



(10) **DE 10 2012 006 729 A1** 2013.10.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 006 729.1**

(51) Int Cl.: **F24J 2/10** (2012.01)

(22) Anmeldetag: **02.04.2012**

(43) Offenlegungstag: **02.10.2013**

(71) Anmelder:
**Rombrecht, Hans-Malte, Dr., 49448, Quernheim,
DE**

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Solarthermisches Kraftwerk mit verbesserter Wirtschaftlichkeit**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft solarthermische Kraftwerke verbesserter Wirtschaftlichkeit, bei denen erfindungsgemäß die Umwandlung der solaren Strahlung in Wärme und ggf. die Speicherung der so gewonnenen Wärme durch mehr als eine unterschiedliche Einrichtung erfolgt, wobei diese Einrichtungen in ihrer Kostenstruktur optimal an die jeweilige Temperatur des energieaufnehmenden Mediums angepasst sind und spezielle kostengünstige Ausführungsformen von Einrichtungen zur Absorption von Sonnenlicht und zur Speicherung der so gewonnenen Wärme für eine Nutzung in strahlungsarmen Zeiten zur Anwendung kommen.

Beschreibung

Stand der Technik:

[0001] Bei solarthermischen Kraftwerken wird die Energie des Sonnenlichts in geeigneten Vorrichtungen absorbiert und auf ein Wärmeträgermedium übertragen, und dann mittels bekannter Kraftwerkstechnik in mechanische Energie und elektrische Energie umgewandelt.

[0002] Die wichtigsten Einrichtungen zur Absorption des Sonnenlichtes zur Kraftwerksnutzung sind nach heutigem Stand der Technik:

- Parabolspiegelrinnenkraftwerke
- Heliostaten – Turmkraftwerke
- Fresnelspiegelkraftwerke

[0003] Eine sehr umfangreiche Übersicht über den Stand der Nutzung der Solarenergie findet sich bei Achmed A. W. Khammas: "Buch der Synergien, Teil C" im Internet unter <http://www://buch-der-synergie.de/c> sowie in der Internet-Encyclopädie "Wikipedia" unter dem Stichwort "Sonnenkraftwerk".

[0004] Nur Parabolspiegelkraftwerke werden z. Z. als größere Anlagen in kommerziellem Umfang betrieben.

[0005] In der Firmenschrift der "Solar Millenium AG": "Der Andasol Fonds" wird recht ausführlich das solarthermische Kraftwerk "Andasol 3" beschrieben. Dies Projekt wird als das z. Z. größte solarthermische Kraftwerk bezeichnet. Es darf somit als Beschreibung des derzeit tatsächlich ausgeführten Standes der Technik und somit als Referenz angesehen werden.

[0006] In "Andasol 3" wird die Sonnenenergie mittels großer in Rinnenform angeordneter aus Glas gefertigter Parabolspiegel auf ein vakuumisoliertes Absorberrohr gelenkt und die Wärme dort von einem Wärmeträgeröl aufgenommen und in einem Wärmetauscher auf Wasser übertragen, mit dem in üblicher Technik ein Dampfkraftwerk betrieben wird. Ein Teil der Wärme wird zunächst vom Wärmeträgeröl auf eine als Wärmespeicher dienende Salzschnmelze übertragen und von dort in strahlungsarmen Zeiten wieder abgerufen, um eine gewisse Zeit lang nach Ausbleiben der Sonneneinstrahlung das Kraftwerk noch weiter betreiben zu können. Das Kondensatwasser des Dampfkraftwerks wird durch Zumischen von Dampf, den man der Turbinenanlage entzieht, auf eine erhöhte Temperatur gebracht und dann erneut dem Kraftwerksprozess zugeführt. Der entzogene Dampf fehlt in der Turbinenanlage und vermindert deren Leistung. Die Parabolspiegel sind auf einem stabilen Gerüst fest verklebt und müssen sehr sorgfältig justiert werden, damit die reflektierte Strahlung genau auf die Absorberrohre trifft. Aus dem gleichen Grund müssen auch die Spiegel selbst mit hoher Präzision gefertigt werden. Die Spiegel bestehen aus rückseitig verspiegeltem Glas, so daß das einfallende Sonnenlicht zunächst zweimal das Glasmaterial passieren muß. Deshalb muß ein ein esonders absorptionsarmes Spezialglas verwendet werden. Die Parabolspiegelreihen werden in Nord-Süd-Richtung angeordnet und in Richtung der einfallenden Sonnenstrahlung gedreht. Um auch bei niedrigem Sonnenstand eine gegenseitige Teilverschattung möglichst gering zu halten, werden die Spiegelreihen mit Abstand zueinander angeordnet. Bedingt durch die Eigenschaften des Wärmeträgeröls ist mit dieser Kraftwerksanordnung eine Temperatur des Wärmeträgeröls von nur 400°C erreichbar, für die obere Temperatur der Salzschnmelze werden 390°C genannt. Unter Berücksichtigung der für den Betrieb eines Wärmetauschers nötigen Temperaturdifferenz darf man somit von einer Dampftemperatur von maximal 380°C ausgehen.

[0007] Es gibt auch Berichte über Versuche, statt des Wärmeträgeröls Salzschnmelzen als Wärmeträger in Parabolrinnenkraftwerken einzusetzen. Bei deren Konstruktion sind Vorkehrungen vorzusehen, die ein Erstarren der Salzschnmelze bei Betriebspausen verhindern. Mit Salzschnmelzen sollen deutlich höhere Wärmeträgertemperaturen erreicht werden als mit Thermoöl.

[0008] Weiterhin gibt es im Versuchsstadium auch sog. Turmkraftwerke, bei denen sehr viele einzelne Spiegel, sogenannte Heliostaten, das einfallende Sonnenlicht, z. T. über beachtliche Entfernung, auf einen in einem hohen Turm befindlichen Strahlungsempfänger, auch als "receiver" bezeichnet, reflektieren. Dazu muss jeder einzelne Spiegel auf einem eigenen Gestell montiert und zur genauen Ausrichtung zweidimensional einzeln angesteuert werden, und diese Ausrichtung muss ständig dem sich verändernden Sonnenstand angepasst werden. Solche Heliostatenfelder sollen einige hundert bis zu einigen tausend Spiegel umfassen. Für eine volle Ausnutzung des einfallenden Sonnenlichts muß auch hier der Abstand zwischen den einzelnen Spiegeln so ausreichend sein, daß eine gegenseitige Verschattung weitgehend vermieden wird. Mit dieser Anordnung sollen Temperaturen von 700°C und mehr erreicht werden können.

[0009] Als dritte Variante, ebenfalls im Stadium des Versuchsbetriebs, werden sog. Fresnelspiegelanordnungen genannt. Diese bestehen aus mehreren nebeneinanderliegenden langen Reihen von bodennah montierten Planspiegeln, die das Sonnenlicht gemeinsam auf einen auf einem hohen Gestell befindlichen Strahlungsempfänger reflektieren. In dieser Anordnung werden die Spiegelreihen eindimensional dem Sonnenstand nachgeführt. Es ist dabei nicht nur eine gegenseitige Verschattung der Spiegel zu vermeiden, sondern es muß auch noch darauf geachtet werden, daß die einzelnen Spiegelreihen nicht der Lichtreflektion der anderen Spiegel im Wege stehen. Über die mit dieser Anordnung erreichbaren Temperaturen sind wenig Informationen erhältlich. Wegen der geringeren Fokussierung durch Planspiegelelemente darf jedoch davon ausgegangen werden, daß weniger hohe Temperaturen erreichbar sind als bei Parabolspiegelrinnensystemen. Einige Patentschriften beschäftigen sich mit Verbesserungen des solarthermischen Kraftwerksprozesses: In WO 97/14887 wird ein Verfahren vorgeschlagen, in dem Solarwärme zur Verdampfung des Arbeitsfluids genutzt wird und die Überhitzung durch die Abhitze eines GuD-Kraftwerkes erfolgt. Diese Kopplung ist nur dann sinnvoll, wenn sich bereits ein GuD-Kraftwerk in der unmittelbaren Nähe des Solarkraftwerkes befindet.

[0010] In US 2009/0324073 A1 wird ein Verfahren vorgeschlagen, das sich auf mehrere Wärmequellen stützt, wobei Niedertemperaturwärme zur Vorwärmung eines organischen Wärmeträgers dient. Auch dieses Verfahren ist nur dann sinnvoll, wenn mehrere verschiedene Wärmequellen am gleichen Ort zur Verfügung stehen.

[0011] In DE 00 0010 346 255 A1 wird ein Verfahren vorgeschlagen, in dem auf die Speisewasservorwärmung durch Anzapfdampf ebenfalls verzichtet wird. Statt dessen wird Wärme aus einem Hochtemperaturwärmeerzeuger genutzt. Dies ist exergetisch nicht günstig. Weiterhin wird dort ausgeführt, daß Vorwärmung, Verdampfung und Überhitzung getrennt durchgeführt werden, eine der Temperatur angepaßte Methode zur Strahlungswandlung wird nicht erwähnt.

Erläuterungen zur Erfindung:

[0012] Viele der solarthermischen Kraftwerke können nicht wirtschaftlich betrieben werden und sind erst durch Zusage großzügiger Subventionen entstanden. Ziel der Erfindung sind daher solarthermische Kraftwerke verbesserter Wirtschaftlichkeit.

[0013] Da bei Solarkraftwerken keine Brennstoffkosten anfallen, sind die Betriebskosten überwiegend durch den Kapitaldienst für die Errichtung des Kraftwerks bedingt. Die Mängel im Stand der Technik sind somit vor allem in den für einen wirtschaftlichen Betrieb zu hohen Kosten für die Errichtung der solarthermischen Kraftwerke zu suchen.

[0014] Im Gegensatz zu Verbrennungskraftwerken ist die prozentuale Energieausnutzung nicht Hauptkriterium der Wirtschaftlichkeit, sondern die auf die Leistung bezogenen Errichtungskosten. Hier muß daher bei einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit vorrangig angesetzt werden.

[0015] Die Kraftwerkskomponenten im engeren Sinne, wie Turbinen, Generatoren, Transformatoren und dazu gehörige Leittechnik sind Stand der Technik und stellen, für sich allein gesehen, keine wesentlich über die bei Verbrennungskraftwerken üblichen Werte hinausgehenden Kostenfaktoren dar. Bemühungen zur Kostensenkung müssen daher vor allem bei den Anlageteilen ansetzen, die die Solarstrahlung einfangen, also bei den Spiegeln und den Strahlungsabsorbern, aber auch bei den Einrichtungen zur Übertragung und Transport der so gewonnenen Wärme und gegebenenfalls bei den Einrichtungen zu deren Zwischenspeicherung. Dabei sind nicht nur die Kosten der Anlageteile selbst – also sozusagen "ab Werk" – zu berücksichtigen, sondern auch die Kosten für den Transport zum Ort der Nutzung und die dort anfallenden Aufstellungskosten.

[0016] Wichtig für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Kraftwerks ist immer der Wirkungsgrad als der prozentuale Anteil der eingebrachten Wärme, der als Nutzenergie gewonnen wird. Dabei gibt es einen maximal möglichen Grenzwert W , der bestimmt ist durch die obere Temperatur $T(o)$, bei der die zur Energieumwandlung benötigte Wärme in das System eingebracht wird, und die untere Temperatur $T(u)$, bei der die nicht in Nutzenergie umgewandelte Wärme wieder aus dem System entfernt wird (Carnot-Prinzip):

$$W = 100 \cdot ((T(o) - T(u)) / T(o))$$

$$\text{oder auch } W = 100 \cdot (1 - T(u) / T(o)) \quad (1)$$

[0017] Die Temperaturen T in dieser Gleichung sind dabei absolute Temperaturen.

[0018] Bei realen Anlagen liegt der tatsächlich erreichte Wirkungsgrad deutlich niedriger als der maximal mögliche Wert. Wenn es sich jedoch nur um den Vergleich mehrerer Anlagentypen miteinander handelt, kann der Maximalwert durchaus für erste Näherungsrechnungen herangezogen werden.

[0019] Es ist leicht zu sehen, daß sich der Wirkungsgrad um so mehr dem 100%-Wert annähert, je kleiner $T(u)$ und je größer $T(o)$ ist.

[0020] Bei solarthermischen Kraftwerken sind die Möglichkeiten, die untere Temperatur $T(u)$ zu beeinflussen, recht gering. $T(u)$ hängt vor allem von den örtlich gegebenen Möglichkeiten zur Kühlung ab. Damit bleibt als technische Aufgabe, die obere Temperatur $T(o)$ möglichst hoch zu wählen.

[0021] Der maximale Wirkungsgrad allein reicht aber nicht aus, um einen Bezugswert für die Wirtschaftlichkeit eines solarthermischen Kraftwerks zu erhalten, er muss auch noch mit den Anlagekosten verknüpft werden. Ein mögliches Kriterium ist der Quotient aus Wirkungsgrad und spezifischen Kosten für die Absorption einer Einheit Wärmeleistung, das ist zugleich der Wert für die spezifischen Anlagekosten einer Einheit der gewonnenen Nutzleistung. Er soll im folgenden als Nutzfaktor N bezeichnet werden, die spezifischen Kosten pro aufgenommene Wärmeleistungseinheit sollen K genannt werden.

[0022] Als kritische Kosten $KK(t)$ sollen im folgenden die spezifischen Kosten benannt werden, die bei der jeweiligen oberen Temperatur t gerade den gleichen Nutzfaktor ergeben wie die willkürlich als Referenz gleich 100 gesetzten spezifischen Kosten bei der als Referenz gesetzten oberen Temperatur von 380°C .

(t = Temperatur in $^\circ\text{C}$)

Also

$$N = W/K, KK(t) = 100 \cdot W(380)/W(t) \quad (2)$$

[0023] Tabelle 1 gibt den Zusammenhang zwischen der oberer Temperatur t und dem maximalem Wirkungsgrad $W(t)$ nach (1) und den kritischen Kosten $KK(t)$ nach (2) als Funktion der oberen Temperatur bei jeweils einer unteren Temperatur von 60°C , die auch bei Luftkühlung in heißem Klima erreichbar ist:

Tabelle 1

t ($^\circ\text{C}$):	140	180	220	260	300	340	380	420	460	500	540	580
$W(t)(\%)$:	19	27	33	38	42	46	49	52	55	57	59	61
$KK(t)(\%)$:	40	54	66	77	86	93	100	106	111	116	120	124

[0024] Mit diesen Begriffen wird im Anschluß an die Erfindungsbeschreibung der Nutzen der Erfindung an einigen Beispielen erläutert werden.

Gegenstand der Erfindung:

[0025] Basis der Erfindung sind solarthermische Krafwerke, bei denen zwei oder mehr unterschiedliche Vorrichtungen zur Absorption von Sonnenstrahlung derart gemeinsam für ein Kraftwerk genutzt werden, daß das Wärmeträgermedium (bzw. die Wärmeträgermedien) zunächst bei niedriger Temperatur in einem Anlageteil erwärmt wird, der bei geringen Anlagekosten nur eine für den vorgesehenen Betrieb des Kraftwerks allein nicht ausreichende Erwärmung des Arbeitsmediums ermöglicht, und anschließend in weiteren Anlageteilen mit höherem technischen Aufwand weiter erwärmt wird. Zu diesem Zweck stellt die Erfindung einige Möglichkeiten bereit, mit denen für diese Teilaufgaben neuartige wirtschaftliche Lösungen geboten werden.

[0026] Eine spezielle Ausführungsform der Erfindung bei solarthermischen Krafwerken mit Wärmespeichern betrifft die Verwendung unterschiedlicher Speicher für Wärme unterschiedlicher Temperaturstufen. Besonders interessant erscheint dabei die Speicherung des Speisewassers für das Kraftwerk bei erhöhter Temperatur nach direktem Durchlauf durch einen solaren Erhitzer, der speziell für den infrage kommenden Temperaturbereich besonders wirtschaftlich arbeitet. Wasser hat eine besonders hohe spezifische Wärme, ist preiswert, ungiftig und nicht brennbar. Die nötigen Druckfestigkeiten der Speicherbehälter, 10 bar für Wassertemperaturen bis ca. 180°C oder 20 bar bis ca. 200°C , liegen dabei in einem durchaus beherrschbaren Bereich. Mit höherem Aufwand in Bezug auf die Druckfestigkeit kann aber das Speisewasser in einer weiteren Druckstufe auch bei noch höheren Temperaturen gespeichert werden. Auch die Verwendung von Hochtemperaturspeichern auf Basis anorganischer Feststoffe, zweckmäßigerweise mit komprimierten Gasen als Transportmedium der Wär-

me kann, neben Wärmespeichermedien für die Wärmespeicherung bei niedrigeren Temperaturen, im Sinne der Erfindung von Vorteil sein.

[0027] Eine der besonders beanspruchten Einrichtungen zur Strahlungsabsorption besteht aus flachen Absorbern, wie sie ähnlich z. T. bereits in der Brauchwassererwärmung Stand der Technik sind, denen zur Erhöhung der Strahlungsdichte in Form eines Troges seitliche Spiegel hinzugefügt werden, und bei denen, je nach zu erreichendem Temperaturniveau, Maßnahmen zur Verminderung von Wärmeverlusten getroffen werden. Diese Einrichtungen sollen im folgenden als Spiegeltrochanlagen bezeichnet werden. Bei den Spiegeltrochanlagen können als Spiegel mit Vorteil oberflächenreflektierende Materialien eingesetzt werden. Falls dafür dünne hartelastische Materialien eingesetzt werden, können diese Spiegel leicht zu konkaven Flächen gebogen werden und damit zu einem noch höheren Maß von Lichtkonzentration führen. Als flächenhafte Absorber sind nach dem Stand der Technik vor allem absorbierende Platten mit aufgelöteten Rohren für die Wärmeträgerflüssigkeit, Gruppen von vakuumisolierten Rohren für den Durchfluß der Wärmeträgerflüssigkeit und besonders flächenhafte Hohlkörper in der Art der in der Gebäudeheizung üblichen Plattenheizkörper, die von der Wärmeträgerflüssigkeit durchflossen werden, in Betracht zu ziehen.

[0028] Eine weitere beanspruchte Einrichtung lehnt sich im Prinzip an die dem Stand der Technik entsprechenden Parabolrinnenspiegelsysteme an, besitzt jedoch statt des zur Wärmeabsorption dienenden Rohres einen schmalen, flächenhaften Strahlungsabsorber mit Vorrichtungen zur Verminderungen von Wärmeverlusten und leichte Planspiegel aus hartelastischem Material mit reflektierender Oberfläche, denen durch Befestigung an einer entsprechenden Tragevorrichtung eine annähernd parabolische Form durch elastische Verformung aufgezwungen wird. Als flächenhafte Absorber können dabei alle Vorrichtungen zur Absorption von Sonnenlicht genutzt werden, die keine Fokussierung auf eine Brennpunktlinie benötigen.

[0029] Einrichtungen dieser Art sollen im folgenden als vereinfachte Parabolrinnenspiegel bezeichnet werden.

[0030] Vereinfachte Parabolrinnenspiegel weisen eine Anzahl von Kostenvorteilen auf: Durch den flächenhaften Absorber wird die Lichtabsorption gegenüber bisherigen Parabolspiegeln mit Fokussierung auf eine Brennpunktlinie sehr viel unempfindlicher gegenüber Abweichungen in der Optik, es können daher weniger exakt fokussierende Spiegelsysteme mit gewissen Fehlern in der Parabolform toleriert werden, und damit werden leichtere, einfacher herstellbare Spiegel mit weniger starrer Befestigung möglich. Das Tragegestell kann leichter gehalten werden, ebenso die Vorrichtungen zum Drehen der Spiegel. Die Justierarbeit vereinfacht sich, und der Austausch defekter Spiegelelemente läßt sich auf wenige Handgriffe reduzieren. Weiterhin erleichtert das verminderte Gewicht der Spiegel die gesamte Anordnung des Systems in der Montage und bei Reparaturarbeiten. Durch diese Vorteile kann die gegenüber den Parabolspiegeln nach dem Stand der Technik niedrigere erreichbare Lichtkonzentration wettgemacht werden. Vorteilhaft ist auch die Kombination aus vereinfachten Parabolspiegeln und Parabolspiegeln nach dem Stand der Technik, bei der für einen Teil der aufzunehmenden Wärme der einfachere Bau der vereinfachten Parabolspiegel genutzt werden kann und das Gesamtsystem trotzdem mit den mit Parabolspiegeln nach dem Stand der Technik erreichbaren höheren Temperaturen arbeitet.

[0031] Vereinfachte Parabolspiegel weisen ebenso wie Parabolspiegel nach dem Stand der Technik eine sehr günstige Ausnutzung der Spiegelfläche auch bei niedrigem Sonnenstand auf, die vorhandene Spiegelfläche kann bis zur beginnenden Verschattung der Nachbarspiegel voll genutzt werden, und die Konzentration des Sonnenlichtes bleibt in diesem Bereich, wenn man von unterschiedlicher Lichtabsorption in der Atmosphäre absieht, praktisch konstant.

[0032] Spiegeltrogsysteme sind noch einfacher gebaut, sie sind aber konstruktionsbedingt ebenfalls auch bei niedrigem Sonnenstand gut einsetzbar. Bei niedrigem Sonnenstand erhält der Lichtabsorber nur noch sehr schräg direkt einfallendes Licht mit entsprechend wenig Energie. Unter diesen Bedingungen macht das zusätzlich durch die Spiegel eingebrachte Licht den Hauptteil der Energiezufuhr aus. Spiegeltrochanlagen benötigen kein Tragegestell, sie kommen mit minimalem Unterbau aus. Die Lichtabsorber können bodennah installiert werden, liegen fest und benötigen daher auch keine Gelenke in den Rohren, die das Wärmeträgermedium transportieren. Wenn sie in Reihen hintereinander eingesetzt werden, können sie so gebaut werden, daß einzelne Elemente im Reparaturfall einfach und schnell ausgetauscht werden können, ohne den Betriebsablauf zu unterbrechen. Spiegeltrogsysteme sind wegen ihrer begrenzten Lichtkonzentration weniger geeignet, hohe Temperaturen zu erzeugen, sie können aber Wärme bei vergleichsweise niedrigeren Temperaturen besonders wirtschaftlich in das Kraftwerkssystem einbringen und sind daher als Vorwärmeeinheiten vorteilhaft einsetzbar. Weiterhin können sie in den Zwischenräumen zwischen Parabolrinnenreihen eingesetzt werden, wo sie zwar nur bei hohem Sonnenstand Licht erhalten, das aber andererseits ungenutzt bleibt, und können dort wegen

ihrer einfachen Bauart trotzdem von Nutzen sein. In dieser Nutzung kommen sie auch für einen nachträglichen Einbau in bereits bestehende Solarkraftwerke ohne Umbau des Bestandes in Frage. Da sich Spiegeltroganlagen besonders zur Bereitstellung von erwärmtem Speisewasser eignen, und die Technik des Transports von erwärmtem Wasser im in Frage kommenden Temperaturbereich auch über größere Entfernungen aus der Fernwärmetechnik für Heizzwecke genutzt wird, bietet sich ihr Einsatz auch in einiger Entfernung vom eigentlichen Solarkraftwerk an. Damit kann das Parabolspiegelfeld der energetisch wertvolleren Erzeugung von Wärme höherer Temperatur vorbehalten bleiben. Spiegeltroganlagen können auch in Anpassung an die Temperatur des wärmeaufnehmenden Mediums in unterschiedlich aufwendiger Technik ausgeführt werden. So kann z. B. für die Erzeugung niedriger Temperaturen eine nur schwach isolierte Ausführung mit kleinen Spiegeln und geringer Druckfestigkeit ausreichen, während in einer nachgeschalteten Stufe nach Druckerhöhung eine druckfestere Ausführung des Absorbers zusammen mit besserer Wärmeisolierung und größeren, stärker das Licht konzentrierenden Spiegeln eingesetzt werden kann.

[0033] Der Einsatz der Parabolspiegelanlagen nach dem Stand der Technik ist durch die Notwendigkeit der Verwendung von Wärmeträgeröl auf Temperaturen bis ca. 380°C beschränkt. Der Einsatz dieser indirekten Erwärmung des als Arbeitsfluids dienenden Wassers erfordert zusätzlichen Aufwand für die Wärmeüberträger und führt zudem zu Energieverlusten in diesen Wärmeüberträgern. Die wünschenswerte Direkterwärmung des Wassers wird erschwert durch die Rohrgelenkverbindungen, die nötig sind, um das bei der Drehung der Spiegel erfolgende Ausschwenken des Absorberrohres auszugleichen, und die nur begrenzt gegen hohe Drucke und Temperaturen beständig sind. Diese Schwierigkeiten werden durch eine weitere Ausführungsform der Erfindung ausgeschaltet, die in Paabolrinnenspiegelanlagen besteht, bei denen sich die Spiegel um das Absorberrohr als Drehachse drehen. Das Absorberrohr steht dabei ortsfest und dreht sich auch nicht. Damit entfällt die Notwendigkeit für Rohrgelenke, und die Nutzung höherer Drucke und gleichzeitig auch höherer Temperaturen wird leichter möglich. Die Verwendung feststehender Absorberrohre bei im übrigen unveränderter Konstruktion würde allerdings zu sehr starken Drehmomenten führen, die ungewöhnlich starke Tragekonstruktionen und auch sehr starke Leistung für das Drehen der Spiegel erfordern würden. Daher ist es ein weiteres Element der Erfindung, Sekundärspiegel zu verwenden, die die von den Parabolspiegeln reflektierte Strahlung in Richtung der Parabolspiegel zurückreflektieren. Dadurch rückt die Fokusslinie der Strahlung und damit das Absorberrohr als Drehachse näher an den Massenschwerpunkt der zu drehenden Spiegel heran bzw. kann sogar mit diesem zusammenfallen, und das störende Drehmoment verschwindet weitgehend oder ganz. Der Sekundärspiegel kann dabei eben, eben zweigeteilt oder konvex sein. Ein konvexer Sekundärspiegel ist optisch besonders günstig, da er mit geringem Flächenbedarf eine weite Verschiebung der Fokusslinie ermöglicht. Planspiegel sind einfacher in der nötigen optischen Genauigkeit herzustellen, und ein zweigeteilter Planspiegel, der die auf unterschiedliche Fokusslinien von zwei Halbparabeln reflektierte Strahlung wieder in einer einzigen Fokusslinie zusammenreflektiert, kann eine geeignete Kompromißlösung sein. Nachteilig bei dieser erfindungsgemäßen Konstruktion ist neben dem zusätzlichen Aufwand für den Sekundärspiegel und seine Halterung auch der Umstand, daß der Sekundärspiegel einen Teil der für die Parabolspiegel benötigten Fläche verschattet. Dem stehen als Vorteil neben dem Wegfall der Kosten für Rohrgelenke vor allem die dadurch gegebenen Möglichkeiten des Einsatzes von höheren Drucken und Temperaturen und der bei Direkterhitzung des Arbeitsfluids gegebene Wegfall der Wärmeübertrager gegenüber, so daß sich eine insgesamt positive Bilanz ergibt.

[0034] Es gibt aber noch die Möglichkeit, die Rückseite der Sekundärspiegel als Träger für Photovoltaikpaneele zu nutzen. Dies ist besonders interessant, da besagte Spiegelrückseite stets der Sonne zugewandt ist und damit optimalen Ertrag der Photovoltaik verspricht, ohne daß eine zusätzliche Konstruktion nötig wäre. Eine Einbindung eines gewissen Photovoltaikanteils in die Energieerzeugung ist auch interessant, weil eine Schwäche der Photovoltaik, nämlich die ausgeprägte Empfindlichkeit gegen Strahlungsschwankungen, durch die deutlich stärkere thermische Trägheit der solarthermischen Hauptanlage aufgefangen werden kann. Weiterhin gibt es auch die Möglichkeit, den Gleichstrom der Photovoltaikpaneele nicht, wie bei separaten Photovoltaikanlagen üblich, über Wechselrichter ins Stromnetz einzuspeisen, sondern über einen Gleichstromantrieb direkt auf der Turbinenwelle des Solarthermikkraftwerks oder mit dieser gekuppelt zu dessen Energie zu addieren. Bei dieser Schaltung kann jede Regelung des Photovoltaikanteils entfallen, es gibt keine Probleme mit der elektrischen Zusammenschaltung der unterschiedlichen Energieerzeuger und die rotierende Masse der Turbinen-Generator-Kombination stellt noch einen zusätzlichen Kurzzeitenergiespeicher dar.

Beispiele:

[0035] An Hand einiger Rechenbeispiele sollen im folgenden die Vorteile der Verwendung von Kombinationen unterschiedlicher Strahlungsabsorber aufgezeigt werden. Dabei wird der Einfachheit halber vorausgesetzt, daß die eingestrahlten Wärmemengen den Temperaturdifferenzen des Wärmeträgermediums zwischen Eingang und Ausgang im jeweiligen Absorber entsprechen, so daß Temperaturdifferenzen direkt als Maß für die ein-

gestrahlten Wärmemengen benutzt werden können. Als maximal erreichbare Temperatur wird für Parabolrinnenspiegelabsorber nach dem Stand der Technik 380°C eingesetzt. Dies ist die durch die Stabilitätsgrenze des eingesetzten Wärmeträgeröls gegebene Temperatur. Für ein Spiegelsystem mit höherer erreichbarer Temperatur wird eine Dampftemperatur von 580°C angenommen, das ist eine Temperatur, die in vielen modernen Verbrennungskraftwerken genutzt wird, aber noch kein Spitzenwert. Nach Literaturangaben muss diese Temperatur durch Heliostatenfelder nach dem Stand der Technik problemlos erreichbar sein. Für vereinfachte Parabolspiegelsysteme wird wegen der weniger starken Fokussierung willkürlich eine gegenüber den Parabolspiegelsystemen nach dem Stand der Technik deutlich niedrigere Temperatur von 260°C eingesetzt, und für Spiegeltrogssysteme wegen der noch niedrigeren Konzentration des Sonnenlichtes nur 180°C. Für modifizierte Parabolrinnenanlagen mit feststehendem Absorberrohr sind noch keine Angaben für die maximal erreichbaren Dampftemperaturen möglich, sie dürften aber schon recht nahe bei 580°C liegen.

Rechenbeispiel 1.

[0036] In diesem Beispiel sollen ein Kraftwerk mit oberer Arbeitstemperatur von 380°C und ein Kraftwerk mit 580°C, beide nach dem Stand der Technik, beide gleich wirtschaftlich arbeiten, somit den gleichen Nutzfaktor nach der Tabelle 1 haben, also in willkürlichen Einheiten 0,49.

[0037] Ein Kraftwerk mit zwei unterschiedlichen Einrichtungen zur Strahlungsabsorption soll ebenfalls bei 580°C oberer Arbeitstemperatur arbeiten, dabei soll der Wärmeträger zunächst mit der Technik des 380°C Kraftwerks von 60°C um 320°C auf 380°C erwärmt und anschließend in einer zweiten Stufe mit der teureren Technik des 580°C Kraftwerks um weitere 200°C auf 580°C nachgeheizt werden. Es ist also eine gesamte Temperaturdifferenz von 520°C einzubringen, davon 320°C oder 61% in der ersten Stufe und die restlichen 39% in der zweiten Stufe.

[0038] Das führt mit den Kostenwerten aus Tabelle 1 zu folgender Kostenrechnung:

Stufe 1:	$0,61 \cdot 100 = 0,61$ (Anteil an spez. Kosten)
Stufe 2:	$0,39 \cdot 124 = 0,48$
Gesamt:	$\overline{1,09.}$

[0039] Beim durch die höhere Temperatur gegebenen Wirkungsgrad von 61% ergibt das einen Nutzfaktor von 0,56 gegenüber 0,49 für das 580°C Kraftwerk allein. Damit ist das kombinierte Kraftwerk um $0,07/0,49$ oder 14% wirtschaftlicher als jedes der beiden Kraftwerke nach dem Stand der Technik mit einheitlicher Solartechnik für sich allein, und das ohne Veränderungen an der Technik elbst.

Rechenbeispiel 2

[0040] In diesem Beispiel sollen die gleichen Elemente miteinander verglichen werden wie in Beispiel 1, mit dem einzigen Unterschied, daß das 580°C Kraftwerk als weniger wirtschaftlich arbeitend angenommen werden soll als das 380°C Kraftwerk. Die spezifischen Kosten sollen dort statt 124 jetzt 140 sein. Dann ergibt eine Rechnung in Analogie zu Beispiel 1:

Stufe 1:	$0,61 \cdot 100 = 0,61$
Stufe 2:	$0,39 \cdot 140 = 0,55$
Gesamt:	$\overline{1,16.}$

[0041] Nutzfaktor ist dann 0,53. Damit ist das 380°C Kraftwerk durch Austausch einiger Teile gegen die des weniger wirtschaftlich arbeitenden 580°C Kraftwerks immer noch um 8% günstiger geworden.

[0042] Die Beispiele 1 und 2 zeigen, daß bereits die Anwendung von unterschiedlichen Einrichtungen nach dem Stand der Technik zur Strahlungsabsorption für unterschiedliche Temperaturen des Wärmeträgermediums unter Berücksichtigung der spezifischen Kosten zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit führen kann.

Rechenbeispiel 3

[0043] In diesem Beispiel sollen Parabolrinnenspiegelsysteme nach dem Stand der Technik und erfindungsgemäße vereinfachte Parabolrinnenspiegelsysteme mit der Kombination der beiden Systeme verglichen wer-

den. Die Rechnung folgt wieder dem Schema des Rechenbeispiel 1 mit der Annahme, daß mit beiden Spiegelsysteme, für sich allein einsetzt, gleiche Nutzfaktoren erreicht werden. Diese Kombination ist damit ein Beispiel für die Verwendung einer der erfindungsgemäßen Lichtabsorptionseinrichtungen in der erfindungsgemäßen Kombination mit der Verwendung unterschiedlicher, der zu erreichenden Temperatur angepassten Lichtabsorber. Die Temperaturdifferenzstufen sind $60-260 = 200^{\circ}\text{C}$ und $260-380^{\circ}\text{C} = 120^{\circ}\text{C}$, die entsprechenden Anteile sind 63% und 37%. es ergibt sich somit

Stufe 1:	$0,63 \cdot 77 = 0,49$
Stufe 2:	$0,37 \cdot 100 = 0,37$
Gesamt:	$\overline{0,86}$

mit Nutzfaktor 0,57. Gegenüber dem Nutzfaktor von 0,49 für ein Kraftwerk mit Parabolspiegeln nach dem Stand der Technik ist der Kostenvorteil somit $0,08/0,49$ oder 16%.

Rechenbeispiel 4:

[0044] In diesem Beispiel soll der Nutzen des kombinierten Kraftwerkssystem für den hypothetischen Fall einer zukünftigen Verbesserung des heutigen Standes der Technik bei Parabolrinnenkraftwerken beschrieben werden: Es wird angenommen, daß durch irgendeine – wie auch immer geartete – Entwicklung die mit Parabolrinnenkraftwerken erreichbare Wärmeträgertemperatur um 100°C auf dann 480°C gesteigert werden kann. Dabei soll diese Verbesserung nicht nur für Neubauten gelten, sondern durch entsprechende Umbauten auch auf bestehende Anlagen anwendbar sein. Dann ergibt eine Rechnung entsprechend Beispiel 1, daß vorteilhafterweise nur $100/420$ oder 24% des Spiegelfeldes umgebaut werden müssen um den gleichen Effekt zu erzielen wie durch einen Totalumbau. Die restlichen 76% der Spiegel können unverändert weiterarbeiten.

[0045] Die in den Beispielen gegebenen Zahlenwerte dienen nur zur Verdeutlichung des Erfindungsgedankens, die erfindungsgemäßen neuartigen Einrichtungen zur Absorption des Sonnenlichts in Kombination mehrerer unterschiedlicher Einrichtungen zur Absorption des Sonnenlichtes einzusetzen. Sie stellen keine Begrenzung der Erfindung dar, und auch nicht die Behauptung, daß genau die angegebenen Temperaturwerte bei allen praktischen Anwendungen erreicht werden.

[0046] In den Rechenbeispielen errechnete Wirtschaftlichkeitsvorteile beziehen sich zunächst nur auf das System Wärmeabsorption-Wärmetransport-Wärmespeicherung, nicht auf das Gesamtkraftwerk. Da sich solarthermische Kraftwerke aber gerade in diesem Systemteil von den anerkanntermaßen wirtschaftlicher arbeitenden thermischen Kraftwerken auf Basis von Verbrennungsvorgängen unterscheiden, kann damit gerechnet werden, daß sich ein erheblicher Teil der errechneten Vorteile auch in der Bilanz für das gesamte Kraftwerk wiederfinden wird.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 97/14887 [0009]
- US 2009/0324073 A1 [0010]
- DE 000010346255 A1 [0011]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- <http://www://buch-der-synergie.de/c> [0003]

Patentansprüche

1. Solarthermisches Kraftwerk mit verbesserter Wirtschaftlichkeit, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Umwandlung der solaren Strahlung in Wärme durch mehr als eine Einrichtung erfolgt und die einzelnen Einrichtungen in ihrer Kostenstruktur optimal an die jeweilige Temperatur des energieaufnehmenden Mediums angepasst sind, wobei eine dieser Einrichtungen aus bodennah fest angebrachten flachen Strahlungsabsorberröhren besteht, denen zur Erhöhung der Einstrahlung seitlich Spiegel hinzugefügt sind, die so dem Stand der Sonne nachgeführt werden, daß das auf die Spiegel auftreffende Sonnenlicht auf die Strahlungsabsorber reflektiert wird.
2. Solarthermisches Kraftwerk mit verbesserter Wirtschaftlichkeit, dadurch gekennzeichnet, daß die Umwandlung der solaren Strahlung in Wärme durch mehr als eine Einrichtung erfolgt und die einzelnen Einrichtungen in ihrer Kostenstruktur optimal an die jeweilige Temperatur des energieaufnehmenden Mediums angepasst sind, wobei eine dieser Einrichtungen aus annähernd parabolartig gebogenen Planspiegeln aus dünnem hartelastischem Material mit reflektierender Oberfläche besteht, die in üblicher Weise zu Rinnen angeordnet sind und dem Stand der Sonne nachgeführt werden, und der strahlungsabsorbierende Teil ein schmaler flächenhafter Absorber ist.
3. Solarthermisches Kraftwerk mit verbesserter Wirtschaftlichkeit, dadurch gekennzeichnet, daß die Umwandlung der solaren Strahlung in Wärme durch mehr als eine Einrichtung erfolgt und die einzelnen Einrichtungen in ihrer Kostenstruktur optimal an die jeweilige Temperatur des energieaufnehmenden Mediums angepasst sind, wobei eine dieser Einrichtungen aus rinnenartig angeordneten Parabolspiegeln besteht, die durch Drehung um ein feststehendes mediumdurchflossenes Absorberrohr üblicher Bauart dem Stand der Sonne nachgeführt werden, und die die einfallende Sonnenstrahlung auf einen Sekundärspiegel reflektieren, von dem aus die Strahlung auf das Absorberrohr weiterreflektiert wird.
4. Solarthermisches Kraftwerk mit verbesserter Wirtschaftlichkeit, dadurch gekennzeichnet, daß die Umwandlung der solaren Strahlung in Wärme durch mehr als eine Einrichtung erfolgt und die einzelnen Einrichtungen in ihrer Kostenstruktur optimal an die jeweilige Temperatur des energieaufnehmenden Mediums angepasst sind, wobei mehr als ein Wärmespeicher zur Speicherung der Wärme bei der jeweiligen Temperatur für einen Kraftwerksbetrieb in strahlungsarmen Zeiten eingesetzt wird und die Speicher in ihrer Kostenstruktur optimal an die jeweilige Temperatur der zu speichernden Wärme angepasst sind.
5. Solarthermisches Kraftwerk gemäß Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Wärmespeichermedium eines Wärmespeichers das als Arbeitsmedium dienende Kesselspeisewasser eines Dampfkraftwerks verwendet wird.
6. Solarthermisches Kraftwerk gemäß Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Wärmespeichermedium eines der Wärmespeicher das als Arbeitsmedium dienende Kesselspeisewasser eines Dampfkraftwerks verwendet wird und die Erwärmung des zu speichernden Wassers mit Einrichtungen gemäß Anspruch 1 erfolgt.
7. Solarthermisches Kraftwerk mit verbesserter Wirtschaftlichkeit, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zum solarthermischen Kraftwerksteil gemäß Anspruch 3 noch Photovoltaikabsorber eingesetzt werden, die auf der der Sonne zugewandten Rückseite der Sekundärspiegel angebracht sind.
8. Solarthermisches Kraftwerk mit verbesserter Wirtschaftlichkeit, dadurch gekennzeichnet, daß darin mehr als ein Merkmal aus den Patentansprüchen 1–7 genutzt wird.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen