

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Brennstoffzellensysteme mit integrierter Befeuchtung des Brennstoffes beziehungsweise des Oxidationsstoffes und hierbei speziell ein Verfahren zum Regeln der Abgastemperatur des Brennstoffzellensystems, um die Temperatur des Abgases im Vergleich zu herkömmlichen Ausführungen zu erhöhen.

[0002] Brennstoffzellensysteme mit integrierter Befeuchtung sind bekannt. Beispielsweise wird auf die Patentschrift DE 101 04 246 C1 verwiesen, welche eine Brennstoffzelle darstellt, deren Prozessgas mittels der im Abgas vorhandenen Feuchtigkeit in zwei Befeuchtungseinheiten befeuchtet wird, und wobei mit jeweils einem Wärmetauscher den Abgasströmen Wärme entzogen und dem Prozessgas zugeführt wird, um die Verdampfung des Wassers in dem Prozessgas zu bewirken.

[0003] Auch in der US-Patentschrift US 6,656,620 B2 wird das Übertragen einer Wärmemenge, insbesondere von dem Abgas auf das Prozessgas in einem Befeuchter beschrieben.

[0004] Wie aus den beiden genannten Patentschriften ersichtlich ist, war die Fachwelt bei den bekannten Brennstoffzellensystemen stets bemüht, die optimale Temperatur in dem der Brennstoffzelle zugeführten Prozessgas – entweder Brennstoff oder Oxidationsstoff – zu erreichen, und man hat hierzu auf das Abgas zurückgegriffen und diesem gegebenenfalls neben der Feuchtigkeit auch Wärme entzogen. Den Temperaturänderungen im Abgas, welche sich durch die Optimierung der Prozessgastemperatur ergeben haben, beziehungsweise der absoluten Abgastemperatur hat man bisher keine oder nur eine geringe Bedeutung zugemessen.

[0005] Von der Temperatur des Abgases hängt jedoch entscheidend ab, welche Feuchtigkeitsmenge das Abgas aufnehmen kann, siehe beispielsweise das h-x-Diagramm von feuchter Luft. Hieraus folgt, dass bei einer unkontrollierten Abgastemperatur möglicherweise im Auspuff eines Kraftfahrzeugs mit Brennstoffzellenantrieb, in welchem das erfindungsgemäße Verfahren zum Einsatz kommen kann, eine Kondensation der Feuchtigkeit im Abgas auftreten kann, die nicht oder nicht in dem gewünschten Ausmaß kontrolliert werden kann.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Regeln der Abgastemperatur eines Brennstoffzellensystems, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, anzugeben, mit welchem die Kondensation von Feuchtigkeit des Abgases in einer Abführung aus der Brennstoffzelle sicher beherrscht und insbesondere vollständig oder weitgehend vermieden werden kann, so dass insbesondere schwallarti-

ge Wasserausträge am Auspuff des Fahrzeuges vermieden werden können.

[0007] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Schritten von Anspruch 1 gelöst. Die abhängigen Ansprüche beschreiben vorteilhafte und besonders zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung.

[0008] Ein Brennstoffzellensystem zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst eine Brennstoffzelle mit einer Anode und einer Kathode beziehungsweise einen Brennstoffzellen-Stack mit Anoden und Kathoden, ferner eine Brennstoffzuleitung zum Zuleiten von H₂-haltigem Brennstoff zur Anode und eine Oxidationsstoffzuleitung zum Zuleiten von O₂-haltigem Gas zur Kathode der Brennstoffzelle. In der Brennstoffzelle finden dann die bekannten Reaktionen zwischen dem Wasserstoff des Brennstoffes und dem Sauerstoff des Oxidationsstoffes unter Erzeugung von elektrischer Spannung statt, wobei als Reaktionsprodukt Wasser und je nach verwendetem Brennstoff ein beispielsweise CO₂-haltiges Abgas entsteht.

[0009] Als Brennstoff kommt beispielsweise Wasserstoff, Methan und Methanol in Betracht, jedoch auch andere Kohlenwasserstoffe.

[0010] Das Abgas wird aus der Brennstoffzelle (oder dem Stack) über wenigstens eine Abführleitung, insbesondere eine erste Abführleitung aus der Kathode und gegebenenfalls eine zweite Abführleitung aus der Anode, abgeführt, wobei die Abgase aus der Kathode und der Anode auch in einer gemeinsamen Leitung vereint abgeführt werden können. Bei mit Wasserstoff betriebenen Systemen beschränkt sich die Abfuhr des Abgases typischerweise auf die kathodenseitige Abluft, da der Wasserstoff, z. B. in einem Kreislauf zum Anodeneingang zurückgeführt, und zumindest annähernd vollständig aufgebraucht wird. Bei derartigen Aufbauten ist das Abgas dann der (Kathoden-) Abluft gleichzusetzen. Dabei wird das Abgas durch einen oder mehrere Befeuchter, insbesondere durch einen Befeuchter pro Abgasleitung, beispielsweise einen ersten Befeuchter für die Anodenabgasleitung und einen zweiten Befeuchter für die Kathodenabgasleitung, geleitet. Durch denselben beziehungsweise dieselben Befeuchter wird auch der Brennstoff beziehungsweise der Oxidationsstoff geleitet, so dass der Brennstoff und/oder der Oxidationsstoff mit Feuchtigkeit aus dem Abgas befeuchtet wird. Mögliche konstruktive Ausgestaltung von solchen Befeuchtern sind dem Fachmann bekannt, beispielsweise können sie wenigstens eine feuchtigkeitsdurchlässige Membran aufweisen, die auf einer Seite von dem Abgas und auf der anderen, entgegengesetzten Seite von dem Prozessgas beaufschlagt wird, so dass die Gase zwar voneinander getrennt geleitet werden, jedoch die Feuchtigkeit von

dem Abgas durch die Membran hindurch in das Prozessgas übertritt.

[0011] Gleichzeitig wird erfindungsgemäß in dem Befeuchter oder den Befeuchtern ein Wärmestrom zwischen dem Brennstoff beziehungsweise dem Oxidationsstoff und dem Abgas übertragen. Der Wärmestrom ist dabei von dem Brennstoff beziehungsweise dem Oxidationsstoff auf das Abgas gerichtet, und die Temperatur des Abgases wird dadurch geregelt, dass die Temperatur des Brennstoffes in der Brennstoffzuleitung und/oder des Oxidationsstoffes in der Oxidationsstoffzuleitung geändert wird. Somit ist die Regelgröße die Abgastemperatur, und als Stellgröße dient die Brennstofftemperatur beziehungsweise die Oxidationsstofftemperatur.

[0012] Insbesondere wird der Befeuchter, welcher in der Regel als Gas-Gas-Befeuchter ausgeführt ist, das heißt primärseitig und sekundärseitig von einem Gas – dem Brennstoff beziehungsweise dem Oxidationsstoff und dem Abgas – durchströmt wird, als einziger Wärmeüberträger zum gezielten Übertragen von Wärme zwischen dem Brennstoff und dem Abgas beziehungsweise zwischen dem Oxidationsstoff und dem Abgas verwendet. Ein zusätzlicher Wärmetauscher kann entfallen.

[0013] Gegebenenfalls kann das Abgas durch einen zusätzlichen Wasserabscheider, vorteilhaft durch einen Resonator mit integriertem Wasserabscheider geführt werden, um Feuchtigkeit aus dem Abgas abzuscheiden. Ein solcher Wasserabscheider kann beispielsweise in Kaltstartphasen und/oder allgemein beim Anfahren beziehungsweise Abfahren zur kontrollierten Wasserabscheidung verwendet werden. Der Abscheider kann beispielsweise einen Behälter für das abgeschiedene Wasser und/oder eine Rückführung für das abgeschiedene Wasser in das Wischwasser zum Reinigen von Scheiben und/oder Scheinwerfern eines Fahrzeuges umfassen.

[0014] Durch die erfindungsgemäße Regelung der Abgastemperatur, insbesondere durch Erhöhung der Abgastemperatur im Vergleich zu bekannten Ausführungen, beispielsweise auf 70 Grad Celsius oder mehr, kann ein Auswurf von Flüssigkeit am Austritt des Abgasrohres minimiert beziehungsweise vollständig verhindert werden, ohne dass zusätzliche Bauteile im Vergleich zu bekannten Systemen, gegebenenfalls mit Ausnahme eines Temperatursensors und einer geeigneten Steuereinrichtung zum Ausführen der erfindungsgemäßen Regelung, vorgesehen werden müssen. vorteilhaft kann der oder die ohnehin vorhandene(n) Gas-Gas-Befeuchter zur Wärmeübertragung für die Anhebung der Abgastemperatur verwendet werden.

[0015] Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels exemplarisch beschrieben

werden. Dabei können die verschiedenen dargestellten Komponenten, solange dies nicht ausdrücklich anders dargestellt ist, auch einzeln oder gruppenweise unabhängig von den übrigen Komponenten vorgesehen oder eingespart werden.

[0016] Die [Fig. 1](#) zeigt ein Schaltbild mit der Prozessgas- beziehungsweise Abgasführung und mit einzelnen Temperaturpunkten eines erfindungsgemäß geregelten Brennstoffzellensystems.

[0017] Im einzelnen erkennt man in der [Fig. 1](#) die Brennstoffzelle **1** mit einer Anode **2** und einer Kathode **3**. Die Brennstoffzelle **1** kann, um eine höhere elektrische Spannung zu erzeugen, mit mehreren Zellen versehen sein, die zu einem sogenannten Stack in Reihe geschaltet sind.

[0018] Wie man sieht, wird das erfindungsgemäße Verfahren vorliegend zum Regeln der Temperatur der Abluft beziehungsweise des Abgases aus der Kathode verwendet. Zusätzlich oder alternativ könnte das Verfahren jedoch auch zur Regelung der Temperatur des Abgases aus der Anode verwendet werden, oder die Abgase aus Anode und Kathode könnten vereint und die Temperatur des Abgasgemisches erfindungsgemäß geregelt werden.

[0019] Die Brennstoffzuleitung **4** und die Abgasleitung **14** für Abgas aus der Anode sind nur ansatzweise dargestellt, da sie bei der vorliegenden Ausführung nicht zur Regelung der Abgastemperatur herangezogen werden.

[0020] In der Oxidationsstoffzuleitung **5**, welche in der Kathode **3** zum Zuführen von O₂-haltigem Gas zur Kathode **3** mündet, wobei vorliegend Luft als Oxidationsstoff verwendet wird, ist in Strömungsrichtung gesehen, beginnend an einem Lufteinlass hintereinander ein Luftfilter **11**, ein Schalldämpfer **12**, ein Kompressor **8**, ein Ladeluftkühler **13** und ein Befeuchter **7** angeordnet. Die Temperatur der Ladeluft (allgemein des Oxidationsstoffes) wird in dem Kompressor **8** erhöht, beispielsweise – wie dargestellt – auf 120 bis 160 Grad Celsius. Im nachfolgenden Ladeluftkühler **13** wird die Luft wiederum abgekühlt, beispielsweise auf 90 Grad Celsius bis 100 Grad Celsius, oder – wie dargestellt – auf 90 Grad Celsius bis 110 Grad Celsius.

[0021] Der gezeigte Ladeluftkühler **13** mit seinem Kühlwasserkreislauf (allgemein Kühlmediumkreislauf ohne Beschränkung auf das Kühlmedium Wasser), wobei der Kühlwasserkreislauf beispielsweise ein Leitungszweig des Fahrzeugkühlkreislaufes, insbesondere eines Hochtemperatur-Kühlwasserkreislaufes, sein kann, ist nur ein mögliches Ausführungsbeispiel für eine Kühlvorrichtung **9**, um den gesamten Oxidationsstoffstrom in der Oxidationsstoffzuleitung **5** zu kühlen. Alternativ könnte auch nur ein Teil des

Oxidationsstoffes der Oxidationsstoffzuleitung **5** durch eine Kühlvorrichtung geleitet werden, und zusätzlich ein Bypass zu der Kühlvorrichtung vorgesehen sein, durch welchen der übrige Oxidationsstoff der Oxidationsstoffzuleitung **5** geleitet wird, welcher nicht durch die Kühlvorrichtung gekühlt werden soll. Durch entsprechendes Aufteilen, beispielsweise mit einem regelbaren 3/2-Wegeventil oder dergleichen, der Oxidationsstoffströme auf die Kühlvorrichtung und durch den Bypass an dieser vorbei, wobei auch die beiden Grenzfälle umfasst sein können, dass der gesamte Oxidationsstoff oder nichts von diesem durch die Kühlvorrichtung geleitet wird, kann die gewünschte Temperatur des Oxidationsstoffes nach dem erneuten Vereinen des Oxidationsstoffes aus der Kühlvorrichtung mit dem Oxidationsstoff aus dem Bypass eingestellt werden.

[0022] Um die Temperaturen im Bereich von 100 Grad Celsius bis 110 Grad Celsius oder darüber hinaus in dem nachfolgenden Befeuchter **7** ohne das Risiko einer Schädigung des Befeuchters **7** zulassen zu können, kann der Befeuchter **7** vorteilhaft mit entsprechend temperaturfesten Polymerfasern versehen sein.

[0023] Am Ausgang des Befeuchters **7**, das heißt im Bereich des Lufteintritts in die Kathode **3**, kann die Temperatur dann etwa oder genau 90 Grad Celsius betragen.

[0024] Durch das vergleichsweise hohe Temperaturniveau am Eintritt des Oxidationsstoffes in den Befeuchter **7** wird erreicht, dass ein verhältnismäßig großer Wärmestrom **15** von dem Oxidationsstoff (der Zuluft der Kathode **3**) zu dem Abgas in der Abfuhrleitung **6** aus der Kathode **3** strömt. Hierdurch wird das Abgas in der Abfuhrleitung **6** entsprechend aufgeheizt.

[0025] Insbesondere strömt das Abgas aus der Kathode **3** unmittelbar zu dem Befeuchter **7**, durch diesen hindurch, wobei es die genannte Wärmemenge aufnimmt, und weiter durch einen Abgaskatalysator **16**, eine Expansionsmaschine, insbesondere in Form der gezeigten Turbine **17**, und eine Abgasanlage **18**.

[0026] In dem Abgaskatalysator **16** kann das Abgas zusätzlich erwärmt werden.

[0027] Die Turbine **17** treibt beispielsweise den Kompressor **8** an, wobei die Turbine **17** insbesondere über eine gemeinsame Welle an dem Kompressor **8** angeschlossen ist.

[0028] Zusätzlich oder alternativ kann mit der Turbine **17** ein elektrischer Generator **19** angetrieben werden, welcher beispielsweise einen Elektromotor zum Antrieb des Kompressors **8** mit elektrischer Leistung versorgt. Es ist jedoch auch möglich, nur eine elektri-

sche Maschine zum Antrieb des Kompressors **8** vorzusehen, welche den Kompressor **8** immer dann antreibt, wenn die Turbine **17** nicht genügend Antriebsleistung liefert, und welche zugleich als elektrischer Generator arbeiten kann, wenn die Turbine **17** diese elektrische Maschine insbesondere zusätzlich zu dem Kompressor **8** antreibt.

[0029] Die Abgasanlage **18** kann beispielsweise ein Rohr und einen Resonator mit integrierter Wasserabscheidung umfassen oder aus diesen Bauteilen bestehen. Die Wasserabscheidung kann durch Verdüsen, Beheizen oder dergleichen erfolgen. Das Wasser tritt aus dem Wasserauslass **20** aus, wohingegen das Abgas beziehungsweise die Abluft ohne Wasser in der Flüssigphase am Austritt **21** austritt.

[0030] Am Austritt **21** der Abfuhrleitung **6** kann, wie dargestellt, ein Temperatursensor **22** vorgesehen sein, welcher die Temperatur des Abgases am Austritt **21** misst. In Abhängigkeit dieser Temperaturmessung kann eine Steuervorrichtung (nicht dargestellt) des Brennstoffzellensystems die Temperatur des Oxidationsstoffes am Eintritt des Befeuchters **7** einstellen, beispielsweise – wie dargestellt – durch entsprechendes öffnen und/oder Schließen eines Regelventils **23** in einem Kühlmediumkreislauf, beispielsweise Kühlwasserkreislauf, mit welchem der Oxidationsstoff in dem Ladeluftkühler **13** gekühlt wird. Mit zunehmendem öffnen des Regelventils **23** wird der Kühlmediumstrom vergrößert, so dass eine stärkere Abkühlung des Oxidationsstoffes in dem Ladeluftkühler **13** erfolgt, wohingegen durch zunehmendes Schließen des Regelventils **23** der Kühlmediumstrom verringert wird, so dass die Kühlung des Oxidationsstoffes im Ladeluftkühler **13** entsprechend geringer ist. Besonders vorteilhaft kann das zunächst bis auf ein vorgegebenes Ausmaß oder vollständig geöffnete Regelventil **23** so lange Schritt für Schritt oder kontinuierlich geschlossen werden, bis die am Austritt **21** gemessene Temperatur des Abgases der Abfuhrleitung **6** 70 Grad Celsius erreicht oder überschreitet.

[0031] Sollte trotz vollständigem Schließen des Regelventils **23** die gewünschte Temperatur am Auslass **21** nicht erreicht werden können, so kann das Abgas durch zusätzliche Maßnahmen, beispielsweise durch Einschalten einer Heizung beziehungsweise durch Erhöhen der Heizleistung in der Abgasanlage **20** erhöht werden.

[0032] Gemäß einer besonderen Ausführung der Regelung kann zwischen einem Winterbetrieb und einem Sommerbetrieb unterschieden werden, wobei im Winterbetrieb eine höhere Temperatur des Abgases beziehungsweise des Prozessgases (hier des Oxidationsstoffes) eingestellt wird. Zur Entscheidung, ob der Winterbetrieb oder der Sommerbetrieb zu einem gegebenen Zeitpunkt geeignet ist, kann ein

Außentemperatursensor vorgesehen sein, welcher die Außentemperatur misst. Alternativ kann auch manuell oder automatisch anhand eines Datums zwischen dem Winterbetrieb und dem Sommerbetrieb umgeschaltet werden. Unter manueller Umschaltung ist dabei auch eine Programmierung beziehungsweise das Setzen eines Vorgabewertes in einer vorgesehenen Steuerung und/oder das Betätigen eines Schalters oder dergleichen zu verstehen.

[0033] Im Winterbetrieb kann beispielsweise die Temperatur des Kühlmediums im Ladeluftkühler **13** gegenüber dem Sommerbetrieb erhöht sein, beispielsweise um genau oder etwa 5 Grad Celsius. Insbesondere beträgt die Temperatur des Kühlmediums im Winter 70 Grad Celsius und im Sommerbetrieb 65 Grad Celsius. Zusätzlich oder alternativ kann auch die Massenstromregelung im Kühlmediumkreislauf mittels des Regelventils **23** im Winterbetrieb gegenüber dem Sommerbetrieb verändert werden, indem im Winterbetrieb weniger Kühlmedium zum Ladeluftkühler **13** geführt wird als im Sommer.

[0034] Im Winterbetrieb kann beispielsweise eine Temperatur des Abgases am Kathodenaustritt von 75 Grad Celsius eingestellt werden, wohingegen im Sommerbetrieb eine Temperatur an dieser Stelle von 70 Grad Celsius eingestellt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln der Abgastemperatur eines Brennstoffzellensystems, wobei das Brennstoffzellensystem eine Brennstoffzelle (**1**) mit einer Anode (**2**) und einer Kathode (**3**) umfasst, ferner eine Brennstoffzuleitung (**4**) zum Zuleiten von H₂-haltigem Brennstoff zur Anode (**2**), eine Oxidationsstoffzuleitung (**5**) zum Zuleiten von O₂-haltigem Gas zur Kathode (**3**) und wenigstens einer Abführleitung (**6**) zum Abführen von Anodengas und/oder Kathodengas aus der Brennstoffzelle (**1**); wobei die Abführleitung (**6**) über wenigstens einen Befeuchter (**7**) mit der Brennstoffzuleitung (**4**) und/oder der Oxidationsstoffzuleitung (**5**) derart verbunden ist, dass der Brennstoff und/oder der Oxidationsstoff mit Feuchtigkeit aus dem Abgas befeuchtet wird; **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abgastemperatur durch Verändern der Temperatur des Brennstoffes in der Brennstoffzuleitung (**4**) und/oder des Oxidationsstoffes in der Oxidationsstoffzuleitung (**5**) und durch Übertragen eines Wärmestromes in dem Befeuchter (**7**) von dem Brennstoff und/oder dem Oxidationsstoff auf das Abgas geregelt wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Übertragung des Wärmestromes in dem wenigstens einen Befeuchter (**7**) als einzige gezielte Übertragung von Wärme zwischen dem Brennstoff und/oder dem Oxidationsstoff und dem

Abgas genutzt wird.

3. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Oxidationsstoff in der Oxidationsstoffzuleitung (**5**) mittels einer Kühlvorrichtung (**9**) gekühlt wird, insbesondere nach seiner Verdichtung in einem Kompressor (**8**), und die Temperatur des Oxidationsstoffes zum Regeln der Abgastemperatur durch Verändern des Massenstroms des Oxidationsstoffes, der durch die Kühlvorrichtung (**9**) geleitet wird, oder des Kühlmediums, mit welchem der Oxidationsstoff in der Kühlvorrichtung (**9**) gekühlt wird, insbesondere mittels eines Regelventils (**23**) in der Kühlmediumströmung, verändert wird.

4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die tatsächliche Temperatur des Abgases insbesondere direkt mittels eines Temperatursensors (**22**) in der Abführleitung (**6**), insbesondere am Austritt (**21**) derselben, gemessen wird, und in Abhängigkeit des gemessenen Temperaturwertes die Temperatur des Brennstoffes und/oder des Oxidationsstoffes geändert wird.

5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in Strömungsrichtung des Abgases gesehen in der Abführleitung (**6**) vor und/oder hinter dem Befeuchter (**7**) das Abgas durch einen Wasserabscheider, insbesondere Resonator mit integriertem Wasserabscheider, geleitet wird.

6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Befeuchter (**7**) ein Gas-Gas-Befeuchter genutzt wird.

7. Verfahren gemäß der Ansprüche 3 und 4 und insbesondere einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Oxidationsstoffes am Eintritt in den Befeuchter (**7**) so lange durch Vermindern der Kühlung erhöht wird, bis die Temperatur des Abgases in der Abführleitung (**6**), insbesondere am Austrittsende derselben, auf 70 Grad Celsius oder mehr angestiegen ist.

8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung zwei Betriebszustände aufweist, einen Winterbetrieb und einen Sommerbetrieb, und dass die Abgastemperatur im Winterbetrieb auf einen größeren Wert geregelt wird als im Sommerbetrieb.

9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgastemperatur zusätzlich in einem Abgaskatalysator (**16**) erhöht wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

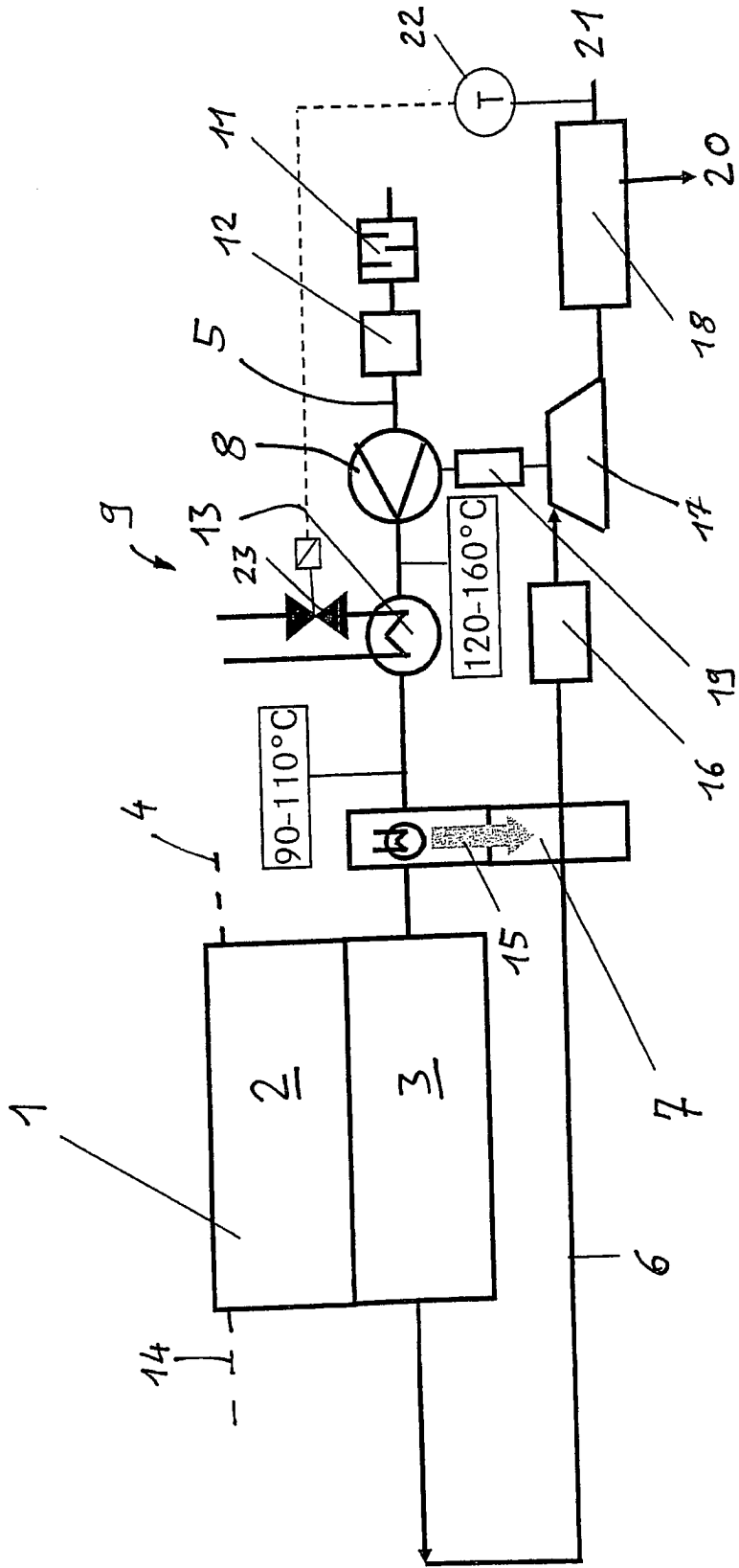


Fig. 1