

(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  
28. Dezember 2023 (28.12.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2023/247113 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/063087

(22) Internationales Anmeldedatum:  
16. Mai 2023 (16.05.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2022 206 191.8  
21. Juni 2022 (21.06.2022) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Post-  
fach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

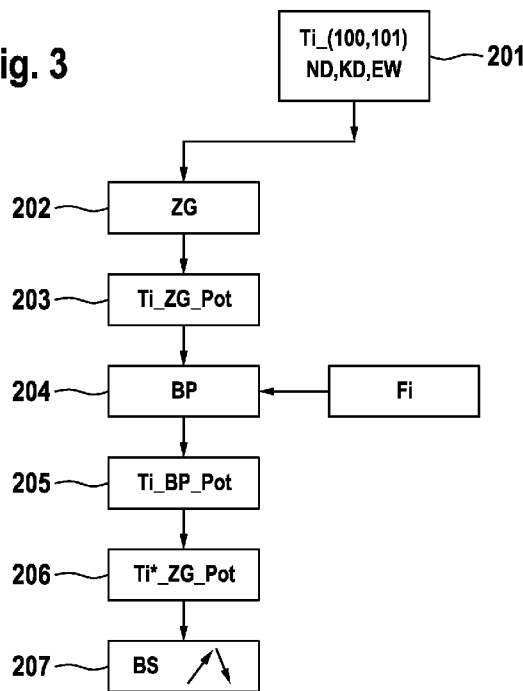
(72) Erfinder: **BRAUN, Jochen**; Birkenstr. 10, 71296 Heims-  
heim (DE). **HAHN, Sergei**; Rolf-Blessing-Weg 10, 73240  
Wendlingen Am Neckar (DE).

(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, CV, 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, MG, MK, MN, MU, 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 A PREDICTIVE OPERATION OF A FUEL CELL SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM PRÄDIKTIVEN BETREIBEN EINES BRENNSTOFFZELLENSYSTEMS

Fig. 3



(57) Abstract: The invention relates to a method for a predictive operation of a fuel cell system (100) comprising at least one fuel cell stack (101), having the steps of: - determining an expected trajectory (Ti) for operating the fuel cell system (100), - selecting at least one target variable (ZG) for operating the fuel cell system (100), - determining a function (Ti\_ZG\_Pot) for the at least one target variable (ZG), said function depicting potentially possible values of the at least one target variable (ZG) on the basis of the expected trajectory (Ti), - selecting at least one operating parameter (BP) for operating the fuel cell system (100), - determining a function (Ti\_BP\_Pot) for the at least one operating parameter (BP), said function depicting potentially possible values of the at least one operating parameter (BP) on the basis of the expected trajectory (Ti), - adapting the function (Ti\_ZG\_Pot) for the at least one target variable (ZG) on the basis of the function (Ti\_BP\_Pot) for the at least one operating parameter (BP), and - providing an adaptive and predictive operating strategy (BS) for operating the fuel cell system (100) on the basis of the adapted function (Ti\*\_ZG\_Pot) for the at least one target variable (ZG).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum prädiktiven Betreiben eines Brennstoffzellensystems (100) mit mindestens einem Brennstoffzellenstapel (101), aufweisend: - Bestimmen einer voraussichtlichen Trajektorie (Ti) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems (100), - Auswählen mindestens einer Zielgröße (ZG) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems (100), - Bestimmen einer Funktion (Ti\_ZG\_Pot) für die mindestens eine Zielgröße (ZG), die potentiell mögliche Werte der mindestens einen Zielgröße (ZG)



WO 2023/247113 A2

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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:**

— ohne internationalen Rechenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

---

in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie (Ti) abbildet, - Auswählen mindestens eines Betriebsparameters (BP) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems (100), - Bestimmen einer Funktion (Ti\_BP\_Pot) für den mindestens einen Betriebsparameter (BP), die potentiell mögliche Werte des mindestens einen Betriebsparameters (BP) in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie (Ti) abbildet, - Anpassen der Funktion (Ti\_ZG\_Pot) für die mindestens eine Zielgröße (ZG) in Abhängigkeit von der Funktion (Ti\_BP\_Pot) für den mindestens einen Betriebsparameter (BP), - Bereitstellen einer adaptiven und vorausschauenden Betriebsstrategie (BS) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems (100) in Abhängigkeit von der angepassten Funktion (Ti\*\_ZG\_Pot) für die mindestens eine Zielgröße (ZG).

5 Beschreibung

Titel

Verfahren zum prädiktiven Betreiben eines Brennstoffzellensystems

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum prädiktiven Betreiben eines Brennstoffzellensystems. Ferner betrifft die Erfindung ein Computerprogrammprodukt, eine Steuereinheit und ein Brennstoffzellensystem sowie vorgeschlagene Verwendungen des Brennstoffzellensystems.

15 Stand der Technik

Bei Fahrzeugen (FCV=Fuel Cell Vehicle) mit Antriebssystemen mit Brennstoffzellensystem (FCS=Fuel Cell System) ist eine Betriebsstrategie essentiell, die multi-kriterielle Ziele berücksichtigt.

20

Wichtige Betriebsziele sind beispielsweise:

- flexible sowie dynamische Bereitstellung von elektrischer Leistung (bzw. Performance bzw. Dynamik), um angeforderte Performance-Trajektorien, wie z. B. bei Fahrzeugen, und/oder Leistungsprofile, wie z.B. bei  
25 Generatoren, möglichst gut zu erreichen,
- eine Minimierung eines Verbrauchs von Treibstoff, wie z. B. Wasserstoff,
- eine Sicherstellung von Funktionalitäten über einen großen (weltweiten) Betriebsbereich, z.B. Gefrierstart, Heißland-Fahrt, Bergfahrt, Fahrt mit Anhänger, etc.,
- 30 - eine Sicherstellung von Funktionalitäten im Neuzustand wie im gealterten Zustand,
- eine Minimierung einer Alterung/Degradation des Systems,
- eine Minimierung einer Alterung/Degradation einer verbundenen Batterie, wie z. B. einer Hochvolt-Batterie, bspw. in Form einer Traktionsbatterie  
35 eines Fahrzeuges,

- 2 -

- eine Minimierung eine Alterung/Degradation weiterer Komponenten, wie z.B. Luftverdichter

In aktuellen Betriebsstrategien sind die Betriebszielen zumeist statisch festgelegt.

5

Offenbarung der Erfindung

Die Erfindung sieht gemäß dem ersten Aspekt ein Verfahren zum prädiktiven Betreiben eines Brennstoffzellensystems mit den Merkmalen des unabhängigen Verfahrensanspruches vor. Ferner sieht die Erfindung gemäß dem zweiten Aspekt ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des unabhängigen Produktanspruches, gemäß dem dritten Aspekt eine Steuereinheit mit den Merkmalen des unabhängigen Vorrichtungsanspruches und gemäß dem vierten Aspekt ein Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des unabhängigen Systemanspruches vor sowie gemäß dem fünften und sechsten Aspekt vorteilhafte Verwendungen des Brennstoffzellensystems mit den Merkmalen der unabhängigen Verwendungsansprüche. Weitere Merkmale, Vorteile und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit einzelnen erfindungsgemäßen Aspekten beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit den anderen erfindungsgemäßen Aspekten und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. werden kann.

25

Die vorliegende Erfindung sieht vor: ein Verfahren zum prädiktiven Betreiben eines Brennstoffzellensystems mit mindestens einem Brennstoffzellenstapel (bzw. Brennstoffzellenstack oder kurz genannt Stack), aufweisend folgende Aktionen/Verfahrensschritte:

30

- Bestimmen einer voraussichtlichen (Leistungs-)Trajektorie (bspw. einer Navigations-Route, wie z. B. bei Fahrzeugen, und/oder einem Leistungsprofil, wie z.B. bei Generatoren) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems, bspw. mithilfe von Navigationsdaten, Kalenderdaten und/oder Erfahrungswerten,

35

- 3 -

- Auswählen mindestens einer Zielgröße (bspw. elektrischer Leistung) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems,
- Bestimmen (insbesondere Prädizieren) einer Funktion für die mindestens eine Zielgröße, die potentiell mögliche Werte der mindestens einen Zielgröße in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie abbildet,
- Auswählen mindestens eines Betriebsparameters (bspw. einer Drehzahl und/oder Leistung eines Verdichters bei einem Luftverdichtungssystem, eine mögliche Temperaturdifferenz zur Umgebung, die mithilfe eines Kühlsystems bereitgestellt werden kann, usw.) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems,
- Bestimmen (insbesondere Prädizieren) einer Funktion für den mindestens einen Betriebsparameter, die potentiell mögliche Werte des mindestens einen Betriebsparameters in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie abbildet,
- Anpassen der Funktion für die mindestens eine Zielgröße in Abhängigkeit von der Funktion für den mindestens einen Betriebsparameter (bspw. Reduzieren der elektrischen Leistung bei niedrigen Umgebungsluftdruck und/oder hohen Umgebungstemperaturen),
- Bereitstellen einer adaptiven (d.h. flexiblen und/oder anpassungsfähigen) und vorausschauenden (d. h. im Voraus bzw. vorbereitend auf auftretende Limitierungen reagierende) Betriebsstrategie zum Betreiben des Brennstoffzellensystems in Abhängigkeit von der angepassten Funktion für die mindestens eine Zielgröße (bspw. Reduzierung von Geschwindigkeit, Ausschalten von Nebenverbrauchern, Aufladen einer Batterie, Vorkühlen des Stacks, usw.).

Das Brennstoffzellensystem im Rahmen der Erfindung kann mindestens zwei oder mehrere Brennstoffzellenstapel, sog. Brennstoffzellenstacks oder kurz ausgedrückt Stacks, mit jeweils mehreren gestapelten Wiederholeinheiten in Form von Brennstoffzellen, bspw., PEM-Brennstoffzellen, aufweisen.

Das Brennstoffzellensystem im Rahmen der Erfindung kann vorteilhafterweise für mobile Anwendungen, wie bspw. in Kraftfahrzeugen, oder für stationäre Anwendungen, wie bspw. in Generatoranlagen, verwendet werden.

35

5

Das Brennstoffzellensystem im Rahmen der Erfindung kann vorteilhafterweise eine Steuereinheit aufweisen, die zum prädiktiven, insbesondere adaptiven (d.h. flexiblen und/oder anpassungsfähigen) und vorausschauenden (d. h. im Voraus bzw. vorbereitend auf auftretende Limitierungen reagierende) Betreiben eines Brennstoffzellensystems ausgeführt ist.

10

Die Erfindung erkennt, dass mit fortschreitender Entwicklung bei der Automatisierung und Vernetzung von Verbrauchern, wie z. B. Fahrzeugen und/oder Industrieanlagen, wie z. B. Generatoren, die (Leistungs-)Trajektorien (bspw. Navigations-Routen, wie z. B. bei Fahrzeugen, und/oder Leistungsprofile, wie z.B. bei Generatoren) im Voraus geplant werden können. Außerdem können vermehrt Konnektivitätsfunktionen zum Austausch von Daten und/oder zum Auslagern von Rechenleistung genutzt werden, um verbesserte Betriebsstrategien zu erhalten.

15

20

Die Erfindung schlägt vor, eine prädiktive Betriebsstrategie zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems bereitzustellen, die adaptiv (d.h. flexibel und/oder anpassungsfähig) und vorausschauend (d. h. im Voraus bzw. vorbereitend auf auftretende Limitierungen reagierend) geplant werden kann, sodass die voraussichtliche (Leistungs-)Trajektorie möglichst optimal sichergestellt werden kann.

25

30

35

Der Kern der Idee liegt darin, eine zeitliche, ortsabhängige und zustandsabhängige Prädiktion von Limitierungen für die Betriebsparameter (bspw. einer Drehzahl eines Verdichters bei einem Luftverdichtungssystem, eine Temperaturdifferenz zur Umgebung mithilfe eines Kühlsystems, usw.) des Systems durchzuführen und die damit nachfolgende Eingrenzung der Zielgröße, wie z. B. der elektrischen Leistung, vorauszusagen. Die Voraussage der nachfolgenden Eingrenzung der Zielgröße wird schließlich dazu genutzt, um eine vorausschauende Anpassung der Betriebsstrategie durchzuführen (bspw. Reduzieren der elektrischen Leistung bei niedrigen Umgebungsdruck und/oder hohen Umgebungstemperaturen), die insbesondere auf die Limitierungen für die Betriebsparameter reagiert, diese im Voraus herabsetzt bis sogar vermeidet.

Die Limitierungen werden durch Analyse der Funktion für den mindestens einen Betriebsparameter in Abhängigkeit von einer Zeit, (Leistungs-)Trajektorie und/oder Zustand des Brennstoffzellensystems erkannt, die potentiell mögliche Werte des mindestens einen Betriebsparameters in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie abbildet.

Die Anpassung der Funktion für die mindestens eine Zielgröße in Abhängigkeit von der Funktion für den mindestens einen Betriebsparameter kann durch eine Funktion für die mindestens eine Zielgröße abgebildet werden, die effektiv mögliche Werte der mindestens einen Zielgröße in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie abbildet.

Die zu präzisierenden Limitierungen bei den Betriebsparametern können auf folgenden veränderlichen Faktoren beruhen, wie z. B. Umgebungsbedingungen, Streckenbedingungen, Verkehrsbedingungen, Beladung des Fahrzeugs, Konnektivität.

Limitierungen können folgende Aspekte umfassen:

- Limitierungen einer Wärmeabfuhr an die Umgebung,
- Limitierung eines Drucks und Massenstroms, welche durch ein Kathodensystem zur Versorgung des Stack-Kathodenpfades bereitgestellt werden können,
- Limitierungen durch Wassermanagement (nicht zu trocken/nicht zu feucht), Aktivität am Kathodenaustritt, Befeuchtungsmöglichkeiten für Stack-Membrane (Kathode, Anode, intern sowie extern),
- Limitierungen aus Brennstoff-Tanksystem und/oder aus einem Anodensystem,
- Limitierungen durch die Verbraucher, schwerbeladenes Fahrzeug, stark entladene Batterie o. Ä,
- sowie weitere Limitierungen, die komponentenspezifisch und topologiespezifisch auftreten können, usw.

Da die Limitierungen untereinander rückkoppeln, kann auf eine vorteilhafte Weise eine iterative Anpassung der Betriebsstrategie vorgesehen sein.

Die Anpassung der Betriebsstrategie kann zumindest zum Teil lokal durch eine Steuereinheit des Systems und/oder zumindest zum Teil extern durch einen Cloud-Server durchgeführt werden. Hierzu können auch zusätzlich Limitierungen hinsichtlich der Konnektivität berücksichtigt werden.

5

Zur Beschleunigung der Anpassung der Betriebsstrategie und zur Sicherstellung der Echtzeitfähigkeit des Verfahrens kann es zusätzlich vorteilhaft sein, Voroptimierungen zu nutzen.

10

Zudem kann die Anpassung der Betriebsstrategie außer der oben genannten Zielgröße „elektrische Leistung“ auch auf andere bzw. weitere Zielgrößen, wie z.B. Verbrauch oder auch „Heizleistung“ im Winterbetrieb berücksichtigen.

15

Auch eine multikriterielle (auf mehrere Zielgrößen gerichtete) Anpassung der Betriebsstrategie kann vorteilhaft sein.

20

Unterschiedliche Zielgrößen können auch adaptiv, insbesondere abhängig von den Prädiktionen, angepasst werden, bspw. über Änderung der Gütefunktion bzw. deren Gewichtungparameter.

25

Die Limitierungen können sich auch über Lebenszeit ändern, sodass durch adaptives Abschätzen der Limitierungen automatisch eine Nachführung bei der Betriebsführung bereitgestellt werden kann.

30

Der Prädiktionshorizont kann unterschiedlich bzw. flexibel gewählt werden bzw. auch abhängig von der jeweiligen zu prädizierenden Limitierung (je nach möglicher Dynamik des Betriebsparameters).

Vorteilhafterweise kann die mindestens eine Zielgröße mindestens eine von den folgenden Größen umfassen:

- eine elektrische Leistung,
- einen Verbrauch eines Brennstoffes,
- einen Kühlbedarf,
- einen Heizbedarf, usw.

35

Die oben genannten Größen können weiterhin in einer Kombination berücksichtigt werden, um eine verbesserte Betriebsstrategie bereitzustellen.

5 Vorzugsweise können die oben genannten Größen adaptiv, insbesondere abhängig von den Prädiktionen, berücksichtigt werden.

10 Bevorzugt können die oben genannten Größen mit einer Gewichtung (je nach deren Wichtigkeit und/oder Kritikalität für das System) berücksichtigt werden, die ebenfalls adaptiv angepasst werden kann.

15 Weiterhin kann es von Vorteil sein, dass die mindestens eine Zielgröße in Abhängigkeit von mindestens einem Betriebsziel beim Betreiben des Brennstoffzellensystems bestimmt wird. Auf diese Weise kann die mindestens die angepasste Zielgröße auf eine verbesserte Weise zur Anpassung der Betriebsstrategie genutzt werden,

Vorteilhafterweise kann mindestens ein Betriebsziel beim Betreiben des Brennstoffzellensystems mindestens ein von den folgenden Zielen umfassen:

- 20 - ein dynamisches Bereitstellen einer elektrischen Leistung,
- eine Reduzierung eines Verbrauchs eines Brennstoffes,
- eine Sicherstellung von Funktionalitäten für unterschiedliche Betriebsbereiche und/oder Umgebungsbedingungen des Brennstoffzellensystems (100),
- 25 - eine Sicherstellung von Funktionalitäten für unterschiedliche Alterungszustände mindestens einer Komponente des Brennstoffzellensystems (100), insbesondere des mindestens einen Brennstoffzellenstacks (101),
- eine Reduzierung einer Alterung mindestens einer Komponente des Brennstoffzellensystems (100), insbesondere des mindestens einen Brennstoffzellenstacks (101),
- 30 - eine Reduzierung einer Alterung mindestens einer Komponente eines Verbrauchers des Brennstoffzellensystems (100), insbesondere einer Batterie, bspw. einer Hochvolt-Batterie, vorzugsweise einer Traktionsbatterie eines Fahrzeuges.

35

Des Weiteren kann es von Vorteil sein, dass der mindestens eine Betriebsparameter mindestens einen Betriebsparameter von mindestens einem von den folgenden Subsystemen des Brennstoffzellensystems umfasst:

- 5 - dem mindestens einen Brennstoffzellenstapel,
- einem Kathodensystem, insbesondere ein Luftverdichtungssystem, ein Befeuchtungssystem, usw.,
- einem Anodensystem,
- einem Kühlsystem, insbesondere eine Kühlmittelpumpe, ein Kühlerlüfter, usw.,
- 10 - einem elektrischen Anschlusssystem an einen Verbraucher,
- einem Wassermanagementsystem,
- einem Konnektivitätssystem, insbesondere eine Schnittstelle zu einem Netz und/oder zu einer externen Vorrichtung, usw.

15 Insbesondere können die oben genannten Betriebsparameter in einer Kombination berücksichtigt werden, um die Limitierungen des Systems auf eine verbesserte Weise abbilden zu können.

Zudem können die oben genannten Betriebsparameter adaptiv, insbesondere  
20 abhängig von den Prädiktionen, berücksichtigt werden, um auf veränderliche Limitierungen auf eine verbesserte Weise bestimmen zu können.

Außerdem können die oben genannten Betriebsparameter mit einer Gewichtung (je nach deren Wichtigkeit und/oder Kritikalität für das System) berücksichtigt  
25 werden, die ebenfalls adaptiv angepasst werden kann.

Ferner kann es vorteilhaft sein, dass beim Bestimmen der Funktion für den mindestens einen Betriebsparameter mindestens einer von den folgenden Parametern berücksichtigt wird:

- 30 - mindestens ein Umweltparameter, insbesondere Temperatur, Druck, Feuchte, Windgeschwindigkeit, usw.,
- mindestens ein Umgebungsparameter, insbesondere Straßenbeschaffenheit, usw.,

- mindestens ein Parameter eines Verbrauchers des Brennstoffzellensystems, insbesondere Masse und/oder Beladung eines Fahrzeugs,
- mindestens ein Infrastrukturparameter, insbesondere Parameter von mobilen und/oder stationären Netzstationen, Ampeln, Mautstellen, Tunneln, Baustellenbereichen, gesondert ausgewiesener Bereiche, wie z. B. beruhigter Verkehrszonen, Schulbereiche, usw.
- mindestens ein Verkehrsparameter, insbesondere Verkehrslage, Verkehrsregeln, Verkehrszeichen, usw.,
- Beschaffenheit eines drahtlosen Konnektivitätsnetzes, insbesondere über Hauptnetzanbieter, mobile und/oder stationäre Netzstationen, verbundene Verkehrsteilnehmer, bspw. andere Fahrzeuge, usw.
- ein Ort,
- eine Zeit,
- ein Zustand von Brennstoffzellensystem (100), insbesondere im Hinblick auf Alterung, Wassermanagement, Thermomanagement, usw.,
- ein Zustand von einer Komponente eines Verbrauchers, insbesondere eine elektrischer Ladezustand einer Batterie, usw.
- mindestens ein Verbraucherparameter, insbesondere ein Ladezustand (SOC) einer bspw. einer Hochvolt-Batterie, vorzugsweise einer Traktionsbatterie eines Fahrzeuges, usw.

Auf diese Weise können Auswirkungen auf das System (in Form von Limitierungen von betroffenen Betriebsparametern) entlang der voraussichtlichen Trajektorie (Ti) auf eine verbesserte Weise vorausgesagt werden.

Ferner stellt die Erfindung bereit: ein Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Computerprogrammprodukts durch einen Computer diesen veranlassen, ein Verfahren durchzuführen, welches wie oben beschrieben ablaufen kann. Mithilfe des erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukts können die gleichen Vorteile erreicht werden, die oben in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben wurden. Auf diese Vorteile wird vorliegend vollumfänglich Bezug genommen.

5 Weiterhin stellt die Erfindung bereit: eine Steuereinheit, aufweisend eine Recheneinheit und eine Speichereinheit, in welcher ein Code hinterlegt ist, welcher bei zumindest teilweiser Ausführung durch die Recheneinheit ein Verfahren durchführt, welches wie oben beschrieben ablaufen kann. Mithilfe der erfindungsgemäßen Steuereinheit können die gleichen Vorteile erreicht werden, die oben in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben wurden. Auf diese Vorteile wird vorliegend vollumfänglich Bezug genommen.

10 Die Steuereinheit kann auf einem externen Server, bspw. in einer Cloud, bereitgestellt werden, sodass das erfindungsgemäße Verfahren auf dem externen Server durchgeführt werden kann, die prädiktive Berechnungen extern ausgeführt werden können und anschließend entsprechende Vorgaben an das Brennstoffzellensystem/an das Fahrzeug gesendet werden können.

15 Des Weiteren stellt die Erfindung bereit: ein Brennstoffzellensystem, wobei bei dem Brennstoffzellensystem eine Steuereinheit vorgesehen ist, die dazu ausgeführt ist, um ein Verfahren durchzuführen, welches wie oben beschrieben ablaufen kann.

20 Mithilfe des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems können die gleichen Vorteile erreicht werden, die oben in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben wurden. Auf diese Vorteile wird vorliegend vollumfänglich Bezug genommen.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele:

5 Die Erfindung und deren Weiterbildungen sowie deren Vorteile werden nachfolgend anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch:

10 Fig. 1 eine schematische Darstellung einer prädizierten Limitierung einer möglichen Wärmeabfuhr an die Umgebung und deren Auswirkung auf die prädizierte elektrische Leistung,

15 Fig. 2 eine schematische Darstellung einer prädizierten Limitierung einer möglichen Verdichterleistung und deren Auswirkung auf die prädizierte elektrische Leistung, und

Fig. 3 einen schematischen Ablauf eines Verfahrens zum prädiktiven Betreiben eines Brennstoffzellensystems.

20 Die Fig. 1 bis 3 dienen dazu, ein Verfahren zum prädiktiven Betreiben eines Brennstoffzellensystems 100 mit mindestens einem Brennstoffzellenstapel 101 (bzw. Brennstoffzellenstack oder kurz genannt Stack) zu erklären.

Das Verfahren weist folgende Aktionen/Verfahrensschritte auf, wie es die Figur 3 verdeutlicht:

- 25 201 Bestimmen einer voraussichtlichen (Leistungs-)Trajektorie  $T_i$  (bspw. einer Navigations-Route, wie z. B. bei Fahrzeugen, und/oder einem Leistungsprofil, wie z.B. bei Generatoren) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems 100,  
bspw. mithilfe von Navigationsdaten ND, Kalenderdaten KD und/oder  
30 Erfahrungswerten EW,
- 202 Auswählen mindestens einer Zielgröße ZG (bspw. elektrischer Leistung P) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems 100,
- 203 Bestimmen (insbesondere Prädizieren) einer Funktion  $T_i\_ZG\_Pot$  (vgl. Fig. 1 und 2) für die mindestens eine Zielgröße ZG, die potentiell mögliche

- Werte der mindestens einen Zielgröße ZG in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie  $T_i$  abbildet,
- 204 Auswählen mindestens eines Betriebsparameters BP (bspw. einer Drehzahl und/oder Leistung eines Verdichters bei einem Luftverdichtungssystem, eine Temperaturdifferenz zu Umgebung mithilfe eines Kühlsystems, usw.) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems 100,
- 5
- 205 Bestimmen (insbesondere Prädizieren) einer Funktion  $T_i\_BP\_Pot$  für den mindestens einen Betriebsparameter BP, die potentiell mögliche Werte des mindestens einen Betriebsparameters BP in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie  $T_i$  abbildet,
- 10
- 206 Anpassen (vgl. Fig. 1 und 2) der Funktion  $T_i\_ZG\_Pot$  für die mindestens eine Zielgröße ZG in Abhängigkeit von der Funktion  $T_i\_BP\_Pot$  für den mindestens einen Betriebsparameter BP (bspw. Reduzieren der elektrischen Leistung  $P$  bei niedrigen Umgebungsluftdruck und/oder hohen Umgebungstemperaturen),
- 15
- 207 Bereitstellen einer adaptiven (d.h. flexiblen und/oder anpassungsfähigen) und vorausschauenden (d. h. im Voraus bzw. vorbereitend auf auftretende Limitierungen reagierende) Betriebsstrategie BS zum Betreiben des Brennstoffzellensystems 100 in Abhängigkeit von der angepassten Funktion  $T_i^*\_ZG\_Pot$  für die mindestens eine Zielgröße ZG (bspw. vorausschauende Reduzierung von Geschwindigkeit, Ausschalten von Nebenverbrauchern, Aufladen einer Batterie, Vorkühlen des Stacks, usw.).
- 20

Das Brennstoffzellensystem 100 im Rahmen der Erfindung kann vorteilhafterweise für mobile Anwendungen, wie bspw. in Kraftfahrzeugen, oder für stationäre Anwendungen, wie bspw. in Generatoranlagen, verwendet werden.

25

Das Brennstoffzellensystem 100 im Rahmen der Erfindung kann vorteilhafterweise eine Steuereinheit aufweisen, die zum prädiktiven, insbesondere adaptiven (d.h. flexiblen und/oder anpassungsfähigen) und vorausschauenden (d. h. im Voraus bzw. vorbereitend auf auftretende Limitierungen reagierende) Betreiben eines Brennstoffzellensystems ausgeführt ist.

30

Die Erfindung erkennt, dass mit fortschreitender Entwicklung bei der Automatisierung und Vernetzung von Verbrauchern, wie z. B. Fahrzeugen und/oder Industrieanlagen, wie z. B. Generatoren, die (Leistungs-)Trajektorien (Ti) (bspw. Navigations-Routen, wie z. B. bei Fahrzeugen, und/oder Leistungsprofile, wie z.B. bei Generatoren) im Voraus geplant werden können. Außerdem können vermehrt Konnektivitätsfunktionen zum Austausch von Daten und/oder zum Auslagern von Rechenleistung genutzt werden, um verbesserte Betriebsstrategien zu erhalten.

Die Erfindung schlägt vor, eine prädiktive Betriebsstrategie BS zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems bereitzustellen, die adaptiv (d.h. flexibel und/oder anpassungsfähig) und vorausschauend (d. h. im Voraus bzw. vorbereitend auf auftretende Limitierungen reagierend) geplant werden kann, sodass die voraussichtliche (Leistungs-)Trajektorie Ti möglichst optimal sichergestellt werden kann.

Vorteilhafterweise kann die mindestens eine Zielgröße ZG mindestens eine von den folgenden Größen umfasst:

- eine elektrische Leistung P,
- einen Verbrauch eines Brennstoffes,
- einen Kühlbedarf,
- eine Heizbedarf, usw.

Die oben genannten Größen können in einer Kombination berücksichtigt werden. Auch können die oben genannten Größen adaptiv berücksichtigt werden. Weiterhin können die oben genannten Größen mit einer Gewichtung berücksichtigt werden.

Die mindestens einer Zielgröße ZG in Abhängigkeit von mindestens einem Betriebsziel beim Betreiben des Brennstoffzellensystems 100 bestimmt werden, umfassend:

- ein dynamisches Bereitstellen einer elektrischen Leistung,
- eine Reduzierung eines Verbrauchs eines Brennstoffes,
- eine Sicherstellung von Funktionalitäten für unterschiedliche Betriebsbereiche und/oder Umgebungsbedingungen,

- eine Sicherstellung von Funktionalitäten für unterschiedliche Alterungszustände,
- eine Reduzierung einer Alterung mindestens einer Komponente des Brennstoffzellensystems 100, insbesondere des mindestens einen Brennstoffzellenstacks 101,
- eine Reduzierung einer Alterung mindestens einer Komponente eines Verbrauchers des Brennstoffzellensystems 100, insbesondere einer Batterie, bspw. einer Hochvolt-Batterie, vorzugsweise einer Traktionsbatterie eines Fahrzeuges.

10

Der Kern der Idee liegt darin, eine zeitliche, ortsabhängige und zustandsabhängige Prädiktion von Limitierungen für die Betriebsparameter BP, bspw. einer Drehzahl eines Verdichters bei einem Luftverdichtungssystem (vgl. Fig. 2), eine Temperaturdifferenz zu Umgebung mithilfe eines Kühlsystems (vgl. Fig. 1), des Systems 100 durchzuführen und die damit nachfolgende Eingrenzung der Zielgröße ZG, wie z. B. der elektrischen Leistung P, vorauszusagen.

15

20

Die Voraussage der nachfolgenden Eingrenzung der Zielgröße ZG wird schließlich dazu genutzt, um eine vorausschauende Anpassung der Betriebsstrategie BS durchzuführen (bspw. Reduzieren der elektrischen Leistung P bei niedrigen Umgebungsluftdruck und/oder hohen Umgebungstemperaturen), die insbesondere auf die Limitierungen für die Betriebsparameter BP reagiert, diese im Voraus herabsetzt bis sogar vermeidet.

25

Der mindestens eine Betriebsparameter BP mindestens einen Betriebsparameter BP von mindestens einem von den folgenden Subsystemen des Brennstoffzellensystems 100 umfasst:

30

- dem mindestens einen Brennstoffzellenstapel 101,
- einem Kathodensystem, insbesondere ein Luftverdichtungssystem, ein Befeuchtungssystem, usw.,
- einem Anodensystem,
- einem Kühlsystem, insbesondere eine Kühlmittelpumpe, ein Kühlerlüfter, usw.,
- einem elektrischen Anschlusssystem an einen Verbraucher,

35

- einem Wassermanagementsystem,
- einem Konnektivitätssystem, insbesondere eine Schnittstelle zu einem Netz und/oder zu einer externen Vorrichtung, usw.

5 Die oben genannten Betriebsparameter BP können in einer Kombination berücksichtigt werden. Zudem können die oben genannten Betriebsparameter BP adaptiv berücksichtigt werden. Außerdem können die oben genannten Betriebsparameter BP mit einer Gewichtung berücksichtigt werden.

10 Die Limitierungen werden durch Analyse der Funktion  $Ti\_BP\_Pot$  für den mindestens einen Betriebsparameter BP in Abhängigkeit von einer Zeit  $t$ , Leistungs-Trajektorie  $Ti$  und/oder Zustandes des Brennstoffzellensystems 100 erkannt, die potentiell mögliche Werte des mindestens einen Betriebsparameters BP in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie  $Ti$  abbildet.

15 Die Anpassung der Funktion  $Ti\_ZG\_Pot$  für die mindestens eine Zielgröße ZG in Abhängigkeit von der Funktion  $Ti\_BP\_Pot$  für den mindestens einen Betriebsparameter BP kann durch eine Funktion  $Ti^*\_ZG\_Pot$  für die mindestens eine Zielgröße ZG in Abhängigkeit von einer Zeit  $t$ , Leistungs-Trajektorie  $Ti$  und/oder Zustandes des Brennstoffzellensystems 100 abgebildet werden, die effektiv mögliche Werte der mindestens einen Zielgröße ZG in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie  $Ti$  abbildet.

25 Die zu prädizierenden Limitierungen bei den Betriebsparametern BP können auf folgenden veränderlichen Faktoren  $Fi$  beruhen, wie z. B.:

- mindestens ein Umweltparameter, insbesondere Temperatur, Druck, Feuchte, Windgeschwindigkeit, usw.,
- mindestens ein Umgebungsparameter, insbesondere Straßenbeschaffenheit, usw.,
- 30 - mindestens ein Parameter eines Verbrauchers des Brennstoffzellensystems 100, insbesondere Masse und/oder Beladung eines Fahrzeugs,
- mindestens ein Infrastrukturparameter, insbesondere Parameter von mobilen und/oder stationären Netzstationen, Ampeln, Mautstellen, Tunneln,

- 16 -

Baustellenbereichen, gesondert ausgewiesener Bereiche, wie z. B. beruhigter Verkehrszonen, Schulbereiche, usw.

- mindestens ein Verkehrsparameter, insbesondere Verkehrslage, Verkehrsregeln, Verkehrszeichen, usw.,
- 5 - Beschaffenheit eines drahtlosen Konnektivitätsnetzes, insbesondere über Hauptnetzanbieter, mobile und/oder stationäre Netzstationen, verbundene Verkehrsteilnehmer, bspw. andere Fahrzeuge, usw.
- ein Ort,
- eine Zeit,
- 10 - ein Zustand von Brennstoffzellensystem 100, insbesondere im Hinblick auf Alterung, Wassermanagement, Thermomanagement, usw.,
- ein Zustand von einer Komponente eines Verbrauchers, insbesondere eine elektrischer Ladezustand einer Batterie, usw.
- mindestens ein Verbraucherparameter, insbesondere ein Ladezustand (SOC) einer bspw. einer Hochvolt-Batterie, vorzugsweise einer
- 15 - Traktionsbatterie eines Fahrzeuges, usw.

Limitierungen können folgende Aspekte umfassen:

- Limitierungen einer Wärmeabfuhr an die Umgebung (vgl. Fig. 1),
- 20 - Limitierung eines Drucks und Massenstroms, welche durch ein Kathodensystem zur Versorgung des Stack-Kathodenpfades bereitgestellt werden können (vgl. Fig. 2),
- Limitierungen durch Wassermanagement (nicht zu trocken/nicht zu feucht), Aktivität am Kathodenaustritt, Befeuchtungsmöglichkeiten für Stack-
- 25 - Membrane (Kathode, Anode, intern sowie extern),
- Limitierungen aus Brennstoff-Tanksystem und/oder aus einem Anodensystem,
- Limitierungen durch die Verbraucher, schwerbeladenes Fahrzeug, stark entladene Batterie o. Ä,
- 30 - sowie weitere Limitierungen, die komponentenspezifisch und topologiespezifisch auftreten können, usw.

Da die Limitierungen untereinander rückkoppeln, kann auf eine vorteilhafte Weise eine iterative Anpassung der Betriebsstrategie vorgesehen sein.

35

Die Anpassung der Betriebsstrategie BS kann zumindest zum Teil lokal durch eine Steuereinheit des Systems 100 und/oder zumindest zum Teil extern durch einen Cloud-Server durchgeführt werden. Hierzu können auch zusätzlich Limitierungen hinsichtlich der Konnektivität berücksichtigt werden.

5

Zur Beschleunigung der Anpassung der Betriebsstrategie und zur Sicherstellung der Echtzeitfähigkeit des Verfahrens kann es zusätzlich vorteilhaft sein, Voroptimierungen zu nutzen.

10

Im Schritt 203 können folgende Prädiktionen durchgeführt werden:

15

Die Leistung der Energielieferanten bei einem Verbraucher, wie z. B. ein Fahrzeug, ist limitiert, z.B. Leistung von elektrischen Speichern, wie z. B. einer Hochvolt-Batterie. Die Leistung der Energiewandler, wie z. B. ein elektrischer Antriebsmotor, eine Leistungselektronik, ein DC/DC-Wandler, mindestens ein Brennstoffzellensystem, etc., sind auch limitiert. Die potentiell verfügbare elektrische Leistung  $P$  ist zeitlich abhängig und hängt zusätzlich von der voraussichtlichen Trajektorie  $T_i$  ab.

20

Die Fig. 1 veranschaulicht eine Prädiktion von Limitierungen bei einer Wärmeabfuhr an die Umgebung. Bei einem Brennstoffzellensystem 100 ist die Abfuhr der Wärme eine wesentliche Limitierung, da die Stack-Temperatur nicht sehr hoch sein darf und auch aus Alterungsgründen im zulässigen Bereich gehalten werden soll. Zusätzlich müssen noch weitere Abwärmeleistungen abgeführt werden (z.B. Zwischenkühlung der Kathodenzuluft, Kühlung der E-Maschinen, etc.) Die Wärmeabfuhr über den/die Fahrzeugkühler ist jedoch stark abhängig von verschiedenen Faktoren  $F_i$ , insbesondere einer Umgebungsparameter  $U_T$ , die zeitlich und örtlich veränderlich sind.

25

30

Beispielhafte Faktoren  $F_i$  können dabei sein: Fahrzeuggeschwindigkeit, Umgebungstemperatur, -druck, -feuchte, usw. Es können prädiktiv die Trajektorien für die potentielle Wärmeabfuhr berechnet bzw. abgeschätzt werden. Aus der berechneten Soll-Leistungs-Trajektorie (s.o.) kann die notwendige Wärmeabfuhr berechnet werden, die zum jeweiligen Zeitpunkt und an jeweiliger lokaler Stelle abgeführt werden muss.

35

Die Fig.1 zeigt die Auswirkung von Limitierungen bei der Wärmeabfuhr auf die elektrische Leistung P. Durch die prädizierte Umgebungstemperatur UT wird ermittelt, dass die Abwärme an einem bestimmten Zeitpunkt bzw. an einem bestimmten Streckenabschnitt aufgrund der angestiegenen

5 Umgebungstemperatur UT nicht abgeführt werden kann. Der Betriebsparameter BP kann dabei der Temperaturunterschied zwischen der Kühlmitteltemperatur (und somit der Stack-Temperatur) und der Umgebungstemperatur UT sein. Die elektrische Leistung P muss deshalb reduziert werden. Die Anpassung der

10 Betriebsstrategie BS kann solche Maßnahmen umfassen, die die gewünschte Leitungs-Trajektorie möglichst sicherstellen. Die Anpassung der Betriebsstrategie BS kann weiterhin solche Maßnahmen umfassen, die ein Derating bzw. ein Erreichen von Betriebsgrenzen vermeiden, vermindern oder verzögern. Beispielsweise kann im Vorfeld die Batterie stärker geladen werden, um

15 ausreichend von der elektrischen Leistung P aus der Batterie zur Verfügung zu stellen. Im Vorfeld kann die Kühlmitteltemperatur etwas abgesenkt werden, um aufgrund der Wärmekapazität einen langsameren Temperaturanstieg zu erhalten bzw. die zulässige maximale Temperatur später zu erreichen.

Die Fig. 2 veranschaulicht eine Prädiktion von Limitierungen bei einer Luftverdichtung. Auch für das Luftverdichtungssystem bzw. das Luftsystem, welches den Kathodenpfad des Stacks 101 versorgt, können entsprechend Limitierungen prädiziert werden. Beispielsweise ist der Umgebungs-Luftdruck UP und der angeforderte Druck im Stack-Kathodenpfad entscheidend für die

20 Verdichterleistung VL. Kann aufgrund Bergfahrt (Luftdruck sinkt) und hohem angeforderten Stack-Kathodendruck (z.B. aufgrund Erwärmung Stack durch hohe Leistung und ggf. warmer Umgebung) der notwendige Kathodendruck nicht mehr erreicht werden.

Die Fig. 2 zeigt die Anwendung des Verfahrens für die prädizierte Limitierung des Betriebsparameters BP: Verdichterleistung VL, und die daraus folgende prädizierte elektrische Leistung P, die abgesenkt werden muss, weil das Luftverdichtungssystem an die Betriebsgrenze stoßen würde.

30

Das Luftverdichtungssystem kann außer der Verdichterleistung VL eine Reihe weiterer Limitierungen umfassen, wie z.B. Verdichterverhältnis, Limitierungen durch Temperaturgrenzen, lieferbarer Luftmassenstrom, Drehzahlen.

Beispielhafte Faktoren  $F_i$  können dabei sein: Umgebungsdruck UP,  
5 Umgebungstemperatur UT, Komponentenlimits, usw.

Weitere Prädiktion von Limitierungen kann bei einem Wassermanagement und/oder Membranfeuchte, durchgeführt werden. Beispielsweise kann hier die Aktivität am Austritt des Kathodenpfades des Stacks als Maß dienen.

10 Beispielhafte Betriebsparameter BP zur Berechnung der Aktivität können sein:

- o pCath (Druck Kathode Eintritt);
- o lambdaCath (Luftüberschuß) bzw. mfCath (massflow Kathode Eintritt);
- o TCool (Temp. Kühlmittel);
- o dTCool (Temp.differenz Kühlmittel über Stack d.h. Austritt-Eintritt);
- 15 o fiCath (Feuchtigkeit am Kathodeneintritt) auch zusammenhängend mit Umgebungsfeuchte;
- o EIS (Impedanzantwort des Systems).

Weitere Limitierungen können ein Anodensystem, umfassend bspw. ein  
20 Brennstoff-Tanksystem, ein elektrisches Anschlusssystem usw. betreffen. Die Limitierungen aus dem Brennstoff-Tanksystem (z.B. Füllmenge Kraftstoff, Temperaturniveaus/-gradienten, etc.) und die Limitierungen aus dem Anodenkreis (z.B. Rezirkulationsrate, Dynamik, Druckniveau, max. Purge in Abhängigkeit vom Luftsystem/Verdünnungsbedingungen etc.) können  
25 berücksichtigt werden.

Weitere Limitierungen können ein Konnektivitätssystem betreffen. Da für die Prädiktion der Limitierungen vorzugsweise aktuelle Daten z.B. Streckendaten, Umgebungsdaten, etc. verwendet werden, kann die Konnektivität des Systems  
30 100 zu Cloud/Server-Systemen eine weitere wichtige Größe sein, die selbst Limitierungen unterliegen kann. Auch diese Limitierung kann bereits prädiktiv berücksichtigt werden, bspw. Tunneldurchfahrt, keine Netzstationen in der Nähe, usw.). Zudem kann die Anpassung der Betriebsführung zumindest zum Teil auf einem Cloud/Server stattfinden. Auch hierzu kann eine Prädiktion der

Konnektivität von Vorteil sein, damit die interne Steuereinheit entsprechend übernehmen kann.

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

10

## 5 Ansprüche

1. Verfahren zum prädiktiven Betreiben eines Brennstoffzellensystems (100) mit mindestens einem Brennstoffzellenstapel (101), aufweisend:
  - 10 - Bestimmen einer voraussichtlichen Trajektorie (Ti) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems (100),
  - Auswählen mindestens einer Zielgröße (ZG) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems (100),
  - Bestimmen einer Funktion (Ti\_ZG\_Pot) für die mindestens eine  
15 Zielgröße (ZG), die potentiell mögliche Werte der mindestens einen Zielgröße (ZG) in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie (Ti) abbildet,
  - Auswählen mindestens eines Betriebsparameters (BP) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems (100),
  - 20 - Bestimmen einer Funktion (Ti\_BP\_Pot) für den mindestens einen Betriebsparameter (BP), die potentiell mögliche Werte des mindestens einen Betriebsparameters (BP) in Abhängigkeit von der voraussichtlichen Trajektorie (Ti) abbildet,
  - Anpassen der Funktion (Ti\_ZG\_Pot) für die mindestens eine  
25 Zielgröße (ZG) in Abhängigkeit von der Funktion (Ti\_BP\_Pot) für den mindestens einen Betriebsparameter (BP),
  - Bereitstellen einer adaptiven und vorausschauenden Betriebsstrategie (BS) zum Betreiben des Brennstoffzellensystems (100) in Abhängigkeit von der angepassten Funktion (Ti\*\_ZG\_Pot) für  
30 die mindestens eine Zielgröße (ZG).

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die mindestens eine Zielgröße (ZG) mindestens eine von den  
5 folgenden Größen umfasst:
- eine elektrische Leistung,
  - einen Verbrauch eines Brennstoffes,
  - einen Kühlbedarf,
  - einen Heizbedarf, usw.,
- 10 wobei insbesondere die oben genannten Größen in einer Kombination  
berücksichtigt werden,  
wobei vorzugsweise die oben genannten Größen adaptiv berücksichtigt  
werden,  
wobei bevorzugt die oben genannten Größen mit einer Gewichtung  
15 berücksichtigt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die mindestens eine Zielgröße (ZG) in Abhängigkeit von mindestens  
20 einem Betriebsziel beim Betreiben des Brennstoffzellensystems (100)  
bestimmt wird,  
und/oder dass mindestens ein Betriebsziel beim Betreiben des  
Brennstoffzellensystems (100) mindestens ein von den folgenden Zielen  
umfasst:
- 25 - ein dynamisches Bereitstellen einer elektrischen Leistung,
  - eine Reduzierung eines Verbrauchs eines Brennstoffes,
  - eine Sicherstellung von Funktionalitäten für unterschiedliche  
Betriebsbereiche und/oder Umgebungsbedingungen des  
Brennstoffzellensystems (100),
  - 30 - eine Sicherstellung von Funktionalitäten für unterschiedliche  
Alterungszustände mindestens einer Komponente des  
Brennstoffzellensystems (100), insbesondere des mindestens einen  
Brennstoffzellenstacks (101),

- eine Reduzierung einer Alterung mindestens einer Komponente des Brennstoffzellensystems (100), insbesondere des mindestens einen Brennstoffzellenstacks (101),
  - eine Reduzierung einer Alterung mindestens einer Komponente eines Verbrauchers des Brennstoffzellensystems (100), insbesondere einer Batterie, bspw. einer Hochvolt-Batterie, vorzugsweise einer Traktionsbatterie eines Fahrzeuges.
- 5
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Betriebsparameter (BP) mindestens einen Betriebsparameter (BP) von mindestens einem von den folgenden Subsystemen des Brennstoffzellensystems (100) umfasst:
- dem mindestens einen Brennstoffzellenstapel (101),
  - einem Kathodensystem, insbesondere ein Luftverdichtungssystem, ein Befeuchtungssystem, usw.,
  - einem Anodensystem,
  - einem Kühlsystem, insbesondere eine Kühlmittelpumpe, ein Kühlerlüfter, usw.,
  - einem elektrischen Anschlusssystem an einen Verbraucher,
  - einem Wassermanagementsystem,
  - einem Konnektivitätssystem, insbesondere eine Schnittstelle zu einem Netz und/oder zu einer externen Vorrichtung, usw.
- 10
- 15
- 20
- wobei insbesondere die oben genannten Betriebsparameter in einer Kombination berücksichtigt werden, wobei vorzugsweise die oben genannten Betriebsparameter adaptiv berücksichtigt werden, wobei bevorzugt die oben genannten Betriebsparameter mit einer Gewichtung berücksichtigt werden.
- 25
- 30
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Bestimmen der Funktion (Ti\_BP\_Pot) für den mindestens einen Betriebsparameter (BP) mindestens einer von den folgenden Parametern (Fi) berücksichtigt wird:
- 35

- mindestens ein Umweltparameter, insbesondere Temperatur, Druck, Feuchte, Windgeschwindigkeit, usw.,
  - mindestens ein Umgebungsparameter, insbesondere Straßenbeschaffenheit, usw.
  - 5 - mindestens ein Parameter eines Verbrauchers des Brennstoffzellensystems (100), insbesondere Masse und/oder Beladung eines Fahrzeugs,
  - mindestens ein Infrastrukturparameter, insbesondere Parameter von mobilen und/oder stationären Netzstationen, Ampeln, Mautstellen, 10 Tunneln, Baustellenbereichen, gesondert ausgewiesener Bereiche, wie z. B. beruhigter Verkehrszonen, Schulbereiche, usw.
  - mindestens ein Verkehrsparameter, insbesondere Verkehrslage, Verkehrsregeln, Verkehrszeichen, usw.,
  - Beschaffenheit eines drahtlosen Konnektivitätsnetzes, insbesondere 15 über Hauptnetzanbieter, mobile und/oder stationäre Netzstationen, verbundene Verkehrsteilnehmer, bspw. andere Fahrzeuge, usw.
  - ein Ort,
  - eine Zeit,
  - ein Zustand von Brennstoffzellensystem (100), insbesondere im 20 Hinblick auf Alterung, Wassermanagement, Thermomanagement, usw.,
  - ein Zustand von einer Komponente eines Verbrauchers, insbesondere eine elektrischer Ladezustand einer Batterie, usw.
  - mindestens ein Verbraucherparameter, insbesondere ein 25 Ladezustand (SOC) einer bspw. einer Hochvolt-Batterie, vorzugsweise einer Traktionsbatterie eines Fahrzeuges, usw.
6. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Computerprogrammprodukts durch einen Computer diesen 30 veranlassen, ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.
7. Steuereinheit, aufweisend eine Recheneinheit und eine Speichereinheit, in welcher ein Code hinterlegt ist, welcher bei zumindest teilweiser

Ausführung durch die Recheneinheit ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchführt.

- 5
8. Brennstoffzellensystem (100), aufweisend eine Steuereinheit nach dem vorhergehenden Anspruch.
9. Verwenden eines Brennstoffzellensystems (100) nach Anspruch 8 für ein mobiles System, insbesondere ein Fahrzeug, um ein prädiktives, adaptives und/oder flexibles Betreiben des Systems bereitzustellen.
- 10
10. Verwenden eines Brennstoffzellensystems (100) nach Anspruch 8 für ein stationäres System, um ein prädiktives, adaptives und/oder flexibles Betreiben des Systems bereitzustellen.
- 15

Fig. 1

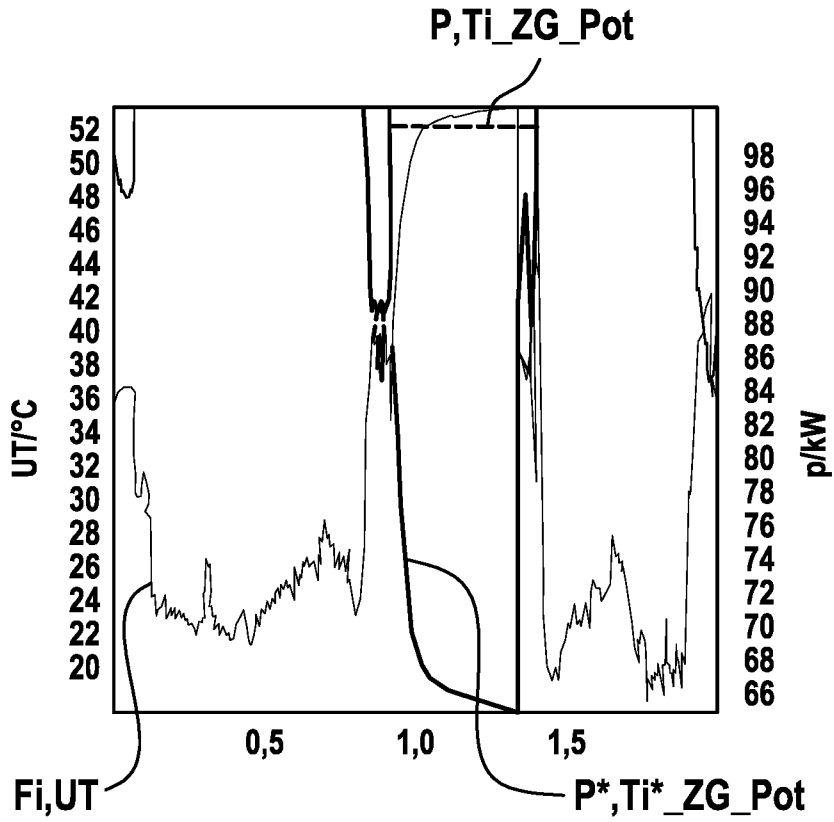


Fig. 2

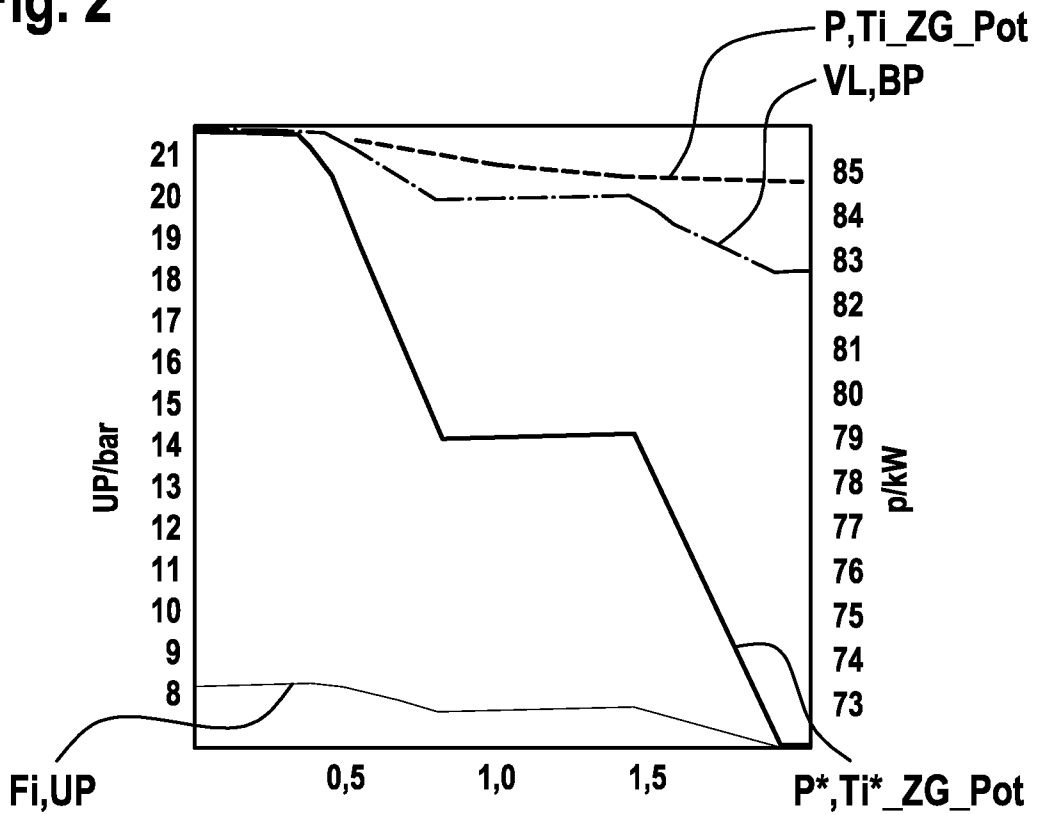


Fig. 3

