



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 55 508 C5 2008.10.30**

(12)

Geänderte Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 55 508.3**

(22) Anmeldetag: **13.11.2001**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **08.05.2003**

(45) Veröffentlichungstag
 des geänderten Patents: **30.10.2008**

(51) Int Cl.⁸: **F02C 6/18 (2006.01)**
F01K 23/10 (2006.01)

Patent nach Einspruchsverfahren beschränkt aufrechterhalten

(66) Innere Priorität:
100 58 751.8 28.11.2000

(73) Patentinhaber:
MAN TURBO AG, 46145 Oberhausen, DE

(74) Vertreter:
Radünz, I., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 40237 Düsseldorf

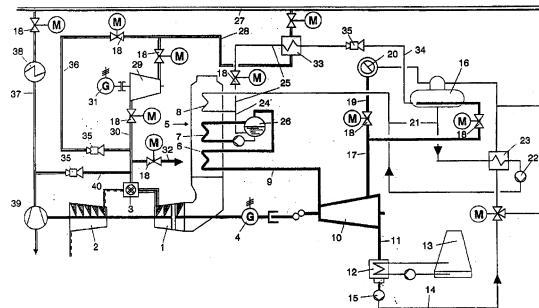
(72) Erfinder:
Gericke, Bernd, Dipl.-Ing., 51067 Köln, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE 44 16 359 C2
US 46 93 072
EP 03 91 082 A2
EP 06 59 980 A1
DE 195 12 466 C1
JP 10-3 06 708
US 46 93 072

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von elektrischer Energie**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Erzeugung von elektrischer Energie aus der Entladung eines Erdgasspeichers mit Hilfe einer Entspannungsturbine (29), Dampfturbine (10) und einer Gasturbine (1), der eine Brennkammer (3) vorgeschaltet und ein Abhitzekegel (5) nachgeschaltet ist, der mit von einem Wasser-Dampf-Kreislauf durchströmten und als Speisewasservorwärmer (8), Verdampfer (7) und Überhitzer (6) ausgebildeten Heizflächen versehen ist, wobei unter hohem Eingangsdruck stehendes Erdgas erwärmt und anschließend in der Entspannungsturbine (29) auf den Verbraucherdruck entspannt und zu einem Anteil in der Brennkammer (3) verbrannt wird, dadurch gekennzeichnet, dass von dem in den Heizflächen des Abhitzekegels (5) erhitzten Wasser-Dampf-Kreislauf ein Teilstrom abgezweigt wird, dass das in dem Speisewasservorwärmer (8) vorgewärmte Speisewasser in einen ersten und einen zweiten Teilstrom aufgeteilt wird, dass der erste Teilstrom dem Verdampfer (7) des Abhitzekegels (5) zugeführt wird und dass mit dem zweiten Teilstrom das unter dem hohen Eingangsdruck stehende Erdgas in einem Gas/Wasser-Wärmetauscher (33) erwärmt wird, dass die dem Abhitzekegel (5)...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von elektrischer Energie aus der Entladung eines Erdgasspeichers mit Hilfe einer Entspannungsturbine, einer Dampfturbine und einer Gasturbine mit den Merkmalen des Oberbegriffes der Ansprüche 1, 8 und 9.

[0002] Der steigende Verbrauch von elektrischer Energie in den Industrieländern wird zunehmend durch Erdgas gedeckt. Über große Verbundnetze wird das Erdgas zu den einzelnen industriellen Verbrauchern gefördert, wobei der Leitungsdruck durch Kompressorstationen auf etwa 80 bar konstant gehalten wird. Für die industriellen erdgasgefeuerten kombinierten Gas/Dampfturbinen-Anlagen muss das Erdgas auf das vorhandene Druckniveau in der Gasturbinenbrennkammer reduziert werden. Enthält der Abhitzekessel der Anlage aus prozessbedingten Gründen noch eine Zusatzfeuerung, muss hierbei der entsprechende Druck des Erdgasmassenstromes auf etwa 2 bar reduziert werden.

[0003] Durch die Druckreduzierung mit einer eventuellen vorherigen elektrischen Aufheizung des Erdgases werden die geforderten Vordrücke der Verbraucher ohne Vereisung der Rohrleitungsarmaturen problemlos erreicht. Diese Art der Druckreduzierung ist mit hohen Verlusten verbunden und stellt im Sinne der öffentlichen Diskussionen um CO₂-Reduktionspotentiale eine Energievernichtung dar.

[0004] Durch eine Entspannung des Erdgases in einer Entspannungsturbine (Expander) kann das hohe Druckpotential des Erdgases in mechanische Energie umgewandelt werden. Problematisch ist dabei der starke Temperaturabfall nach der Entspannung, wodurch es an den der Entspannungsturbine nachgeschalteten Rohrleitungsarmaturen aufgrund des Joule-Thomson-Effektes leicht zu Vereisungen kommen kann.

[0005] Durch ein entsprechend hohes Aufheizen des Erdgases vor der Entspannung kann sowohl die Vereisungsgefahr minimiert, als auch eine höhere elektrische Leistung bei der Expansion erzielt werden.

[0006] Aus der DE-PS 44 16 359 ist eine Hochtemperatur-Erdgasentspannungsanlage bekannt, bei der die Temperaturerhöhung des unter hohem Druck stehenden Erdgases im Wärmetausch mit dem Turbinenabgas einer vorgeschalteten Gasturbinenanlage erfolgt. Dabei kann das Erdgas in einem Gas/Gas-Wärmetauscher oder über einen mit Thermostöl betriebenen Zwischenkreislauf eines Abhitzekessels erwärmt werden. Nachteilig bei dem Gas/Gas-Wärmetauscher ist, dass bei eventuellen Undichtigkeiten auf der Erdgasseite eine Feuerge-

fahr wegen der hoher Temperatur und des hohen Sauerstoffanteils des Turbinenabgases besteht. In der DE-PS 44 16 359 wird auf eine mögliche Einbindung der Erdgas-Entspannungsturbine in einen kombinierten, eine Gasturbine und einen Abhitzedampferzeuger umfassenden Gas/Dampfturbinen-Prozess nicht eingegangen.

[0007] Aus der US-PS 46 93 072 ist eine kombinierte Gas-Dampf-Kraftanlage bekannt, die mit unter hohem Eingangsdruck stehendem Erdgas betrieben wird. In dieser Anlage wird das Erdgas durch Entnahmedampf oder Abdampf der Dampfturbine erwärmt. Damit wird der Wirkungsgrad des kombinierten Gas/Dampfturbinen-Prozesses reduziert. Bei einer Teillastfahrweise der Dampfturbine sinken jedoch an der Entnahmestelle die Dampfdrücke, wodurch das Erdgas geringer aufgewärmt wird und die Gefahr einer Vereisung hinter der Entspannungsturbine entsteht. Ferner besteht keine Möglichkeit, die Temperatur des Erdgases zu regeln.

[0008] Aus der VGB Kraftwerkstechnik 63, Heft 5, Mai 1983 sind Erdgasentspannungsturbinen zur Energierückgewinnung für erdgasbefeuerte Großkraftwerke bekannt, bei denen über einen Eindruck-Abhitzekessel Hochdruckdampf erzeugt wird, der in einer Entnahme-Kondensations-Turbine elektrischen Strom erzeugt. Aus dem Niederdruckteil der Dampfturbine wird ein Dampf-Teilstrom zur Erdgasvorwärmung ausgekoppelt. Der Dampf-Teilstrom überträgt durch Kondensation die notwendige Wärme an das vorzuwärmende Erdgas über ein Wärmeverschiebesystem mit Hochdruckwasser als Zwischenmedium. Dabei müssen wegen optimaler Grädigkeit an den Wärmetauschern erhebliche Heißwassermengen umgewälzt werden, was zu einem erhöhten Eigenbedarf führt.

[0009] Die in der VGB Veröffentlichung dargestellte Art der Vorwärmung der geringen Brennstoffmenge der Gasturbine erfordert sehr geringe Gaseintrittsparameter (Druck und Temperatur), da ansonsten eine optimale Beschaukelung in den ersten Stufen der Entspannungsturbine kaum realisierbar ist. Bei Erdgasspeichern liegen dagegen die Gaseintrittsparameter bis zu vierfach höher und die zu expandierenden Erdgasmengen sogar bis zu dreißigfach höher, wodurch bei gleichem Expansions-Enddruck eine weitaus höhere Vorwärmung des Erdgases notwendig ist.

[0010] Weiter ist aus der EP 0 391 082 A2 eine kombinierte Gas/Dampfturbinenanlage bekannt, bei welcher der Brennstoff vorgewärmt wird, der einer Verbrennungsturbine zugeführt wird, wobei ein erhöhter Speisewasserstrom durch ein Economiserteil eines Abhitzedampferzeugers vorgesehen ist. Der überschüssige Speisewasserstrom, der für die Aufrechterhaltung einer Sattedampferzeugung in einem Verdampferteil nicht erforderlich ist, wird über einen Wär-

metauscher geführt, in dem der Brennstoff für die Gasturbine vorgewärmt wird. Dabei wird zusätzliche Wärme aus dem Abhitzesystem entzogen. Auf diese Weise wird der Gesamtwirkungsgrad des Systems um 0,5% bis 1% gesteigert.

[0011] Aus der DE 195 12 466 C1 ist eine Gas- und Dampfturbinenanlage mit einem Abhitzedampferzeuger bekannt, in dem die im entspannten Arbeitsmittel aus der Gasturbine enthaltene Wärme zur Erzeugung von Dampf für die in einen Wasser-Dampf-Kreislauf geschaltete Dampfturbine genutzt wird. Dabei wird kondensierter Dampf aus der Dampfturbine dem Wasser-Dampf-Kreislauf als Kondensat zugeführt. Zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrades unabhängig vom eingesetzten Brennstoff für die Gasturbine wird bei Verwendung von Öl als Brennstoff für die Gasturbine ein solcher Teilstrom aus dem Wasser-Dampf-Kreislauf zur Kondensatvorwärmung herangezogen, der bei Verwendung von Gas als Brennstoff für die Gasturbine zur Brennstoffvorwärmung verwendet wird. Dazu ist eine Wärmetauscher zur wahlweisen Vorwärmung entweder des Gasturbinenbrennstoffs oder des Kondensats mittels des Teilstroms vorgesehen.

[0012] Die bekannten Anlagen betreffen im wesentlichen Gas/Dampfturbinenanlagen mit Abhitzedampferzeugern. Bei solchen Anlagen soll der Wirkungsgrad gesteigert werden. Die technischen Schwierigkeiten, die bei der Erzeugung von elektrischer Energie aus der Entladung eines Erdgasspeichers entstehen, sind in den bekannten Druckschriften nicht erwähnt.

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Entspannung des Erdgases in einer Entspannungsturbine so in einem Gas/Dampfturbinen-Prozess einzubinden, dass es an den der Entspannungsturbine nachgeschalteten Rohrleitungsarmaturen nicht zu Vereisungen kommt und die Stromerzeugung oder Abwärmennutzung des eigentlichen Gas/Dampfturbinen-Prozesses nicht beeinflusst wird.

[0014] Die Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruches 1 gelöst. Eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist jeweils Gegenstand der Ansprüche 8 und 9. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0015] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt eine Wärmeauskopplung über einen Teilstrom des in den Heizflächen des Abhitzekessels erhitzten Wasser-Dampf-Kreislaufes als Zwischenmedium für die Erwärmung des Hochdruck-Erdgases. Dazu dient das Speisewasser des Hochdruckkreislaufes oder der in dem Niederdruckteil eines Zweidruck-Dampf-

erzeugungssystemes erzeugte Niederdruckdampf. Durch die Integration dieses Zwischenkreislaufes zur Erwärmung des Erdgases am kalten Ende des Abhitzekessels wird die Stromerzeugung oder Abwärmennutzung des eigentlichen Gas/Dampfturbinen-Prozesses nicht beeinflusst. Durch das hohe Verhältnis von Turbinenabgasmenge zur Erdgasmenge (von etwa 45:1 z. B. bei 400 MW-Blöcken mit einer Gasturbinenleistung von 250 MW und einer Dampfturbinenleistung von 150 MW) ist selbst bei höchster Erdgasvorwärmung der thermodynamische Einfluss auf das gesamte Abhitzesystem äusserst gering. Außerdem kann durch die Nutzung des Abwärmepotentials am kalten Ende des Abhitzekessels das Erdgas je nach wärmetechnischer Schaltung des Abhitzekessels auf höchstmögliche Temperaturen aufgewärmt werden. Die sich nach der Entspannung einstellende Temperatur des Erdgases stellt je nach Höhe eine Gasturbinen-Wirkungsgradsteigerung dar, da dadurch ein Teil der Abwärme in die Brennkammer der Gasturbine zurückgeführt wird.

[0016] Erfolgt die Erwärmung des Erdgases durch den Niederdruckdampf des Zweidruck-Dampferzeugungssystemes, so wird dieser Niederdruckteil im Festdruckbetrieb gefahren. Dadurch kann jede gewünschte Erdgastemperatur unabhängig von der Dampfturbinenlast eingeregelt werden.

[0017] Mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im Folgenden näher erläutert. Es zeigen:

[0018] [Fig. 1](#) das Schema eines Gas/Dampfturbinen-Prozesses mit einer Entspannungsturbine,

[0019] [Fig. 2](#) das Schema eines Gas/Dampfturbinen-Prozesses mit einer Entspannungsturbine gemäß einer anderen Ausführungsform

[0020] [Fig. 3](#) ein Schaltungsschema für eine Regelung des Durchsatzes des Speisewassers durch den Speisewasservorwärmer und den Gas/Wasser-Wärmetauscher und

[0021] [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) jeweils das Schema eines Gas/Dampfturbinen-Prozesses mit einer Entspannungsturbine gemäß einer weiteren Ausführungsform.

[0022] Eine Gasturbinenanlage besteht aus einer Gasturbine **1**, einem Kompressor **2** zur Verdichtung von Verbrennungsluft, einer Brennkammer **3** zur Erzeugung eines Heißgases und aus einem Generator **4** zur Stromerzeugung. Die Gasturbine **1**, der Generator **4** und der Kompressor **2** können auf einer gemeinsamen Welle oder auf mehreren Wellen angeordnet sein.

[0023] Der Gasaustritt der Gasturbine **1** ist mit ei-

nem Abhitzekessel **5** zur Dampferzeugung verbunden. In dem Abhitzekessel **5** sind gemäß [Fig. 1](#) in Strömungsrichtung der Turbinenabgase hintereinander die Heizflächen eines Überhitzers **6**, eines Verdampfers **7** und eines Speisewasservorwärmers **8** eines Hochdrucksystemes angeordnet. An den Überhitzer **6** ist eine Dampfleitung **9** angeschlossen, die zu einer Dampfturbine **10** geführt ist. Die Dampfturbine **10** ist mit dem Generator **4** gekoppelt.

[0024] Der Ausgang der Dampfturbine **10** ist mit einer Abdampfleitung **11** verbunden, die zu einem Kondensator **12** geführt ist. In dem Kondensator **12** wird der Abdampf durch einen Kühlkreislauf kondensiert, der durch einen Kühlturm **13** geführt ist. Das Kondensat wird über eine Kondensatleitung **14**, in der eine Förderpumpe **15** angeordnet ist, zu einem Entgaser **16** gefördert. Der Entgaser **16** wird mit Anzapfdampf betrieben, der der Dampfturbine **10** über eine Anzapfleitung **17** entnommen wird. Von dieser Anzapfleitung **17** kann eine durch ein Absperrventil **18** absperrbare Leitung **19** abgezweigt werden, die zu einem Wärmeverbraucher **20** geführt ist.

[0025] An den Entgaser **16** ist eine Speisewasserleitung **21** angeschlossen, die an den in dem Abhitzekessel **5** angeordneten Speisewasservorwärmer **8** angeschlossen ist. In der Speisewasserleitung **21** ist eine Speisewasserpumpe **22** angeordnet, die den Druck des Speisewassers erhöht. Die Speisewasserleitung **21** ist an einen in der Kondensatleitung **14** angeordneten Kondensatvorwärmer **23** angeschlossen, in dem ein Wärmetausch zwischen dem Kondensat und dem Speisewasser stattfindet. Dabei wird das Kondensat bis auf einige Kelvin unterhalb der Temperatur des Speisewassers erwärmt, wobei gleichzeitig die Speisewassertemperatur beim Eintritt in den Speisewasservorwärmer **8** am kalten Ende des Abhitzekessels **5** abgesenkt wird. Dies ist für die später beschriebene Erwärmung des der Brennkammer **3** zugeführten Erdgases in einem Gas/Wasser-Wärmetauscher **33** von Bedeutung. Es bleibt nämlich einerseits die Dampfleistung des kombinierten Gas-/Dampfturbinen-Prozesses erhalten, und andererseits wird die ausnutzbare Temperaturdifferenz in dem Gas/Wasser-Wärmetauscher **33** erhöht.

[0026] An das Austrittsende des Speisewasservorwärmers **8** sind zwei Zweigleitungen **24**, **25** angeschlossen. Die erste Zweigleitung **24** mündet in den Wasserraum einer der Wasser/Dampf-Trennung dienenden Dampftrommel **26** ein, die mit dem Verdampfer **7** und dem Überhitzer **6** in Verbindung steht.

[0027] Die Brennkammer **3** der Gasturbine **1** wird mit Erdgas beheizt, das über eine Versorgungsleitung **27** angeliefert wird und unter einem hohen Eingangsdruck von etwa 80 bar steht. Die Versorgungsleitung **27** ist über eine Hochdruckgasleitung **28** mit dem Eintritt einer Entspannungsturbine **29** verbun-

den, deren Austritt über eine Niederdruckgasleitung **30** an die Brennkammer **3** angeschlossen ist. In der Hochdruckgasleitung **28** und in der Niederdruckgasleitung **30** sind Absperrventile **18** angeordnet. Die Entspannungsturbine **29** ist mit einem weiteren Generator **31** zur Stromerzeugung gekoppelt. In der Entspannungsturbine **29** wird der hohe Eingangsdruck des Erdgases unter Gewinnung von elektrischer Energie bis auf den Druck der Brennkammer **3** abgebaut. Von der Niederdruckleitung **30** kann eine durch ein Absperrventil **18** absperrbare Leitung **32** abgezweigt werden, die zu einem zusätzlichen Erdgasverbraucher geführt ist.

[0028] In der Hochdruckgasleitung **28** ist der als Druckbehälter ausgebildete Gas/Wasser-Wärmetauscher **33** angeordnet, in dem das Erdgas erwärmt wird, um eine mögliche Vereisung der Ventile in der Niederdruckgasleitung **30** zu vermeiden. Als Wärmeträger dient das in dem Speisewasservorwärmer **8** des Abhitzekessels **5** vorgewärmte Speisewasser. Zu diesem Zweck ist die zweite von dem Austritt des Speisewasservorwärmers **8** abzweigende Zweigleitung **25** an den Gas/Wasser-Wärmetauscher **33** angeschlossen. In diesem Gas/Wasser-Wärmetauscher **33** wird das vorgewärmte Speisewasser unter Erwärmung des Erdgases bis auf eine Temperatur unterhalb der des Entgasers **16** abgekühlt. An den speisewasserseitigen Austritt des Gas/Wasser-Wärmetauschers **33** ist eine Rückführleitung **34** angeschlossen, in der ein Druckreduzierventil **35** angeordnet ist. Die Rückführleitung **34** ist zu dem Entgaser **16** zurückgeführt.

[0029] Der Durchsatz des Speisewassers durch den Speisewasservorwärmer **8** und den Gas/Wasser-Wärmetauscher **33** ist größer als der Dampfleistung des kombinierten Gas-/Dampfturbinen-Prozesses entspricht. Durch diesen höheren Speisewasserdurchsatz kann bei gleicher Speisewasseraufwärmung die Abgastemperatur am Austritt des Abhitzekessels **5** je nach vorzuwärmender Erdgasmenge erheblich gesenkt werden.

[0030] Vor dem Eintritt in die Entspannungsturbine **29** zweigt von der Hochdruckgasleitung **28** eine die Entspannungsturbine **29** umgehende Bypassleitung **36** ab. Die Bypassleitung **36**, in der ein Absperrventil **18** und ein Druckreduzierventil **35** angeordnet sind, mündet in die Niederdruckgasleitung **30** ein.

[0031] Von der Versorgungsleitung **27** zweigt parallel zu der Entspannungsturbine **29** eine durch ein Absperrventil **18** absperrbare Anfahrleitung **37** ab. In der Anfahrleitung **37** sind ein elektrischer Aufheizter **38** zur Erwärmung des unter Druck stehenden Erdgases und ein Anfahrexpander **39** zur Entspannung des Erdgases angeordnet. Der Anfahrexpander **39** ist mit dem Kompressor **2** der Gasturbinenanlage gekoppelt. Über eine mit einem Druckreduzierventil **35** ver-

sehene Leitung **40** ist die Anfahrlleitung **37** außerdem mit der Niederdruckgasleitung **30** verbunden.

[0032] Wie in der [Fig. 2](#) gezeigt ist, kann der Abhitzekeessel **5** auch mit einem Zweidrucksystem ausgerüstet werden, wobei jedes Teilsystem (Hochdrucksystem und Niederdrucksystem) einen eigenen Verdampfer **7, 7'** und einen eigenen Überhitzer **6, 6'** aufweist. Ein zweigeteilter Speisewasservorwärmer **8** ist nur auf der Hochdruckseite vorgesehen. Der Überhitzer **6'** des Niederdrucksystems ist mit dem Niederdruckteil der Dampfturbine **10** verbunden. Der Gas/Wasser-Wärmetauscher **33** zur Aufwärmung des Erdgases ist an den Speisewasservorwärmer **8** des Hochdrucksystemes angeschlossen.

[0033] Der Abhitzekeessel **5** kann auch mit einer Zusatzfeuerung **41** versehen sein, die mit Erdgas von geringerem Druck befeuert wird. Die Entspannung dieses Erdgasstromes erfolgt in einer zweiten Entspannungsturbine **42**, die der ersten Entspannungsturbine **29** nachgeschaltet und über Kupplungen mit dem weiteren Generator **31** verbunden ist. Der Ausgang der zweiten Entspannungsturbine **42** ist über eine durch ein Absperventil **18** absperrbare Gasleitung **43** mit der Zusatzfeuerung **41** verbunden.

[0034] Im Falle eines Gasturbinenschnellschlusses wird der kombinierte Gas-/Dampfturbinen-Block im Frischluftbetrieb gefahren. Über ein Frischluftgebläse **47** und über die vorhandene Zusatzfeuerung **41** werden bei dem so genannten simulierten Abhitzebetrieb die gleichen Abgasparameter wie im Zusatzfeuerungsbetrieb erreicht. Die Feuerungsleistung der Zusatzfeuerung **41** liegt dabei in der Größenordnung des Erdgaseinsatzes für die Gasturbine **1**. Damit kann bei diesem Störfall die Erdgaserwärmung ohne Unterbrechung gewährleistet werden.

[0035] Die Regelung der Speisewassermengen zu dem Speisewasservorwärmer **8** und dem Gas/Wasser-Wärmetauscher **33** erfolgt über die in [Fig. 3](#) dargestellte 3-Komponentenregelung. Dabei ist in der ersten, von dem Speisewasservorwärmer **8** zu der Dampftrommel **26** führenden Zweigleitung **24** eine Ventilanordnung **44** vorgesehen. Diese Ventilanordnung **44** regelt die dem Abhitzekeessel **5** zufließende Speisewassermenge entsprechend der Lastanforderung des Abhitzekeessels **5**. In die zweite zu dem Gas/Wasser-Wärmetauscher **33** führende Zweigleitung **25** ist ein Druckbehälter **45** eingefügt, der mit einer Wasserstandsregelung **46** versehen ist. Diese Wasserstandsregelung **46** hält die durch den Gas/Wasser-Wärmetauscher **33** fließende Speisewassermenge auf einen konstanten Wert.

[0036] Für die Störfallbetrachtung sind zwei Betriebsfälle maßgebend: der Störfall der Entspannungsturbine **29** und der Störfall des Gas/Wasser-Wärmetauschers **33**. In dem Störfall der Ent-

spannungsturbine **29** wird das aufgewärmte Erdgas über die Bypassleitung **36** an der Entspannungsturbine **29** vorbeigeführt und über die Druckreduzierventile **35** (Drosselung) dem Verbrauchernetz oder der Brennkammer **3** der Gasturbine **1** zugeführt. Die Rückführung der anteiligen Abwärme führt dabei zu einem höheren Gasturbinen-Wirkungsgrad. Die Wärmeinkopplung in den Kreislauf zur Erwärmung des Erdgases bleibt dabei ständig im Eingriff. In dem Störfall des Gas/Wasser-Wärmetauschers **33** wird das Erdgas der Versorgungsleitung **27** direkt entnommen. Über den elektrischen Aufheizer **38** wird der bei der Drosselung in dem Druckreduzierventil **35** entstehende Temperaturabfall so kompensiert, dass keine Vereisungsgefahr an den nachgeschalteten Armaturen besteht. Durch die fehlende Wärmeinkopplung für den Erdgaskreislauf steigt die Abgastemperatur am Austritt des Abhitzekeessels **5** um etwa 100 K an.

[0037] Bei Erdgasspeicheranlagen liegen die Verhältnisse etwas anders, da die zu expandierenden Erdgasmengen erheblich größer sind als die Turbinenabgasmengen. Hier wird in Zeiten des geringsten Verbrauches in sogenannten Kavernen Erdgas eingespeichert, und bei höherem Erdgasbedarf erfolgt die Entladung des Speichers. Die Be- und Entladung erfolgt in zeitlich gleich langen Zyklen (jeweils ca. 4000 h/a).

[0038] Für die Beladung des Speichers werden oft elektromotorisch betriebene Verdichter eingesetzt, welche die notwendige elektrische Antriebsenergie aus dem öffentlichen Netz beziehen. Daneben wird zur Absicherung (Ausfall des öffentlichen Netzes) parallel eine Kombianlage mit gleicher elektrischer Leistung installiert. Die Höhe der Gasturbinenleistung wird dabei weitestgehend durch die erzeugte Abgasmenge wegen der Erdgaserwärmung bestimmt, wobei Gasturbinen mit geringer spezifischer Leistung (hohe Abgasmenge bei gleicher elektrischer Leistung) sich besonders anbieten.

[0039] Bei der Entladung des Erdgasspeichers über die Versorgungsleitung **27** wird in der Entspannungsturbine **29** mehr Erdgas entspannt, als in der Brennkammer **3** der Gasturbine **1** verbrannt wird. Das überschüssige entspannte Erdgas wird über die Leitung **32** einem Erdgasverbraucher zugeführt. Um diese größere Menge an Erdgas zu erwärmen, dient die in der [Fig. 4](#) dargestellte Schaltung. Von der von dem Entgaser **16** zu dem Speisewasservorwärmer **8** führenden Speisewasserleitung **21** ist vor deren Eintritt in den Speisewasservorwärmer **8** eine dritte Zweigleitung **48** abgezweigt. Diese dritte Zweigleitung **48** ist mit der ersten Zweigleitung **24** verbunden, die den Austritt des Speisewasservorwärmers **8** mit der Dampftrommel **26** verbindet. In der ersten Zweigleitung **24** und in der dritten Zweigleitung **48** ist jeweils vor der Verbindungsstelle der beiden Zweiglei-

tungen **24**, **48** ein Regelventil **49**, **50** angeordnet. Weiterhin ist in der ersten Zweigleitung **24** vor deren Eintritt in die Dampftrommel ein Regelventil **51** vorgesehen. Je nach der Stellung der Regelventile **49**, **50**, **51** kann der Speisewasservorwärmer **8** so mit Speisewasser beaufschlagt werden, dass das vorgewärmte Speisewasser wie bei den Schaltungen nach den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) sowohl dem Verdampfer **8** über die Dampftrommel **26** als auch zur Erwärmung des unter erhöhtem Druck stehenden Erdgases dem Gas/Wasser-Wärmetauscher **33** zugeführt werden. Hierbei ist das Regelventil **49** in der ersten Zweigleitung **24** geöffnet und das Regelventil **50** in der dritten Zweigleitung **48** geschlossen. Außerdem wird es möglich, das in dem Speisewasservorwärmer **8** vorgewärmte Speisewasser nur zur Erwärmung des Erdgases zu verwenden. In diesem Fall wird die Dampftrommel **26** bei geschlossenem Regelventil **49** und geöffnetem Regelventil **50** und **51** über die dritte Zweigleitung **48** mit nicht vorgewärmtem Speisewasser gespeist. Reicht die Leistung der Gasturbine **1** und des Abhitzekessels **5** für die notwendige elektrische Gesamtleistung dann nicht aus, so wird über die Zusatzfeuerung **41** die Leistung der Dampfturbine **10** angehoben werden.

[0040] Gemäß [Fig. 4](#) ist in Strömungsrichtung der Turbinenabgase hinter dem Speisewasservorwärmer ein Wärmetauscher **52** zur Erzeugung von Fernwärme vorgesehen.

[0041] Liegen bei der Entladung des Erdgasspeichers die Betriebsdrücke bei etwa 120 bis 140 bar, so muss aus apparativen Gründen die Aufheizung des Erdgases auf eine andere Weise erfolgen. In vorteilhafter Weise können dabei die Heizflächenrohre des Wärmetauschers **33** den Druckkörper zur Aufnahme des sehr hohen Erdgasdruckes bilden. Durch die hohen Wärmeübergangszahlen bei der Kondensation von Niederdruck-Dampf wäre einerseits der Heizflächenaufwand erheblich geringer und andererseits der Druckbehälter einfacher zu konzipieren. Wegen der erhöhten Erdgasparameter, wie Druck, Menge und gegebenenfalls Temperatur, sind die Entspannungsturbinen **29**, **42** in axialer Bauweise auszuführen. Vorteilhafterweise kommt für die Erdgasexpansion dann das Bauprinzip von Dampfturbinen zum Einsatz.

[0042] Bei Zwei-Druck-Kombianlagen kann der erzeugte Niederdruckdampf für die Vorwärmung des Erdgases benutzt werden. Eine solche Anlage ist in der [Fig. 5](#) dargestellt. Diese Anlage entspricht weitgehend der Anlage gemäß [Fig. 2](#). Es ist lediglich die zu dem Wärmetauscher **33** führende Zweigleitung **25** nicht mehr mit dem Austritt des Speisewasservorwärmers **8** sondern als Verbindungsleitung mit einer Niederdruck-Dampfleitung **56** verbunden, die an den Überhitzer **6'** des Niederdruckteils des Abhitzekessels **5** angeschlossen ist. Über diese Nieder-

druck-Dampfleitung **56** und die Verbindungsleitung **25** wird die notwendige Niederdruck-Dampfmenge dem Wärmetauscher **33** zugeführt. In dem Wärmetauscher **33** wird durch eine Wasserstandsregelung die geforderte Erdgasaufwärmung geregelt. Der restliche Niederdruckdampf dient der thermischen Entgasung des Speisewassers in dem Entgaser **16**.

[0043] Reicht die erzeugte Niederdruck-Dampfmenge aus dem Niederdruckteil des Abhitzekessels **5** zur erhöhten Deckung des Wärmebedarfes (z. B. für die zusätzliche Beheizung von Gebäuden in den Erdgas-Speicherkraftwerken) nicht aus, so kann durch eine entsprechende Dampfenahme gleicher Druckstufe über eine Entnahmeleitung **53** der Dampfturbine **10** und die Verbindungsleitung **54** der Dampfbedarf des Wärmeverbrauchers **20** gedeckt werden. Die verminderte Dampfturbinenleistung kann über die installierte Zusatzfeuerung **41** im Abhitzekessel **5** kompensiert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von elektrischer Energie aus der Entladung eines Erdgasspeichers mit Hilfe einer Entspannungsturbine (**29**), Dampfturbine (**10**) und einer Gasturbine (**1**), der eine Brennkammer (**3**) vorgeschaltet und ein Abhitzekessel (**5**) nachgeschaltet ist, der mit von einem Wasser-Dampf-Kreislauf durchströmten und als Speisewasservorwärmer (**8**), Verdampfer (**7**) und Überhitzer (**6**) ausgebildeten Heizflächen versehen ist, wobei unter hohem Eingangsdruck stehendes Erdgas erwärmt und anschließend in der Entspannungsturbine (**29**) auf den Verbraucherdruck entspannt und zu einem Anteil in der Brennkammer (**3**) verbrannt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass von dem in den Heizflächen des Abhitzekessels (**5**) erhitzten Wasser-Dampf-Kreislauf ein Teilstrom abgezweigt wird, dass das in dem Speisewasservorwärmer (**8**) vorgewärmte Speisewasser in einen ersten und einen zweiten Teilstrom aufgeteilt wird, dass der erste Teilstrom dem Verdampfer (**7**) des Abhitzekessels (**5**) zugeführt wird und dass mit dem zweiten Teilstrom das unter dem hohen Eingangsdruck stehende Erdgas in einem Gas/Wasser-Wärmetauscher (**33**) erwärmt wird, dass die dem Abhitzekessel (**5**) zugeführte Menge an Speisewasser entsprechend der Lastanforderung des Abhitzekessels (**5**) geregelt wird und dass die Menge des Speisewassers für die Erwärmung des Erdgases über eine Wasserstandsregelung (**46**) in einem separaten Druckbehälter (**45**) auf einen konstanten Wert gehalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Erdgas zweistufig entspannt wird und dass das in der zweiten Stufe entspannte Erdgas einer Zusatzfeuerung (**41**) des Abhitzekessels (**5**) zugeführt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Speisewasser des zweiten Teilstroms in dem Gas/Wasser-Wärmetauscher (33) durch die Erwärmung des unter dem hohen Eingangsdruck stehenden Erdgases auf eine Temperatur unterhalb der Temperatur innerhalb eines mit dem Wärmetauscher verbundenen Entgasers (16) abgekühlt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Erdgas durch eine größere Menge an vorgewärmtem Speisewasser erwärmt wird und dass in der Entspannungsturbine (29) eine größere Menge an Erdgas entspannt wird, als in der Brennkammer (3) der Gasturbine (1) verbrannt wird, dass das überschüssige entspannte Erdgas über eine Leitung (32) einem zusätzlichen Erdgasverbraucher zugeführt wird und dass dem Verdampfer (7) eine anteilige Menge an nicht vorgewärmtem Speisewasser zugeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistung der Dampfturbine (10) durch eine Zusatzfeuerung (41) angehoben wird, wenn die Dampfleistung des Abhitzekessels (5) zur Deckung des elektrischen Bedarfes nicht ausreicht.

6. Verfahren nach dem Oberbegriff von Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zu dem Eindrucksystem ein zusätzliches Niederdruckdampfsystem auf der Abgasseite der Gasturbine installiert wird und dass bei dem einen Niederdruckteil und einen Hochdruckteil aufweisenden Wasser-Dampf-Kreislauf das unter dem hohen Eingangsdruck stehende Erdgas durch einen Teilstrom des in dem Niederdruckteil erzeugten Dampfes erwärmt wird.

7. Vorrichtung zur Erzeugung von elektrischer Energie aus der Entladung eines Erdgasspeichers mit Hilfe einer Entspannungsturbine (29), Dampfturbine (10) und einer Gasturbine (1), der eine Brennkammer (3) vorgeschaltet und ein Abhitzekessel (5) nachgeschaltet ist, der mit als Speisewasservorwärmer (8), Verdampfer (7) und Überhitzer (6) ausgebildeten Heizflächen versehen ist, wobei der Eingang der Entspannungsturbine (29) mit einer Versorgungsleitung (27) für ein unter hohem Eingangsdruck stehendes Erdgas über einen Wärmetauscher (33) zur Erwärmung dieses Erdgases und der Ausgang der Entspannungsturbine (29) über eine Leitung (30) mit der Brennkammer (3) der Gasturbine (1) und über eine weitere Leitung (32) mit einem zusätzlichen Erdgasverbraucher verbunden ist, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des Speisewasservorwärmers (8) mit zwei Zweigleitungen (24, 25) verbunden ist, dass die erste Zweigleitung (24) mit den dem Speisewasservorwärmer (8) nachgeschalteten Heizflächen des Abhitzekessels (5) verbunden ist und dass die zweite Zweigleitung (25) zu

dem Wärmetauscher (33) geführt und anschließend zu dem Speisewasserentgaser (16) zurückgeführt ist, dass eine Speisewasserpumpe (22) in einer Leitung (21) für die dem Abhitzekessel (5) zugeführte Menge an Speisewasser entsprechend der Lastanforderung des Abhitzekessels (5) regelbar angeordnet ist und dass die Menge des Speisewassers für die Erwärmung des Erdgases über eine Wasserstandsregelung (46) im einem separaten Druckbehälter (45) auf einen konstanten Wert gehalten ist.

8. Vorrichtung zur Erzeugung von elektrischer Energie aus der Entladung eines Erdgasspeichers mit Hilfe einer Entspannungsturbine (29), Dampfturbine (10) und einer Gasturbine (1), der eine Brennkammer (3) vorgeschaltet und ein Abhitzekessel (5) nachgeschaltet ist, der mit als Speisewasservorwärmer (8), Verdampfer (7) und Überhitzer (6) ausgebildeten Heizflächen versehen ist, wobei der Eingang der Entspannungsturbine (29) mit einer Versorgungsleitung (27) für ein unter hohem Eingangsdruck stehendes Erdgas über einen Wärmetauscher (33) zur Erwärmung dieses Erdgases und der Ausgang der Entspannungsturbine (29) über eine Leitung (30) mit der Brennkammer (3) der Gasturbine (1) und über eine weitere Leitung (32) mit einem zusätzlichen Erdgasverbraucher verbunden ist, zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Abhitzekessel (5) in einen Niederdruckteil mit einem Verdampfer (7') und einem Überhitzer (6') und einen Hochdruckteil mit dem Speisewasservorwärmer (8), einem Verdampfer (7) und einem Überhitzer (6) aufgeteilt ist und dass der Überhitzer (6') des Niederdruckteiles mit dem Wärmetauscher (33) zur Erwärmung des Erdgases verbunden ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 bis 8 dadurch gekennzeichnet, dass der Entspannungsturbine (29) eine zweite Entspannungsturbine (42) nachgeschaltet ist, deren Ausgang mit einer in dem Abhitzekessel (5) angeordneten Zusatzfeuerung (41) verbunden ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des Wärmetauschers (33) über eine die Entspannungsturbine (29) umgehende Bypassleitung (36) über die Leitung (30) mit der Brennkammer (3) und über die weitere Leitung (32) mit zusätzlichen Erdgasverbrauchern verbunden ist und dass in der Bypassleitung (36) ein Druckreduzierventil (35) angeordnet ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgungsleitung (27) über einen elektrischen Aufheizer (38) und ein Druckreduzierventil (35) mit der Brennkammer (3) und zusätzlichen Erdgasverbrauchern verbunden ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis

11 dadurch gekennzeichnet, dass von der Speisewasserleitung (21) vor deren Eintritt in den Speisewasservorwärmer (8) eine dritte Zweigleitung (48) abgezweigt ist, die mit der ersten den Ausgang des Speisewasservorwärmers (8) mit der Dampftrommel (26) verbindenden Zweigleitung (24) verbunden ist, und dass in der ersten Zweigleitung (24) und in der dritten Zweigleitung (48) jeweils vor der Verbindungsstelle dieser Zweigleitungen (24, 48) ein Regelventil (49, 50) angeordnet ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Abhitzeessel (5) mit einer Zusatzfeuerung (41) versehen ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 13 dadurch gekennzeichnet, dass aufgrund der hohen Erdgasparameter, wie Druck, Temperatur und Menge, die Entspannungsturbinen (29, 42) in axialer Bauweise ausgebildet sind.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Frischluftbetrieb des kombinierten Gas/Dampfturbinen-Blocks vorgesehen ist, wobei bei einem Ausfall der Gasturbine (1) der Entspannungskreislauf für das Erdgas über ein Frischluftgebläse (47) und über die Zusatzfeuerung (41) in Betrieb bleibt.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

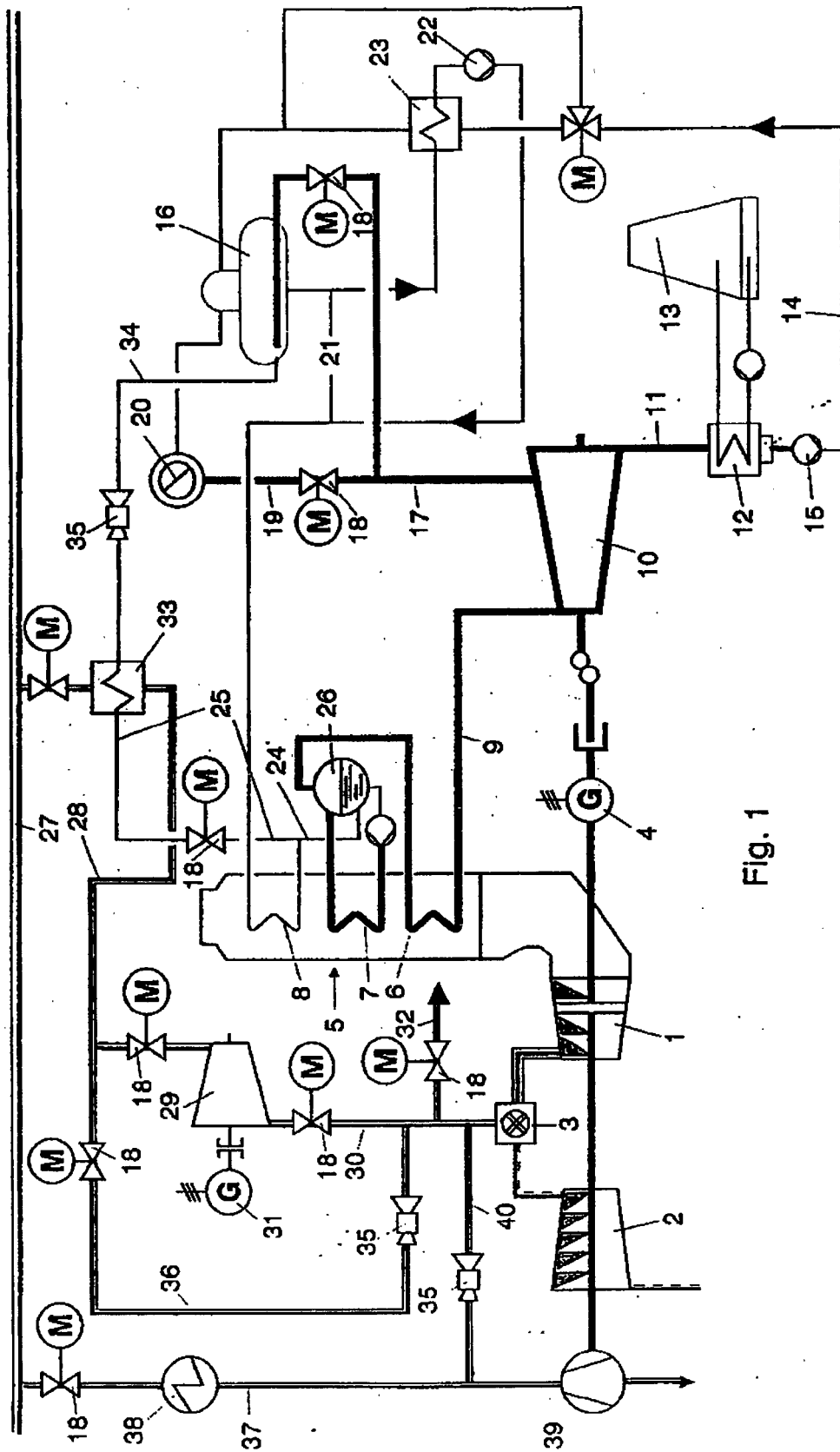


Fig. 1

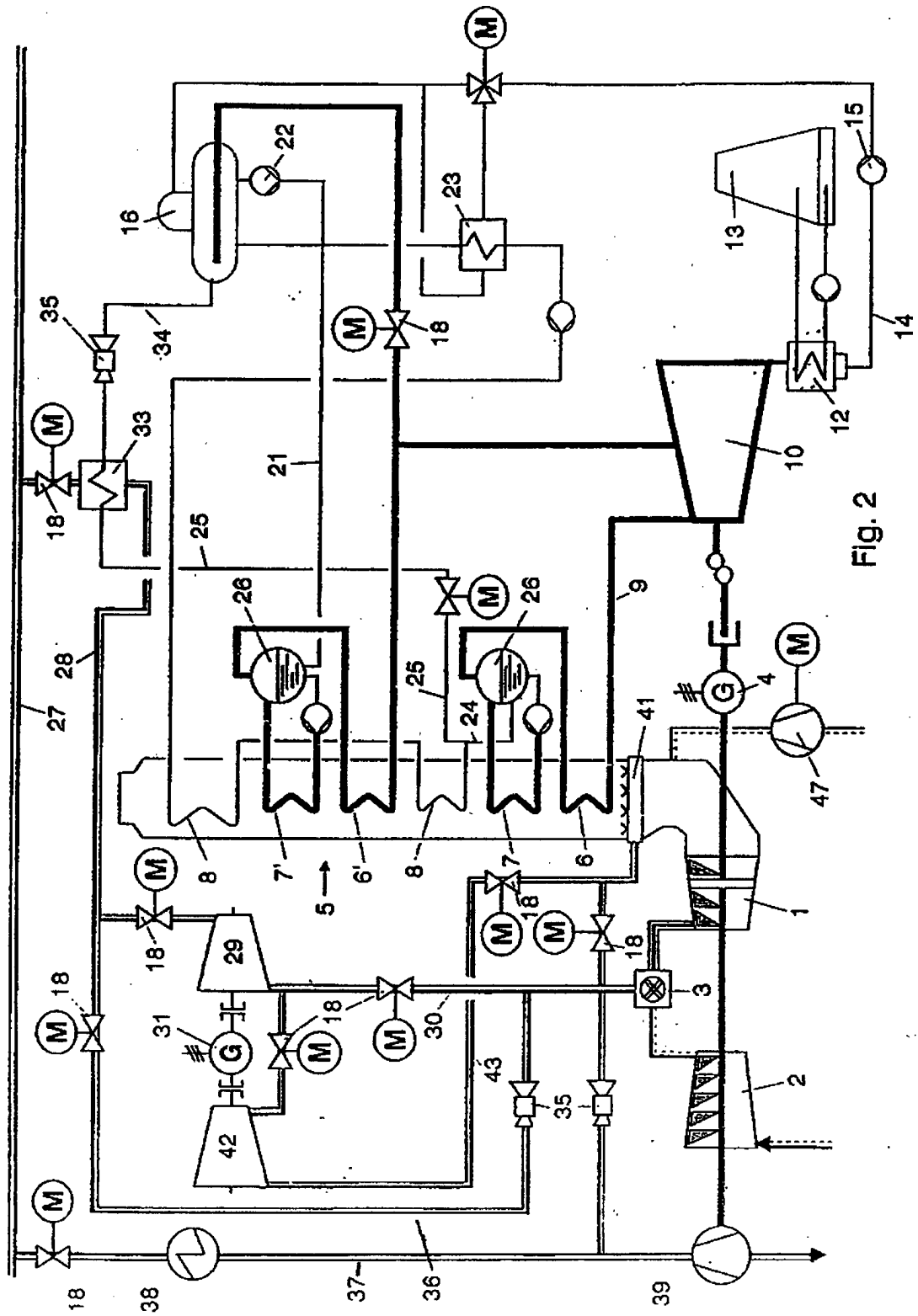


Fig. 2

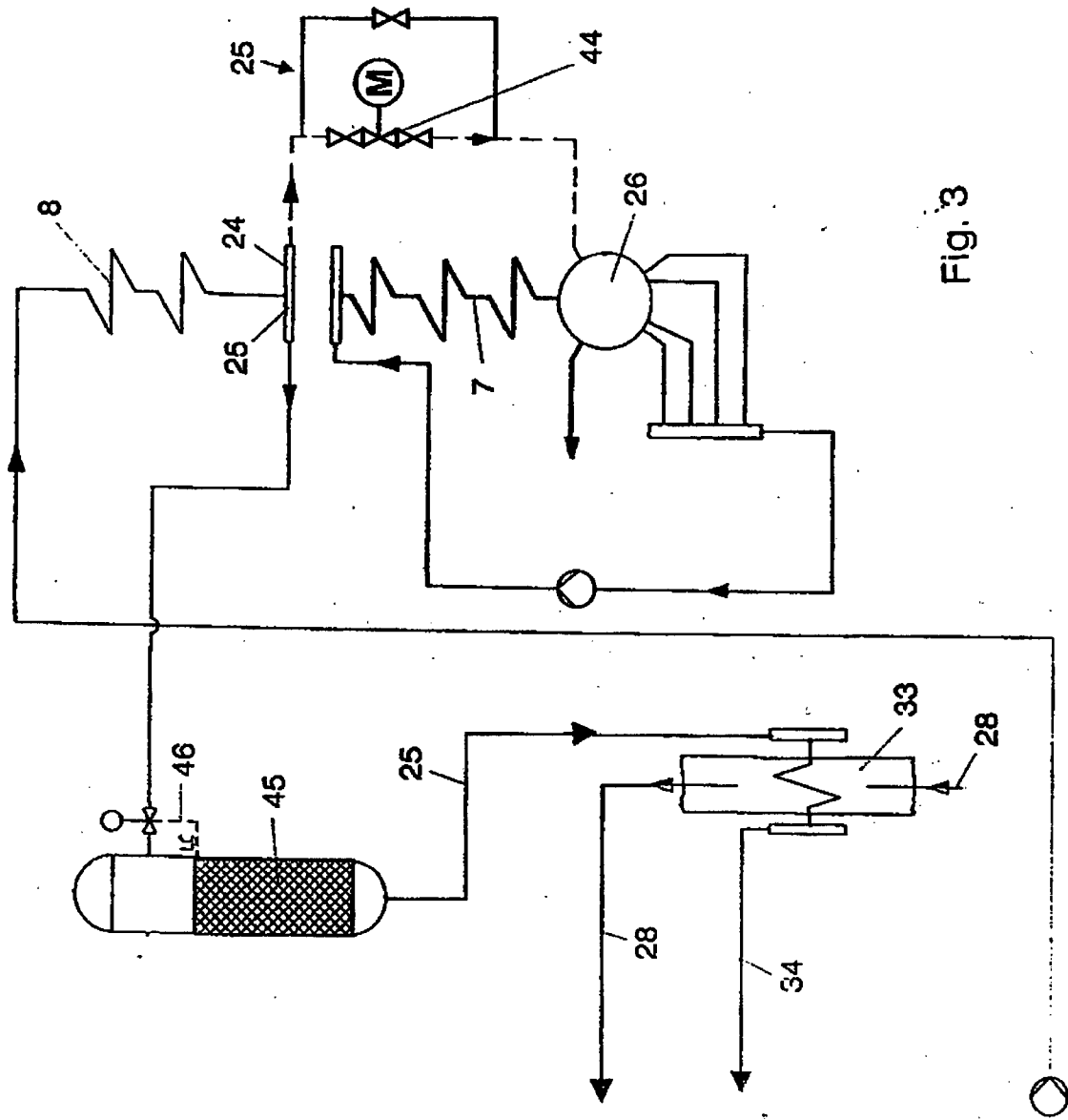


Fig. 3

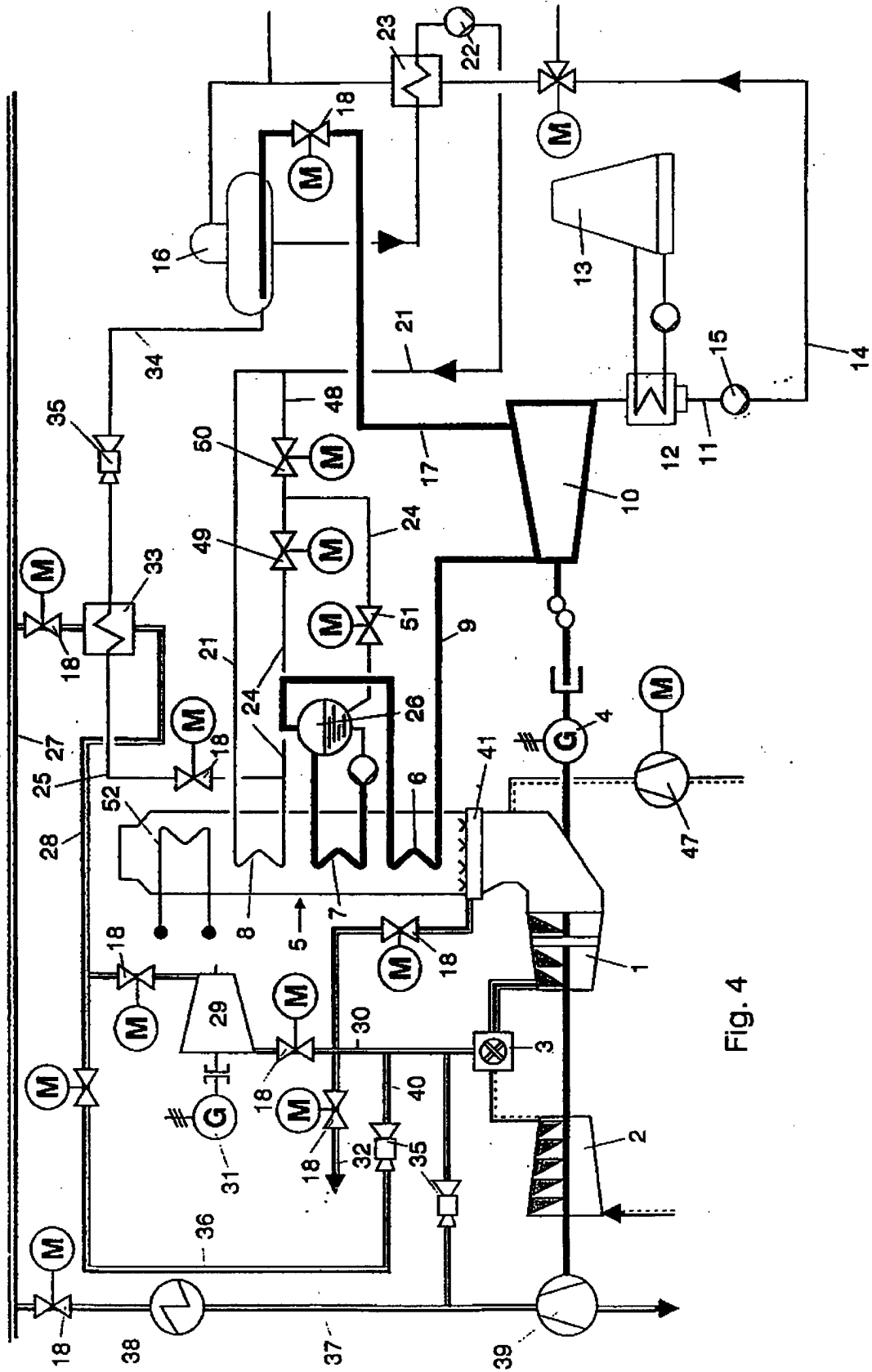


Fig. 4

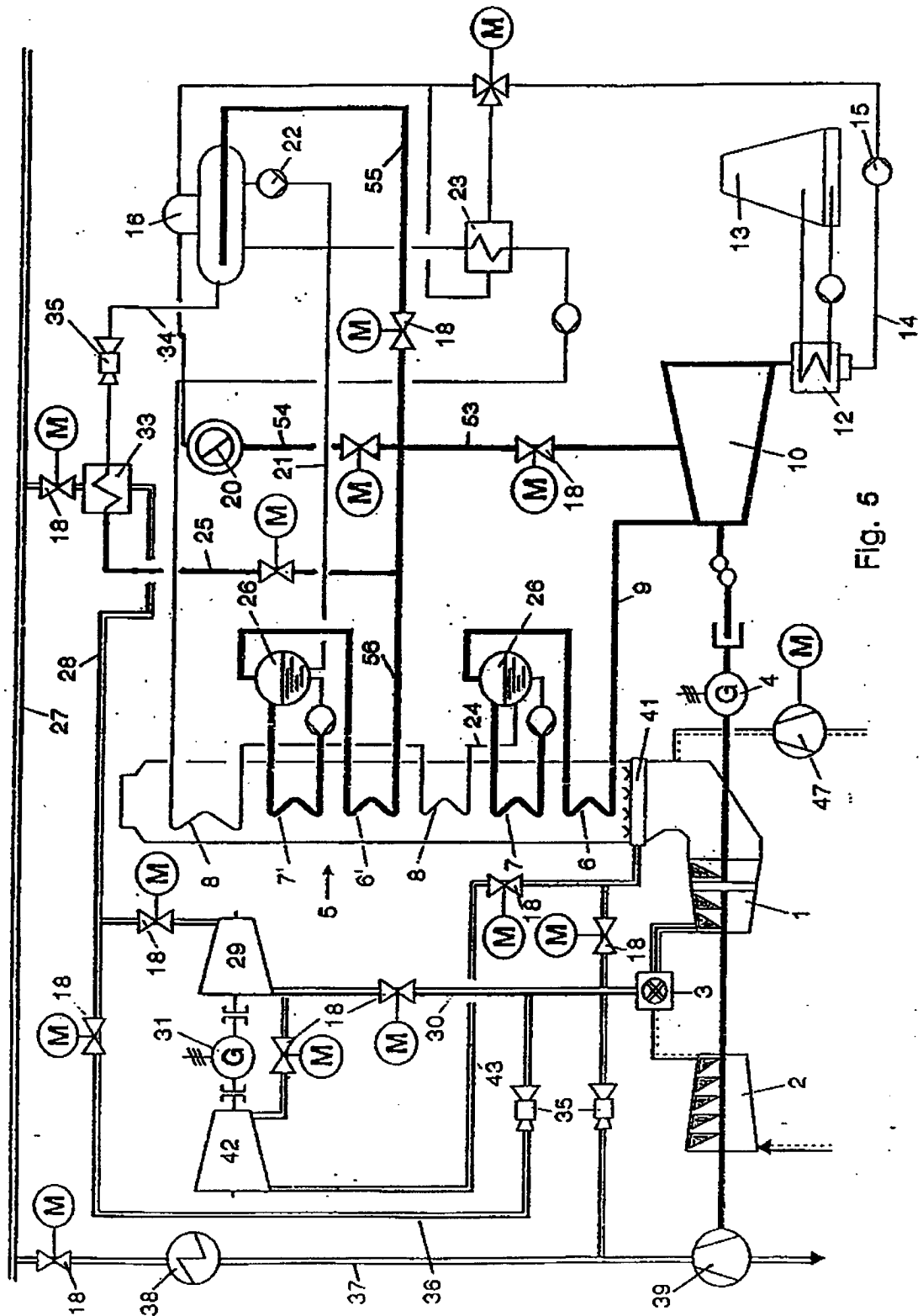


Fig. 5