



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2007 009 503 A1 2008.09.18

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2007 009 503.3

(22) Anmeldetag: 25.02.2007

(43) Offenlegungstag: 18.09.2008

(51) Int Cl.⁸: **F01K 25/08** (2006.01)
C09K 5/10 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Deutsche Energie Holding GmbH, 44227
Dortmund, DE**

(74) Vertreter:

**Patent- und Rechtsanwälte Meinke, Dabringhaus
und Partner GbR, 44141 Dortmund**

(72) Erfinder:

**Priebe, Klaus-Peter, 44357 Dortmund, DE; Eichert,
Christian, 44807 Bochum, DE**

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

DE 199 07 512 A1

DE 692 18 206 T2

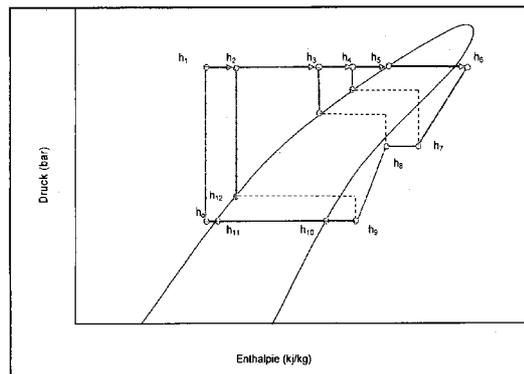
US 68 57 268

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Mehrstufiger ORC-Kreislauf mit Zwischenenthitzung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft die optimale Nutzung von zwei Wärmequellen mit unterschiedlicher Wärmemenge und -temperatur wie zum Beispiel bei der Motorabwärme und der Abgaswärme von Verbrennungskraftmaschinen durch ORC-Strömungs- und Kolbenmaschinen, derart, dass das dampfförmige ORC-Arbeitsfluid mit stark nach rechts geneigter Sattdampflinie im P-h-Diagramm in mindestens zwei Schritten entspannt wird und zwischen den mindestens zwei Schritten eine Enthitzung des ORC-Arbeitsfluides derart erfolgt, dass die Enthitzungswärme dem flüssigen ORC-Arbeitsfluid in einem Vorwärmer II in einem oberhalb der Motorabwärme liegenden Temperaturbereich zugeführt wird.



Beschreibung

[0001] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Nutzung von mindestens zwei Wärmequellen mit unterschiedlicher Wärmemenge und – temperatur für mindestens zweistufige Turbinen oder sonstige Entspannungsmaschine erlaubt die Enthitzung des Arbeitsfluides nach einem ersten Entspannungsschritt derart, dass die bei der Enthitzung zurückgewonnene Wärmeenergie dem Arbeitsfluid oberhalb der Temperatur der ersten Wärmequelle wieder zugeführt werden kann.

[0002] Der Stand der Technik ist dadurch gekennzeichnet, dass das Arbeitsfluid eines Dampfkreislaufes durch die Speisepumpe auf den gewünschten Druck gebracht wird und sodann nacheinander einen oder mehrere Vorwärmer, den Verdampfer und Überhitzer durchströmt und der dabei entstehende Dampf in einem oder mehreren Schritten entspannt wird und bei dieser Entspannung durch Kolbenmotoren, Schraubenmotoren oder Turbinen mechanische und dann elektrische Arbeit erzeugt wird. Bei herkömmlichen Dampfturbinen ist der Kreislauf bei Verwendung mehrstufiger Turbinen und bei Verwendung des Arbeitsmediums Wasser häufig zwischen den Turbinenstufen eine Zwischenüberhitzung vorgesehen, um eine Entspannung in den Nassdampfbereich vor oder in der nächsten Turbinenstufe zu vermeiden.

[0003] Bei der Nutzung der Wärme unterschiedlicher Wärmequellen wie zum Beispiel bei einer Verbrennungskraftmaschine stellt sich die Frage der optimalen Nutzung der unterschiedlichen Wärmemengen bei unterschiedlichen Temperaturen. So liegt die Abgaswärme häufig zwischen 450°C bis 550°C an während die Motorabwärme, die Ölkühlung und die Ladeluftkühlung bei 90°C bis 105°C anfällt. Diese Wärmen sind mit dem Blick auf einen Dampfprozess bisher nur so zu vereinen, dass im Regelfall entweder ein kleiner Massenstrom des Arbeitsfluides zur Verdampfung bei hoher Temperatur gebracht werden kann oder ein grösserer Dampfmassenstrom bei relativ niedrigen Temperaturen von 115 bis 130°C. In beiden bekannten Fällen wird die zur Verfügung stehende Wärmemenge nicht optimal ausgenutzt.

[0004] Es stehen eine Reihe von Arbeitsfluiden für ORC-Prozesse zur Verfügung. Es können Kältemittel, auch fluoridierte Kältemittel, Kohlenwasserstoffe, Siliconöle oder Thermoöle eingesetzt werden. Erfindungsgemäß sind insbesondere die ORC-Fluide von Interesse, die im P-h-Diagramm eine stark nach rechts geneigte Satttdampflinie aufweisen und die jeweiligen Isentropen weniger stark nach rechts geneigt sind. Diese ORC-Fluide haben die Eigenschaft, dass eine adiabate Entspannung des Arbeitsfluides immer im überhitzten Bereich stattfindet und der Abstand zur Satttdampflinie mit zunehmender Entspannung sich immer weiter von der Satttdampflinie entfernt. Diese ORC-Arbeitsfluide müssen vor der Kondensation immer enthitzt werden.

[0005] Bei ORC-Kreisläufen ist bisher vorgesehen, dass die auf Grund der spezifischen nach rechts gerichteten Neigung der Satttdampflinie und einer etwas weniger nach rechts gerichteten Neigung der Isentropen anfallende Enthitzungswärme des Arbeitsfluides zur Vorwärmung des Arbeitsfluides nach der Speisepumpe wieder zu nutzen (s. a. Zeichnung 1 mit der Enthalpiedifferenz zwischen h_9 und h_{10}). Diese Enthitzungswärme steht in einem Temperaturbereich an, der sich im Regelfall mit dem Temperaturbereich der Motorabwärme schneidet.

[0006] Es ist aber wünschenswert sowohl die nach der Entspannung anfallende Enthitzungswärme, die Motorabwärme und die Abgaswärme möglichst vollständig zu nutzen.

[0007] Dies gelingt erfindungsgemäß dadurch, dass nach einem ersten Entspannungsschritt des dampfförmigen Arbeitsfluides dieses Arbeitsfluid bis vor die Satttdampflinie enthitzt wird und diese Enthitzungswärme dem noch flüssigen Arbeitsfluid oberhalb der Temperatur aus der Motorabwärme zugeführt wird und sich erst dann ein zweiter Entspannungsschritt anschließt.

[0008] Als besonders geeignet für die erfindungsgemäße neue Kreislaufführung für einen ORC-Prozess erweisen sich folgende Arbeitsfluide:

Kohlenwasserstoffe wie

Toluol	C_7H_8
Pentan	C_5H_{12}
Isopentan bzw. 2-Methyl-Butan	C_5H_{12}
Heptan	C_7H_{16}
Hexan	C_6H_{14}
Cyclohexan	C_6H_{12}
Butan	C_4H_{10}

Isobutan	C_4H_{10}
Oktan	C_8H_{18}
Nonan	C_9H_{20}
Ethan	C_2H_6

Fluorierter Kohlenstoff

FC-72 bzw. N-Perfluorhexan	C_6F_{14}
R218	C_3F_8

Fluorierte Kohlenwasserstoffe

R365mfc	$C_4H_5F_5$
R245fa	$C_3H_3F_5$
SES36	acetrophe Gemisch aus R365 und R227
R123	$CHCl_2CF_3$
HFE-7100 bzw.	$C_5H_3F_9O$

Siloxane wie

Hexamethyldisiloxan	$C_6H_{18}OSi_2$
Octamethyltrisiloxan	$C_8H_{24}OSi_3$

[0009] Der erfindungsgemäße neue Arbeitskreislauf mit oben genannten ORC-Arbeitsfluiden verläuft gemäß Zeichnung 1 wie folgt:

h_0 nach h_1	Druckerhöhung durch Speisepumpe
h_1 nach h_2	Gegenstromvorwärmung 1 durch Enthitzung des Abdampfes
h_2 nach h_3	Zuführung Motorabwärme
h_3 nach h_4	Gegenstromvorwärmung 2 durch Enthitzung zwischen Stufen
h_4 nach h_5	Gegenstromvorwärmung 3 durch Abgaswärme
h_5 nach h_6	Verdampfung und Überhitzung durch Abgaswärme
h_6 nach h_7	erste Entspannungstufe zur Arbeitsleistung
h_7 nach h_8	Enthitzung zur Gegenstromvorwärmung 2
h_8 nach h_9	zweite Entspannungstufe zur Arbeitsleistung
h_9 nach h_{10}	Enthitzung zur Gegenstromvorwärmung 1
h_{10} nach h_{11}	Kondensation
h_{11} nach h_0	Unterkühlung

[0010] Der in der Zeichnung 1 beschriebene Kreisprozess ist in der Zeichnung 2 mit den wesentlichen Bauelemente dargestellt.

[0011] In der Zeichnung 3 ist ein erfindungsgemäß vergleichbarer Kreisprozess mit seinen wesentlichen Bauelementen dargestellt mit dem Unterschied, dass die Wärme des Schrittes h_9 nach h_{18} nicht zur Vorwärmung 1 genutzt, sondern ausgekoppelt und einem anderen Wärmeprozess zum Beispiel für Heizung oder Trocknung zur Verfügung gestellt wird.

[0012] In der Zeichnung 4 schließlich ist ein erfindungsgemäß vergleichbarer Kreisprozess dargestellt, der nach der Kondensation und Unterkühlung eine erste Niederdruckspeisepumpe mit einem nachfolgenden 3-Wegeventil (13) vorsieht, in dem das flüssige Arbeitsfluid in einem ersten Teilmassenstrom bei niedrigem Druck über die Wärmetauscher (4) und (3) dem Dampfmischventil (14) vor der zweiten Arbeitsstufe zufließt und der zweite Teilmassenstrom über die Hochdruckspeisepumpe (12) und die Wärmetauscher (2) und (1) der ersten Arbeitsstufe zufließt, in dieser entspannt wird und im Gegenstrom über den Wärmetauscher (2) dem Dampfmischventil (14) vor der zweiten Arbeitsstufe zuströmt. Diese Ausführungsform hat erfindungsgemäß den besonderen Vorteil der Verringerung der Speisepumpenarbeit.

Bezugszeichenliste

1	Wärmetauscher Verdampfer-Überhitzer
2	Wärmetauscher Zwischenenthitzer/Vorwärmer 3
3	Wärmetauscher Vorwärmer 2
4	Vorwärmer 1
5	Kondensator-Verflüssiger
6	Speisepumpe
7	Arbeitsstufe 1
8	Arbeitsstufe 2
9	Generator
10	Generatorwelle
11	Niederdruckspeisepumpe
12	Hochdruckspeisepumpe
13	Teilmassenstromregelventil
14	Dampfmischventil
15	Wärmetauscher Enthitzer/Wärmekreislauf

Patentansprüche

1. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse **dadurch gekennzeichnet**, dass das durch mindestens zwei Wärmequellen unterschiedlicher Temperatur vorgewärmte und verdampfte dampfförmige ORC-Arbeitsfluid in mindestens zwei Arbeitstufen entspannt wird und zwischen zwei Arbeitstufen mindestens einmal enthitzt wird und diese Enthitzungswärme zur Vorwärmung des ORC-Arbeitsfluides nach einer ersten Vorwärmung durch eine niedertemperaturige Wärmequelle und vor der Verdampfung durch eine höherentemperaturige Wärmequelle zugeführt wird.

2. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass als ORC-Arbeitsfluid Kohlenwasserstoffe wie Toluol, Pentan, Iso-Pentan, Heptan, Hexan, Cyclohexan, Butan, Iso-Butan, Oktan, Nonan, oder Ethan verwendet werden.

3. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass das als ORC-Arbeitsfluid fluoriertes Kohlenstoff wie N-Perfluorhexan oder R218 verwendet werden.

4. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass als ORC-Arbeitsfluid fluorierte Kohlenwasserstoffe wie R365mfc, R245fa, oder R123 verwendet werden.

5. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass als ORC-Arbeitsfluid azeotrope Gemische wie SES36 als Gemisch aus R365mfc und R227 verwendet werden.

6. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass als ORC-Arbeitsfluid Siloxane wie Hexamethyldisiloxan oder Octamethyltrisiloxan verwendet werden.

7. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß Anspruch 1 bis 6 dadurch gekennzeichnet, dass als Wärmequellen unterschiedlicher Temperatur Motorabwärme bestehend aus Motorkühlung und/oder Ladeluftkühlung und/oder Ölkühlung und Abgaswärme genutzt werden.

8. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß Anspruch 1 bis 7 dadurch gekennzeichnet, dass als Wärmequellen unterschiedlicher Temperatur industrielle Abwärmequellen wie Maschinenkühlung und Feuerungsabwärme und/oder Feuerungsabgase genutzt werden.

9. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß Anspruch 1 bis 8 dadurch gekennzeichnet, dass als Wärmequellen unterschiedlicher Temperatur Solarkollektoren wie Flachbettkollektoren oder Vakuumröhren einerseits und Vakuumröhren oder CPC-Vakuumröhren oder Parabolrinnenkollektoren andererseits genutzt werden.

10. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse Anspruch 1 bis 9 dadurch gekennzeichnet, dass die Enthitzungswärme und/oder Kondensationswärme nach der Entspannung des ORC-Arbeitsfluides einem weiteren Wärmeverbraucher zugeführt wird.

11. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß Anspruch 1 bis 10 dadurch gekennzeichnet, dass der ORC-Kreislauf mit einer Speisepumpe ausgeführt wird.

12. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß 1 bis 11 dadurch gekennzeichnet, dass der ORC-Kreislauf mit einer Niederdruckspeisepumpe und einer Hochdruckspeisepumpe ausgeführt wird.

13. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß Anspruch 1 bis 12 dadurch gekennzeichnet, dass der ORC-Kreislauf nach der Niederdruckspeisepumpe mit einem Teilmassenregelventil für die Beschickung des Niederdruckteiles und des Hochdruckteiles ausgeführt wird.

14. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß Anspruch 1 bis 13 dadurch gekennzeichnet, dass der ORC-Kreislauf zwischen dem Niederdruckteil und nach der Zwischenenthitzung ein Dampf-mischventil vor der nächsten Arbeitsstufe aufweist.

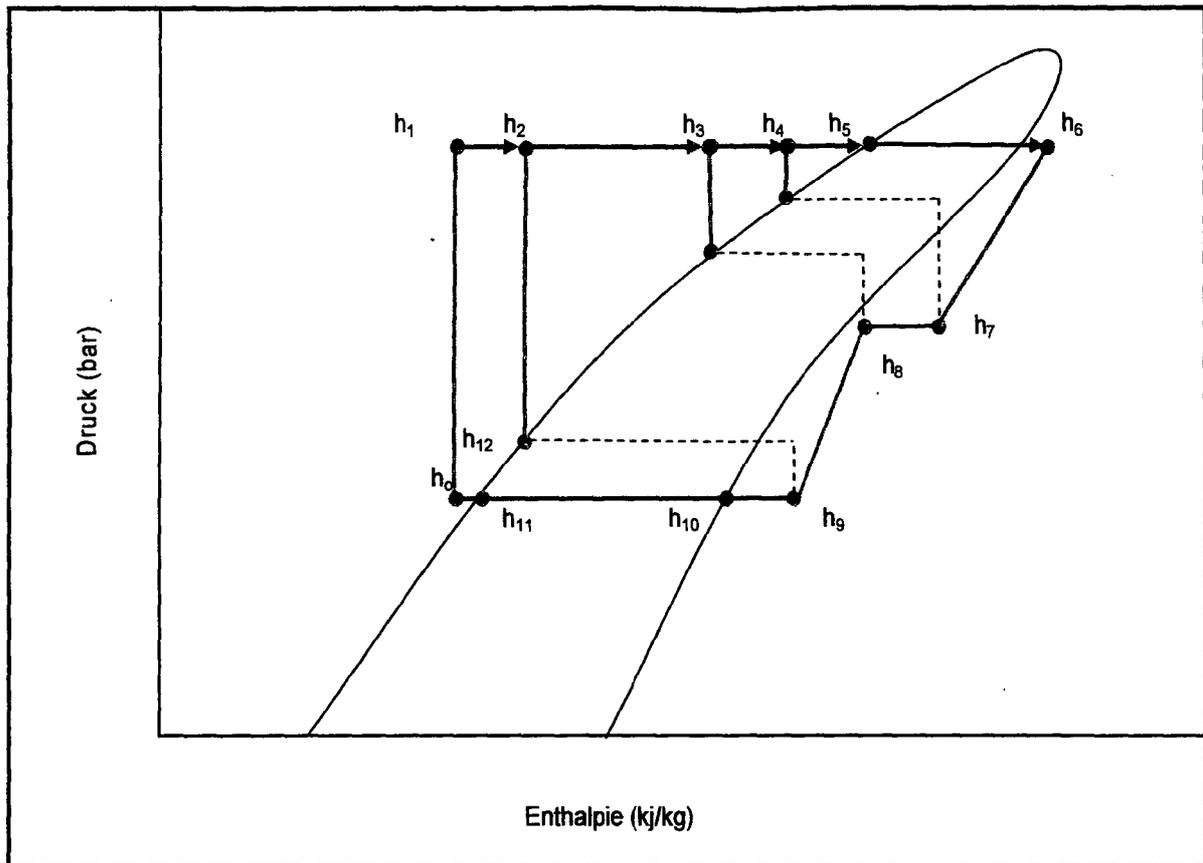
15. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß Anspruch 1 bis 14 dadurch gekennzeichnet, dass als ORC-Arbeitsmaschinen mindestens zweistufige Turbinen verwendet werden.

16. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß Anspruch 1 bis 14 dadurch gekennzeichnet, dass als ORC-Arbeitsmaschinen mindestens zweistufige Schraubenmotoren verwendet werden.

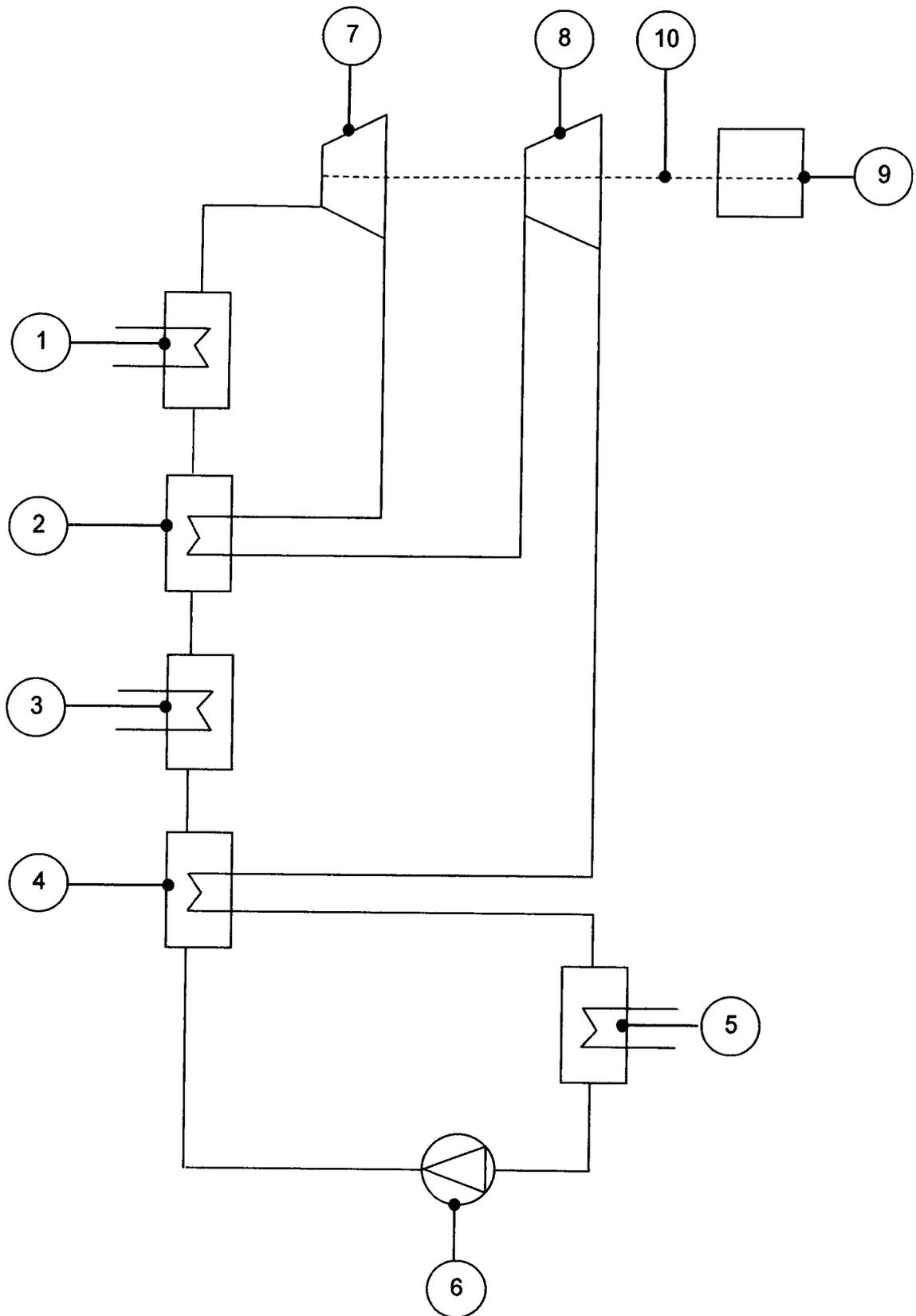
17. Verfahren der ORC-Kreislaufführung für Dampfprozesse gemäß Anspruch 1 bis 14 dadurch gekennzeichnet, dass als ORC-Arbeitsmaschinen mindestens zweistufige Kolbenmaschinen verwendet werden.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

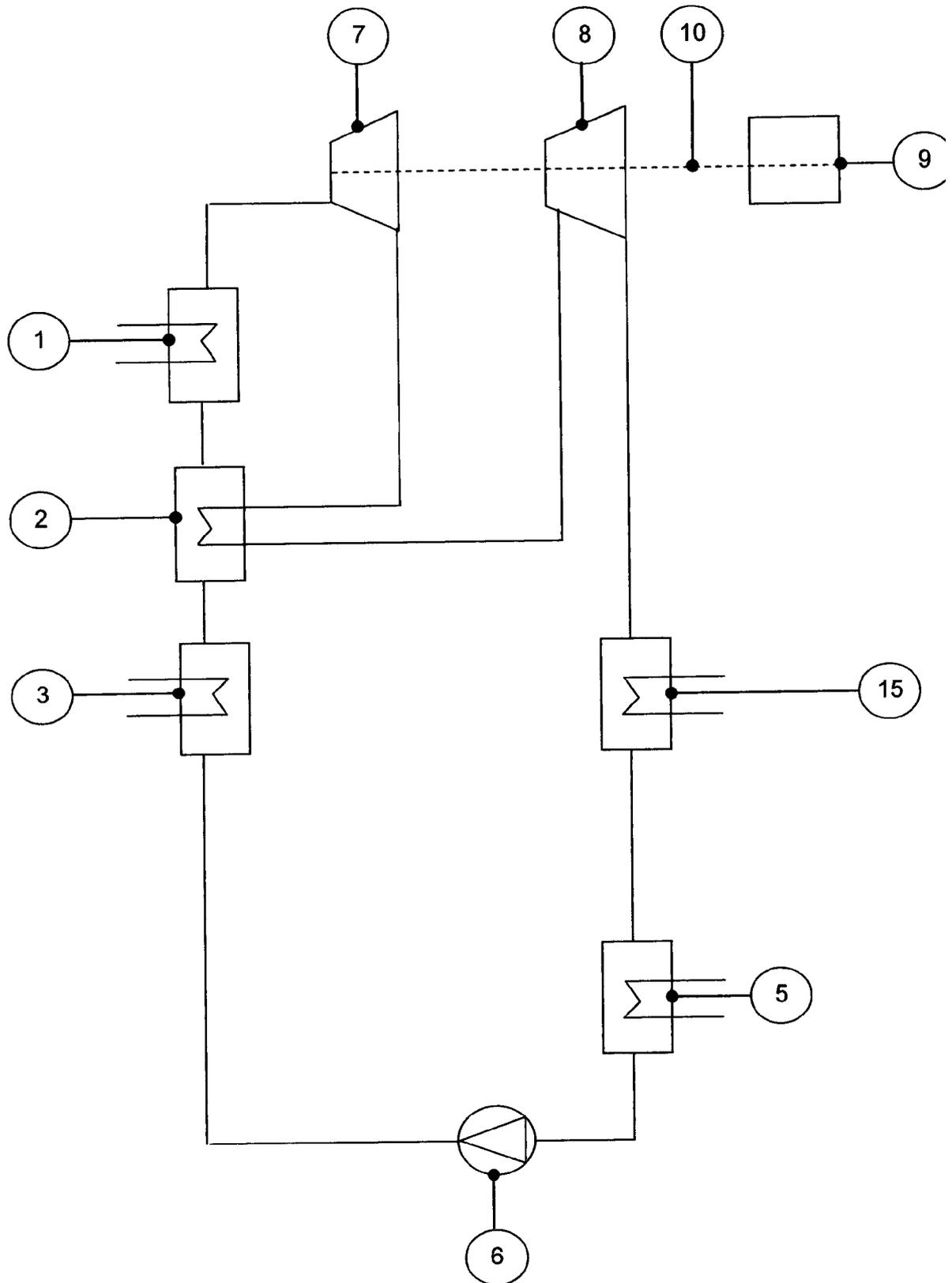
Zeichnung 1



Zeichnung 2



Zeichnung 3



Zeichnung 4

