

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50309/2017
(22) Anmeldetag: 13.04.2017
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2020

(51) Int. Cl.: **H01M 8/0612** (2016.01)
H01M 8/04119 (2016.01)
H01M 8/04746 (2016.01)
H01M 8/124 (2016.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 2963720 A1
WO 2007015562 A1
US 2002062943 A1
US 2001002043 A1
EP 2042469 A1

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Lawlor Vincent Dr.
8510 Stainz (AT)
Reissig Michael Dipl.Ing. (FH)
8073 Seiersberg (AT)
Rechberger Jürgen Dipl.Ing.
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Kopetz Heinrich Dipl.Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Brennstoffzellensystem mit Prozessflüssigkeitsquelle**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem (100a; 100b; 100c; 100d), aufweisend einen Brennstoffzellenstapel (1) mit einem Anodenabschnitt (2) und einem Kathodenabschnitt (3), einen Reformer (4) zum Vorreformieren eines dem Brennstoffzellenstapel zugeführten Brennstoffs, zumindest einen Verdampfer (5) zum Verdampfen eines Brennstoffs und/oder einer Prozessflüssigkeit zur Verwendung im Reformer (4), eine Brennstoffquelle (6) zum Bereitstellen von Brennstoff für ein Brennstoffgemisch im Reformer (4), und eine Prozessflüssigkeitsquelle (7, 8) zum Bereitstellen von Prozessflüssigkeit für das Brennstoffgemisch im Reformer (4), wobei stromabwärts der Brennstoffquelle (6) und stromaufwärts des zumindest einen Verdampfers (5) eine Brennstoffpumpe (9) zum Pumpen des Brennstoffs von der Brennstoffquelle (6) zum Verdampfer (5), und stromabwärts der Prozessflüssigkeitsquelle (7, 8) und stromaufwärts des zumindest einen Verdampfers (5) eine Prozessflüssigkeitspumpe (10) zum Pumpen der Prozessflüssigkeit von der Prozessflüssigkeitsquelle (7, 8) zum Verdampfer (5) angeordnet sind, wobei stromabwärts der Brennstoffpumpe (9) ein

Brennstoffs in den Verdampfer (5) angeordnet ist und stromabwärts der Prozessflüssigkeitspumpe (10) ein Prozessflüssigkeitsinjektor (16) zum Einspritzen der Prozessflüssigkeit in den Verdampfer (5) angeordnet ist.

Ferner betrifft die Erfindung ein Kraftfahrzeug (1000) mit einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem (100a; 100b; 100c; 100d).

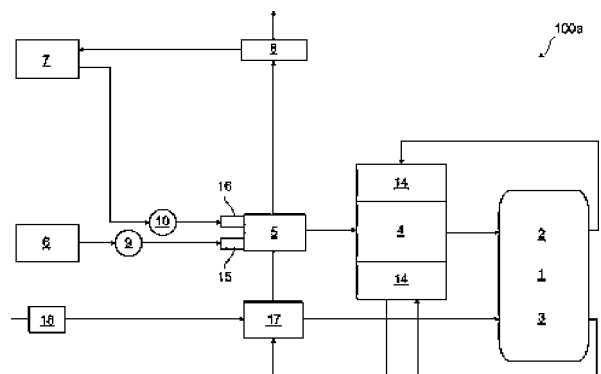


Fig. 1a

Beschreibung

BRENNSTOFFZELLENSYSTEM MIT PROZESSFLÜSSIGKEITSQUELLE

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennstoffzellensystem, insbesondere ein SOFC-System, aufweisend einen Brennstoffzellenstapel mit einem Anodenabschnitt und einem Kathodenabschnitt, einen Reformer zum Vorreformieren eines dem Brennstoffzellenstapel zugeführten Brennstoffs, zumindest einen Verdampfer zum Verdampfen des Brennstoffs und/oder einer Prozessflüssigkeit zur Verwendung im Reformer, eine Brennstoffquelle zum Bereitstellen von Brennstoff für ein Brennstoffgemisch im Reformer, und eine Prozessflüssigkeitsquelle zum Bereitstellen von Prozessflüssigkeit für das Brennstoffgemisch im Reformer. Die Erfindung betrifft ferner ein Kraftfahrzeug mit einem solchen Brennstoffzellensystem.

[0002] SOFC-Systeme sind aufgrund ihrer hohen Effizienz und der Möglichkeit, viele verschiedene Brennstoffe wie Diesel oder Ethanol zu verwenden, gut geeignet. Um derartige Brennstoffe in SOFC-Systemen zu verwenden, werden diese Brennstoffe vorreformiert, um das Reformierungserfordernis an einem Anodenabschnitt eines Brennstoffzellenstapels des SOFC-Systems zu verringern. Vorreformierter Brennstoff sowie eine Prozessflüssigkeit wie insbesondere Wasser, das für die Reformierung im SOFC-System verwendet wird, können einem Reformer bzw. einem Verdampfer stromaufwärts des Reformers auf verschiedene Weisen zugeführt werden. Eine Möglichkeit ist es, Anodenabgas mit hohem Wassergehalt über ein Rezirkulationssystem zum Verdampfer stromaufwärts des Reformers zu führen. Ein hierfür erforderliches Fluidleitungssystem ist jedoch relativ komplex aufgebaut und entsprechend schwierig umzusetzen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, Wasser und Brennstoff in einem Tank als fertige Fluidmischung bereitzustellen. In diesem Fall wird kein Rezirkulationsgebläse benötigt, wodurch Kosten reduziert und die Effizienz des Gesamtsystems gesteigert werden können. Diese Möglichkeit der Wasser- und Brennstoffbereitstellung ist jedoch nur bedingt für den mobilen Einsatz geeignet. Bei (Hybrid-)Elektrofahrzeugen ist die für ein SOFC-System benötigte Wasser- und Brennstoffmenge so groß, dass eine geeignete Tankfüllung zu einem unbefriedigend hohen Gesamtgewicht des Elektrofahrzeugs führen würde. Weiterhin kann mit dem fertigen Brennstoffgemisch nicht auf sich verändernde Umgebungsbedingungen reagiert werden.

[0003] Derartige SOFC-Systeme sind beispielsweise aus der EP 2963720 A1, der WO 2007015562 A1 und der US 2002062943 A1 bekannt.

[0004] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Brennstoffzellensystem sowie ein Kraftfahrzeug zu schaffen, mittels welchen auf einfache, kostengünstige und platzsparende Weise eine Prozessflüssigkeit wie Wasser sowie Brennstoff für einen oder mehrere Verdampfer eines Reformers bereitgestellt werden können.

[0005] Die voranstehende Aufgabe wird durch die Patentansprüche gelöst. Insbesondere wird die voranstehende Aufgabe durch das Brennstoffzellensystem gemäß Anspruch 1 sowie das Kraftfahrzeug gemäß Anspruch 9 gelöst. Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem Brennstoffzellensystem beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Kraftfahrzeug und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. werden kann.

[0006] Gemäß eines ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung wird ein Brennstoffzellensystem mit einem Brennstoffzellenstapel zur Verfügung gestellt. Der Brennstoffzellenstapel weist einen Anodenabschnitt und einen Kathodenabschnitt auf. Das Brennstoffzellensystem weist ferner einen Reformer zum Vorreformieren des dem Brennstoffzellenstapel zugeführten Brennstoffs, zumindest einen Verdampfer zum Verdampfen des Brennstoffs und/oder einer Prozessflüssigkeit zur Verwendung im Reformer, eine Brennstoffquelle zum Bereitstellen von Brennstoff für ein Brennstoffgemisch im Reformer, und eine Prozessflüssigkeitsquelle, zum Bereitstellen

von Prozessflüssigkeit für das Brennstoffgemisch im Reformer, auf. Stromabwärts der Brennstoffquelle und stromaufwärts des zumindest einen Verdampfers sind eine Brennstoffpumpe zum Pumpen des Brennstoffs von der Brennstoffquelle zum Verdampfer, und stromabwärts der Prozessflüssigkeitsquelle und stromaufwärts des Verdampfers eine Prozessflüssigkeitspumpe zum Pumpen der Prozessflüssigkeit von der Prozessflüssigkeitsquelle zum Verdampfer angeordnet.

[0007] Durch das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem ist es möglich, eine Prozessflüssigkeit wie insbesondere Wasser (nachfolgend teilweise auch mit „Prozesswasser“ bezeichnet) getrennt vom Brennstoff in Richtung des oder der Verdampfer zu dosieren. Mittels der Prozessflüssigkeitspumpe und der separat dazu angeordneten Brennstoffpumpe können die Prozessflüssigkeit und der Brennstoff besonders einfach und genau zu dem zumindest einen Verdampfer geführt werden. Genauer gesagt kann mittels der Prozessflüssigkeitspumpe und der Brennstoffpumpe ein Prozessflüssigkeit/Brennstoff-Verhältnis auf besonders einfache Weise auf das gewünschte Mischungsverhältnis eingestellt werden. Auf unnötig große Speichertanks oder ein für einen unnötig starken Fluiddurchgang ausgelegtes Rezirkulationssystem kann dadurch verzichtet werden. Dadurch können sowohl das Gewicht als auch der Komplexitätsgrad des Brennstoffzellensystems gering gehalten werden. Darüber hinaus können die Kosten für das Brennstoffzellensystem entsprechend gering gehalten werden.

[0008] Unter der Prozessflüssigkeit wird insbesondere Wasser in flüssiger Form oder Wasserdampf verstanden, wobei auch die Verwendung bzw. Zumischung von anderen Substanzen möglich ist. Somit kann unter der Prozessflüssigkeit im Allgemeinen ein wasserhaltiges Fluid für den Betrieb des Brennstoffzellensystems verstanden werden. Das Prozesswasser kann neben Wasser noch weitere Fluidbestandteile aufweisen.

[0009] Unter einem Verdampfer wird im Rahmen der vorliegenden Offenbarung ein Bauteil verstanden, dem einerseits Wärme und andererseits ein zu verdampfendes Medium zugeführt wird. Die Wärme kann beispielsweise durch Abgas des Brennstoffzellenstapels zugeführt werden, wobei das heiße Abgas und das zu verdampfende Medium (bzw. ein gasförmiger Medienstrom, in dem sich das zu verdampfende Medium - z.B. Prozessflüssigkeit und/oder Brennstoff - befindet) räumlich getrennt voneinander sind.

[0010] Die Brennstoffquelle und die Prozessflüssigkeitsquelle sind erfindungsgemäß bevorzugt getrennt voneinander angeordnet. Dadurch lässt sich die getrennte Bereitstellung der Prozessflüssigkeit und des Brennstoffs besonders leicht realisieren. Bei Versuchen im Rahmen der vorliegenden Erfindung hat sich dabei überraschend herausgestellt, dass ein separates Ausgestalten der Prozessflüssigkeitsquelle und der Brennstoffquelle gegenüber den möglichen Nachteilen aufgrund eines erhöhten Gewichts und eines erhöhten Komplexitätsgrades im Vergleich zu einem einzigen Mischtank entscheidende Vorteile hinsichtlich der Funktionsweise des Brennstoffzellensystems mit sich bringt.

[0011] Unter der Brennstoffquelle ist vorzugsweise ein Brennstofftank zu verstehen, in welchem Brennstoff in Form von Wasserstoff, Methan, Ethanol, Diesel, oder eines Gasgemischs, z.B. mit einem der vorgenannten Stoffe, gespeichert ist.

[0012] Unter der Brennstoffpumpe kann eine Fluidpumpe in Form einer Hydraulikpumpe oder einer Gaspumpe bzw. eines entsprechenden Gebläses verstanden werden. Unter der Prozessflüssigkeitspumpe kann ebenfalls eine Fluidpumpe in Form einer Hydraulikpumpe oder einer Gaspumpe bzw. eines entsprechenden Gebläses verstanden werden.

[0013] Das Brennstoffzellensystem ist vorzugsweise als SOFC-System ausgestaltet, in welchem unter Verwendung der Prozessflüssigkeit und des Brennstoffs in dem Reformer vorzugsweise wasserstoffhaltiger Brennstoff für den Anodenabschnitt des Brennstoffzellenstapels hergestellt werden kann bzw. wird. Der Brennstoffzellenstapel kann hierfür mehrere Brennstoffzellenstapelabschnitte aufweisen. D.h., die vorliegende Erfindung ist nicht auf ein Brennstoffzellensystem beschränkt, das nur einen einzigen Brennstoffzellenstapel aufweist.

[0014] Besonders vorteilhaft ist es, wenn zwei Verdampfer vorgesehen sind, die vorzugsweise

in Richtung des Reformers seriell oder parallel von Brennstoff und/oder einer Prozessflüssigkeit durchströmbar sind, um den Brennstoff und die Prozessflüssigkeit getrennt voneinander zu verdampfen. Eine Mischung zu einem dem Brennstoffzellenstapel zugeführten Brennstoffgemisch erfolgt folglich erst nach den Verdampfern und vor dem Reformer. Die zwei Verdampfer sind vorzugsweise in Richtung des Reformers seriell oder parallel von Brennstoff und/oder einer Prozessflüssigkeit durchströmbar. Der Brennstoff und die Prozessflüssigkeit werden erst in einem gasförmigen Zustand miteinander vermischt, wodurch ein gewünschtes Mischverhältnis noch einfacher einstellbar ist.

[0015] Bei einer parallelen Anordnung der Verdampfer ist ein erster Verdampfer dabei zum Verdampfen von Prozessflüssigkeit ausgebildet, wozu dieser stromaufwärts der Prozessflüssigkeitsquelle und stromabwärts der Prozessflüssigkeitspumpe angeordnet ist. Ein zweiter Verdampfer ist zum Verdampfen von Brennstoff ausgebildet und stromaufwärts der Prozessflüssigkeitsquelle, insbesondere stromabwärts des ersten Verdampfers, wobei der zweite Verdampfer stromabwärts der Brennstoffpumpe angeordnet ist. Nach dem getrennten Verdampfen werden die gasförmigen Stoffe stromabwärts der Verdampfer und stromaufwärts des Reformers miteinander zum Brennstoffgemisch vermischt.

[0016] Alternativ dazu können bei einer seriellen Anordnung die zwei Verdampfer auch stromabwärts der Brennstoffpumpe bzw. der Prozessflüssigkeitspumpe und stromaufwärts des Reformers angeordnet sein. Dabei ist ein erster Verdampfer zum Verdampfen von Prozessflüssigkeit ausgebildet sowie stromabwärts der Prozesswasserpumpe und stromaufwärts eines zweiten Verdampfers angeordnet. Hierbei wird in einen ersten Schritt die Prozessflüssigkeit verdampft und in einem zweiten Schritt der noch flüssige Brennstoff der gasförmigen Prozessflüssigkeit dem zweiten Verdampfer zugeführt, beispielsweise über einen Injektor wie eine Düse eingespritzt. Der zweite Verdampfer ist bei dieser Anordnung stromabwärts der Brennstoffpumpe und stromaufwärts des Reformers angeordnet. Es kann auch vorgesehen sein, dass der erste Verdampfer zum Verdampfen von Brennstoff ausgebildet ist und die flüssige Prozessflüssigkeit dann im zweiten Verdampfer dem gasförmigen Brennstoff zugeführt wird. Es ist jedenfalls besonders günstig, wenn beim Mischen der Prozessflüssigkeit und des Brennstoffes zumindest eines davon gasförmig ausgebildet ist.

[0017] Gemäß einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist es möglich, dass in einem Brennstoffzellensystem ein Abgasbrenner zum Verbrennen von Anodenabgas und/oder Kathodenabgas bereitgestellt ist, der mit einem Kondensor zum Kondensieren von Abgasbrenner-Abgas in Fluidverbindung steht, wobei die Prozessflüssigkeitsquelle den Kondensor zum Bereitstellen der Prozessflüssigkeit aufweist. Bei Versuchen im Rahmen der vorliegenden Erfindung hat sich herausgestellt, dass kondensiertes Abgasbrenner-Abgas einfacher und mit entsprechend geringerem Aufwand zu rezirkulieren ist als unbehandeltes bzw. gasförmiges Abgasbrenner-Abgas. Unter Verwendung des Kondensors kann das Rezirkulationssystem entsprechend einfach und effektiv zur Verfügung gestellt werden. Unter der Prozessflüssigkeitspumpe kann in diesem Fall insbesondere eine Hydraulikpumpe verstanden werden. Zum Kondensieren des Abgasbrenner-Abgases kann eine Kathodengasleitung am Kondensor entlanggeführt sein, um das Abgasbrenner-Abgas durch Kathodengas, insbesondere Luft, das bzw. die ohnehin erhitzt werden muss und zum Kathodenabschnitt geführt wird, durch eine thermische Wechselwirkung zu erhitzen. Durch Rezirkulation von kondensierter Prozessflüssigkeit ist nur ein kleiner oder theoretisch gar kein Prozessflüssigkeitstank nötig, um Prozessflüssigkeit für den Betrieb des Brennstoffzellensystems zu speichern. Dadurch können Gewicht und Kosten gespart werden.

[0018] Gleichwohl ist es möglich, dass bei einem Brennstoffzellensystem gemäß der vorliegenden Erfindung die Prozessflüssigkeitsquelle einen Flüssigkeitstank zum Speichern von Prozessflüssigkeit aufweist. Der Flüssigkeitstank ist vorzugsweise kleiner als der Brennstofftank. Insbesondere unter Verwendung des vorstehend beschriebenen Kondensors kann der Flüssigkeitstank relativ klein gehalten werden, da grundsätzlich nur für einen Startbetrieb des Brennstoffzellensystems, wenn durch das Brennstoffzellensystem noch kein Wasser erzeugt wird, Prozessflüssigkeit benötigt wird. Während des Betriebs des Brennstoffzellensystems kann der

Flüssigkeitstank als Prozessflüssigkeits-Zwischenspeicher zum Zwischenspeichern der Prozessflüssigkeit bzw. des Wassers, das durch den Kondensor erzeugt wird, genutzt werden. Für den Flüssigkeitstank kann eine Heizvorrichtung zum Heizen des Flüssigkeitstanks bereitgestellt sein, um ein Einfrieren von zwischengespeicherter Prozessflüssigkeit bzw. Wasser zu verhindern und dadurch die Funktionsfähigkeit des Brennstoffzellensystems zu gewährleisten.

[0019] Von weiterem Vorteil kann es sein, wenn der Kondensor bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem stromaufwärts des Flüssigkeitstanks, zum Zuführen von Wasserkondensat zur Verwendung als Prozessflüssigkeit zu dem Flüssigkeitstank, angeordnet ist. Dadurch kann eine wie vorstehend bereits erwähnte vorteilhafte Kombination aus dem Kondensor und dem Flüssigkeitstank auf einfache Weise realisiert werden. Der Kondensor ist vorzugsweise direkt oder im Wesentlichen direkt stromaufwärts des Flüssigkeitstanks angeordnet.

[0020] Zudem ist es bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem vorgesehen, dass stromabwärts der Brennstoffpumpe ein Brennstoffinjektor zum Einspritzen des Brennstoffs in einen Verdampfer angeordnet ist und stromabwärts der Prozessflüssigkeitspumpe ein Prozessflüssigkeitsinjektor zum Einspritzen der Prozessflüssigkeit in einen Verdampfer angeordnet ist. D.h., der Prozessflüssigkeitsinjektor ist zusätzlich zur Prozessflüssigkeitspumpe angeordnet und der Brennstoffinjektor ist zusätzlich zur Brennstoffpumpe angeordnet. Dadurch kann ein Mischungsverhältnis eines Brennstoffgemischs bestehend aus der Prozessflüssigkeit und dem Brennstoff besonders einfach eingestellt werden. Dadurch kann das Brennstoffzellensystem entsprechend effizient und/oder effektiv sowie flexibel auf die gewünschten Betriebsparameter angepasst betrieben werden. Unter Verwendung der beiden separaten Injektoren können außerdem Druckverluste in den jeweiligen Fluidleitungen gering gehalten werden. Ist nur ein Verdampfer vorgesehen, in welchem die Prozessflüssigkeit und der Brennstoff gemeinsam verdampft werden, sind die beiden Injektoren in separaten Fluidleitungen angeordnet, d.h., der Brennstoffinjektor in einer Brennstoffleitung zum Zuführen des Brennstoffs vom Brennstofftank zum Verdampfer und der Prozessflüssigkeitsinjektor in einer Prozessflüssigkeitsleitung zum Zuführen der Prozessflüssigkeit vom Flüssigkeitstank zum Verdampfer. Der Brennstoffinjektor und der Prozessflüssigkeitsinjektor können darüber hinaus vorteilhaft für einen schnellen und effektiven Startvorgang des Brennstoffzellensystems genutzt werden, insbesondere wenn ein Brennstoff wie Ethanol verwendet wird. Für einen Startvorgang des Brennstoffzellensystems, bei welchem das Brennstoffzellensystem in der Regel relativ kalt ist, kann das Mischungsverhältnis von Ethanol und Wasser beispielsweise auf 55% Ethanol zu 45% Wasser eingestellt werden. Ethanol verdampft bei niedrigeren Temperaturen schneller als Wasser und benötigt entsprechend weniger Energie für einen Verdampfungsvorgang. Dies kann entsprechend vorteilhaft für einen effizienten und schnellen Startvorgang genutzt werden, wenn beispielsweise eine Heizvorrichtung zum Vorheizen des Brennstoffgemischs verwendet wird. Die separat angeordneten Injektoren können ferner vorteilhaft für einen Dampfspülvorgang des Brennstoffzellensystems sowie für verschiedene Brennstoffmischungskonzepte sein. Diese Vorteile gelten auch, wenn wie beschrieben zwei Verdampfer vorgesehen sind. Auch hierbei sind die beiden Injektoren in separaten Fluidleitungen angeordnet, wobei ein Injektor zum Zuführen der Prozessflüssigkeit in einen ersten Verdampfer und ein zweiter Injektor zum Zuführen des Brennstoffs in einen zweiten Verdampfer vorgesehen sind.

[0021] Bei einer weiteren Ausgestaltungsvariante der vorliegenden Erfindung ist es möglich, dass bei einem erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystem stromabwärts der Brennstoffpumpe sowie stromabwärts der Prozessflüssigkeitspumpe und stromaufwärts des Verdampfers eine Mischkammer zum Vermischen des Brennstoffs mit der Prozessflüssigkeit angeordnet ist, wobei stromabwärts der Mischkammer und stromaufwärts des Verdampfers eine Brennstoffgemisch-Pumpe zum Zuführen des Brennstoffgemischs zum Verdampfer angeordnet ist. In der Mischkammer kann das Brennstoffgemisch lokal und flexibel vorgemischt werden, bevor es durch die Brennstoffgemisch-Pumpe in Richtung des Verdampfers weitergeleitet wird. Zum Einspritzen des Brennstoffgemischs in den Verdampfer kann ein Brennstoffgemisch-Injektor am Verdampfer angeordnet sein, der stromabwärts der Mischkammer sowie stromabwärts der Brennstoffgemisch-Pumpe angeordnet ist. Die Brennstoffgemisch-Pumpe ist als eine Brenn-

stoffgemisch-Fördereinheit in Form einer Fluidpumpe oder einer Gaspumpe bzw. eines Gebläses zu verstehen. Um den Gefrierpunkt des Brennstoffgemischs zu senken, kann in der Mischkammer ein Brennstoffgemisch mit einem geeigneten Mischverhältnis bereitgestellt werden. Bei der Verwendung von Ethanol als Brennstoff hat sich ein Mischverhältnis von 55% Wasser zu 45% Ethanol als vorteilhaft herausgestellt, um den Gefrierpunkt ausreichend abzusenken, nämlich auf ca. -35 °C. Dadurch kann das Brennstoffzellensystem auch bei niedrigen Temperaturen zuverlässig betrieben bzw. gestartet werden. Zur Gewährleistung des gewünschten Mischungsverhältnisses können verschiedenen Vorrichtungen und Verfahren angewandt werden, beispielsweise eine Dichtebestimmungseinheit zum Bestimmen der Dichte des Brennstoffgemischs oder eine Brennstoffmischkontrollvorrichtung zum Kontrollieren des Einspritzverhaltens des Brennstoffinjektors und des Prozessflüssigkeitsinjektors.

[0022] Weiterhin kann bei einem Brennstoffzellensystem gemäß der vorliegenden Erfindung ein Abgasbrenner zum Verbrennen von Anodenabgas und/oder Kathodenabgas bereitgestellt sein, der mit einem Kondensor zum Kondensieren von Abgasbrenner-Abgas in Fluidverbindung steht, wobei die Prozessflüssigkeitsquelle den Kondensor zum Bereitstellen der Prozessflüssigkeit aufweist. Unter Anwendung einer Abgasrückführung vom Abgasbrenner zum Kondensor kann das Brennstoffzellensystem besonders effizient betrieben werden. Für eine kompakte Bauweise des Brennstoffzellensystems ist der Abgasbrenner vorzugsweise ringförmig um den Reformer herum angeordnet. Durch diese Bauform kann außerdem ein guter Wärmetransport zwischen dem Reformer und dem Abgasbrenner realisiert werden.

[0023] Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung wird ein Kraftfahrzeug mit einem Brennstoffzellensystem zur Energieversorgung wenigstens einer Antriebseinheit des Kraftfahrzeugs zur Verfügung gestellt, wobei das Brennstoffzellensystem wie vorstehend im Detail beschrieben ausgestaltet ist. Damit bringt ein erfindungsgemäßes Kraftfahrzeug die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf das erfindungsgemäße Brennstoffzellensystem beschrieben worden sind. Das Kraftfahrzeug ist vorzugsweise als (Hybrid-)Elektrofahrzeug ausgestaltet.

[0024] Weitere, die Erfindung verbessernde Maßnahmen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung zu verschiedenen Ausführungsbeispielen der Erfindung, welche in den Figuren schematisch dargestellt sind. Es zeigen jeweils schematisch:

- [0025]** Figur 1a ein Brennstoffzellensystem gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0026]** Figur 1b eine erste Variante der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung aus Figur 1a,
- [0027]** Figur 1c eine zweite Variante der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung aus Figur 1a,
- [0028]** Figur 2 ein Brennstoffzellensystem gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0029]** Figur 3 ein Brennstoffzellensystem gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0030]** Figur 4 ein Brennstoffzellensystem gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, und
- [0031]** Figur 5 Kraftfahrzeug mit einem Brennstoffzellensystem gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0032] Elemente mit gleicher Funktion und Wirkungsweise sind in den Figuren 1 bis 5 jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0033] In Fig. 1a ist ein Blockdiagramm zum schematischen Darstellen eines Brennstoffzellensystems 100a gemäß einer ersten Ausführungsform dargestellt. Das dargestellte Brennstoffzellensystem 100a weist einen Brennstoffzellenstapel 1 mit einem Anodenabschnitt 2 und einem

Kathodenabschnitt 3 auf. Das Brennstoffzellensystem weist ferner einen Reformer 4 zum Zuführen von reformiertem Anodengas zum Anodenabschnitt 2 und einen Verdampfer 5 zum Verdampfen eines Brennstoffgemischs, das im Reformer 4 verwendet werden soll, auf. Unter einem Verdampfer 5 wird ein Bauteil verstanden, dem einerseits Wärme und andererseits ein zu verdampfendes Medium zugeführt wird, wobei die Wärmezuführung räumlich getrennt von der Zuführung des zu verdampfenden Mediums erfolgt, so dass keine Durchmischung erfolgt - dies ist z.B. wichtig, wenn zur Wärmezuführung ein Abgas verwendet wird. Um den Reformer 4 herum ist ein ringförmiger Abgasbrenner 14 zum Verbrennen von Anodenabgas sowie Kathodenabgas ausgestaltet.

[0034] Das Brennstoffzellensystem 100a weist außerdem eine Brennstoffquelle in Form eines Brennstofftanks 6 zum Bereitstellen von Brennstoff für das Brennstoffgemisch im Reformer 4 auf. Darüber hinaus weist das Brennstoffzellensystem 100a eine Prozessflüssigkeitsquelle in Form eines Flüssigkeitstanks 7 und eines dem Flüssigkeitstank 7 vorgeschalteten Kondensors 8 zum Bereitstellen von Prozessflüssigkeit für das Brennstoffgemisch im Reformer 4 auf. D.h., der Kondensor 8 ist stromaufwärts des Flüssigkeitstanks 7 zum Zuführen von Wasserkondensat zur Verwendung als Prozessflüssigkeit zu dem Flüssigkeitstank 7 angeordnet. Der Kondensor 8 steht mit dem Abgasbrenner 14 zum Kondensieren von Abgasbrenner-Abgas in Fluidverbindung. Als Prozessflüssigkeit wird im dargestellten Ausführungsbeispiel Wasser („Prozesswasser“) verwendet.

[0035] Stromabwärts des Brennstofftanks 6 und stromaufwärts des Verdampfers 5 ist eine Brennstoffpumpe 9 zum Pumpen des Brennstoffs vom Brennstofftank 6 zum Verdampfer 5 angeordnet. Stromabwärts des Flüssigkeitstanks 7 und stromaufwärts des Verdampfers 5 ist eine Prozessflüssigkeitspumpe 10 zum Pumpen des Prozesswassers vom Flüssigkeitstank 7 zum Verdampfer 5 angeordnet.

[0036] Stromabwärts der Brennstoffpumpe 9 ist ein Brennstoffinjektor 15 zum Einspritzen des Brennstoffs in den Verdampfer 5 angeordnet. Außerdem ist stromabwärts der Prozessflüssigkeitspumpe 10 ein Prozessflüssigkeitsinjektor 16 zum Einspritzen des Prozesswassers in den Verdampfer 5 angeordnet. Der Brennstoffinjektor 15 und der Prozessflüssigkeitsinjektor 16 sind in zwei separat zueinander angeordneten Fluidleitungen angeordnet. Genauer gesagt ist der Brennstoffinjektor 15 in bzw. am Ende einer Brennstoffleitung angeordnet, die eine Fluidverbindung zwischen dem Brennstofftank 6 und dem Verdampfer 5 herstellt. Der Prozessflüssigkeitsinjektor 16 ist in bzw. am Ende einer Prozessflüssigkeitsleitung angeordnet, die eine Fluidverbindung zwischen dem Flüssigkeitstank 7 bzw. dem Kondensor 8 und dem Verdampfer 5 herstellt. Der Brennstoffinjektor 15 und der Prozessflüssigkeitsinjektor 16 sind jeweils als Einspritzdüsen ausgestaltet.

[0037] Stromaufwärts des Verdampfers 5 ist ein Wärmetauscher 17 angeordnet, der sowohl mit dem Verdampfer 5 als auch mit dem Abgasbrenner 14, zu welchem er stromabwärts angeordnet ist, in Fluidverbindung steht. Das im Abgasbrenner 14 verbrannte Kathoden- und Anodenabgas wird also durch die heiße Seite des Wärmetauschers 17 geführt und strömt dann durch den Verdampfer 5, wo es das eingespritzte Prozesswasser und den Brennstoff verdampft, und weiter in Richtung eines Auspuffs. Stromaufwärts des Wärmetauschers 17 ist ein Gebläse 18 angeordnet, durch welches dem Kathodenabschnitt 3 Kathodengas in Form von Luft zugeführt werden kann. Das Kathodengas strömt dabei durch die kalte Seite des Wärmetauschers 17 und das räumlich getrennt durch die heiße Seite strömende Abgas wird erwärmt. Zum Erhitzen der Luft steht eine Kathodengas-Zuführleitung mit dem Wärmetauscher 17 in thermischer Wirkverbindung.

[0038] Fig. 1b zeigt eine weitere Variante eines Brennstoffzellensystems 100a aus Fig. 1a, umfassend zwei Verdampfer 5, 5a. Durch die zwei Verdampfer 5, 5a können der Brennstoff und das Prozesswasser getrennt voneinander verdampft werden. Eine Mischung zu einem Brennstoffgemisch erfolgt folglich erst nach den Verdampfern 5, 5a und vor dem oder im Reformer 4. Falls die Mischung stromaufwärts des Reformers 4 erfolgt, werden die jeweiligen Leitungen aus den Verdampfern 5, 5a vor dem Reformer 4 zusammengeführt. Der Brennstoff und das Pro-

zesswasser werden erst in einem gasförmigen Zustand miteinander vermischt. Gemäß Fig. 1b sind dabei zwei Verdampfer 5, 5a vorgesehen, welche nacheinander stromaufwärts der Prozesswasserquelle 8 angeordnet sind (serielle Anordnung). Ein erster Verdampfer 5 ist dabei zum Verdampfen von Prozesswasser ausgebildet, wozu dieser stromaufwärts dem als Prozessflüssigkeitsquelle fungierenden Kondensor 8 und stromabwärts der Prozessflüssigkeitspumpe 10 angeordnet ist. Ein zweiter Verdampfer 5a ist zum Verdampfen von Brennstoff ausgebildet und stromaufwärts der Prozessflüssigkeitsquelle 8, insbesondere stromaufwärts des ersten Verdampfers 5 sowie stromabwärts der Brennstoffpumpe 9 angeordnet. Nach dem getrennten Verdampfen werden die gasförmigen Stoffe stromabwärts der Verdampfer 5, 5a und stromaufwärts des Reformers 4 miteinander zum Brennstoffgemisch vermischt. Der Abgasstrom aus dem Abgasbrenner 14 durchströmt dabei zuerst den Wärmetauscher 17 und anschließend sequentiell den zweiten Verdampfer 5a und den ersten Verdampfer 5, bevor der Abgasstrom der Prozessflüssigkeitsquelle in Form des Kondensors 8 bzw. der Prozessflüssigkeitsquelle in Form des Flüssigkeitstanks 7 zugeführt wird.

[0039] In einer nicht dargestellten zusätzlichen Ausführung der Variante gemäß Fig. 1b kann der Abgasstrom aus dem Abgasbrenner 14 entweder vor oder nach dem Wärmetauscher 17 in zwei Leitungen aufgeteilt werden. Dabei führt eine erste Leitung durch den ersten Verdampfer 5 und eine zweite Leitung durch den zweiten Verdampfer 5a, die beiden Verdampfer 5 und 5a werden also in paralleler Anordnung vom Abgasstrom durchströmt. Stromabwärts der Verdampfer 5, 5a werden die beiden Abgasströme wieder zu einem Abgasstrom zusammengeführt. Es kann allerdings auch vorgesehen sein, dass diese getrennt der als Kondensor 8 ausgeführten Prozessflüssigkeitsquelle zugeführt werden.

[0040] Fig. 1c zeigt eine weitere Variante dazu: die zwei Verdampfer 5, 5a sind wiederum stromabwärts der Brennstoffpumpe 9 bzw. der Prozessflüssigkeitspumpe 10 und stromaufwärts des Reformers 4 angeordnet. Dabei ist ein erster Verdampfer 5 zum Verdampfen von Prozesswasser ausgebildet und stromaufwärts der Prozessflüssigkeitspumpe 9 sowie auch stromaufwärts eines zweiten Verdampfers 5a angeordnet. Hierbei wird in einem ersten Schritt das Prozesswasser verdampft und in einem zweiten Schritt der noch flüssige Brennstoff dem gasförmigen Prozesswasser im zweiten Verdampfer 5a zugeführt, beispielsweise über einen Injektor 15 eingespritzt. Auch zum Einführen von Prozesswasser in den ersten Verdampfer 5 kann ein Injektor 16 vorgesehen sein. Es kann auch vorgesehen sein, dass der erste Verdampfer 5 zum Verdampfen von Brennstoff ausgebildet ist und das flüssige Prozesswasser dann im zweiten Verdampfer 5a dem gasförmigen Brennstoff zugeführt wird. Es ist jedenfalls besonders günstig, wenn beim Mischen des Prozesswassers und des Brennstoffes zumindest einer der Bestandteile davon gasförmig ausgebildet ist.

[0041] Fig. 1c zeigt mit durchgezogenen Linien eine Variante, bei der das vom Wärmetauscher 17 kommende Abgas nur durch den ersten Verdampfer 5 geführt wird und das dort eingebrachte Medium verdampft. Der zweite Verdampfer 5a hat keine separate Wärmequelle, sondern das verdampfte Medium aus dem ersten Verdampfer 5 dient als Wärmequelle für das in den zweiten Verdampfer 5a eingebrachte Medium, das ebenfalls verdampft.

[0042] Eine weitere Variante ist in Fig. 1c mit strichlierten Linien dargestellt: Nach dem Wärmetauscher 17 teilt sich die Abgasleitung und versorgt sowohl den ersten Verdampfer 5 als auch den zweiten Verdampfer 5a mit heißem Abgas, sodass die jeweils eingebrachten Medien aufgrund der Abgaswärme verdampft werden.

[0043] In Fig. 2 ist ein Brennstoffzellensystem 100b gemäß einer zweiten Ausführungsform dargestellt. Zur Vermeidung von redundanten Beschreibungsteilen werden anschließend nur die Unterscheidungsmerkmale des Brennstoffzellensystems 100b zur vorstehend erläuterten ersten Ausführungsform beschrieben. Bei dem in Fig. 2 dargestellten Brennstoffzellensystem 100b wurde auf den Flüssigkeitstank 7 verzichtet. Entsprechend kann kondensiertes Prozesswasser mittels der Prozessflüssigkeitspumpe 10 vom Kondensor 8 direkt zum Verdampfer 5 geleitet und dort durch den Prozessflüssigkeitsinjektor 16 in den Verdampfer 5 eingespritzt werden. Darüber hinaus kann auch die Ausführungsform gemäß Fig. 2 zwei Verdampfer 5, 5a

umfassen, welche gemäß Fig. 1b oder Fig. 1c angeordnet sein können.

[0044] In Fig. 3 ist ein Brennstoffzellensystem 100c gemäß einer dritten Ausführungsform dargestellt. Zur Vermeidung von redundanten Beschreibungsteilen werden anschließend nur die Unterscheidungsmerkmale des Brennstoffzellensystems 100c zu den vorstehend erläuterten Ausführungsformen beschrieben. Bei dem in Fig. 3 dargestellten Brennstoffzellensystem 100c ist stromabwärts der Brennstoffpumpe 9 sowie stromabwärts der Prozessflüssigkeitspumpe 10 und stromaufwärts des Verdampfers 5 eine Mischkammer 11 zum Vermischen des Brennstoffs mit dem Prozesswasser angeordnet, wobei stromabwärts der Mischkammer 11 und stromaufwärts des Verdampfers 5 eine Brennstoffgemisch-Pumpe 12 zum Zuführen des Brennstoffgemischs zum Verdampfer 5 angeordnet ist. Am Verdampfer 5 ist ein Brennstoffgemisch-Injektor 13 zum Einspritzen des Brennstoffgemischs in den Verdampfer 5 angeordnet.

[0045] In Fig. 4 ist ein Brennstoffzellensystem 100d gemäß einer vierten Ausführungsform dargestellt. Zur Vermeidung von redundanten Beschreibungsteilen werden anschließend nur die Unterscheidungsmerkmale des Brennstoffzellensystems 100d zur vorstehend erläuterten dritten Ausführungsform beschrieben. Bei dem in Fig. 4 dargestellten Brennstoffzellensystem 100d wurde auf den Flüssigkeitstank 7 verzichtet. Entsprechend kann kondensiertes Prozesswasser vom Kondensor 8 über die Mischkammer ohne den Umweg über den Flüssigkeitstank 7 zum Verdampfer 5 geleitet werden.

[0046] In Fig. 5 ist ein als Elektrofahrzeug ausgestaltetes Kraftfahrzeug 1000 mit einem wie vorstehend beschriebenen Brennstoffzellensystem 100a zur Energieversorgung eines Elektromotors 200 des Kraftfahrzeugs 1000 dargestellt.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Brennstoffzellenstapel
- 2 Anodenabschnitt
- 3 Kathodenabschnitt
- 4 Reformer
- 5 Verdampfer
- 5a zweiter Verdampfer
- 6 Brennstofftank (Brennstoffquelle)
- 7 Flüssigkeitstank (Prozessflüssigkeitsquelle)
- 8 Kondensor (Prozessflüssigkeitsquelle)
- 9 Brennstoffpumpe
- 10 Prozessflüssigkeitspumpe
- 11 Mischkammer
- 12 Brennstoffgemisch-Pumpe
- 13 Brennstoffgemisch-Injektor
- 14 Abgasbrenner
- 15 Brennstoffinjektor
- 16 Prozessflüssigkeitsinjektor
- 17 Wärmetauscher
- 18 Gebläse

- 100a bis 100d Brennstoffzellensystem
- 200 Elektromotor (Antriebseinheit)

- 1000 Kraftfahrzeug

Patentansprüche

1. Brennstoffzellensystem (100a; 100b; 100c; 100d), aufweisend einen Brennstoffzellenstapel (1) mit einem Anodenabschnitt (2) und einem Kathodenabschnitt (3), einen Reformer (4) zum Vorreformieren eines dem Brennstoffzellenstapel zugeführten Brennstoffs, zumindest einen Verdampfer (5) zum Verdampfen eines Brennstoffs und/oder einer Prozessflüssigkeit zur Verwendung im Reformer (4), eine Brennstoffquelle (6) zum Bereitstellen von Brennstoff für ein Brennstoffgemisch im Reformer (4), und eine Prozessflüssigkeitsquelle (7, 8) zum Bereitstellen von Prozessflüssigkeit für das Brennstoffgemisch im Reformer (4), wobei stromabwärts der Brennstoffquelle (6) und stromaufwärts des zumindest einen Verdampfers (5) eine Brennstoffpumpe (9) zum Pumpen des Brennstoffs von der Brennstoffquelle (6) zum Verdampfer (5), und stromabwärts der Prozessflüssigkeitsquelle (7, 8) und stromaufwärts des zumindest einen Verdampfers (5) eine Prozessflüssigkeitspumpe (10) zum Pumpen der Prozessflüssigkeit von der Prozessflüssigkeitsquelle (7, 8) zum Verdampfer (5) angeordnet sind,
dadurch gekennzeichnet, dass
stromabwärts der Brennstoffpumpe (9) ein Brennstoffinjektor (15) zum Einspritzen des Brennstoffs in den Verdampfer (5) angeordnet ist und stromabwärts der Prozessflüssigkeitspumpe (10) ein Prozessflüssigkeitsinjektor (16) zum Einspritzen der Prozessflüssigkeit in den Verdampfer (5) angeordnet ist.
2. Brennstoffzellensystem (100a; 100b; 100c; 100d) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass
zwei Verdampfer (5, 5a) vorgesehen sind, die vorzugsweise in Richtung des Reformers (4) seriell oder parallel von Brennstoff und/oder einer Prozessflüssigkeit durchströmbar sind.
3. Brennstoffzellensystem (100a; 100b; 100c; 100d) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
ein Abgasbrenner (14) zum Verbrennen von Anodenabgas und/oder Kathodenabgas bereitgestellt ist, der mit einem Kondensor (8) zum Kondensieren von Abgasbrenner-Abgas in Fluidverbindung steht, wobei die Prozessflüssigkeitsquelle den Kondensor (8) zum Bereitstellen des Prozesswassers aufweist.
4. Brennstoffzellensystem (100a; 100c) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
dass die Prozessflüssigkeitsquelle einen Flüssigkeitstank (7) zum Speichern von Prozessflüssigkeit aufweist.
5. Brennstoffzellensystem (100a; 100c) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass
der Kondensor (8) stromaufwärts des Flüssigkeitstanks (7) zum Zuführen von Flüssigkeits-, insbesondere Wasserkondensat zur Verwendung als Prozessflüssigkeit zu dem Flüssigkeitstank (7) angeordnet ist.
6. Brennstoffzellensystem (100c; 100d) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass
stromabwärts der Brennstoffpumpe (9) sowie stromabwärts der Prozessflüssigkeitspumpe (10) und stromaufwärts des Verdampfers (5) eine Mischkammer (11) zum Vermischen des Brennstoffs mit der Prozessflüssigkeit angeordnet ist, wobei stromabwärts der Mischkammer (11) und stromaufwärts des Verdampfers (5) eine Brennstoffgemisch-Pumpe (12) zum Zuführen des Brennstoffgemischs zum Verdampfer (5) angeordnet ist.
7. Brennstoffzellensystem (100c; 100d) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass
ein Abgasbrenner (14) zum Verbrennen von Anodenabgas und/oder Kathodenabgas bereitgestellt ist, der mit einem Kondensor (8) zum Kondensieren von Abgasbrenner-Abgas in Fluidverbindung steht, wobei die Prozessflüssigkeitsquelle den Kondensor (8) zum Bereitstellen der Prozessflüssigkeit aufweist.

8. Brennstoffzellensystem (100c) nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
die Prozessflüssigkeitsquelle einen Flüssigkeitstank (7) zum Speichern von Prozessflüssigkeit aufweist, wobei insbesondere der Kondensor (8) stromaufwärts des Flüssigkeitstanks (7) zum Zuführen von Flüssigkeits-, insbesondere Wasserkondensat zur Verwendung als Prozessflüssigkeit zu dem Flüssigkeitstank (7) angeordnet ist.
9. Kraftfahrzeug (1000) mit einem Brennstoffzellensystem (100a; 100b; 100c; 100d) zur Energieversorgung wenigstens einer Antriebseinheit (200) des Kraftfahrzeugs (1000), wobei das Brennstoffzellensystem (100a; 100b; 100c; 100d) gemäß einem der voranstehenden Ansprüche ausgestaltet ist.

Hierzu 7 Blatt Zeichnungen

1/7

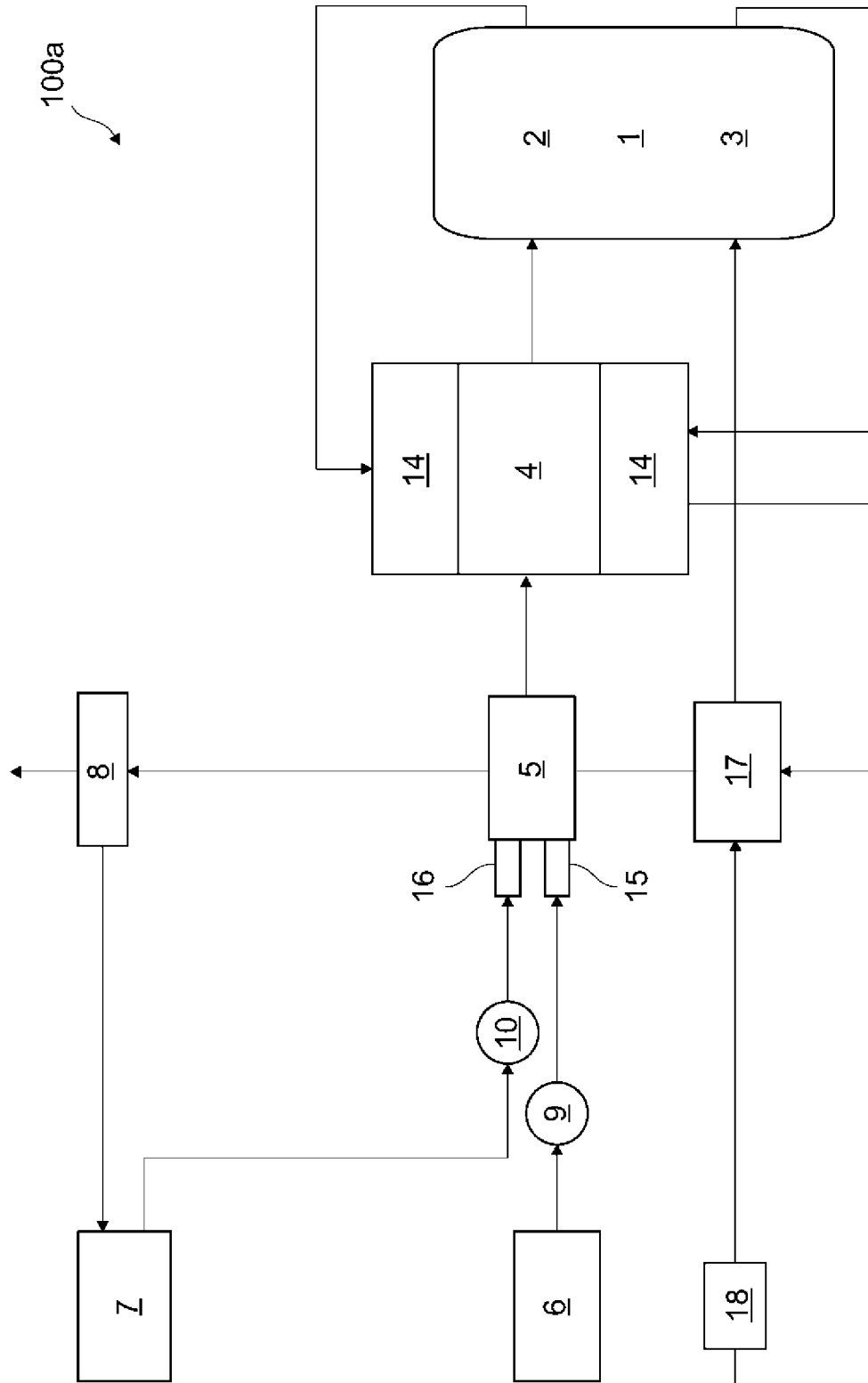


Fig. 1a

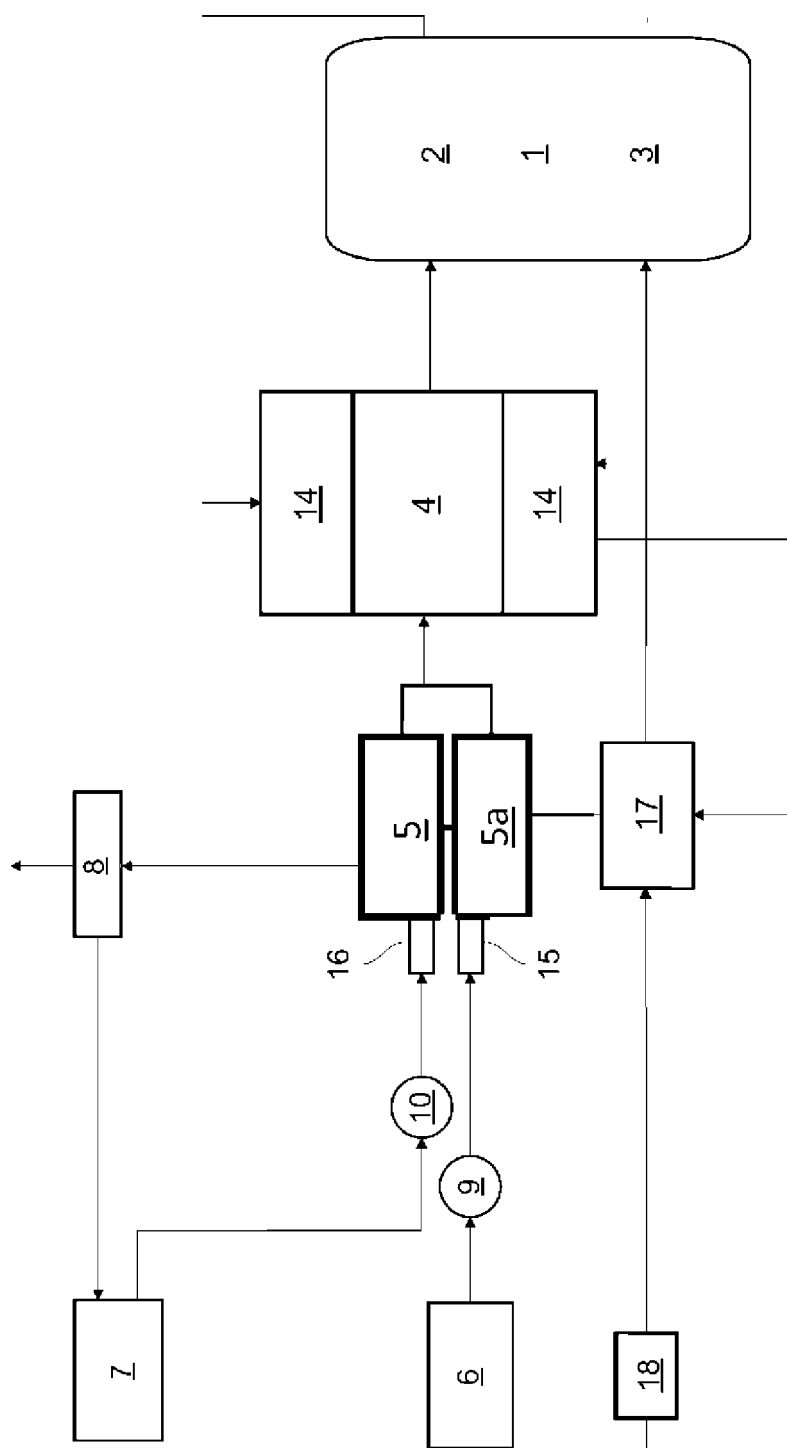


Fig. 1b

100a

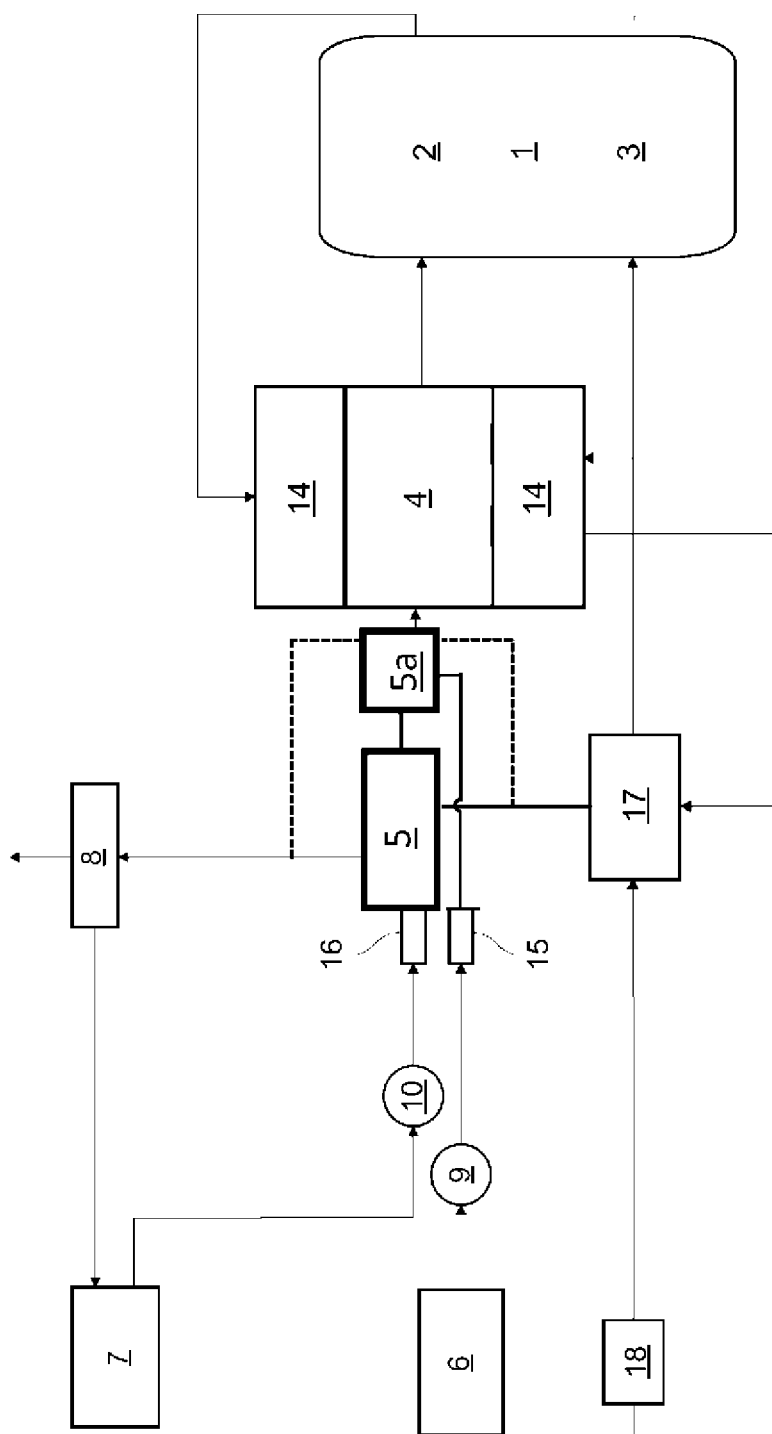


Fig. 1c

4/7

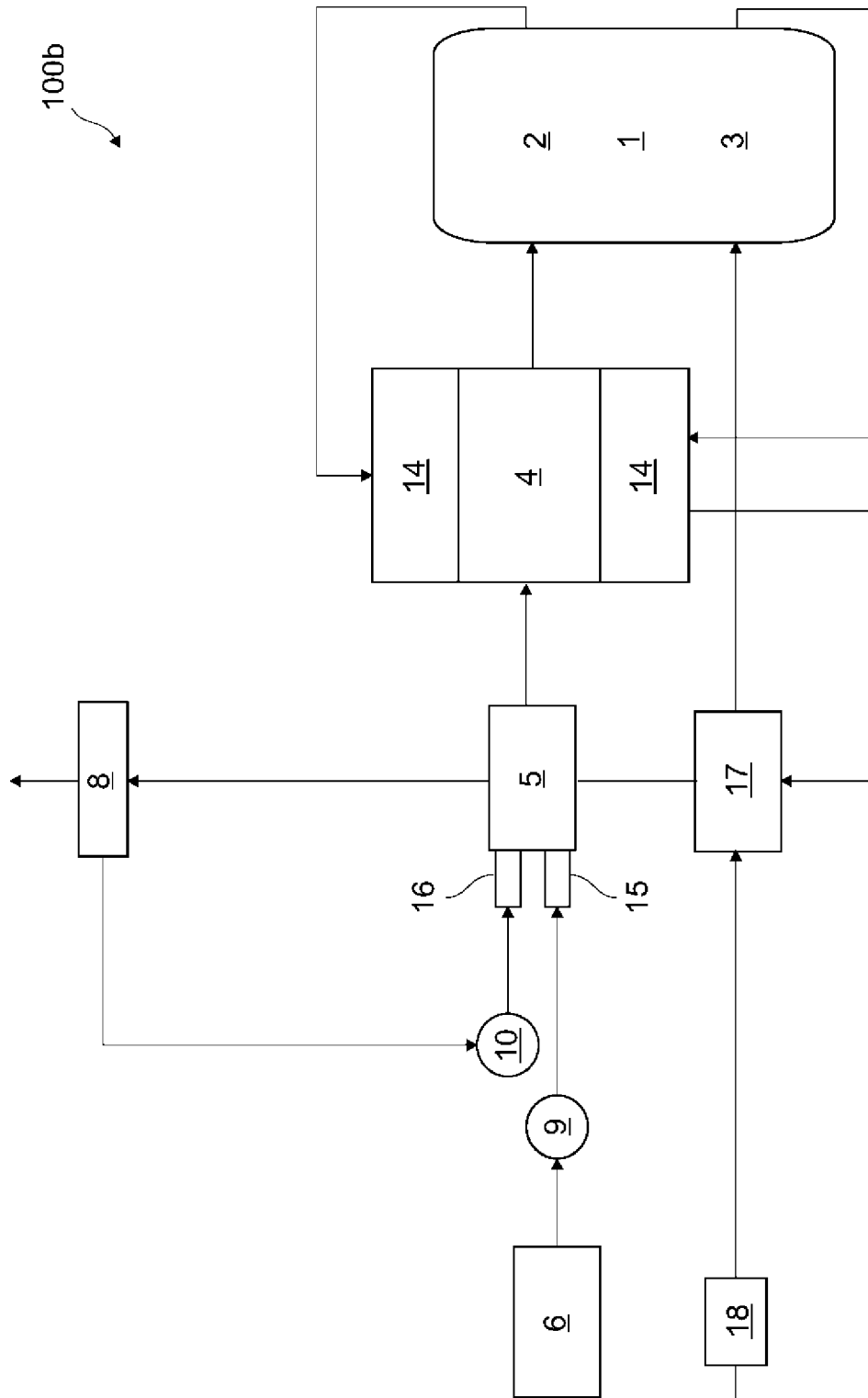


Fig. 2

Diagram 100c illustrates a system architecture. It features a central processing block 14, which is divided into three sections: 14, 4, and 14. This block is connected to a large block 15, which is also divided into three sections: 2, 1, and 3. The system includes several input and output points, labeled 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 18, and 19. A feedback loop is shown, connecting the output 19 back to the input 8 and the input 14 of block 14. The system is labeled 100c.

Fig. 3

6/7

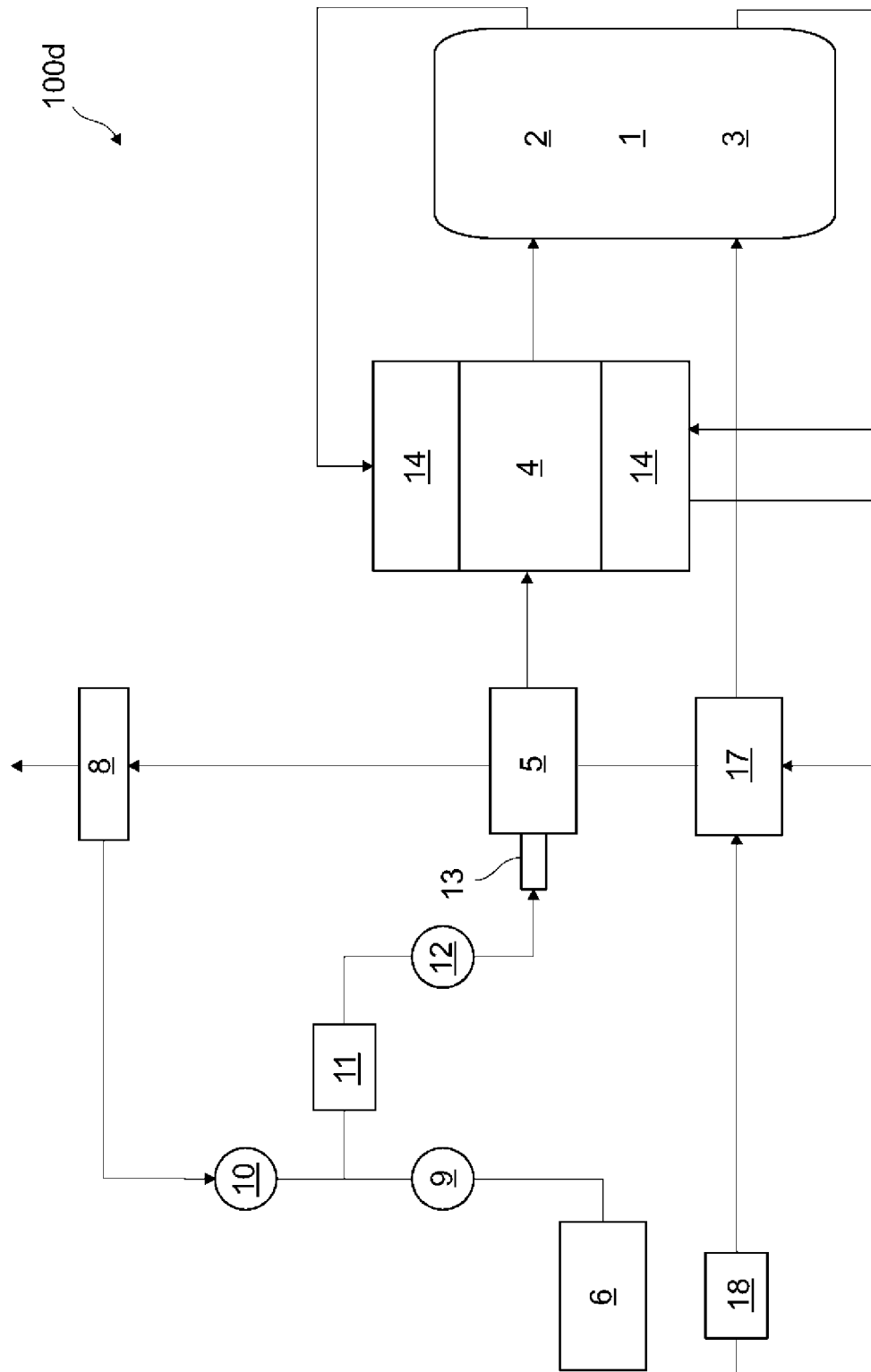


Fig. 4

7/7

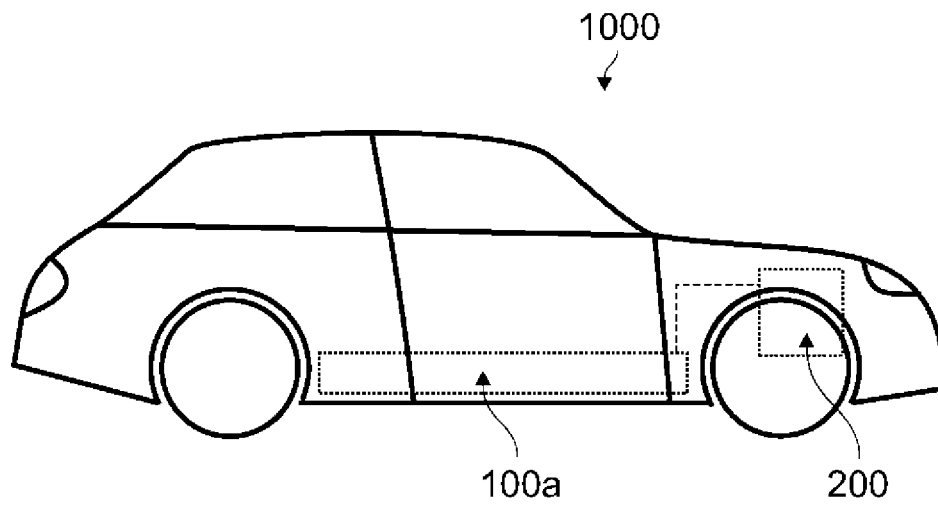


Fig. 5