

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
25. September 2008 (25.09.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2008/113482 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
**Nicht klassifiziert**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/001808

(22) Internationales Anmeldedatum:  
6. März 2008 (06.03.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2007 013 852.2 20. März 2007 (20.03.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BIRNBAUM, Jürgen

[DE/DE]; Ketzelsstr. 5, 90419 Nürnberg (DE). **FICHTNER, Markus** [DE/DE]; Biederbach 19, 91639 Wolframs-Eschenbach (DE). **HABERBERGER, Georg** [DE/DE]; Bussardstrasse 46, 91088 Bubenreuth (DE). **ZIMMERMANN, Gerhard** [DE/DE]; Zeisigstr. 11, 91315 Höchstadt/Aisch (DE).

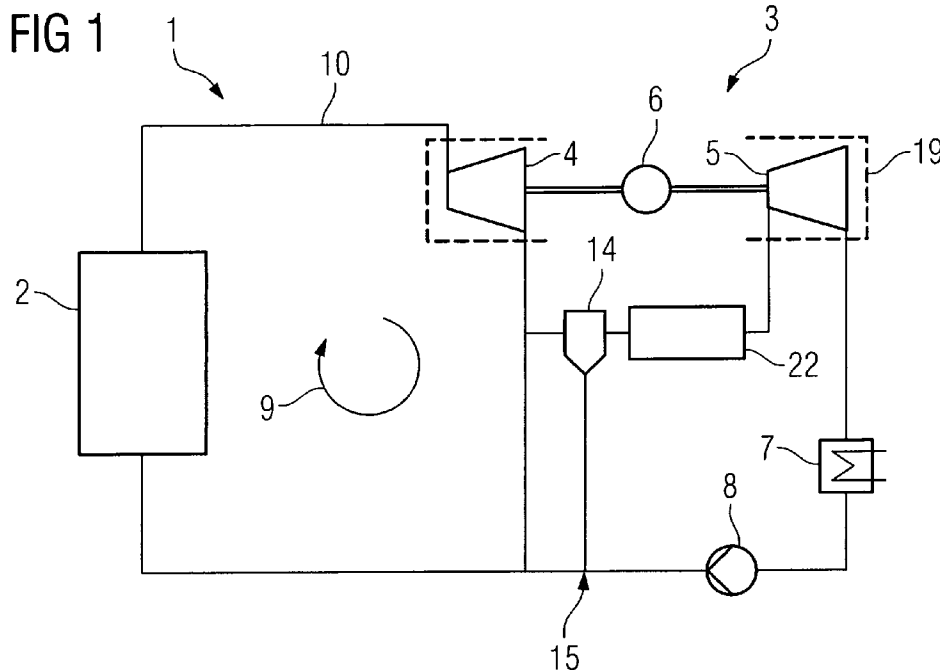
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR FIRED INTERMEDIATE OVERHEATING DURING DIRECT SOLAR VAPOURISATION IN A SOLAR THERMAL POWER STATION

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BEFEUERTEN ZWISCHENÜBERHITZUNG BEI SOLARER DIREKTVERDAMPFUNG IN EINEM SOLARTHERMISCHEN KRAFTWERK



(57) Abstract: The invention relates to a solar thermal power station (1) comprising a work fluid circuit (9), a solar steam generator based on direct vapourisation and a steam turbine (3) for releasing the work fluid for technical work. The solar steam generator and the steam turbine (3) are mounted in the work fluid circuit (9). The solar thermal power station comprises an additional firing system (22) for intermediate heating of the work fluid. The invention also relates to a method for operating said type of installation.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/113482 A2



SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,  
VN, ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,  
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,  
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,  
TD, TG).

**(84) Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine solarthermische Kraftwerksanlage (1), mit einem Arbeitsfluidkreislauf (9), einem auf Direktverdampfung basierenden solaren Dampferzeuger und einer Dampfturbine (3), zur Entspannung des Arbeitsfluids unter Abgabe technischer Arbeit, wobei der solare Dampferzeuger und die Dampfturbine (3) in den Arbeitsfluidkreislauf (9) geschaltet sind, mit einer Zusatzfeuerung (22) zur Zwischenüberhitzung von Arbeitsfluid. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betrieb einer solchen Anlage.

## Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur befeuerten Zwischenüberhitzung bei solarer Direktverdampfung in einem solarthermischen

5 Kraftwerk

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer solarthermischen Kraftwerksanlage, sowie eine solarthermische Kraftwerksanlage mit einem auf Direktverdampfung basierenden solaren Dampferzeuger und einer befeuerten Zwischenüberhitzung von Arbeitsfluid.

10

Solarthermische Kraftwerke stellen eine alternative zur herkömmlichen Stromerzeugung dar. Ein solarthermisches Kraftwerk nutzt solare Strahlungsenergie um elektrische Energie zu produzieren. Es besteht aus einem solaren Kraftwerksteil zur Absorption der Sonnenenergie und einem zweiten meist konventionellen Kraftwerksteil.

15

Der solare Kraftwerksteil umfasst dabei ein Solarfeld, das heißt, ein Konzentrationssystem mit Kollektoren. Die konzentrierenden Kollektoren sind der Hauptbestandteil des solaren Kraftwerksteils. Bekanntere Kollektoren sind dabei der Parabolrinnenkollektor, der Fresnel-Kollektor, der Solar-Turm und der Paraboloidspiegel. Parabolrinnenkollektoren konzentrieren die Sonnenstrahlen auf ein in der Fokuslinie platziertes Absorberrohr. Dort wird die Sonnenenergie absorbiert und als Wärme an ein Wärmeträgermedium weitergegeben.

20

25

Als Wärmeträgermedium kann dabei Thermoöl, Wasser, Luft oder Salzschnmelze zum Einsatz kommen.

30

Der konventionelle Kraftwerksteil umfasst zumeist eine Dampfturbine sowie einen Generator und einen Kondensator, wobei im Vergleich zum konventionellen Kraftwerk der Wärmeeintrag durch den Kessel durch den vom Solarfeld erzeugten Wärmeeintrag ersetzt wird.

35

Zurzeit werden solarthermische Kraftwerke mit indirekter Verdampfung ausgeführt, d.h. dass zwischen dem solaren Kraftwerksteil und dem konventionellen Kraftwerksteil Wärmetauscher geschaltet sind, um die im Solarfeld erzeugte Energie vom Wärmeträgermedium eines Solarfeldkreislaufes auf einen Wasser-Dampf-Kreislauf des konventionellen Kraftwerksteils zu übertragen.

Eine künftige Option stellt die direkte Verdampfung dar, bei der der Solarfeldkreislauf des solaren Kraftwerksteils und der Wasser-Dampf-Kreislauf des konventionellen Kraftwerksteils einen gemeinsamen Kreislauf bilden, wobei das Speisewasser im Solarfeld vorgewärmt, verdampft und überhitzt und so dem konventionellen Teil zugeführt wird. Der solare Kraftwerksteil ist somit ein solarer Dampferzeuger.

Mit den in einem Solarfeld mit direkter Verdampfung erreichten Dampfparametern kann der konventionelle Kraftwerksteil nicht optimal betrieben werden. Die Entspannung des Dampfes über ein möglichst großes Druckgefälle ist durch die bei der Entspannung in der Turbine entstehende Nässe sehr begrenzt. Um die Entstehung von Nässe in der Turbine bei Ausnutzung eines möglichst großen Druckgefälles zu minimieren, ist eine Zwischenüberhitzung des Dampfes notwendig.

In einem konventionellen Dampfkraftwerk wird die Zwischenüberhitzung mittels eines Wärmetauschers im Kessel durchgeführt. Bei solarthermischen Kraftwerken mit direkter Verdampfung kann die Zwischenüberhitzung in einem separaten Solarfeld ausgeführt werden. Diese Ausführung der Zwischenüberhitzung erscheint aber nicht zweckmäßig, da bei einer Zwischenüberhitzung im Solarfeld ein sehr hoher Druckverlust zu erwarten ist.

Die auf eine Vorrichtung bezogene Aufgabe der Erfindung ist daher die Angabe einer solarthermischen Kraftwerksanlage mit verbesserter Zwischenüberhitzung. Eine weitere Aufgabe ist

die Angabe eines Verfahrens zum Betrieb einer solchen Kraftwerksanlage.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale  
5 des Patentanspruchs 1 sowie des Patentanspruchs 15.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen genannt.

10 Die erfinderische Solarthermische Kraftwerksanlage umfasst einen Arbeitsfluidkreislauf, einen auf Direktverdampfung basierenden solaren Dampferzeuger und eine Dampfturbine, zur Entspannung des Arbeitsfluids unter Abgabe technischer Arbeit, wobei der solare Dampferzeuger und die Dampfturbine in  
15 den Arbeitsfluidkreislauf geschaltet sind, mit einer Zusatzfeuerung zur Zwischenüberhitzung von Arbeitsfluid.

Der Vorteil dieser Anordnung ist, dass die Zwischenüberhitzerdampf-  
20 hitzerdampf-temperatur gleich oder sogar höher als die Frischdampf-temperatur sein kann.

Vorteilhafterweise ist die Zusatzfeuerung mit Wasserstoff betreibbar. Dabei ist es besonders zweckmäßig, wenn der Wasserstoff mittels einer Elektrolyse hergestellt wird, deren  
25 Energiebedarf beispielsweise von einer Photovoltaikanlage gedeckt wird. Besonders vorteilhaft ist diese Lösung, weil die Zufuehrung, wie das solarthermische Kraftwerk selbst, ebenfalls über regenerative Energien verwirklicht wird und kein Kohlendioxid in den Wasser-Dampf-Kreislauf gelangt.

30

In vorteilhafter Ausgestaltung umfasst die solarthermische Kraftwerksanlage einen Generator zur elektrischen Energieerzeugung.

35 Es ist dann zweckmäßig, wenn die elektrische Energie für die Elektrolyse vom solarthermischen Kraftwerk selbst geliefert wird. Der Vorteil dieser Anordnung wäre eine Wirkungsgraderhöhung aufgrund der besseren Dampfparameter bei der Zwischen-

überhitzung, sowie die rein regenerativ ausgeführte Zusatzfeuerung.

Neben der direkten Feuerung in die Zwischenüberhitzung mit  
5 einem Wasserstoffbrenner, wobei Wasserstoff direkt im Wasserdampf verbrannt wird, kann Wasserstoff an mehreren anderen Stellen des konventionellen Dampfkreislaufes zur Prozessoptimierung bzw. Wirkungsgradsteigerung direkt verbrannt werden. Die Wasserstoffverbrennung mittels eines Wasserstoffbrenners,  
10 der direkt in den Wasserdampf feuert, kann beispielsweise zur Anhebung der Frischdampfparameter oder zum Ausgleichen von Temperaturschwankungen bei Wolkendurchzug oder zum Anfahren der Anlage vorteilhaft genutzt werden.

15 Je nach Dampfparameter kann ein Dampfabscheider im Kreislauf vor dem Zwischenüberhitzer zweckmäßig sein, um mit möglichst hohem Dampfgehalt in den Dampf-Dampf-Wärmetauscher auf der kalten Sekundärseite des Zwischenüberhitzers zu fahren.

20 Dabei ist es weiterhin zweckmäßig, wenn das Kondensat aus dem Dampfabscheider an geeigneter Stelle wieder in den Arbeitsfluidkreislauf eingebracht wird.

Besonders vorteilhaft umfasst die solarthermische Kraftwerks-  
25 anlage Parabolrinnenkollektoren, welche über eine hohe Technologiereife verfügen und den höchsten Konzentrationsfaktor für linear konzentrierende Systeme aufweisen, wodurch hohe Prozesstemperaturen möglich sind.

30 In einer alternativen Ausführungsform werden Fresnel-Kollektoren verwendet. Ein Vorteil der Fresnel-Kollektoren gegenüber dem Parabolrinnenkollektor liegt in der Verrohrung und den resultierenden, vergleichsweise geringen Druckverlusten. Ein weiterer Vorteil der Fresnel-Kollektoren sind die  
35 gegenüber Parabolrinnenkollektoren weitgehend standardisierten Komponenten, die ohne hochtechnologisches Know-how herzustellen sind. Fresnel-Kollektoren sind daher kostengünstig in Anschaffung und Unterhalt.

Eine weitere vorteilhafte alternative Ausführungsform nutzt für die solare Direktverdampfung einen Solarturm, der höchste Prozesstemperaturen ermöglicht.

5

Aufgrund seiner sehr hohen spezifischen Wärmekapazität bzw. seiner hohen spezifischen Verdampfungsenthalpie und seiner einfachen Handhabbarkeit ist Wasser ein sehr guter Wärmeträger und somit als Arbeitsfluid sehr geeignet.

10

Bezogen auf das Verfahren wird die Aufgabe durch ein Verfahren zum Betrieb einer solarthermischen Kraftwerksanlage gelöst, in welcher ein Arbeitsfluid in einem Kreislauf geleitet wird, bei dem das Arbeitsfluid durch solare Einstrahlung direkt verdampft und unter Abgabe technischer Arbeit auf einer

15 Entspannungsstrecke entspannt und in einer Zusatzfeuerung überhitzt wird.

Das Verfahren bedient sich der beschriebenen Vorrichtung. Die Vorteile der Vorrichtung ergeben sich daher auch für das Verfahren.

20

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele und Zeichnungen sowie aus weiteren Unteransprüchen.

25

Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand der Zeichnungen näher erläutert.

30

Darin zeigen in vereinfachter und nicht maßstäblicher Darstellung:

FIG 1 eine Zwischenüberhitzung mittels einer Zusatzfeuerung,  
35 FIG 2 eine Zwischenüberhitzung mittels Wasserstoff-befeuerteter Zusatzfeuerung, wobei Wasserstoff regenerativ über eine Photovoltaikanlage produziert wird,

FIG 3 eine Zwischenüberhitzung mittels Wasserstoff-befeuertes Zusatzfeuerungs, wobei Wasserstoff mittels Strom aus eigener Kraftwerksproduktion gewonnen wird,

FIG 4 eine allgemeine Nutzung der direkten Wasserstofffeuerung im solarthermischen Kraftwerk und

FIG 5 eine Kombination zweier Systeme (Dampf-Dampf-Wärmetauscher und direkte Wasserstoffverbrennung).

Gleiche Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

Figur 1 zeigt den schematischen Aufbau und den Kreislaufprozess einer solarthermischen Kraftwerksanlage 1 mit Direktverdampfung nach der Erfindung. Die Anlage 1 umfasst ein Solarfeld 2, in dem die Sonnenstrahlung konzentriert und in Wärmeenergie umgewandelt wird und kann beispielsweise Parabolrinnenkollektoren, Solartürme oder Fresnel-Kollektoren aufweisen. Konzentrierte Sonnenstrahlung wird an ein Wärmeträgermedium abgegeben, welches verdampft und über eine Frischdampfleitung 10 in eine Entspannungsstrecke 19, bestehend aus einer Dampfturbine 3, als Arbeitsfluid eingeleitet wird. Die Dampfturbine 3 umfasst eine Hochdruckturbine 4 und eine Niederdruckturbine 5, welche einen Generator 6 antreiben. In der Turbine 3 wird das Arbeitsfluid entspannt und anschließend in einem Kondensator 7 verflüssigt. Eine Speisewasserpumpe 8 pumpt das verflüssigte Wärmeträgermedium wieder zurück in das Solarfeld 2, womit der Kreislauf 9 des Wärmeträgermediums bzw. des Arbeitsfluids geschlossen ist.

Im Ausführungsbeispiel der Figur 1 wird der Dampf der kalten Zwischenüberhitzung mittels einer Zusatzfeuerung 22 (z.B. fossil, Biomasse, Wasserstoff) überhitzt. Eine fossilbefeuerte Zusatzfeuerung 22 kann in verschiedenen Kesselbauarten ausgeführt werden. Durch ihre Anordnung kann sie gezielt für die Überhitzung des kalten Zwischenüberhitzungsdampfes auf die entsprechenden heißen Zwischenüberhitzungsdampfparameter eingesetzt werden.

Vor der fossil befeuerten Zwischenüberhitzung 22 kann je nach kalten Zwischenüberhitzungsdampfparametern die Verwendung eines Dampfabscheiders 14 sinnvoll sein, um einen optimalen Dampfgehalt für die fossil befeuerte Überhitzung zu erhalten.  
5 Das Kondensat aus dem Dampfabscheider 14 wird an einer geeigneten Stelle (Einspeisestelle 15) wieder in den Speisewasserkreislauf 9 eingebracht.

Figur 2 zeigt eine Ausführung der Erfindung, welche die Zwischenüberhitzung mit Zusatzfeuerung 22 genauer beschreibt.  
10 Die Zusatzfeuerung wird in dieser Ausführung mit Wasserstoff 26 betrieben, d.h. dass ein Wasserstoffbrenner 21 direkt in den Wasserdampf feuert. Der benötigte Wasserstoff 26 wird mittels einer Elektrolyse 24 erzeugt. Die für die Elektrolyse  
15 24 benötigte Energie wird von einer Photovoltaikanlage 23 zur Verfügung gestellt, wodurch die normalerweise über fossile Energieträger oder Biomasse befeuerte Zusatzfeuerung 22 ebenfalls über regenerative Energien verwirklicht wird und kein Kohlendioxid in den Wasser-Dampf-Kreislauf 9 gelangt.

20

Figur 3 zeigt wie Figur 2 eine Zusatzfeuerung 22, bei der ein Wasserstoffbrenner 21 direkt in den Wasserdampf feuert. Anders als in der in Figur 2 gezeigten Ausführung wird die für die Elektrolyse 24 benötigte Energie aber vom Kraftwerk 1  
25 selbst geliefert, wodurch die Zusatzfeuerung 22 wiederum rein regenerativ ausgeführt wird.

In einer in Figur 4 gezeigten Ausführung wird nicht nur die direkte Feuerung in die Zwischenüberhitzung mittels Wasserstoffbrenner 21 gezeigt, wobei Wasserstoff 26 direkt im Wasserdampf verbrannt wird. Wasserstoff 26 wird hier im Hinblick auf Prozessoptimierung und Wirkungsgradsteigerung auch zur Anhebung der Frischdampfparameter oder zum Ausgleichen von Temperaturschwankungen durch Wolkendurchzug genutzt und direkt im Wasserdampf der Frischdampfleitung 10 verbrannt.  
35

Figur 5 zeigt eine Ausführungsform, bei der eine erste Zwischenüberhitzung des teilentspannten Dampfes über einen

Dampf-Dampf-Wärmetauscher 17 realisiert ist. Die Zwischenüberhitzung auf die notwendigen Dampfparameter erfolgt mittels Zusatzfeuerung 22, beispielsweise mit einem Wasserstoffbrenner 21, der direkt in die Zwischenüberhitzung feuert. Der Dampf für die erste Zwischenüberhitzung kann dabei entweder aus einer speziellen Anzapfung 16 der Hochdruckturbine 4 oder einer Entnahmestelle aus einer Anzapfung zur Speisewasservorwärmung entnommen werden und nach der Abkühlung im Dampf-Dampf-Wärmetauscher 17 an einer Einspeisestelle 18 zur rekuperativen Speisewasservorwärmung wieder in den Kreislauf 9 des Arbeitsfluids zurückgeführt werden. Der Wasserstoff 26 für die Zusatzfeuerung kann mittels Elektrolyse 24 oder thermischer Spaltung gewonnen werden.

## Patentansprüche

1. Solarthermische Kraftwerksanlage (1), mit einem Arbeitsfluidkreislauf (9), einem auf Direktverdampfung basierenden solaren Dampferzeuger und einer Dampfturbine (3), zur Entspannung des Arbeitsfluids unter Abgabe technischer Arbeit, wobei der solare Dampferzeuger und die Dampfturbine (3) in den Arbeitsfluidkreislauf (9) geschaltet sind, mit einer Zusatzfeuerung (22) zur Zwischenüberhitzung von Arbeitsfluid.
2. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 1, wobei die Zusatzfeuerung (22) mit einem Brennstoff betreibbar ist.
3. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Zusatzfeuerung (22) mit Wasserstoff (26) betreibbar ist.
4. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 3, mit einer Elektrolyseeinrichtung (24) zur Gewinnung von Wasserstoff (26).
5. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 4, wobei die Elektrolyseeinrichtung (24) an eine Photovoltaikanlage (23) angeschlossen ist.
6. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend einen Generator (6) zur elektrischen Energieerzeugung, wobei der Generator über eine Welle an die Dampfturbine (3) gekoppelt ist.
7. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 6, wobei die für die Elektrolyse (24) benötigte Energie vom Generator (6) der Kraftwerksanlage (1) selbst lieferbar ist.
8. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Dampfabscheider (14) der Zusatzfeuerung (22) vorgeschaltet ist.

9. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 8, wobei ein Kondensatausgang des Dampfabscheiders (14) in den Arbeitsfluidkreislauf (9) geschaltet ist.

5

10. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der solare Dampferzeuger mit der Turbine (3) über eine Frischdampfleitung (10) verbunden ist, wobei eine Zusatzfeuerung in die Frischdampfleitung geschaltet ist.

10

11. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der solare Dampferzeuger Parabolrinnenkollektoren umfasst.

15

12. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der solare Dampferzeuger Fresnel-Kollektoren umfasst.

20

13. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der solare Dampferzeuger einen Solarturm umfasst.

25

14. Solarthermische Kraftwerksanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Arbeitsfluid Wasser bzw. Wasserdampf ist.

30

15. Verfahren zum Betrieb einer solarthermischen Kraftwerksanlage (1), in welcher ein Arbeitsfluid in einem Kreislauf (9) geführt wird, bei dem das Arbeitsfluid durch solare Einstrahlung direkt verdampft und unter Abgabe technischer Arbeit entspannt und in einer Zusatzfeuerung (22) überhitzt wird.

FIG 1

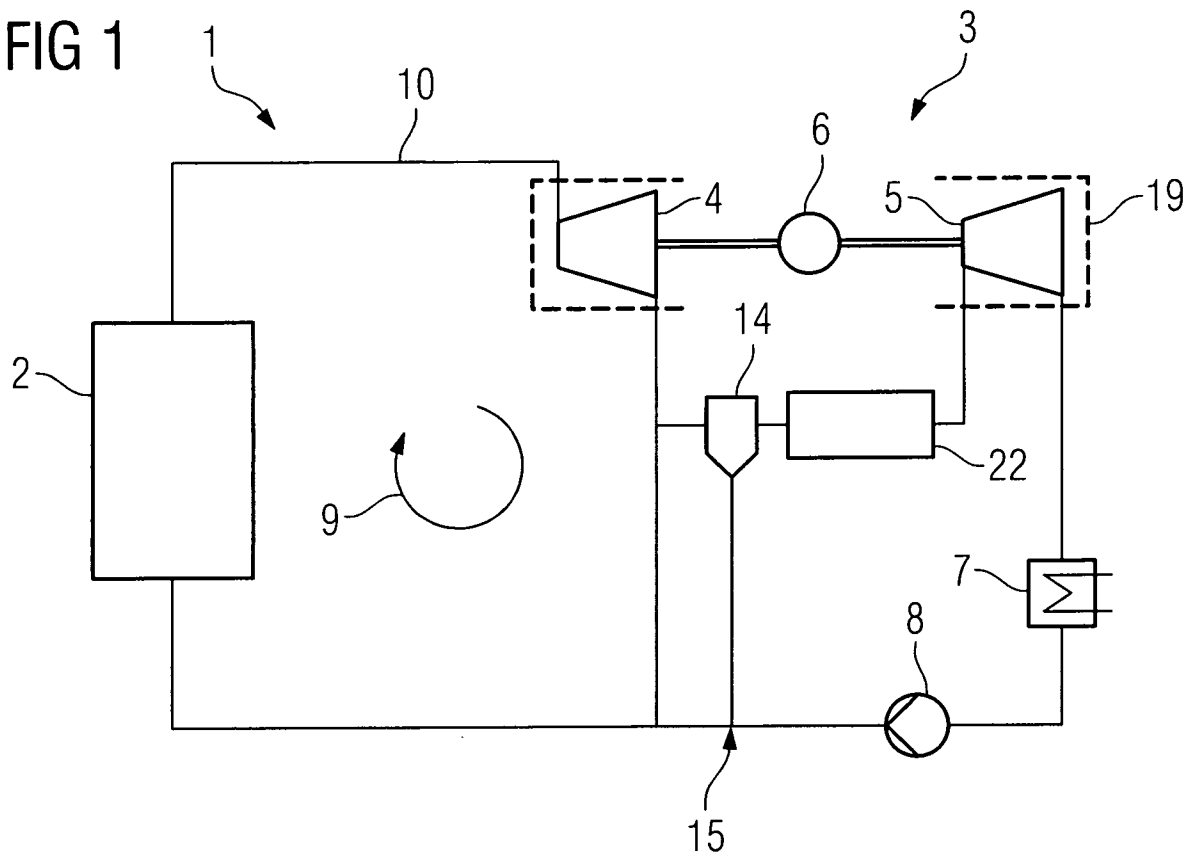


FIG 2

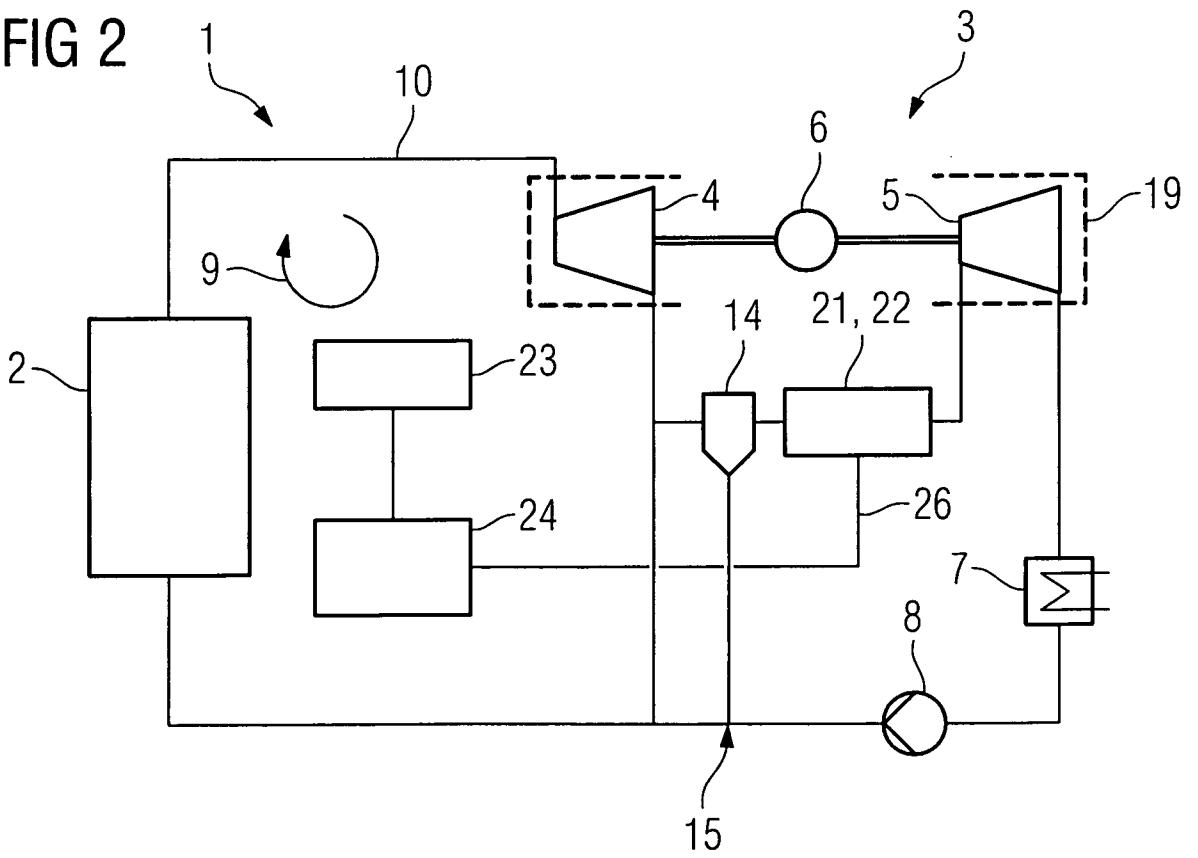


FIG 3

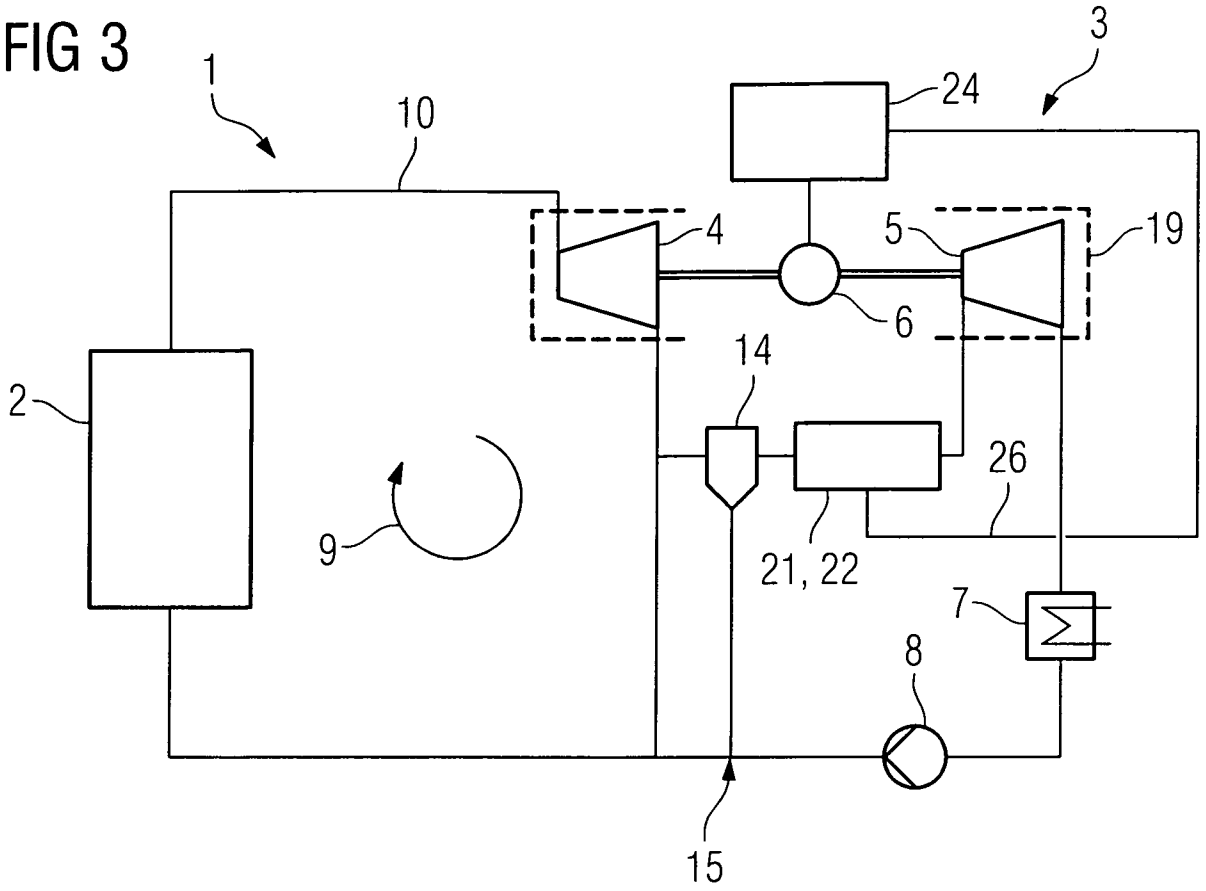


FIG 4

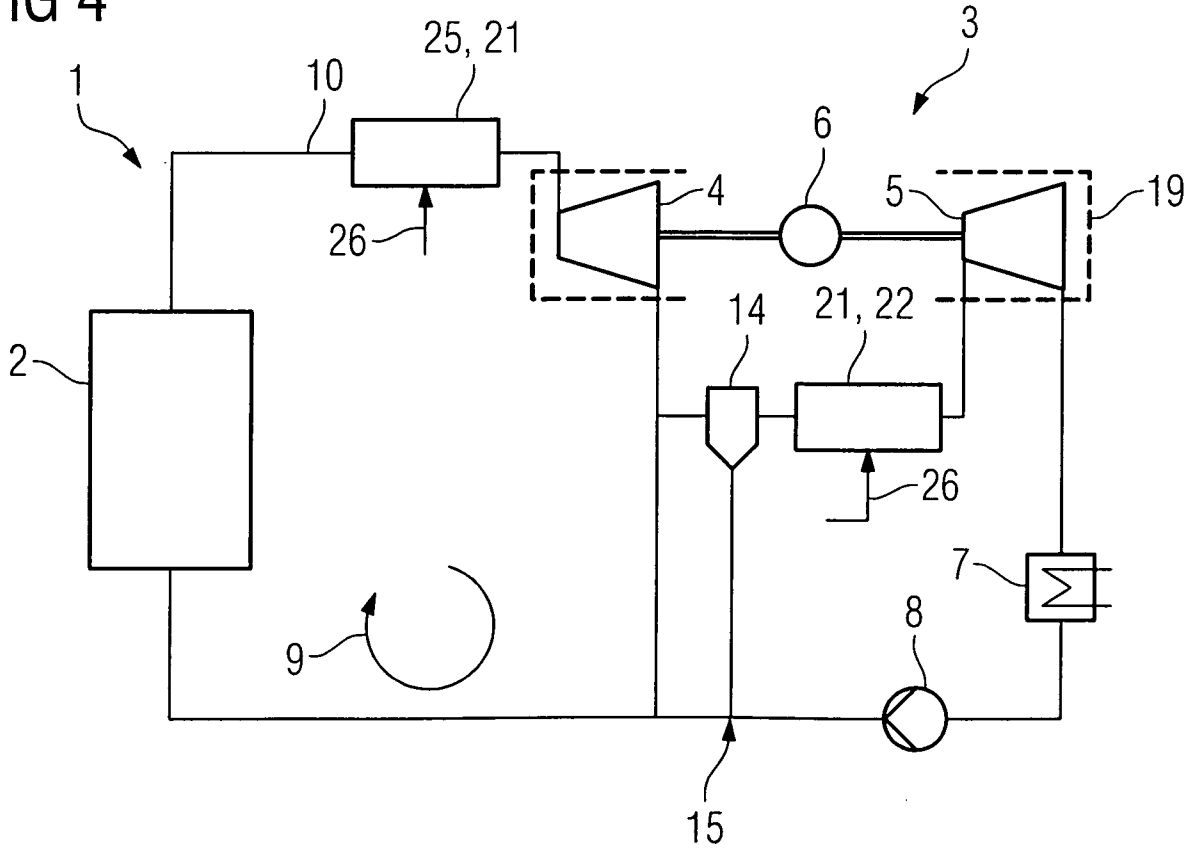


FIG 5

