50 % und 80 % des Maximalmassenstroms. Somit werden bei einem reduzierten Energieverbrauch der Lüfteranordnung eine erhöhte Effizienz des Brennstoffzellensystems sowie die Vermeidung oder zumindest Reduzierung von Beschädigungen der zumindest einen Brennstoffzelle erzielt.

Vorteilhaft sind Ausführungsformen, bei denen der Sollwert im Bereich in etwa kubisch mit dem Luftmassenstrom und somit mit der Drehzahl ansteigt. Das heißt, dass sich die Abhängigkeit des Sollwerts vom Luftmassenstrom und folglich von der Drehzahl im Bereich in der Art eines kubischen Parabelabschnitts darstellen lässt. Hierdurch wird insbesondere berücksichtigt, dass die Leistung der Lüfteranordnung näherungsweise kubisch mit dem Luftmassenstrom und folglich mit der Drehzahl zusammenhängt. Dies führt zu einer zuverlässigen Kühlung des Kühlmittels, wobei zugleich Beschädigungen der zumindest einen Brennstoffzelle

vermieden oder zumindest reduziert sind.

Zweckmäßig entspricht der obere Grenzwert der Größe einer solchen, die eine oberste, tolerierbare Grenze für die zumindest eine Brennstoffzelle darstellt. Die obere Grenze der Größe entspricht also insbesondere einer unteren Grenze der Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle, bei welcher eine dauerhafte Beschädigung der zumindest einen Brennstoffzelle, insbesondere eine Schädigung einer Membran der zumindest einen Brennstoffzelle durch Austrocknen, innerhalb eines tolerierbaren Rahmens bleibt. Hierbei wird, wie vorstehend erläutert, die Kenntnis genutzt, dass bei einer kurzen Dauer des Auftretens von Temperaturen, welche zu entsprechenden Beschädigungen der zumindest einen Brennstoffzelle führen würden, keine oder zumindest tolerierbare Beschädigungen der zumindest einen Brennstoffzelle auftreten. Mit anderen Worten, oberhalb des Grenzmassenstroms wird eine Erhöhung der Größe und somit der Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle erlaubt, ohne dass die Lüfteranordnung den Maximalmassenstrom fördert, derart, dass dauerhafte Beschädigungen der zumindest einen Brennstoffzelle ausbleiben.

Bevorzugt ist es folglich, die vom Luftmassenstrom abhängige Erhöhung des Sollwerts derart umzusetzen, dass eine dauerhafte Beschädigung der zumindest einen Brennstoffzelle ausbleibt oder die Wahrscheinlichkeit einer dauerhaften Beschädigung zumindest reduziert ist. Insbesondere wird die Anpassung des Sollwerts an den Luftmassenstrom ausgesetzt, wenn eine dauerhafte Beschädigung der zumindest einen Brennstoffzelle droht.

Zu diesem Zweck ist es bevorzugt, den Sollwert der Größe auf einen Wert einzustellen, wenn eine dauerhafte Beschädigung der zumindest einen Brennstoffzelle droht, wobei der Wert kleiner als der obere Grenzwert und größer oder gleich dem unteren Grenzwert ist. Dieser Wert wird nachfolgend auch als Sicherheitswert bezeichnet.

Um eine Schädigung der zumindest einen Brennstoffzelle durch langanhaltendes Anliegen der erhöhten Temperatur zu verhindern oder zumindest zu verringern, ist es alternativ oder zusätzlich bevorzugt, die Erhöhung des Sollwerts der Größe nur für eine gewisse Dauer zu erlauben und/oder nach einer gewissen Dauer zu reduzieren. Das heißt, dass der Sollwert auf die Sicherheitsgrenze eingestellt wird, wenn bis zum Erreichen des oberen Grenzwerts eine kritische Dauer überschritten wird. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, den Sollwert vor dem Erreichen des oberen Grenzwerts auf die Sicherheitsgrenze einzustellen, wenn die elektrische Spannung an zumindest einer der wenigstens einen Brennstoffzellen abfällt.

Die Dauer kann eine feste und somit fest vorgegebene Dauer sein.

Ebenso kann die Dauer dynamisch angepasst bzw. ermittelt werden. Insbesondere kann die Dauer über einen Ansatz, der die Austrocknung der zumindest einen Brennstoffzelle abschätzt, ermittelt werden. Dabei können Faktoren wie z.B. Luftfeuchte, Temperatur der Umgebung, Temperatur zumindest einer der wenigstens einen Brennstoffzellen, die elektrische Leistung bzw. Spannung an zumindest einer der wenigstens einen Brennstoffzellen, die Feuchte einer Membran zumindest einer der wenigstens einen Brennstoffzellen, die Größe selbst oder Kombinationen dieser Faktoren herangezogen werden.

Prinzipiell kann die Abhängigkeit des Sollwerts vom Luftmassenstrom im Bereich beliebig umgesetzt sein.

Denkbar ist es, die Abhängigkeit des Sollwerts vom Luftmassenstrom in zumindest einer Kennlinie zu hinterlegen und die Lüfteranordnung gemäß der Kennlinie zu betreiben. Somit lässt sich die Lüfteranordnung also entlang der Kennlinie abhängig von der Größe betreiben.

Alternativ oder zusätzlich ist es vorstellbar, die Abhängigkeit des Sollwerts vom Luftmassenstrom in einem Regelkreis durch eine aktive Anpassung des Sollwerts umzusetzen. Dadurch kann die Größe, insbesondere die Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle, vereinfacht und genau sowie ohne bleibende Regelabweichung auf dem Sollwert gehalten werden.

Bevorzugt ist es, wenn das Brennstoffzellensystem ferner eine Verdunstungskühlungseinrichtung aufweist, welche zur Steigerung der Kühlleistung des Kühlmittelkühlers in den Luftstrom stromauf des Kühlmittelkühlers Wasser einbringt. Die Verdunstungskühlungseinrichtung bringt also im Betrieb Wasser stromauf des Kühlmittelkühlers in die durch die Lüfteranordnung geförderte Luft ein. Dies erfolgt derart, dass das Wasser verdunstet und somit der Luft und/oder dem Kühlmittelkühler Wärme entzieht. Das Wasser kann dabei mit einer Rate in die Luft eingebracht werden, welche nachfolgend auch als Einbringrate bezeichnet wird. Die Verdunstungskühlungseinrichtung ist dabei derart ausgestaltet, dass Wasser zwischen einer minimalen Rate und einer maximalen Rate, nachfolgend als Minimalrate und Maximalrate bezeichnet, eingebracht werden kann. Hierbei werden zum Steigern der Kühlleistung des Kühlmittelkühlers die Einbringrate und der Luftmassenstrom erhöht.

Bevorzugt ist es dabei, wenn der Maximalwert der Einbringrate vor dem Erreichen des Maximalmassenstroms erreicht wird. Mit anderen Worten, die Einbringrate und der Luftmassenstrom werden derart erhöht, dass die Maximalrate vor dem Maximalmassenstrom erreicht wird. In der Folge wird zum Erreichen der maximalen Kühlleistung des Kühlmittelkühlers zunächst die mittels der Verdunstungskühlungseinrichtung steigernde Kühlleistung maximal ausgenutzt, bevor die mit dem zumindest einen Lüfter maximal mögliche Steigerung der Kühlleistung verwendet wird. Dabei führt die bereits vor dem Erreichen der maximalen Leistung des zumindest einen Lüfters gegebene Strömung der Luft zu

einem mittels der Verdunstungswärme erreichten Erhöhung der Kühlleistung. Erst wenn die somit erreichte Kühlleistung nicht ausreichend ist, wird der zumindest eine Lüfter zum Fördern mit dem Maximalmassenstrom betrieben. Daraus resultiert ein weiter reduzierter gesamter oder mittlerer Energieverbrauch des zumindest einen Lüfters und somit eine weiter erhöhte Effizienz des Brennstoffzellensystems sowie einer maximal verfügbaren Leistung des Brennstoffzellensystems, insbesondere bei Lastspitzen.

Insbesondere ist es vorstellbar, dass die Maximalrate beim Erreichen des Grenzmassenstroms eingebracht wird. Mit anderen Worten, beim Erreichen des Grenzmassenstroms wird die mittels der Verdunstungskühlungseinrichtung erreichte Steigerung der Kühlleistung des Kühlmittelkühlers erhöht. Daraus resultiert, dass die Größe oberhalb des Grenzmassenstrom weniger stark ansteigt. Folglich wird eine Erhöhung des Luftmassenstroms verhindert oder zumindest hinausgezögert. In der Folge ist die von der Lüfteranordnung benötigte und verbrauchte Energie weiter reduziert.

Bevorzugt sind Ausführungsformen, bei denen die Lüfteranordnung vor der Verdunstungskühlungseinrichtung in Betrieb genommen wird. Hieraus resultiert insgesamt, dass die Zuschaltkennlinie der Verdunstungskühlungseinrichtung steiler ist als die Zuschaltkennlinie der Lüfteranordnung. Folglich fördert die Lüfteranordnung vor dem Einbringen von Wasser mit der Minimalrate Luft mit einem Luftmassenstrom, welcher zumindest dem Minimalmassenstrom entspricht und unterhalb des Maximalmassenstroms liegt. Dieser Luftmassenstrom wird nachfolgend auch als Schwellmassenstrom bezeichnet. Die dazugehörige Drehzahl der Lüfteranordnung wird nachfolgend auch als Schwelldrehzahl bezeichnet. Somit wird sichergestellt, dass eine Luftströmung vor dem Einbringen von Wasser mit der Minimalrate vorhanden ist. In der Folge wird vermieden, dass Wasser an der Lüfteranordnung und/oder am Kühlmittelkühler verbleibt oder die Verweildauer des Wassers zumindest reduziert. Somit werden durch das Wasser

bedingte Beschädigungen, die beispielsweise durch Korrosion und/oder thermische Spannungen bedingt sein können, vermieden oder zumindest reduziert. Zudem wird auf diese Weise sichergestellt, dass das Wasser mittels der Luftströmung zumindest teilweise transportiert wird, sodass die mit der Verdunstungskühlungseinrichtung beabsichtigte Kühlung mittels der Verdunstungswärme überhaupt oder mit einer erhöhten Effizienz auftritt. Folglich werden auf diese Weise sowohl eine zumindest reduzierte Beschädigung sowie eine erhöhte Leistung und Effizienz des Brennstoffzellensystems erreicht.

Der Schwellmassenstrom ist dabei zweckmäßig kleiner als der Grenzmassenstrom. Entsprechend ist die Schwelldrehzahl kleiner als die Grenzdrehzahl.

Vorstellbar ist es, als Größe die Temperatur zumindest einer der wenigstens einen Brennstoffzelle zu verwenden. Alternativ oder zusätzlich ist es vorstellbar, als Größe die Temperatur des Kühlmittels im Kühlkreis zu verwenden. Ebenso ist es denkbar, die Temperatur eines vom Kühlmittelkühler unterschiedlichen Wärmeübertragers als Größe heranzuziehen.

Es versteht sich, dass neben dem Verfahren zum Betreiben des Brennstoffzellensystems auch ein derart betriebenes Brennstoffzellensystem zum Umfang dieser Erfindung gehört. Das Brennstoffzellensystem ist dabei zum erfindungsgemäßen Betreiben ausgestaltet. Insbesondere kann das Brennstoffzellensystem eine Steuereinrichtung umfassen, welche entsprechend ausgestaltet ist.

Das Brennstoffzellensystem kann in einer beliebigen Anwendung zum Einsatz kommen. Vorstellbar ist es insbesondere, das Brennstoffzellensystem in einer mobilen Anwendung, beispielsweise in einem Kraftfahrzeug, einzusetzen. Dabei

kann das Brennstoffzellensystem, insbesondere die zumindest eine Brennstoffzelle, dem Antrieb des Kraftfahrzeugs dienen.

Es versteht sich, dass neben dem Verfahren auch ein solches Brennstoffzellensystem sowie eine solche Anwendung, insbesondere ein solches Kraftfahrzeug, jeweils zum Umfang dieser Erfindung gehören.

Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche oder funktional gleiche Komponenten beziehen.

Es zeigen, jeweils schematisch

Fig. 1 eine stark vereinfachte, schaltplanartige Darstellung eines Brennstoffzellensystems,

Fig. 2 bis 6 weitere Diagramme zur Erläuterung des Verfahrens zum Betreiben des Brennstoffzellensystems.

Ein Brennstoffzellensystem 1, wie es beispielsweise in Figur 1 stark vereinfacht und schaltplanartig gezeigt ist, weist zumindest eine Brennstoffzelle 2 auf. Im gezeigten Ausführungsbeispiel weist das Brennstoffzellensystem 1 mehrere Brennstoffzellen 2 auf, die zum einem Stack 3 zusammengefasst sind. Im Betrieb benötigt die zumindest eine Brennstoffzelle 2 einen Brennstoff sowie ein Kathodengas, beispielsweise Luft. Der Brennstoff wird dem Stack 2 über eine Brennstoffzuführanlage 4 zugeführt. Das Kathodengas wird der zumindest einen Brennstoffzelle 2 mit Hilfe einer Kathodengaszuführanlage 5 zugeführt. Zum Fördern des Kathodengases zur zumindest einen Brennstoffzelle 2 weist die Kathodengaszuführanlage 5 eine Fördereinrichtung 6 auf, die nachfolgend auch als Kathodengasfördereinrichtung 6 bezeichnet wird. Die Kathodengasfördereinrichtung 6 kann zum Fördern des Kathodengases das Kathodengas verdichten. Im Betrieb der zumindest einen Brennstoffzelle 2 entsteht Abgas, das wasserhaltig ist, insbesondere Dampf. Dieses Abgas wird mit Hilfe einer Abgasanlage 7 eines Kraftfahrzeugs 25 abgeführt. Im Betrieb der zumindest eine Brennstoffzelle 2 entsteht ferner Wärme, sodass im Betrieb des Kraftfahrzeugs 25 eine Kühlung der zumindest einen Brennstoffzelle 2 erforderlich sein kann.

Zum Kühlen der zumindest eine Brennstoffzelle 2 weist das Brennstoffzellensystem 1 einen Kühlkreis 8 auf, durch den im Betrieb ein Kühlmittel zirkuliert. Die zumindest eine Brennstoffzelle 2, im gezeigten Ausführungsbeispiel der Stack 3, ist derart im Kühlkreis 8 eingebunden, dass sie im Betrieb durch das Kühlmittel gekühlt wird. Zum Kühlen des Kühlmittels weist Brennstoffzellensystem 1 einen Kühler 9 auf, der nachfolgend auch als Kühlmittelkühler 9 bezeichnet wird. Der Kühlmittelkühler 9 ist ebenfalls im Kühlkreis 8 eingebunden und im Betrieb vom Kühlmittel durchströmt. Der Kühlkreis 8 weist zweckmäßig weitere Bestandteile, beispielsweise eine Fördereinrichtung 10 zum Fördern des Kühlmittels durch den Kühlkreis 8, nachfolgend auch Kühlmittelfördereinrichtung 10 genannt, auf, welche im

Kühlkreis 8 eingebunden sind. Es führt also ein Strömungspfad 11 des Kühlmittels, nachfolgend auch als Kühlmittelpfad 11 bezeichnet, durch den Kühlkreis 8. Zum Kühlen des Kühlmittels kommt Luft als ein Kühlgas zum Einsatz. Die Luft durchströmt den Kühlmittelkühler 9 entlang eines zugehörigen Strömungspfads 12, nachfolgend auch Kühlgaspfad 12 genannt, vom Kühlmittel fluidisch getrennt, sodass im Kühlmittelkühler 9 das Kühlmittel von der Luft fluidisch getrennt Wärme auf die Luft überträgt und somit gekühlt wird.

Die durch den Kühlmittelkühler 9 geförderte Luft wird mittels einer Lüfteranordnung 20 gefördert, welche zumindest einen elektrisch betriebenen Lüfter 21 umfasst. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist rein beispielhaft angenommen, dass die Lüfteranordnung 20 einen einzigen Lüfter 21 aufweist. Um die Strömung der Luft durch den Kühlmittelkühler 9 zu variieren, wird mit der Lüfteranordnung 20 geförderter Luftmassenstrom 28 (siehe Figur 2) durch den Kühlmittelkühler 9 geändert. Hierbei kann die Lüfteranordnung 20 Luft zwischen einem minimalen Luftmassenstrom 30, nachfolgend auch als Minimalmassenstrom 30 bezeichnet, und einem maximalen Luftmassenstrom 31, nachfolgend auch als Maximalmassenstrom 31 bezeichnet, fördern. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel hängt der Luftmassenstrom 28 linear mit einer Drehzahl des Lüfters 21 zusammen.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel weist das Brennstoffzellensystem 1 zudem eine Verdunstungskühlungseinrichtung 13 auf, mit welcher am Kühlmittelkühler 9 und stromab des Kühlmittelkühlers 9 Wasser in den Kühlgaspfad 12 eingebracht werden kann. Somit kommt es zu einer Verdunstung des Wassers, welche zu einer erhöhten Kühlung des Kühlmittels im Kühlmittelkühler 9 führt. Die Verdunstungskühlungseinrichtung 13 kann hierbei Wasser zwischen einer Minimalrate 32 und einer Maximalrate 33 (siehe Figur 2) in den Kühlgaspfad 12 einbringen. Eine Einbringrate 29 (siehe Figur 2) des mittels der Verdunstungskühlungseinrichtung 13 eingebrachten Wassers ist also zwischen

der Minimalrate 32 und der Maximalrate 33 einstellbar. Das der Verdunstungskühlungseinrichtung 3 zugeführte Wasser stammt im gezeigten Ausführungsbeispiel von einem Wasserbehälter 14, in welchem aus dem Abgas gewonnenes Wasser gesammelt wird. Das im Wasserbehälter 14 gesammelte Wasser kann aus dem Abgas beispielsweise mittels eines in der Abgasanlage 7 vorgesehenen Wasserabscheiders 19 gewonnen werden. Zum Versorgen der Verdunstungskühlungseinrichtung 13 mit Wasser führt ein Strömungspfad 15 vom Wasserbehälter 14 zur Verdunstungskühlungseinrichtung 13, wobei dieser Strömungspfad 15 nachfolgend auch als Verdunstungspfad 15 bezeichnet wird.

Zum Einbringen des Wassers zwischen der Minimalrate 32 und der Maximalrate 33 mittels der Verdunstungskühlungseinrichtung 13 wird das Wasser mit Druck beaufschlagt. In dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel erfolgt dies rein beispielhaft mittels der Kathodengasfördereinrichtung 6. Zu diesem Zweck führt ein Strömungspfad 16 des Kathodengases druckseitig der Kathodengasfördereinrichtung 6 zum Wasserbehälter 14, wobei dieser Strömungspfad 16 nachfolgend auch als Druckluftpfad 16 bezeichnet wird. Zum Variieren der Einbringrate kann dabei zumindest ein Ventil 17 einer Ventileinrichtung 18 zum Einsatz kommen. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist dabei im Druckluftpfad 16 ein Ventil 17a und/oder im Verdunstungspfad 15 ein Ventil 17b angeordnet.

Zum Variieren der Kühlleistung des Kühlmittelkühlers 9 kann im gezeigten Beispiel neben dem Luftmassenstrom 28 die Einbringrate 29 entsprechend variiert werden. Dabei werden der Luftmassenstrom 28 und/oder die Einbringrate 29 zum Steigern der Kühlleistung erhöht. Dies erfolgt beispielsweise mittels einer Steuereinrichtung 22, welche entsprechend ausgestaltet und mit der Lüfteranordnung 20 kommunizierend verbunden ist (nicht gezeigt). Zudem ist die Steuereinrichtung 22 vorteilhaft mit der Ventileinrichtung 18 kommunizierend verbunden. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel weist das Brennstoffzellensystem 1 ferner eine

Einrichtung 23 zum Ermitteln einer Größe, welche mit der Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle 2 korreliert, auf, wobei die Einrichtung 23 nachfolgend auch als Größenerkennungseinrichtung 23 bezeichnet wird. Hierbei handelt es sich in dem gezeigten Ausführungsbeispiel bei der Größenerkennungseinrichtung 23 um einen Temperatursensor 24, welcher die Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle 2, insbesondere des Stacks 3, und/oder die Temperatur des Kühlmittels, im gezeigten Ausführungsbeispiel stromab der zumindest einen Brennstoffzelle 2, bestimmt. Bei der Größe handelt es sich im gezeigten Ausführungsbeispiel also um die Temperatur zumindest einer der wenigstens einen Brennstoffzellen 3 und/oder um die Temperatur des Kühlmittels stromab der zumindest einen Brennstoffzelle 2. Die Größenerkennungseinrichtung 23 ist ebenfalls kommunizierend mit der Steuereinrichtung 22 verbunden.

Das Betreiben des Brennstoffzellensystems 1, welches beispielsweise in einem nicht gezeigten Kraftfahrzeug 25 zum Einsatz kommen kann, um insbesondere das Kraftfahrzeug 25 anzutreiben, wird nachfolgend anhand der in den Figuren 2 bis 6 dargestellten Diagrammen erläutert. In den Diagrammen sind dabei die Einbringrate 29 und der Luftmassenstrom 28 dimensionslos als prozentualer Anteil ihres jeweiligen Maximalwerts dargestellt.

Hierbei zeigt Figur 2 ein Diagramm, bei welchem entlang der Abszissenachse 26 besagte Größe, insbesondere die Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle 2, aufgetragen ist. Entlang der Ordinatenachse 27 ist ein Prozentsatz aufgetragen, wobei mit einer gestrichelten Linie besagter prozentualer Luftmassenstrom 28 und mit einer durchgezogenen Linie besagte prozentuale Einbringrate 29 aufgetragen sind. Entsprechend Figur 2 beträgt also der Luftmassenstrom 28 zwischen dem Minimalmassenstrom 30 bei 0% und dem Maximalmassenstrom 31 bei 100%. Aufgrund des im Wesentlichen linearen Zusammenhangs zwischen dem Luftmassenstrom 28 und der Drehzahl entspricht

der gezeigte prozentuale Verlauf des Luftmassenstroms 28 und somit die Kennlinie des Luftmassenstroms 28 im Wesentlichen dem prozentualen Verlauf bzw. der Kennlinie der Drehzahl. Analog hierzu beträgt die Einbringrate 29 zwischen der Minimalrate 32 bei 0% und der Maximalrate 33 bei 100%. Wie Figur 2 entnommen werden kann, werden sowohl der Luftmassenstrom 28 als auch die Einbringrate 29 mit zunehmender Größe erhöht, um die Kühlleistung des Kühlmittelkühlers 9 zu steigern. Wie Figur 2 ferner entnommen werden kann, wird hierbei die Maximalrate 33 früher erreicht als der Maximalmassenstrom 31.

Wie Figur 2 ferner entnommen werden kann, wird im gezeigten Ausführungsbeispiel ferner die Lüfteranordnung 20 vor der Verdunstungskühlungseinrichtung 13 in Betrieb genommen. Das heißt, dass die Lüfteranordnung 20 vor dem Einbringen von Wasser mit der Minimalrate 32 Luft mit einem zumindest dem Minimalmassenstrom 30 entsprechendem prozentualen Luftmassenstrom 34 fördert, wobei dieser Luftmassenstrom 34 nachfolgend auch als Schwellmassenstrom 34 bezeichnet wird. Umgekehrt bedeutet dies, dass die Verdunstungskühlungseinrichtung 13 Wasser erst beim Erreichen des Schwellmassenstroms 34 mit der Minimalrate 32 in die Luft einbringt. Hieraus ergibt sich, wie ebenfalls Figur 2 entnommen werden kann, dass die Kennlinie der Einbringrate 29 steiler verläuft als die Kennlinie des Luftmassenstroms 28 und somit als die Kennlinie der Drehzahl. Wie Figur 2 entnommen werden kann, beträgt der Schwellmassenstrom 34 dabei zwischen 30 % und 90 % des Maximalmassenstroms 31, bevorzugt zwischen 50 % und 80 % des Maximalmassenstroms 31, im gezeigten Ausführungsbeispiel ca. 45 % des Maximalmassenstroms 31.

Wie Figur 2 ebenfalls entnommen werden kann, erfolgt die mittels der Lüfteranordnung 20 und der Verdunstungskühlungseinrichtung 13 erzielte Steigerung der Kühlleistung erst dann, wenn die Größe und somit die Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle 2 einen unteren Grenzwert 35 überschreitet.

Dabei wird die Lüfteranordnung 20 beim Überschreiten der unteren Grenze 35 zum Fördern mit dem Minimalmassenstrom 30 betrieben. Aus dem vorstehend Beschriebenen resultiert, dass die Verdunstungskühlungseinrichtung 13 in Betrieb genommen wird und Wasser mit der Minimalrate 32 einbringt, wenn die Größe einen Grenzwert 36 erreicht oder überschreitet, welcher nachfolgend auch als Zwischengrenzwert 36 bezeichnet wird. Bevorzugt ist es hierbei, wenn die Lüfteranordnung 20 abhängig von der ermittelten Größe betrieben wird. Ferner ist es bevorzugt, wenn die Verdunstungskühlungseinrichtung 13 und somit die Einbringrate 29 abhängig vom Luftmassenstrom 28, vorteilhaft abhängig von der Drehzahl, eingestellt wird. Während der Luftmassenstrom 28 und folglich die Drehzahl also an die Größe gekoppelt ist, ist die Einbringrate 29 am Luftmassenstrom 28 und folglich der Drehzahl und somit indirekt mit der Größe gekoppelt.

Die Lüfteranordnung 20 wird also oberhalb des unteren Grenzwerts 35 abhängig von einem Sollwert der Größe zum Fördern eines Luftmassenstroms 28 zwischen dem Minimalmassenstrom 30 und dem Maximalmassenstrom 31 betrieben.

Figur 3 zeigt ein weiteres Diagramm, bei welchem entlang der Ordinatenachse 26 der Luftmassenstrom 28 oder analog hierzu die Drehzahl und entlang der Abszissenachse 27 die Einbringrate 29 jeweils prozentual aufgetragen ist. Wie Figur 3 entnommen werden kann, herrscht zwischen dem prozentualen Luftmassenstrom 28 und der Einbringrate 29 abschnittsweise ein im Wesentlichen kubischer Zusammenhang. In diesem Abschnitt, der zwischen dem Schwellmassenstrom 34 und der Maximalrate 33 begrenzt ist, verläuft die in Figur 3 gezeigte Kennlinie 37 also im Wesentlichen als ein Parabelabschnitt. Hierdurch wird insbesondere berücksichtigt, dass die Leistung der Lüfteranordnung 20 kubisch mit der Drehzahl und somit mit dem geförderten Luftmassenstrom zusammenhängt.

Entsprechend den Figuren 4 bis 6 wird der zu erreichende Wert der Größe und somit der Sollwert der Größe in zumindest einem Bereich zwischen dem Minimalmassenstrom 30 und dem Maximalmassenstrom 31 vom Istwert des Luftmassenstroms 28 und folglich von der Drehzahl abhängig geändert. Dabei zeigt Figur 4 ein Diagramm, bei welchem entlang der Abszissenachse 26 der prozentuale Luftmassenstrom 28 und entlang der Ordinatenachse 27 der Sollwert der Größe aufgetragen ist. Figur 5 zeigt ein Diagramm, bei welchem entlang der Abszissenachse 26 der Istwert der Größe und entlang der Ordinatenachse 27 der Luftmassenstrom 28 aufgetragen ist. In Figur 6 ist ein Diagramm zu sehen, bei welchem entlang der Abszissenachse 26 der Istwert der Größe und entlang der Ordinatenachse 27 der Luftmassenstrom 28 aufgetragen ist.

Entsprechend dem Figuren 4 bis 6 gezeigten Ausführungsbeispiel ist dabei vorgesehen, dass der Sollwert bis zu einer Grenze 38 des Luftmassenstroms 28, nachfolgend auch als Grenzmassenstrom 38 bezeichnet, im Wesentlichen konstant ist und oberhalb des Grenzmassenstroms 38 bis zu einem oberen Grenzwert 39 der Größe ansteigt. Der Schwellmassenstrom 34 ist dabei zweckmäßig kleiner als der Grenzmassenstrom 38. Die entsprechenden Kennlinien sind in den Figuren 4 bis 6 durch eine durchgezogene Linie dargestellt. In den Figuren 4 bis 6 ist demgegenüber der Vergleich zum Stand der Technik gestrichelt dargestellt. Wie den Figuren 4 bis 6 entnommen werden kann, ergibt sich somit im Vergleich zum Stand der Technik, bei dem der Sollwert der Größe über den gesamten verfügbaren Luftmassenstrom 28 und somit zwischen der Minimaldrehzahl 30 und der Maximaldrehzahl 31 möglichst konstant gehalten wird, ein Hinauszögern bis zum Erreichen des Maximalmassenstroms 31. Der obere Grenzwert 39 der Größe korreliert hierbei mit einer solchen Temperatur zumindest einer der wenigstens einen Brennstoffzelle 2, deren Überschreiten zu einer dauerhaften Beschädigung der zumindest einen Brennstoffzelle 2 führen würde. Die Anpassung des Sollwerts an den Luftmassenstrom 28 im Bereich kann mittels der in Figur 6 gezeigten Kennlinie und somit kennlinienbasiert erfolgen.

Wie den Figuren 4 bis 6 ferner entnommen werden kann, wird im gezeigten Ausführungsbeispiel die Lüfteranordnung 20 beim Erreichen des oberen Grenzwerts 39 der Größe zum Fördern mit dem Maximalmassenstrom 31 betrieben. Dabei erfolgt die Erhöhung des Luftmassenstroms 28 oberhalb des Grenzmassenstroms 38 bis zum Maximalmassenstrom 31. In dem in Figur 5 gezeigten Ausführungsbeispiel besteht hierbei zwischen dem Luftmassenstrom 28 bzw. der Drehzahl und der Größe im Bereich, das heißt zwischen dem Grenzmassenstrom 38 und dem Maximalmassenstrom 31 in etwa ein linearer Zusammenhang.

Bei dem in Figur 6 gezeigten Ausführungsbeispiel ist zwischen dem Luftmassenstrom 28 und dem Istwert der Größe im Bereich, das heißt zwischen dem Grenzmassenstrom 38 und dem Maximalmassenstrom 31, ein quadratischer bzw. kubischer Zusammenhang in der Art eines Parabelabschnitts vorgesehen.

Wie Figur 4 entnommen werden kann, besteht bevorzugt im Bereich, das heißt zwischen dem Grenzmassenstrom 38 und dem Maximalmassenstrom 31, zwischen dem Luftmassenstrom 28 und dem Sollwert der Größe ein näherungsweise kubischer Zusammenhang, insbesondere in der Art eines Parabelabschnitts. Durch die kubischen Zusammenhänge wird dabei insbesondere berücksichtigt, dass die Lüfterleistung der Lüfteranordnung 20 mit dem Luftmassenstrom 28 und somit mit der Drehzahl der Lüfteranordnung 20 annähernd kubisch zusammenhängt.

Wie den Figuren 4 bis 6 entnommen werden kann, beträgt hierbei der Grenzmassenstrom 38 in den gezeigten Ausführungsbeispielen und bevorzugt zwischen 30 % und 90 % des Maximalmassenstroms 31, besonders bevorzugt zwischen 50 % und 80 % des Maximalmassenstroms 31. In den gezeigten

Ausführungsbeispielen beträgt der Grenzmassenstrom 38 dabei 70 % des Maximalmassenstroms 31.

Bei einer Zusammenschau der Figuren 2 bis 5 ist also festzustellen, dass der Schwellmassenstrom 34 kleiner ist als der Grenzmassenstrom 38.

Entsprechendes gilt für die zugehörigen Drehzahlen

Wie insbesondere Figur 2 entnommen werden kann, wird dabei bevorzugt die Maximalrate 33 der Einbringrate 29 mit dem Erreichen des Grenzmassenstroms 38 bereits eingebracht. In der Folge wird die mittels der Verdunstungskühlungseinrichtung 13 erzielte Erhöhung der Kühlleistung des Kühlmittelkühlers 9 vor dem Erreichen des Maximalmassenstroms 31 möglichst vollständig ausgeschöpft. Dies führt dazu, dass die Größe oberhalb des Grenzmassenstroms 38 weniger stark ansteigt. In der Folge ist die Phase, ab welcher die Lüfteranordnung 20 zum Fördern mit dem Maximalmassenstrom 31 betrieben wird, weiter hinausgezögert bzw. verkürzt. Daraus resultiert ein weiter reduzierter Energieverbrauch der Lüfteranordnung 20.

Droht im Bereich eine dauerhafte Beschädigung der zumindest einen Brennstoffzelle 2, wird die Anpassung des Sollwerts der Größe an den Luftmassenstrom 28 vorteilhaft ausgesetzt und/oder unterbrochen, um Luft mit dem Maximalmassenstrom 31 zu fördern. Dies kann beispielsweise durch das Einstellen des Sollwerts auf einen Sicherheitswert, der kleiner als der obere Grenzwert 39 und größer oder gleich dem unteren Grenzwert 35 ist, erreicht werden (nicht gezeigt). Insbesondere kann der Sollwert auf den Sicherheitsgrenzwert eingestellt werden, wenn im Bereich eine vorgegebene oder ermittelte maximale der Anhebung des Sollwerts überschritten wird, und/oder wenn die an zumindest einer der wenigstens einen Brennstoffzellen 2 anfallende elektrische Leistung abnimmt.

Mit dem Betriebsverfahren, dem beschriebenen Brennstoffzellensystem 1 sowie dem Kraftfahrzeugs 25 erfolgt eine zuverlässige Kühlung der zumindest einen Brennstoffzelle 2 bei einer erhöhten Effizienz. Insbesondere kommt es auf diese Weise zu einem reduzierten Energieverbrauch der Lüfteranordnung 20. Da die Lüfteranordnung 20 elektrisch betrieben ist, steht somit auch der zugehörigen Anwendung, hier also dem Kraftfahrzeug 25, insgesamt mehr elektrische Energie zur Verfügung. Daraus resultiert neben einer erhöhten verfügbaren Leistung auch eine erhöhte Reichweite des Kraftfahrzeugs 25.

Ansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems (1),
 - wobei das Brennstoffzellensystem (1) aufweist:
 - zumindest eine Brennstoffzelle (2),
 - einen Kühlkreis (8), durch welchen im Betrieb ein Kühlmittel zirkuliert und in welchem die zumindest eine Brennstoffzelle (2) zum Kühlen der Brennstoffzelle (2) eingebunden ist,
 - einen Kühlmittelkühler (9), durch den im Betrieb das Kühlmittel strömt und durch den, vom Kühlmittel fluidisch getrennt, Luft strömt, um das Kühlmittel zu kühlen,
 - eine zumindest einen Lüfter (21) aufweisende Lüfteranordnung (20) zum Fördern der Luft durch den Kühlmittelkühler (9), welche im Betrieb Luft mit einem Luftmassenstrom (28) zwischen einem Minimalmassenstrom (30) und einem Maximalmassenstrom (31) fördert,
 - wobei die Lüfteranordnung (20) oberhalb eines unteren Grenzwerts (35) einer Größe, welche mit der Temperatur der zumindest einen Brennstoffzelle (2) korreliert, Luft mit Luftmassenstrom einen Luftmassenstrom (28) zwischen dem Minimalmassenstrom (30) und dem Maximalmassenstrom (31) fördert,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Sollwert in zumindest einem Bereich zwischen dem Minimalmassenstrom (30) und dem Maximalmassenstrom (31) vom Istwert des Luftmassenstrom (28) abhängt.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,

- dass der Sollwert bis zu einem Grenzmassenstrom (38) zwischen dem Minimalmassenstrom (30) und dem Maximalmassenstrom (31) konstant ist,
 - dass der Sollwert oberhalb des Grenzmassenstroms (38) bis zu einem oberen Grenzwert (39) der Größe ansteigt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Lüfteranordnung (20) beim Erreichen des oberen Grenzwerts (39) den Maximalmassenstrom (31) fördert.
 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Luftmassenstrom (28) oberhalb des Grenzmassenstrom (38) bis zum Maximalmassenstrom (31) ansteigt.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Sollwert vor dem Erreichen des oberen Grenzwerts (39) auf eine Sicherheitsgrenze eingestellt wird, die kleiner als der obere Grenzwert (39) und größer oder gleich dem unteren Grenzwert (35) ist, wenn eine dauerhafte Beschädigung der zumindest einen Brennstoffzelle (2) droht.
 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Sollwert auf die Sicherheitsgrenze eingestellt wird, wenn bei der Dauer des Erreichens des oberen Grenzwerts (39) eine kritische Dauer überschritten wird und/oder wenn die Spannung an der zumindest einen Brennstoffzelle (2) abfällt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Grenzmassenstrom (38) zwischen 30 % und 90 % des Maximalmassenstrom (31) beträgt.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Grenzmassenstrom (38) zwischen 50 % und 80 % des Maximalmassenstrom (31) beträgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Sollwert im Bereich kubisch vom der Luftmassenstrom (28) abhängt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Abhängigkeit des Sollwerts vom Luftmassenstrom (28) in einer Kennlinie hinterlegt und die Lüfteranordnung (20) gemäß der Kennlinie betrieben wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Abhängigkeit des Sollwerts vom Luftmassenstrom (28) in einem Regelkreis durch eine Anpassung des Sollwerts umgesetzt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet,
 - dass das Brennstoffzellensystem (1) ferner eine Verdunstungskühlungseinrichtung (13) aufweist, mit welcher Wasser mit

- einer Einbringrate (29) zwischen einer Minimalrate (33) und einer Maximalrate (34) stromauf des Kühlmittelkühlers (9) in die durch die Lüfteranordnung (20) geförderte Luft einbringbar ist,
- wobei mit der Verdunstungskühlungseinrichtung oberhalb der unteren Grenze (35) der Größe und oberhalb des Minimalmassenstroms (30) Wasser mit der Einbringrate (29) zwischen der Minimalrate (32) und der Maximalrate (33) eingebracht wird,
 - wobei die Einbringrate (29) und der Luftmassenstrom (28) derart erhöht werden, dass die Maximalrate (34) vor dem Maximalmassenstrom (31) erreicht wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12 und einem der Ansprüche 2 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Maximalrate (33) vor dem oder beim Erreichen des Grenzmassenstroms (38) eingebracht wird.
14. Brennstoffzellensystem (1), insbesondere für ein Kraftfahrzeug (25),
- mit zumindest einer Brennstoffzelle (2),
 - mit einem Kühlkreis (8), durch welchen im Betrieb ein Kühlmittel zirkuliert und in welchem die zumindest eine Brennstoffzelle (2) zum Kühlen der Brennstoffzelle (2) eingebunden ist,
 - mit einem Kühlmittelkühler (9), durch den im Betrieb das Kühlmittel strömt und durch den, vom Kühlmittel fluidisch getrennt, Luft strömt, um das Kühlmittel zu kühlen,
 - mit einer zumindest einen Lüfter (21) aufweisenden Lüfteranordnung (20), welche im Betrieb Luft mit einem Luftmassenstrom (28) zwischen einem Minimalmassenstrom (30) und einem Maximalmassenstrom (31) fördert,
 - mit einer Steuereinrichtung (22) welche derart ausgestaltet ist, dass sie das Brennstoffzellensystem (1) gemäß einem Verfahren nach einem der

Ansprüche 1 bis 13 betreibt.

15. Kraftfahrzeug (25) mit einem Brennstoffzellensystem (1) nach Anspruch 14.

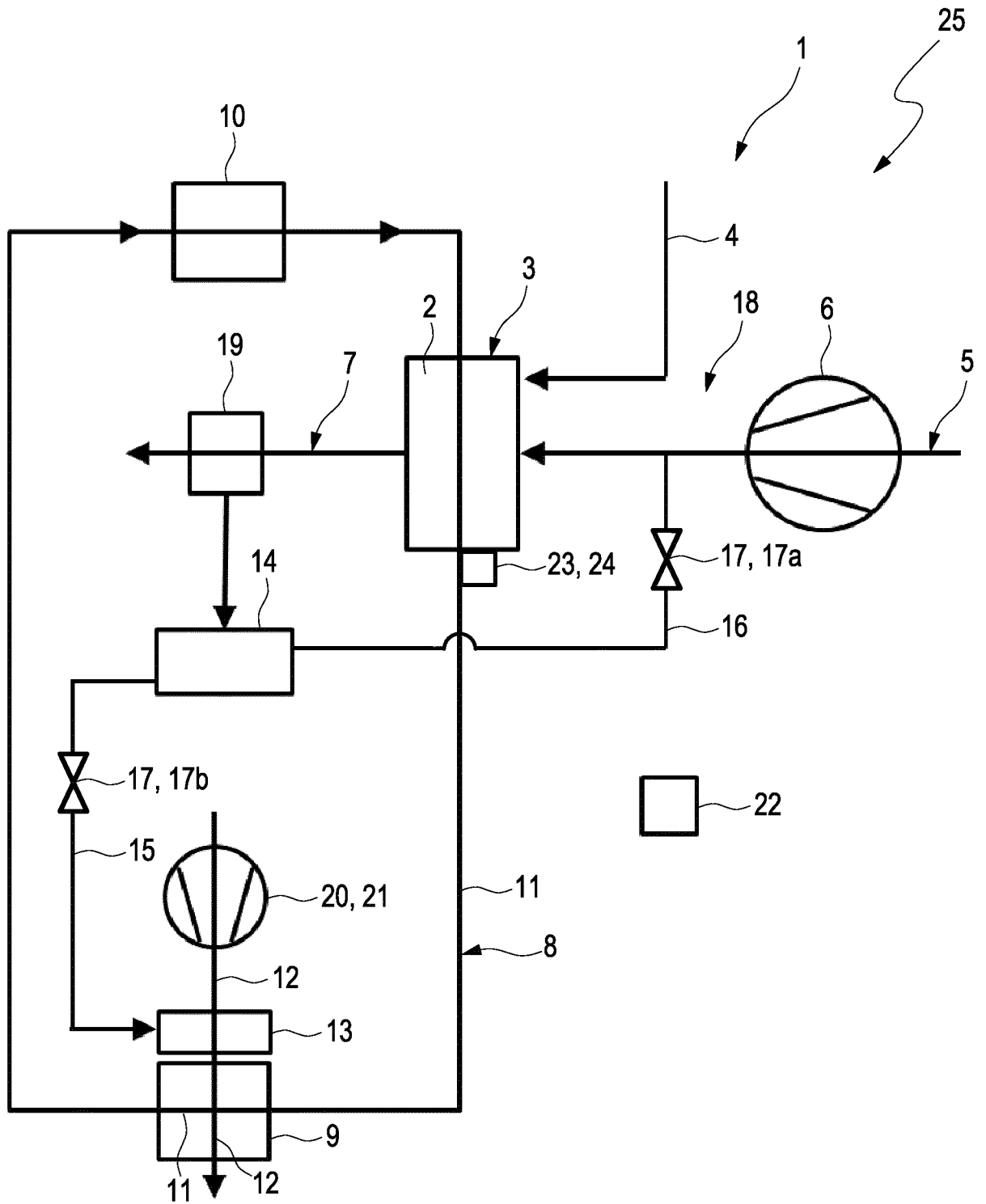


Fig. 1

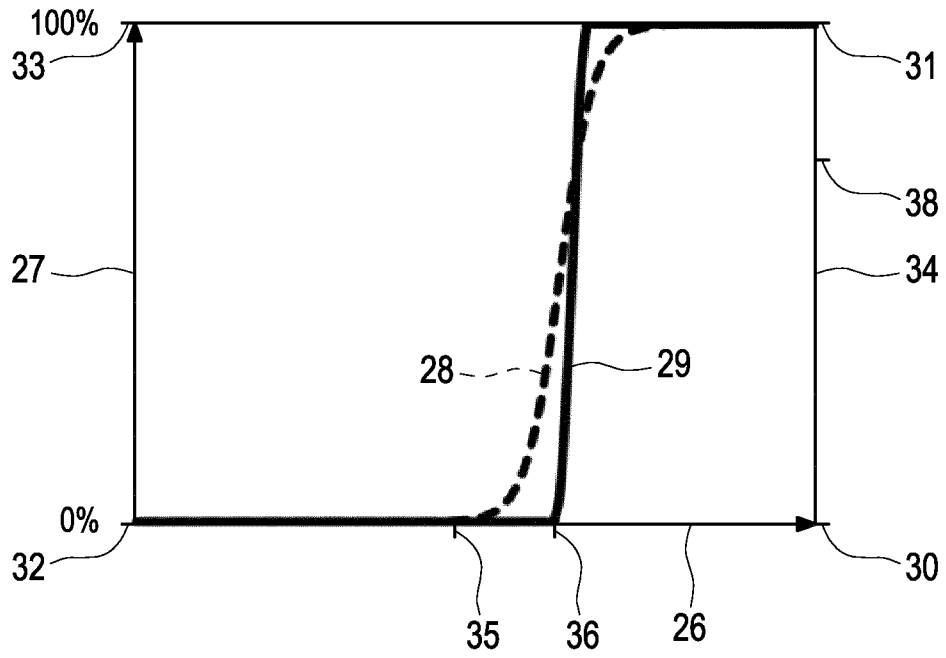


Fig. 2

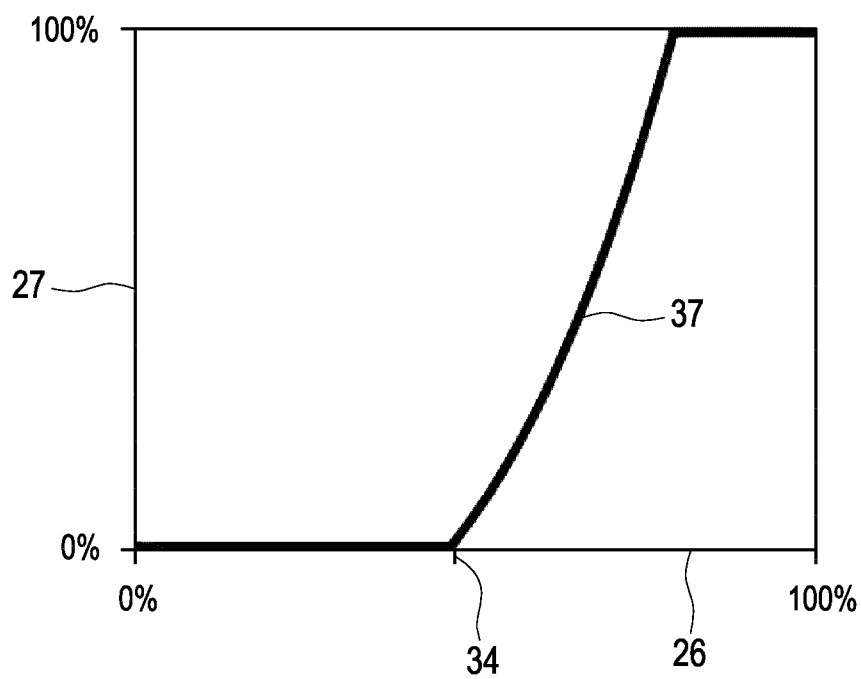


Fig. 3

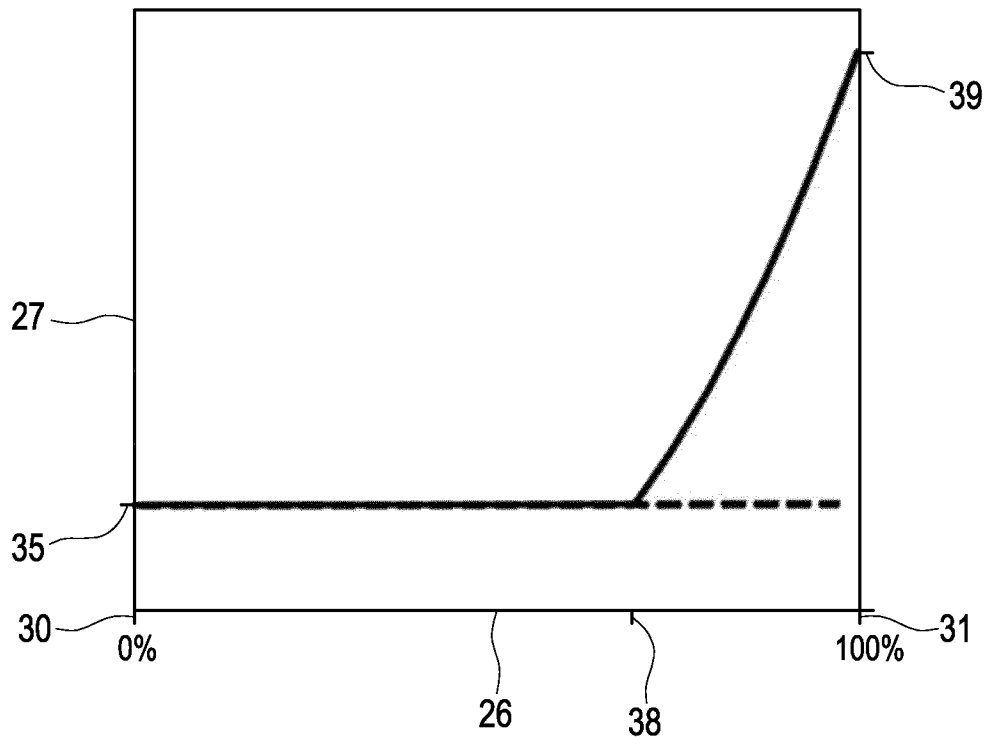


Fig. 4

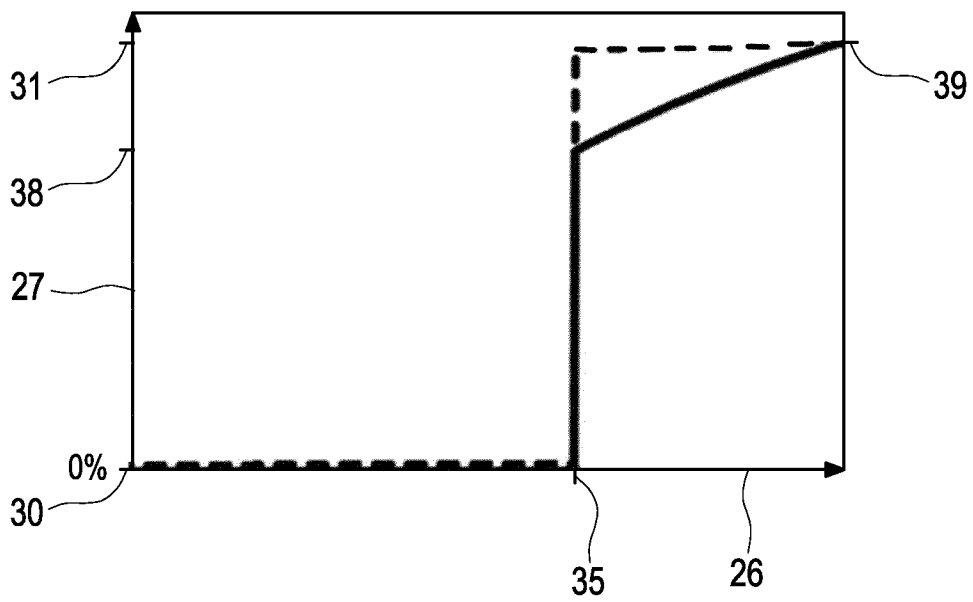


Fig. 5

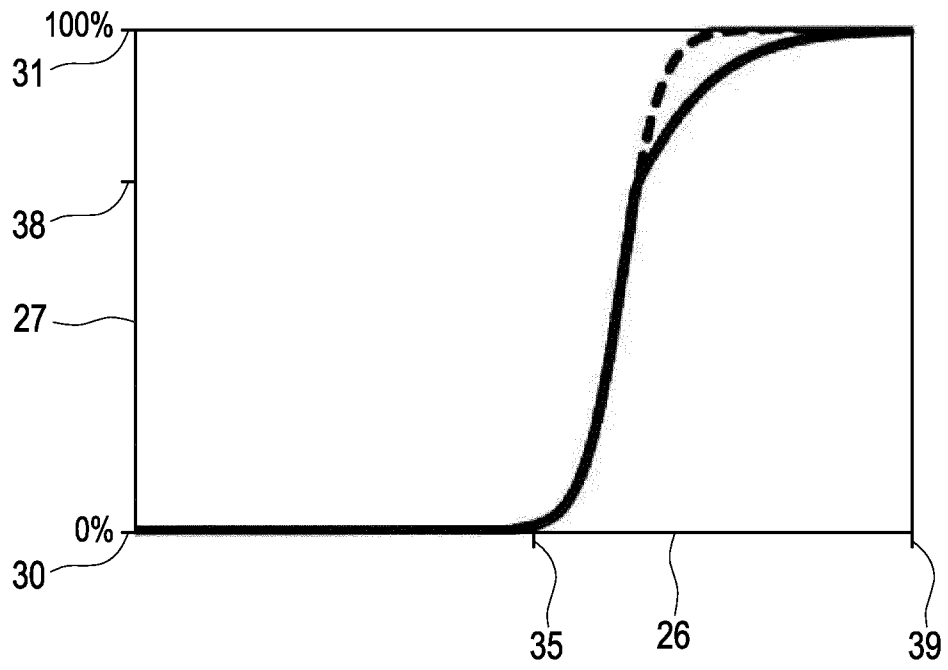


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/064953

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01M 8/04014</i> (2016.01)i; <i>F01P 7/00</i> (2006.01)i; <i>F01P 9/02</i> (2006.01)i; <i>F28D 5/00</i> (2006.01)i; <i>H01M 8/04029</i> (2016.01)i; <i>H01M 8/04007</i> (2016.01)i; <i>H01M 8/0432</i> (2016.01)i; <i>H01M 8/0438</i> (2016.01)i; <i>H01M 8/04701</i> (2016.01)i; <i>H01M 8/04746</i> (2016.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01M; F01P; F28F; F28D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2001313054 A (DENSO CORP) 09 November 2001 (2001-11-09) paragraph [0056]; figures 5-6	1,14,15
A	KR 20160026212 A (HANON SYSTEMS [KR]) 09 March 2016 (2016-03-09) the whole document	1-15
A	DE 102019112444 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 09 January 2020 (2020-01-09) the whole document	1-15
A	US 4215753 A (CHAMPNESS ELWOOD [US]) 05 August 1980 (1980-08-05) the whole document	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 04 November 2022		Date of mailing of the international search report 11 November 2022
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Brune, Markus Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/064953

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2001313054	A	09 November 2001	JP	4839514	B2	21 December 2011
				JP	2001313054	A	09 November 2001
KR	20160026212	A	09 March 2016	NONE			
DE	102019112444	A1	09 January 2020	DE	102019112444	A1	09 January 2020
				JP	7135512	B2	13 September 2022
				JP	2020009569	A	16 January 2020
				US	2020009960	A1	09 January 2020
US	4215753	A	05 August 1980	NONE			

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/064953

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	H01M8/04014 F01P7/00	F01P9/02 F28D5/00 H01M8/04029
	H01M8/04007 H01M8/0432	H01M8/0438 H01M8/04701 H01M8/04746
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
H01M F01P F28F F28D		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP 2001 313054 A (DENSO CORP) 9. November 2001 (2001-11-09) Absatz [0056]; Abbildungen 5-6 -----	1, 14, 15
A	KR 2016 0026212 A (HANON SYSTEMS [KR]) 9. März 2016 (2016-03-09) das ganze Dokument -----	1-15
A	DE 10 2019 112444 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 9. Januar 2020 (2020-01-09) das ganze Dokument -----	1-15
A	US 4 215 753 A (CHAMPNESS ELWOOD [US]) 5. August 1980 (1980-08-05) das ganze Dokument -----	1-15
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absdtedatum des internationalen Recherchenberichts
4. November 2022		11/11/2022
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Brune, Markus

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/064953

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2001313054 A	09-11-2001	JP 4839514 B2	21-12-2011
		JP 2001313054 A	09-11-2001

KR 20160026212 A	09-03-2016	KEINE	

DE 102019112444 A1	09-01-2020	DE 102019112444 A1	09-01-2020
		JP 7135512 B2	13-09-2022
		JP 2020009569 A	16-01-2020
		US 2020009960 A1	09-01-2020

US 4215753 A	05-08-1980	KEINE	
