



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 30 521 T2** 2008.06.19

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 172 873 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H01M 8/04** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 30 521.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 117 118.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **13.07.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **16.01.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **19.09.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.06.2008**

(30) Unionspriorität:

2000213910 14.07.2000 JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:

**Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha, Toyota, Aichi,
JP**

(72) Erfinder:

**Ishikawa, Tetsuhiro, Toyota-shi, Aichi-ken,
471-8571, JP**

(74) Vertreter:

**WINTER, BRANDL, FÜRNISS, HÜBNER, RÖSS,
KAISER, POLTE, Partnerschaft, 85354 Freising**

(54) Bezeichnung: **Brennstoffzellensystem mit Kühlvorrichtung**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

1. Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Technologie zum Kühlen einer Brennstoffzelle in einem Brennstoffzellensystem.

2. Beschreibung des verwandten Stands der Technik

[0002] Von Brennstoffzellen, die unter Ausnutzung einer elektrochemischen Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff elektrische Energie erzeugen, geht man davon aus, dass sie eine Energiequelle der nächsten Generation sind. Während des Betriebs (während der Stromerzeugung) einer Brennstoffzelle entsteht durch die elektrochemische Reaktion eine beträchtliche Wärmemenge. Von daher hat ein gewöhnliches Brennstoffzellensystem eine Kühlvorrichtung zum Kühlen der Brennstoffzelle.

[0003] Eine Kühlvorrichtung eines Brennstoffzellensystems ist zum Beispiel in der japanischen Patentanmeldung mit der Offenlegungsnummer 8-184877 beschrieben. In dieser Vorrichtung wird die Brennstoffzelle durch die Verwendung eines Kühlmittels gekühlt, das eine Frostschutzlösung umfasst, die Wasser und Ethylenglykol enthält.

[0004] Da jedoch die Wasser und Ethylenglykol enthaltende Frostschutzlösung Strom leiten kann, ist es für die vorstehend erwähnte Kühlvorrichtung aus dem Stand der Technik in manchen Fällen schwierig, einen ausreichend hohen Isolierungsgrad des Brennstoffzellensystems aufrechtzuerhalten.

[0005] In US 4,310,605 A ist ein Brennstoffzellensystem gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 offenbart.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0006] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Brennstoffzellensystem bereitzustellen, das eine verbesserte elektrische Isolierung einer zugehörigen Brennstoffzelle nach außen hin ermöglicht.

[0007] Ein Brennstoffzellensystem gemäß der vorliegenden Erfindung ist mit einer Brennstoffzelle und einer Kühlvorrichtung versehen, die die Brennstoffzelle kühlt. Die Kühlvorrichtung des Brennstoffzellensystems umfasst ein erstes Zwangsumlaufkühlsystem, das die Brennstoffzelle kühlt, indem ein Kühlmittel unter Zwangsumlauf durch eine Zirkulationsstrecke geleitet wird, die durch die Brennstoffzelle verläuft. Die Kühlvorrichtung verwendet als Kühlmittel, das in zumindest einem Teilbereich der Kühlvorrichtung enthalten ist, eine elektrisch isolierende Lösung, so dass die Brennstoffzelle nach außen hin ohne große Umstände elektrisch isoliert werden kann. Die

Kühlvorrichtung des Brennstoffzellensystems ist mit einem zweiten Zwangsumlaufkühlsystem versehen, das vom ersten Zwangsumlaufkühlsystem unabhängig ist, und mit einem Zwischenkühlsystem, das so betrieben werden kann, dass es mit dem ersten Zwangsumlaufkühlsystem und dem zweiten Zwangsumlaufkühlsystem Wärme austauscht. Das Zwischenkühlsystem weist einen Behälter auf, in dem als Kühlmittel die elektrisch isolierende Lösung aufgenommen ist, so dass man sich bei diesem Aufbau keine elektrische Isolierung im Hinblick auf das erste und zweite Zwangsumlaufkühlsystem zu überlegen braucht. Von daher ist es auf einfache Weise möglich, die Isolierung des Brennstoffzellensystems zu verbessern.

[0008] Die elektrisch isolierende Lösung kann Wärme mit dem ersten Zwangsumlaufkühlsystem und dem zweiten Zwangsumlaufkühlsystem austauschen, während es aufgrund natürlicher Konvektion im Behälter zirkuliert. Dieser Aufbau hat den Vorteil, die Konstruktion des Zwischenkühlsystems zu vereinfachen.

[0009] Die elektrisch isolierende Flüssigkeit, die im Zwischenkühlsystem des Brennstoffzellensystems enthalten ist, kann im Behälter anhand der vom ersten Zwangsumlaufkühlsystem abgezogenen Wärme kochen. Wenn eine Siedewärmeübertragung verwendet wird, nimmt die Rate des Wärmeübergangs auf die elektrisch isolierende Flüssigkeit zu. Deshalb kann die Kühlleistung verbessert werden.

[0010] Das erste Zwangsumlaufkühlsystem und das zweite Zwangsumlaufkühlsystem können jeweils einen Wärmeaustauschbeschleunigungsabschnitt wie etwa mehrere Lamellen aufweisen, der einen Wärmeaustausch mit der elektrisch isolierenden Flüssigkeit im Zwischenkühlsystem beschleunigt. Diese Konstruktion kann die Kühlleistung des Zwischenkühlsystems verbessern.

[0011] Das zweite Zwangsumlaufkühlsystem kann einen Wärmeabgabeabschnitt umfassen, der Wärme an die Umgebung abgibt. Diese Konstruktion kann die Kühlleistung des zweiten Zwangsumlaufkühlsystems verbessern.

[0012] Die elektrisch isolierende Flüssigkeit hat vorzugsweise eine Frostschutzeigenschaft. Durch diese Konstruktion kann der Temperaturbereich erweitert werden, in welchem das Brennstoffzellensystem betrieben werden kann.

[0013] Die elektrisch isolierende Lösung umfasst vorzugsweise eine auf Fluor basierende inerte Flüssigkeit oder ein isolierendes Öl. Eine auf Fluor basierende inerte Flüssigkeit oder ein isolierendes Öl ist elektrisch isolierend und hat Frostschutzeigenschaften und ist deshalb als elektrisch isolierendes Kühl-

mittel vorzuziehen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0014] **Fig. 1** ist eine schematische Abbildung, die einen Aufbau eines Brennstoffzellensystems gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung darstellt; und

[0015] **Fig. 2** ist eine schematische Abbildung, die einen Aufbau eines Brennstoffzellensystems gemäß einer zweiten Ausführungsform darstellt.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG VON BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

ERSTE AUSFÜHRUNGSFORM

[0016] **Fig. 1** ist eine schematische Abbildung, in der ein Aufbau eines Brennstoffzellensystems **100** gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung dargestellt ist. Das Brennstoffzellensystem **100** umfasst eine Brennstoffzelle **20** und eine Kühlvorrichtung (ein Kühlsystem) zum Kühlen der Brennstoffzelle **20**. Die Kühlvorrichtung hat ein erstes Zwangsumlaufkühlsystem **30**, das die Brennstoffzelle **20** direkt kühlt, ein Zwischenkühlsystem **40**, welches mit dem ersten Zwangsumlaufkühlsystem **30** Wärme austauscht, ein zweites Zwangsumlaufkühlsystem **50**, das mit dem Zwischenkühlsystem **40** Wärme austauscht, und eine Steuerung **60** zum Steuern des gesamten Brennstoffzellensystems. Die Brennstoffzelle **20**, das erste Zwangsumlaufkühlsystem **30** und das Zwischenkühlsystem **40** sind in einem Brennstoffzellengehäuse **22** untergebracht.

[0017] Das erste Zwangsumlaufkühlsystem **30** hat ein aus Metall hergestelltes Rohr **31**, das eine Zirkulationsstrecke zur Zirkulation zwischen der Brennstoffzelle **20** und einem Wärmetauscher **42** des Zwischenkühlsystems **40** darstellt. Das Rohr **31** ist mit einer Pumpe **32** und einem Temperatursensor **33** versehen. Die Steuerung **60** steuert den Betrieb der Pumpe **32** nach der Temperatur eines Kühlmittels, die vom Temperatursensor **33** gemessen wird. Ein Behälter des Zwischenkühlsystems **40** und das Rohr **31** sind durch ein Isolierstück **34** voneinander elektrisch isoliert. Außerhalb des Zwischenkühlsystems **40** kann das Rohr **31** jedoch durch ein Isoliermaterial gebildet sein. In so einem Fall wird das Isolierstück **34** nicht benötigt. Ein Rohrabschnitt des Rohrs **31**, der innerhalb des Zwischenkühlsystems **40** verläuft, ist mit mehreren Lamellen **35** als Wärmeaustauschbeschleuniger versehen, der den Wärmeaustausch beschleunigt. Ein erstes Kühlmittel CL1, das im ersten Zwangsumlaufkühlsystem **30** zirkuliert, ist zum Beispiel eine Frostschutzlösung, die Wasser und Ethylenglykol enthält.

[0018] Das zweite Zwangsumlaufkühlsystem **50**

verfügt über einen Kühler **5** als Wärmeabgabeeinheit, um Wärme an die Umgebung abzugeben. Das zweite Zwangsumlaufkühlsystem **50** hat darüber hinaus ein aus Metall hergestelltes Rohr **51**, das eine Zirkulationsstrecke für die Zirkulation zwischen dem Kühler **5** und dem Wärmetauscher **42** des Zwischenkühlsystems **40** darstellt. Das Rohr **51** ist auch mit einer Pumpe **52** und einem Temperatursensor **53** versehen. Der Behälter des Zwischenkühlsystems **40** und das Rohr **51** sind durch ein Isolierstück **54** elektrisch voneinander isoliert. Außerhalb des Zwischenkühlsystems **40** kann das Rohr **51** jedoch durch ein Isoliermaterial gebildet sein. In so einem Fall wird das Isolierstück **54** nicht benötigt. Ein Rohrabschnitt des Rohrs **51**, der innerhalb des Zwischenkühlsystems **40** verläuft, ist mit mehreren Lamellen **55** versehen. Ein zweites Kühlmittel CL2, das im zweiten Zwangsumlaufkühlsystem **50** zirkuliert, ist zum Beispiel eine Frostschutzlösung, die Wasser und Ethylenglykol enthält.

[0019] Das zweite Zwangsumlaufkühlsystem **50** ist vom ersten Zwangsumlaufkühlsystem **30** unabhängig. Der Begriff "unabhängig" bedeutet hier, dass die Zirkulationsstrecken der beiden Systeme nicht in direktem Kontakt miteinander sind. Die Anordnung, bei der das erste und zweite Zwangsumlaufkühlsystem **30**, **50** unabhängig voneinander sind, wird übernommen, um die elektrische Isolierung zu verbessern, wie nachfolgend beschrieben wird.

[0020] Das Zwischenkühlsystem **40** hat einen Aufbau, bei dem ein Kühlmittel ICL im dicht verschlossenen Wärmetauscher **42** enthalten ist. Der Wärmetauscher **42** ist mit einem Temperatursensor **44** zum Messen der Temperatur des Kühlmittels ICL versehen. Das erste Kühlmittel CL1 des ersten Zwangsumlaufkühlsystems **30** kühlt die Brennstoffzelle **20**, während es eine darin befindliche Kühlstrecke (nicht gezeigt) durchströmt, und überträgt Wärme auf das Kühlmittel ICL im Wärmetauscher **42**.

[0021] Das Kühlmittel ICL zirkuliert auf natürliche Weise (aufgrund Wärmekonvektion) im Wärmetauscher **42**. Die Wärme des Kühlmittels ICL wird auf das zweite Kühlmittel CL2 des zweiten Zwangsumlaufkühlsystems **50** übertragen und wird vom Kühler **5** nach außen abgegeben.

[0022] Das Kühlmittel ICL des Zwischenkühlsystems **40** ist eine elektrisch isolierende Flüssigkeit. Der Begriff "elektrisch isolierende Flüssigkeit" bedeutet hier eine Flüssigkeit mit einem spezifischen Durchgangswiderstand von mindestens ungefähr $10^{12} \Omega \cdot m$ bei Raumtemperatur. Der spezifische Durchgangswiderstand des Kühlmittels ICL ist vorzugsweise hoch, insbesondere mindestens etwa $10^{16} \Omega \cdot m$. Die Rohre **31**, **51** sind durch die elektrisch isolierende Flüssigkeit ICL voneinander isoliert. Das heißt, dass das zweite Zwangsumlaufkühlsystem **50**

gegenüber der Brennstoffzelle **20** elektrisch isoliert ist. Deshalb wird sich, selbst wenn die Kühlmittel CL1, CL2 des ersten bzw. zweiten Zwangsumlaufkühlsystems **30**, **50** elektrisch leitende Frostschutzlösungen sind, die elektrische Isolierung des Brennstoffzellensystems **100** nicht verschlechtern. In der nachfolgenden Beschreibung wird das Kühlmittel ICL des Zwischenkühlsystems **40** einfach nur als "Isolierkühlmittel ICL" bezeichnet.

[0023] Vorzugsweise kann das Isolierkühlmittel ICL darüber hinaus eine Frostschutzeigenschaft haben. Mit "Frostschutz" ist die Eigenschaft gemeint, bei 0°C noch flüssig zu sein. Das in [Fig. 1](#) gezeigte Brennstoffzellensystem **100** verwendet eine Frostschutzlösung für die drei Arten der Kühlmittel CL1, ICL, CL2, wodurch der Vorteil erzielt wird, dass die Gefahr eines gefrorenen Kühlmittels selbst in einem kalten Gebiet aus der Welt geschafft ist.

[0024] Das Isolierkühlmittel ICL kann zum Beispiel ein isolierendes Öl, eine auf Fluor basierende inerte Flüssigkeit wie Fluorinert™ von Sumitomo 3M, oder dergleichen sein. Insbesondere die auf Fluor basierende inerte Flüssigkeit hat die Vorteile einer hohen chemischen Stabilität und einer hervorragenden Wärmeübertragungseigenschaft.

[0025] Obwohl in der in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsform das Isolierkühlmittel ICL aufgrund natürlicher Konvektion im Wärmetauscher **42** zirkuliert, ist es auch machbar, das Isolierkühlmittel ICL im Wärmetauscher **42** kochen zu lassen. Wenn das Isolierkühlmittel ICL im Wärmetauscher **42** kocht, wird die Rate des Wärmeübergangs auf das Isolierkühlmittel ICL hoch, so dass die Kühlleistung im Wärmetauscher **42** verbessert werden kann. Im Ergebnis wird es möglich, die Längen der Rohrabschnitte im Wärmetauscher **42** des ersten und zweiten Zwangsumlaufkühlsystems **30**, **50** sowie die Oberflächenbereiche der Lamellen **35**, **55** zu verkürzen bzw. zu verkleinern. Somit kann die Größe des Wärmetauschers **42** reduziert werden. Eine Größenreduzierung des Wärmetauschers **42** macht es möglich, die Menge des eingesetzten Isolierkühlmittels ICL herabzusetzen. Dieser Vorteil ist insbesondere im Falle einer auf Fluor basierenden inerten Flüssigkeit bemerkenswert, da die Flüssigkeit teuer ist.

[0026] Wenn eine solche Siedewärmeübertragungseinrichtung verwendet wird, bildet sich ein Raum in einem oberen Teilbereich im Wärmetauscher **42**, so dass eine Flüssigkeitsoberfläche des Isolierkühlmittels ICL bewirkt wird. Die Pumpen **32**, **52** werden so gesteuert, um das Isolierkühlmittel ICL auf der Grundlage der von den Temperatursensoren **33**, **44**, **53** gemessenen Temperaturen kochen zu lassen. Als Isolierkühlmittel ICL wird ein Kühlmittel ausgewählt, das eine Siedetemperatur hat, die unter der maximal zulässigen Temperatur des ersten Kühlmittels

CL1 liegt. Normalerweise ist die maximal zulässige Temperatur des ersten Kühlmittels CL1 durch die maximal zulässige Temperatur der Brennstoffzelle **20** bestimmt. Wenn zum Beispiel die maximal zulässige Temperatur des ersten Kühlmittels CL1 ca. 100°C beträgt, ist der Siedepunkt des Isolierkühlmittels ICL auf eine Temperatur unter 100°C begrenzt. Das Isolierkühlmittel ICL ist bei Raumtemperatur vorzugsweise flüssig. Von daher ist es bei Verwendung der Siedewärmeübertragungseinrichtung vorzuziehen, dass die Siedetemperatur des Isolierkühlmittels ICL höher als die Raumtemperatur und niedriger als in etwa 100°C ist.

[0027] Wenn ein Isolierkühlmittel ICL mit einer Siedetemperatur innerhalb des vorstehend angegebenen spezifischen Bereichs verwendet wird, kann man die Pumpen **32**, **52** im Dauerbetrieb laufen lassen, ohne die Pumpen **32**, **52** auf der Grundlage der Temperatur zu steuern. In diesem Fall kann zumindest einer der Temperatursensoren **33**, **44**, **53** weggelassen werden.

[0028] Im Brennstoffzellensystem **100** der ersten Ausführungsform sind die beiden Zwangsumlaufkühlsysteme **30**, **50** unabhängig voneinander vorgesehen, und das Zwischenkühlsystem **40**, welches das Isolierkühlmittel ICL verwendet, ist wie vorstehend beschrieben zwischen die beiden Kühlsysteme **30**, **50** gesetzt. Von daher kann ein hoher Grad an elektrischer Isolierung erzielt werden.

ZWEITE AUSFÜHRUNGSFORM

[0029] [Fig. 2](#) ist eine schematische Abbildung, in der ein Aufbau eines Brennstoffzellensystems **110** einer zweiten Ausführungsform der Erfindung dargestellt ist. Das Brennstoffzellensystem **110** unterscheidet sich vom System der ersten Ausführungsform lediglich im Aufbau des Zwischenkühlsystems. Andere Anordnungen der zweiten Ausführungsform sind im Wesentlichen dieselben wie diejenigen der ersten Ausführungsform. Ein Behälter **42a** eines Zwischenkühlsystems **40a** hat in der zweiten Ausführungsform eine erste Wärmeaustauschkammer **45a**, in der eine Zirkulationsstrecke **31** eines ersten Zwangsumlaufkühlsystems **30** verläuft, und eine zweite Wärmeaustauschkammer **45b**, in der eine Zirkulationsstrecke **51** eines zweiten Zwangsumlaufkühlsystems **50** verläuft. Die erste Wärmeaustauschkammer **45a** und die zweite Wärmeaustauschkammer **45b** sind über Rohrleitungsabschnitte **46a**, **46b** miteinander verbunden. Von den beiden Rohrleitungsabschnitten **46a**, **46b** ist der Rohrleitungsabschnitt **46a** mit einer Pumpe **48** versehen. Wenn die Pumpe **48** läuft, wird ein Isolierkühlmittel ICL im Behälter **42a** zwangsweise zum Zirkulieren gebracht.

[0030] Im Brennstoffzellensystem **110** der zweiten Ausführungsform kann wie in der ersten Ausführungsform ein hoher Isolierungsgrad erzielt werden.

Darüber hinaus wird in der zweiten Ausführungsform aufgrund der erzwungenen Zirkulation des Isolierkühlmittels ICL die Rate des Wärmeübergangs auf das Isolierkühlmittel höher als in dem Fall, wo das Isolierkühlmittel ICL aufgrund natürlicher Konvektion zirkuliert, wie es in der ersten Ausführungsform der Fall ist. Im Ergebnis kann die Kühlleistung der Brennstoffzelle **20** verbessert werden. Für die erzwungene Zirkulation ist aber Energie für die Pumpe **48** erforderlich. Deshalb ist hinsichtlich der Einsparung von Energie die erste Ausführungsform der zweiten Ausführungsform vorzuziehen. Auch hinsichtlich der Größe des Brennstoffzellensystems ist die erste Ausführungsform der zweiten vorzuziehen.

[0031] Die Erfindung ist nicht auf die vorstehend offenbarten Ausführungsformen oder Konstruktionen beschränkt und kann auf verschiedene andere Arten ausgeführt werden, ohne den Umfang der Erfindung zu verlassen. Es ist zum Beispiel folgende Modifikation möglich.

[0032] Wie aus den vorhergehenden Ausführungsformen klar werden wird, können für die Konstruktion der Kühlvorrichtung (des Kühlsystems) der Brennstoffzelle **20** verschiedene Konstruktionen übernommen werden. Es ist zum Beispiel möglich, eine Konstruktion mit mehreren Kühlsystemen zu übernehmen, solange sie als zumindest eine Art von in der Kühlvorrichtung verwendetem Kühlmittel eine elektrisch isolierende Flüssigkeit verwendet.

Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem (**100, 110, 120**), umfassend:
eine Brennstoffzelle (**20**), und
eine Kühlvorrichtung, welche die Brennstoffzelle (**20**) kühlt,
wobei die Kühlvorrichtung mindestens ein erstes Zwangsumlaufkühlsystem (**30**) umfasst, das die Brennstoffzelle (**20**) kühlt, indem ein Kühlmittel unter Zwangsumlauf durch eine Zirkulationsstrecke geleitet wird, die durch die Brennstoffzelle (**20**) verläuft, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühlvorrichtung darüber hinaus umfasst:
ein zweites Zwangsumlaufkühlsystem (**50**), das vom ersten Zwangsumlaufkühlsystem (**30**) unabhängig ist; und
ein Zwischenkühlsystem (**40, 40a**), das so betrieben werden kann, dass es mit dem ersten Zwangsumlaufkühlsystem (**30**) und dem zweiten Zwangsumlaufkühlsystem (**50**) Wärme austauscht, wobei das Zwischenkühlsystem (**40, 40a**) einen Behälter (**42, 42a**) aufweist, in dem als Kühlmittel eine elektrisch isolierende Flüssigkeit aufgenommen ist.

2. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1, wobei die elektrisch isolierende Flüssigkeit Wärme mit dem ersten Zwangsumlaufkühlsystem (**30**) und dem

zweiten Zwangsumlaufkühlsystem (**50**) austauscht, während es aufgrund natürlicher Konvektion im Behälter (**42**) zirkuliert.

3. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 2, wobei die elektrisch isolierende Flüssigkeit im Behälter (**42**) mit einer vom ersten Zwangsumlaufkühlsystem (**30**) abgezogenen Wärme kochen kann.

4. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1, wobei das Zwischenkühlsystem (**40a**) eine Pumpe (**48**) umfasst, wobei der Behälter (**42a**) eine erste Wärmeaustauschkammer (**45a**) hat, die Wärme mit dem ersten Zwangsumlaufkühlsystem (**30**) austauscht, und eine zweite Wärmeaustauschkammer (**45b**), die Wärme mit dem zweiten Zwangsumlaufkühlsystem (**50**) austauscht, und wobei die Pumpe (**48**) zwischen der ersten Wärmeaustauschkammer (**45a**) und der zweiten Wärmeaustauschkammer (**45b**) vorgesehen ist und das Kühlmittel unter Zwangsumlauf durch die erste und zweite Wärmeaustauschkammer (**45a, 45b**) leitet.

5. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das erste Zwangsumlaufkühlsystem (**30**) und das zweite Zwangsumlaufkühlsystem (**50**) jeweils einen Wärmeaustauschbeschleunigungsabschnitt aufweisen, der einen Wärmeaustausch mit der elektrisch isolierenden Flüssigkeit im Zwischenkühlsystem (**40, 40a**) beschleunigt.

6. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 5, wobei der Wärmeaustauschbeschleunigungsabschnitt mehrere Lamellen (**35, 55**) umfasst.

7. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das zweite Zwangsumlaufkühlsystem (**50**) einen Wärmeabgabeabschnitt umfasst, der Wärme an die Umgebung abgibt.

8. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1, wobei das erste Zwangsumlaufkühlsystem (**30**) einen Wärmeabgabeabschnitt umfasst, der Wärme an die Umgebung abgibt.

9. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die elektrisch isolierende Flüssigkeit eine Frostschutzeigenschaft hat.

10. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 9, wobei die elektrisch isolierende Flüssigkeit eine auf Fluor basierende inerte Flüssigkeit oder ein isolierendes Öl enthält.

11. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 1, 8, 9 und 10, wobei die isolierende Flüssigkeit durch das erste Zwangsumlaufkühlsystem (**30**) strömt.

12. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die elektrisch isolierende Flüssigkeit einen spezifischen Durchgangswiderstand von mindestens $10^{12} \Omega \cdot m$, vorzugsweise $10^{16} \Omega \cdot m$ hat.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

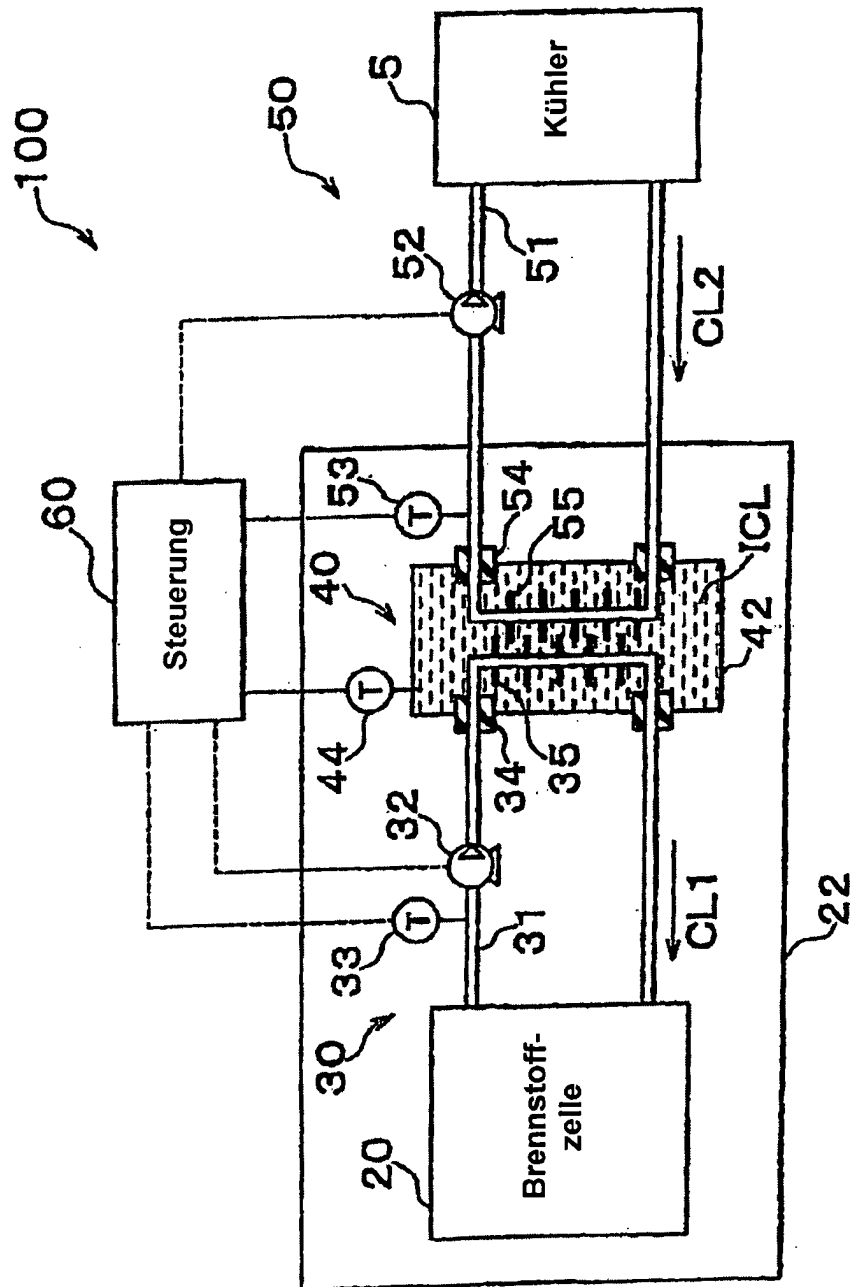


FIG. 2

