



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 48 064 A1** 2004.04.22

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 48 064.8**

(22) Anmeldetag: **11.10.2002**

(43) Offenlegungstag: **22.04.2004**

(51) Int Cl.⁷: **F24J 2/07**

(71) Anmelder:

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
51147 Köln, DE**

(72) Erfinder:

**Eck, Markus, Dr., 71229 Leonberg, DE; Steinmann,
Wolf-Dieter, Dr., 71034 Böblingen, DE**

(74) Vertreter:

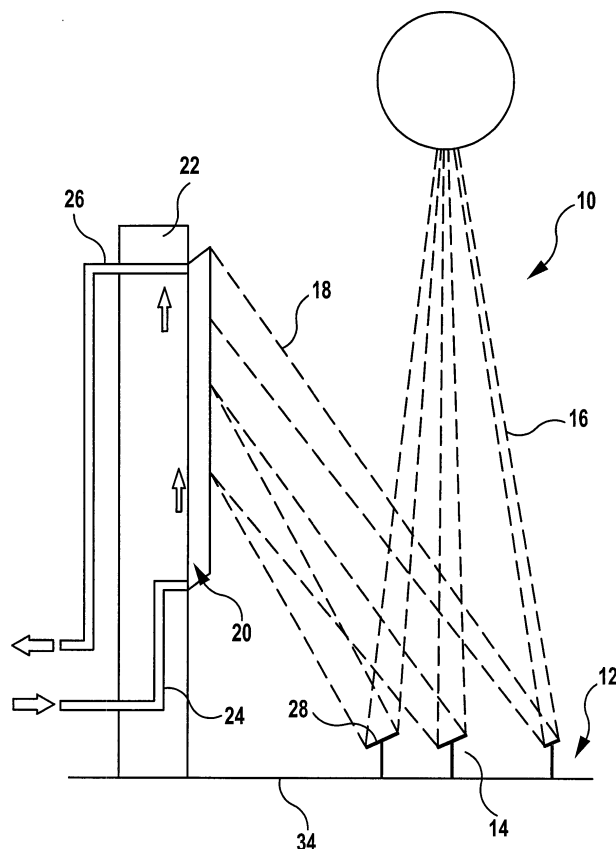
**HOEGER, STELLRECHT & PARTNER
Patentanwälte, 70182 Stuttgart**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Solar-Receivevorrichtung und Verfahren zur solarthermischen Erhitzung eines Wärmeaufnahme-mediums**

(57) Zusammenfassung: Um eine Solar-Receivevorrichtung mit mindestens einem Absorberrohr, welches mit konzentrierter Solarstrahlung von einer primären Kollektorvorrichtung beaufschlagbar ist und welches von einem Wärmeaufnahme-medium durchströmbar ist, zu schaffen, welche eine erhöhte Lebensdauer aufweist und ein optimiertes Betriebsverhalten hat, ist vorgesehen, daß das mindestens eine Absorberrohr in einem Beaufschlagungsbereich angeordnet ist, welcher eine größere Ausdehnung als eine Beaufschlagungsfläche des Absorberrohrs aufweist, und daß eine sekundäre Kollektorvorrichtung für den Beaufschlagungsbereich vorgesehen ist, welche so angeordnet und ausgebildet ist, daß Wärmeaufnahme-medium über Strahlung aus dem Beaufschlagungsbereich erwärmbar ist, welche nicht direkt vom Absorberrohr absorbiert wurde.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Solar-Receivervorrichtung mit mindestens einem Absorberrohr, welches mit konzentrierter Solarstrahlung von einer primären Kollektorvorrichtung beaufschlagbar ist und welches von einem Wärmeaufnahme-medium durchströmbar ist.

[0002] Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur solarthermischen Erhitzung eines Wärmeaufnahme-mediums, bei dem mindestens ein Absorberrohr mit konzentrierter Solarstrahlung beaufschlagt wird, wobei das Wärmeaufnahme-medium in dem Absorberrohr geführt wird.

Stand der Technik

[0003] Solar-Receivervorrichtungen werden in solarthermischen Kraftwerken eingesetzt, um ein Wärmeaufnahme-medium zu erhitzen und insbesondere Wasser zu erhitzen und in den dampfförmigen Zustand überzuführen.

[0004] Ein bekanntes Solarkraftwerk war "Solar One" in der Nähe von Barstow, Kalifornien. Dieses Kraftwerk ist beispielsweise in dem Artikel "The Power Production Operation of Solar One, the 10 MWe Solar Thermal Central Receiver Pilot Plant" von L. G. Radosevich und A. C. Skinrood in Transactions of the ASME, Vol. 111, May 1989, Seiten 144 – 151 beschrieben.

[0005] Bei Solar One wird dabei ein Turmkonzept verwirklicht, bei dem eine zentrale Solar-Receivervorrichtung eingesetzt ist.

[0006] Bei dem Stanwell Solar Thermal Power Project, wie es in dem Artikel von D. Burbidge et al., Proceedings of the 10th SolarPACES International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies, Seiten 21 – 26 beschrieben ist, wird ein Fresnel-System eingesetzt mit einem stationären Absorber.

[0007] Ferner sind Parabolrinnensysteme bekannt, bei welchen Solar-Receivervorrichtungen in dem Fokalbereich von Parabolrinnenkollektoren angeordnet sind.

Aufgabenstellung

[0008] Davon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Solar-Receivervorrichtung zu schaffen, welche eine erhöhte Lebensdauer aufweist und ein optimiertes Betriebsverhalten hat.

[0009] Diese Aufgabe wird bei der eingangs genannten Solar-Receivervorrichtung erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das mindestens eine Absorberrohr in einem Beaufschlagungsbereich angeordnet ist, welcher eine größere Ausdehnung als eine Beaufschlagungsfläche des Absorberrohrs aufweist und daß eine sekundäre Kollektorvorrichtung für den Beaufschlagungsbereich vorgesehen ist, welche so angeordnet und ausgebildet ist, daß Wärmeaufnahme-

medium über Strahlung aus dem Beaufschlagungsbereich erwärmbar ist, welche nicht direkt vom Absorberrohr absorbiert wurde.

[0010] Dadurch, daß der Beaufschlagungsbereich größer ist als eine Beaufschlagungsfläche des Absorberrohrs, läßt es sich erreichen, daß die thermomechanische Belastung des Absorberrohrs minimierbar ist. Ist insbesondere eine Mehrzahl von Absorberrohren vorgesehen, dann läßt sich dadurch erreichen, daß diese in der Solar-Receivervorrichtung nicht starr miteinander verbunden angeordnet werden müssen, beispielsweise durch Verschweißung, sondern frei führbar sind. Dadurch läßt sich eine mechanische Verformung der Solar-Receivervorrichtung weitgehend minimieren, da insbesondere hohe einseitige thermische Belastungen minimiert sind.

[0011] Wenn der Beaufschlagungsbereich größer ist als die Ausdehnung von Beaufschlagungsflächen des Absorberrohrs, dann tritt das Problem auf, daß der nicht direkt das Absorberrohr treffende Teil der konzentrierten Solarstrahlung nicht genutzt wird. Durch das erfindungsgemäße Vorsehen der sekundären Kollektorvorrichtung läßt sich jedoch auch dieser Teil der konzentrierten Solarstrahlung nutzen, um Wärmeaufnahme-medium zu erwärmen. Es läßt sich also bei minimierter Belastung der Solar-Receivervorrichtung die Lebensdauer dieser steigern, ohne daß der Wirkungsgrad der solarthermischen Erwärmung verschlechtert wird.

[0012] Dadurch, daß eine sekundäre Kollektorvorrichtung vorhanden ist, ergeben sich auch umfangreiche Steuerungsmöglichkeiten und Regelungsmöglichkeiten, um beispielsweise auf Variationen in den Einstrahlungsbedingungen reagieren zu können.

[0013] Insbesondere im Zusammenhang mit Turmkonzepten oder Fresnel-Konzepten ist dabei eine Mehrzahl von beabstandeten Absorberrohren vorgesehen, um so über einen großen Flächenbereich konzentrierte Solarstrahlung absorbieren zu können, d. h. eine große Beaufschlagungsfläche bereitzustellen.

[0014] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn die Absorberrohre bezüglich benachbarter Absorberrohre frei geführt sind. Durch das Vermeiden einer starren Verbindung zwischen den Absorberrohren in einer Solar-Receivervorrichtung lassen sich einseitige thermomechanische Belastungen vermeiden und damit wiederum die Lebensdauer der Receivervorrichtung erheblich steigern.

[0015] Insbesondere umfaßt der Beaufschlagungsbereich einen Zwischenbereich zwischen benachbarten Absorberrohren zumindest teilweise. Es läßt sich dann auch Strahlung aus diesem Zwischenbereich, welche nicht direkt von den Absorberrohren absorbiert wurde, zur Erhitzung des Wärmeaufnahme-mediums nutzen.

[0016] Ganz besonders günstig ist, wenn die sekundäre Kollektorvorrichtung eine Reflexionsvorrichtung umfaßt, mittels welcher Strahlung aus dem Beaufschlagungsbereich um das Absorberrohr auf den Ab-

sorberbereich reflektierbar ist. Durch eine solche Reflexionsvorrichtung läßt sich der Teil der konzentrierten Solarstrahlung, welcher von der primären Kollektorvorrichtung auf die Solar-Receivervorrichtung gerichtet ist und nicht direkt von den Absorberrohren absorbiert wird, sammeln und auf das oder die zugeordneten Absorberrohre reflektieren. Auch der Teil der Solarstrahlung, welcher die Absorberrohre nicht direkt getroffen hat, wird zur Erhitzung des Wärmeaufnahme-mediums genutzt.

[0017] Insbesondere ist es vorteilhaft, wenn die Reflexionsvorrichtung so ausgebildet ist, daß die gesamte Beaufschlagungsfläche des Absorberrohrs bezogen auf eine Beaufschlagungsfläche für Direktbestrahlung durch die primäre Kollektorvorrichtung vergrößert ist. Dadurch läßt sich zum einen ein größerer Strahlungsfluß auf das Absorberrohr führen und zum anderen läßt sich das Absorberrohr gleichmäßiger erwärmen, um so wiederum thermomechanische Belastungen zu minimieren.

[0018] Günstig ist es, wenn die Reflexionsvorrichtung hinter einer Beaufschlagungsseite des Absorberrohrs, welche der primären Kollektorvorrichtung abgewandt ist, angeordnet ist. Dadurch behindert die Reflexionsvorrichtung nicht den Strahlungsanteil, welcher durch das oder die Absorberrohre direkt absorbierbar ist. Zum anderen läßt sich an den Absorberrohren vorbeigehende Strahlung auf einfache Weise sammeln und zu diesen hin reflektieren.

[0019] Vorteilhaft ist es dann, wenn die Reflexionsvorrichtung ein oder mehrere Spiegelemente umfaßt, welche hinter einem Absorberrohr und/oder zwischen Absorberrohren angeordnet sind, um so für eine optimale Sammlung der an den Absorberrohren vorbeigehenden Solarstrahlung zu sorgen und diese auf die Absorberrohre hin zu reflektieren.

[0020] Insbesondere ist dabei mindestens ein Spiegelement vorgesehen, welches einer Beaufschlagungsseite des Absorberrohrs für Solarstrahlung von der primären Kollektorvorrichtung abgewandt angeordnet ist. Insbesondere ist ein solches Spiegelement starr angeordnet. Es läßt sich dann von einem Bereich hinter den Absorberrohren Strahlung auf die Absorberrohre hin reflektieren. Ein entsprechendes Spiegelement ist dabei insbesondere gekrümmt ausgebildet, beispielsweise parabolisch, wobei das Absorberrohr im Fokalebereich angeordnet ist.

[0021] Es kann auch vorgesehen sein, daß die Reflexionsvorrichtung eine Mehrzahl von beweglichen Spiegelementen umfaßt, deren Ausrichtung einstellbar ist. Dadurch ergeben sich umfangreiche Steuerungs- und Regelungsmöglichkeiten, wobei je nach Einstrahlungsbedingungen die Strahlungsbeaufschlagung des Absorberrohrs und/oder Erwärmung des Wärmeaufnahme-mediums im Absorberrohr einstellbar ist.

[0022] Insbesondere ist dann die Ausrichtung so einstellbar, daß im wesentlichen keine Reflexion auf das Absorberrohr stattfindet. Solch eine Einstellung ist vorteilhaft, wenn eine hohe Einstrahlung vorliegt.

[0023] Ferner ist es günstig, wenn die Ausrichtung so einstellbar ist, daß eine Reflexion von konzentrierter Solarstrahlung aus dem Beaufschlagungsbereich auf das Absorberrohr stattfindet. Bei niedrigeren Einstrahlungsbedingungen läßt sich dann ein erhöhter Strahlungsfluß auf das Absorberrohr hin erzielen, indem nämlich eine Direktbestrahlung stattfindet und eine indirekte Bestrahlung über die Reflexionsvorrichtung.

[0024] Weiterhin ist es günstig, wenn die Ausrichtung so einstellbar ist, daß Wärmestrahlung von einer Wärmequelle auf das Absorberrohr richtbar ist. Bei der Wärmequelle handelt es sich insbesondere um einen beladenen Wärmespeicher, der Wärme abgeben kann. Die entsprechende Wärmestrahlung läßt sich dann auf das Absorberrohr richten.

[0025] Es ist dann auch günstig, wenn die Ausrichtung so einstellbar ist, daß das Absorberrohr und/oder ein Wärmespeicher zumindest teilweise abdeckbar sind, um so konvektive Wärmeverluste zu reduzieren, wenn beispielsweise erniedrigte Einstrahlungsbedingungen vorliegen.

[0026] Eine Einstellbarkeit der Reflexionsvorrichtung läßt sich auf einfache Weise erreichen, wenn diese ein oder mehrere Paare beabstandeter Spiegelemente umfaßt, welche zwischen benachbarten Absorberrohren angeordnet sind. Je nach relativer Stellung der Spiegelemente zueinander, wobei diese insbesondere schwenkbar sind, lassen sich verschiedene Einstellmöglichkeiten realisieren.

[0027] Es kann auch alternativ oder zusätzlich vorgesehen sein, daß die sekundäre Kollektorvorrichtung einen Wärmespeicher umfaßt, durch welchen Solarstrahlung aus dem Beaufschlagungsbereich absorbierbar ist und durch welchen Wärme an das Wärmeaufnahme-medium abgebar ist. Zusätzlich zu dem Wärmeaufnahme-medium in den Absorberrohren läßt sich dann ein Speichermedium in dem Wärmespeicher erhitzen, wobei dann wiederum beispielsweise bei verringerter Einstrahlung das Speichermedium das Wärmeaufnahme-medium erhitzen kann. Dadurch läßt sich insbesondere eine Pufferwirkung erzielen, um so Schwankungen in der Temperatur des Wärmeaufnahme-mediums zu verringern.

[0028] Günstig ist es, wenn der Wärmespeicher ein Latentwärmespeicher oder Phasenwechselspeicher ist, bei dem ein Phasenwechselmedium erwärmt wird, wobei die Wärme als latente Wärme gespeichert wird.

[0029] Günstig ist es, wenn der Wärmespeicher in Wärmekontakt mit dem Absorberrohr steht. Der Wärmekontakt kann dabei ein Strahlungskontakt sein und/oder ein mechanischer Kontakt.

[0030] Bei einer Ausführungsform ist der Wärmespeicher hinter einer Beaufschlagungsseite des Absorberrohrs für Strahlung von der primären Kollektorvorrichtung angeordnet, so daß der Wärmespeicher denjenigen Teil der konzentrierten Solarstrahlung, welcher nicht direkt von den Absorberrohren absorbiert wird, absorbieren kann, um das Speichermedium

um zu erhitzen.

[0031] Es kann alternativ vorgesehen sein, daß ein oder mehrere Absorberrohre in dem Wärmespeicher angeordnet sind und insbesondere in den Wärmespeicher eingebettet sind, so daß der Wärmespeicher die Absorptionsfläche bildet, über die Strahlung absorbiert wird und dabei zum einen Speichermedium erwärmt wird und zum anderen Wärmeaufnahme-medium in den Absorberrohren erhitzt wird.

[0032] Günstig ist es, wenn der Wärmespeicher sich über eine Breite des Beaufschlagungsbereichs erstreckt, so daß eine möglichst große Absorptionsfläche für konzentrierte Solarstrahlung bereitgestellt ist.

[0033] Eine erfindungsgemäße Solar-Receivervorrichtung läßt sich in einem solarthermischen Kraftwerk einsetzen, welches eine primäre Kollektorvorrichtung zur Beaufschlagung der Solar-Receivervorrichtung mit konzentrierter Solarstrahlung aufweist.

[0034] Insbesondere kann dabei die Solar-Receivervorrichtung erhöht über die primäre Kollektorvorrichtung angeordnet sein, wie es beispielsweise bei dem Turmkonzept oder dem Fresnel-Konzept vorgesehen ist.

[0035] Es kann auch vorgesehen sein, daß die Solar-Receivervorrichtung in einem Fokalbereich eines Rinnenkollektors angeordnet ist, insbesondere wenn ein Absorberrohr an oder in einem Wärmespeicher angeordnet ist.

[0036] Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, das eingangs genannte Verfahren so zu verbessern, daß eine entsprechende Solar-Receivervorrichtung eine erhöhte Lebensdauer aufweist.

[0037] Diese Aufgabe wird bei dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß Solarstrahlung, welche in einem Beaufschlagungsbereich um das Absorberrohr gerichtet wird und das Absorberrohr nicht direkt trifft, zur Erhitzung des Wärmeaufnahme-mediums gesammelt wird.

[0038] Dadurch lassen sich thermomechanische Belastungen des oder der Absorberrohre verringern, da insbesondere eine ungleichmäßige Belastung reduziert wird, wobei der Gesamtstrahlungsfluß, der – direkt oder indirekt – zur Erhitzung des Wärmeaufnahme-mediums dient, nicht wesentlich verringert wird.

[0039] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen wurden bereits im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Solar-Receivervorrichtung diskutiert.

Ausführungsbeispiel

[0040] Die nachfolgende Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen dient im Zusammenhang mit der Zeichnung der näheren Erläuterung der Erfindung. Es zeigen:

[0041] **Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines solarthermischen Kraftwerks mit einer Solar-Receivervorrichtung;

[0042] **Fig. 2** ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Receivervorrichtung;

[0043] **Fig. 3 bis 5** ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Receivervorrichtung mit unterschiedlichen Spiegelementstellungen und

[0044] **Fig. 6** ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Receivervorrichtung.

[0045] Ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen solarthermischen Kraftwerks, welches in **Fig. 1** als Ganzes mit 10 bezeichnet ist, umfaßt ein Heliostatenfeld 12 mit einer Mehrzahl von Heliostaten 14. Das Heliostatenfeld 12 bildet eine primäre Kollektorvorrichtung, mittels der Solarstrahlung 16 konzentrierbar ist und konzentrierte Solarstrahlung 18 auf eine Solar-Receivervorrichtung 20 gerichtet wird.

[0046] Bei dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Solar-Receivervorrichtung 20 erhöht bezüglich der primären Kollektorvorrichtung 12 angeordnet. Beispielsweise ist die Solar-Receivervorrichtung 20 an einem Turm 22 angeordnet.

[0047] Die Solar-Receivervorrichtung 20 ist durch ein Wärmeaufnahme-medium wie Wasser durchströmt, wobei dieses Wärmeaufnahme-medium in der Solar-Receivervorrichtung 20 Wärme aufnimmt, d. h. solarthermisch erhitzt wird.

[0048] Zur Zuführung von Wärmeaufnahme-medium zu der Solar-Receivervorrichtung 20 ist eine oder sind mehrere Zuführungsleitungen 24 vorgesehen. Zur Abführung von in der Solar-Receivervorrichtung 20 erhitztem Wärmeaufnahme-medium ist eine oder sind mehrere Abführungsleitungen 26 vorgesehen.

[0049] Bei einer Variante eines Ausführungsbeispiels umfaßt die primäre Kollektorvorrichtung 12 beweglich angeordnete Spiegelemente 28, um die Solarstrahlung 16 auf die Solar-Receivervorrichtung 20 zu konzentrieren. Es kann dabei insbesondere im Zusammenhang mit einem Turmkonzept, bei dem die Solar-Receivervorrichtung 20 zentral an dem Turm 22 angeordnet ist, vorgesehen sein, daß die Spiegelemente 28 zweiachsig beweglich sind.

[0050] Bei einer alternativen Ausführungsform sind die Spiegelemente 28 nur einachsig beweglich und bilden beispielsweise einen linearen Fresnel-Reflektor, welcher beabstandete, erhöht angeordnete Solar-Receivervorrichtungen 20 beaufschlägt. Ein solcher linearer Fresnel-Reflektor ist in dem eingangs zitierten Artikel "Stanwell Solar Thermal Power Project" von D. Burbidge et al. aus Proceedings of the 10th SolarPACES International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies, Sydney, Australia, 8 – 10 March, 2000, Seiten 21 – 26, offenbart. Auf diesen Artikel wird ausdrücklich Bezug genommen.

[0051] Alternativ kann es ferner vorgesehen sein, daß die primäre Kollektorvorrichtung durch einen Rinnenkollektor gebildet ist, wobei die Solar-Receivervorrichtung an der Fokallinie des Rinnenkollektors angeordnet ist.

[0052] Bei einem ersten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Solar-Receivervorrichtung, welche in **Fig. 2** als Ganzes mit 30 bezeichnet ist und welche insbesondere in Einsatz kommt bei einem

Kraftwerkskonzept, bei dem die Solar-Receivervorrichtung **30** erhöht gegenüber der primären Kollektorvorrichtung **12** angeordnet ist, ist eine Mehrzahl von beabstandeten Absorberrohren **32** vorgesehen, die jeweils von dem Wärmeaufnahme-medium parallel durchströmt werden. Die Absorberrohre **32** sind dabei insbesondere parallel ausgerichtet und verlaufen quer und insbesondere senkrecht zu einer Bodenflächen **34**. Vorzugsweise sind die Absorberrohre **32** parallel zu einer Höhenrichtung des Turms **22** bzw. eines Haltegestells für die Solar-Receivervorrichtung **30** angeordnet.

[0053] Die Absorberrohre **32** sind erfindungsgemäß frei geführt, d. h. nicht direkt miteinander starr gekoppelt. Insbesondere sind die parallelen Absorberrohre **32** nicht miteinander verschweißt. Dadurch sind hohe einseitige thermische Belastungen der Solar-Receivervorrichtung **30** verhindert. Andererseits ist dadurch eine Beaufschlagungsfläche **36** für konzentrierte Solarstrahlung **18** von der primären Kollektorvorrichtung **12** gebildet, welche nicht geschlossen ist.

[0054] Die konzentrierte Solarstrahlung **18** beaufschlagt direkt eine Beaufschlagungsseite **36** der Absorberrohre **32**, welche der primären Kollektorvorrichtung **12** zugewandt ist. Die Beaufschlagungsfläche an der Beaufschlagungsseite **36** für direkte Beaufschlagung ist kleiner als die gesamte Umfangsfläche des jeweiligen Absorberrohrs **32**.

[0055] Erfindungsgemäß ist eine sekundäre Kollektorvorrichtung **38** vorgesehen, welche ebenfalls von der konzentrierten Solarstrahlung **18** beaufschlagbar ist. Die Solar-Receivervorrichtung **30** umfaßt dadurch einen Beaufschlagungsbereich **40**, welcher eine größere Ausdehnung aufweist als die Beaufschlagungsfläche der Absorberrohre **32** für Direktbeaufschlagung durch konzentrierte Solarstrahlung **18** an der Beaufschlagungsseite **36**.

[0056] Die sekundäre Kollektorvorrichtung **38** ist so angeordnet und ausgebildet, daß von ihr getroffene konzentrierte Solarstrahlung **18** auf das Absorberrohr **32** zu reflektierbar ist und von diesem absorbierbar ist, um die Gesamt-Strahlungsbeaufschlagungsfläche des Absorberrohrs **32** zu vergrößern bzw. die Beaufschlagungsintensität zu erhöhen.

[0057] Bei dem in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsbeispiel ist eine Reflexionsvorrichtung **42** vorgesehen, welche hinter der Beaufschlagungsseite **36** zur Direktbeaufschlagung durch konzentrierte Solarstrahlung **18** angeordnet ist. Die Reflexionsvorrichtung **42** umfaßt eine Mehrzahl von gekrümmten wie beispielsweise parabolischen Spiegelementen **44**, wobei jedem Absorberrohr **32** ein Spiegelement zugeordnet ist. Ein solches Spiegelement **44** ist mit einer Spiegelachse **46** symmetrisch zu dem zugeordneten Absorberrohr **32** angeordnet, wobei die Spiegelachse **46** insbesondere durch ein Zentrum des Absorberrohrs **32** geht, welches im Fokalbereich sitzt.

[0058] Wenn konzentrierte Solarstrahlung, welche auf die Beaufschlagungsfläche **35** gerichtet ist und nicht direkt von dem Absorberrohr **32** absorbiert wird,

auf ein solches Spiegelement **44** trifft, dann wird sie als reflektierte konzentrierte Solarstrahlung **48** auf das zugeordnete Absorberrohr **32** gerichtet und absorbiert. Eine entsprechende Beaufschlagungsfläche **50** ist dabei dem Spiegelement **44** zugewandt und insbesondere der Beaufschlagungsseite **36** für Direktabsorption von konzentrierter Solarstrahlung abgewandt. (Die Beaufschlagungsfläche **50** für reflektierte konzentrierte Solarstrahlung kann teilweise mit der Beaufschlagungsfläche für Direktabsorption von konzentrierter Solarstrahlung überlappen.)

[0059] Insgesamt läßt sich dadurch die Beaufschlagungsfläche der jeweiligen Absorberrohre **32** erhöhen.

[0060] Dadurch, daß die Absorberrohre **32** in der Solar-Receivervorrichtung **30** nicht starr miteinander verbunden sind, sondern einzeln frei geführt sind, ist zwischen den Absorberrohren **32** ein Abstands-bereich als Zwischenbereich gebildet. Eine hohe einseitige thermische Belastung der Solar-Receivervorrichtung **30** ist dadurch vermieden. Über die sekundäre Kollektorvorrichtung **38**, die insbesondere die Reflexionsvorrichtung **42** umfaßt, läßt sich konzentrierte Solarstrahlung **18**, die an den jeweiligen Absorberrohren **32** vorbeigeht, d. h. durch diese nicht direkt absorbiert wird und auf diesen Zwischenbereich trifft auf die zugeordneten Absorberrohre **32** hin reflektieren und insbesondere auf eine Rückseite der Absorberrohre **32** hin reflektieren.

[0061] Die Beaufschlagungsfläche der Solar-Receivervorrichtung bezogen auf die Absorberrohre **32** ist nicht geschlossen. Jedoch wird die an den Absorberrohren **32** vorbeigehende Strahlung durch die sekundäre Kollektorvorrichtung **38** gesammelt und auf die zugeordneten Absorberrohre **32** hin reflektiert, d. h. der entsprechende nicht direkt absorbierte Strahlungsanteil geht nicht verloren, sondern wird mittels der sekundären Kollektorvorrichtung **38** gesammelt und somit ebenfalls genutzt. Da die Beaufschlagungsfläche der Absorberrohre **32** gleichmäßiger über den Umfang verteilt ist, sind damit auch einseitige thermische Belastungen der Absorberrohre **32** verringert. Darüber hinaus sind dadurch auch Wärmegradienten des Wärmeaufnahme-mediums, welches in den Absorberrohren **32** strömt, verringert.

[0062] Die Spiegelemente **44** können auch beweglich angeordnet sein.

[0063] Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Solar-Receivervorrichtung, welche in den **Fig. 3** bis **5** gezeigt und dort als Ganzes mit **52** bezeichnet ist, ist wiederum eine Mehrzahl von Absorberrohren **54** vorgesehen, welche beabstandet zueinander mit einem Zwischenraum zwischen benachbarten Absorberrohren **54** angeordnet sind. Eine Beaufschlagungsseite **56** eines jeweiligen Absorberrohrs **54** ist der primären Kollektorvorrichtung **12** zugewandt und ist direkt mit konzentrierter Solarstrahlung **18** beaufschlagbar. Hinter einer Beaufschlagungsseite der Solar-Receivervorrichtung **52**, welche mittels der Beaufschlagungsseiten **56** gebil-

det ist und welche der primären Kollektorvorrichtung **12** zugewandt ist, ist ein Wärmespeicher **58** angeordnet. Dieser ist insbesondere als Latentwärmespeicher ausgebildet, welcher ein Phasenwechselmedium **60** umfaßt. In dem Wärmespeicher **58** läßt sich dann Wärme als latente Wärme speichern. Das Phasenwechselmedium ist so ausgewählt, daß die Phasenübergangstemperatur in dem relevanten Temperaturbereich liegt.

[0064] Der Wärmespeicher **58** ist vorzugsweise in einer Längsrichtung **62** ausgedehnt und zusammenhängend, wobei die Längsrichtung **62** quer und insbesondere senkrecht zur Längsrichtung der Absorberrohre **54** liegt.

[0065] Der Wärmespeicher **58** liegt in einem Beaufschlagungsbereich **64** für konzentrierte Solarstrahlung **18**, welche von der primären Kollektorvorrichtung **12** auf die Solar-Receivervorrichtung **52** gespiegelt wird. Auch die Absorberrohre **54** liegen in diesem Beaufschlagungsbereich **64**. Dadurch kann der Wärmespeicher **58** zumindest einen Teil der konzentrierten Solarstrahlung absorbieren, welche nicht direkt von den Absorberrohren **54** (an der Beaufschlagungsseite **56**) absorbiert wurde.

[0066] Bei dem in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Absorberrohre **54** in einem Abstand quer zur Längsrichtung **62** und quer zur Längsrichtung der Absorberrohre **54** selber zu dem Wärmespeicher **58** angeordnet.

[0067] Es kann auch vorgesehen sein, daß die Absorberrohre **54** den Wärmespeicher **58** berührend angeordnet sind oder, wie unten noch näher beschrieben wird, in diesen eingebettet sind.

[0068] Der Wärmespeicher **58** bildet ein Teil einer sekundären Kollektorvorrichtung **66** für den Beaufschlagungsbereich **64**, über den Wärmeaufnahme-medium erwärmbar ist.

[0069] Dazu umfaßt die sekundäre Kollektorvorrichtung **66** ferner eine Reflexionsvorrichtung **68** mit zwischen benachbarten Absorberrohren angeordneten Spiegelementpaaren **70**. Ein solches Spiegelementpaar umfaßt ein erstes Spiegelement **72** und ein beabstandetes zweites Spiegelement **74**, welche um eine Schwenkachse **76** parallel zur Längsrichtung des Absorberrohrs **54** jeweils schwenkbar angeordnet sind.

[0070] Die Spiegelemente **72, 74** weisen eine solche Ausdehnung auf, daß der Zwischenbereich zwischen benachbarten Absorberrohren **54** bei einer bestimmten Spiegelstellung so abdeckbar ist, daß die Strahlungsbeaufschlagung des Wärmespeichers **58** an seiner der primären Kollektorvorrichtung **12** zugewandten Seite **76** abschirmbar ist und/oder ein sehr großer Anteil des Strahlungsflusses im Zwischenraum auf die Absorberrohre **54** reflektierbar ist.

[0071] Die Schwenkstellung der Spiegelemente **72, 74** in einem Spiegelementpaar **70** der Reflexionsvorrichtung **68** ist einstellbar und insbesondere steuerbar und/oder regelbar. Die Schwenkbewegung der Spiegelemente **72, 74** erfolgt beispielsweise mit

Hilfe eines Motors (in der Zeichnung nicht gezeigt). Die Steuerung des Motors kann automatisch erfolgen, je nach Einstrahlungsbedingungen.

[0072] Bei einer alternativen Ausführungsform ist anstatt einer Motorsteuerung ein Bimetallelement jedem Spiegelement **72, 74** zugeordnet, welches bei Temperaturerhöhung sich verbiegt und dadurch eine Schwenkbewegung des jeweiligen Spiegelements **72, 74** initiiert und dadurch deren Schwenkstellung entsprechend einstellt.

[0073] In **Fig. 3** ist eine Schwenkstellung gezeigt, bei welcher die Spiegelemente **72, 74** der Spiegelementpaare **70** parallel zueinander ausgerichtet sind und parallel zur Strahlungsrichtung der Einstrahlung von konzentrierter Solarstrahlung von der primären Kollektorvorrichtung **12** auf die Solar-Receivervorrichtung **52** ausgerichtet sind. Dadurch kann die konzentrierte Solarstrahlung **18** sowohl von den Absorberrohren **54** an deren Beaufschlagungsseite **56** absorbiert werden als auch von dem Wärmespeicher **58** insbesondere über den Teil der Seite **76**, welcher zwischen benachbarten Absorberrohren **54** liegt.

[0074] Eine solche Stellung der Spiegelemente **72, 74** wird insbesondere in Zeiten hoher Einstrahlung verwendet, da gleichzeitig Wärmeaufnahme-medium in den Absorberrohren **54** erhitzenbar ist und der Wärmespeicher **58** beladbar ist.

[0075] In **Fig. 4** ist eine Stellung der Spiegelemente **72, 74** gezeigt, in welcher deren jeweilige spiegelnde Seite **78** der primären Kollektorvorrichtung **72** zugewandt ist, wobei die beiden Spiegelemente **72, 74** in einem Winkel zueinander liegen. Die Stellung der Spiegelemente **72, 74** ist derart, daß konzentrierte Solarstrahlung, welche nicht direkt von den Absorberrohren **54** absorbiert wurde und in dem Zwischenbereich zwischen benachbarten Absorberrohren **54** auf die Spiegelemente **72, 74** trifft, auf die jeweiligen Absorberrohre **54** hin reflektiert wird.

[0076] Dadurch kann Solarstrahlung von den Absorberrohren **54** über eine Beaufschlagungsfläche absorbiert werden, welche größer ist als die Flächen der Beaufschlagungsseiten **56** zur Beaufschlagung durch direkt absorbierbare Solarstrahlung.

[0077] Die Spiegelemente **72, 74** sind dabei insbesondere so ausgebildet und ihre Schwenkstellung ist so eingestellt, daß der größte Anteil der konzentrierten Solarstrahlung, welche an den Absorberrohren **54** vorbeigeht und auf den Zwischenbereich zwischen diesen trifft, durch die Spiegelemente **72, 74** auf die Absorberrohre **54** hin reflektiert wird. Dadurch wird im wesentlichen die gesamte Einstrahlung der konzentrierten Solarstrahlung auf die Solar-Receivervorrichtung **52** auf die Absorberrohre **54** hin fokussiert, wie oben bereits anhand des Ausführungsbeispiels gemäß **Fig. 2** beschrieben.

[0078] Eine solche Schwenkstellung der Spiegelemente **72, 74** wird bei niedriger Einstrahlung eingesetzt und/oder wenn der Wärmespeicher **58** beladen ist.

[0079] Eine weitere mögliche Stellung der Spiegele-

lemente **72**, **74** der Spiegelementpaare **70** der Reflexionsvorrichtung **68** ist in **Fig. 5** gezeigt. Diese Stellung wird insbesondere eingesetzt, wenn der Wärmespeicher **58** beladen ist und niedrige Einstrahlung vorliegt.

[0080] Die Spiegelemente **72**, **74** sind mit ihrer spiegelnden Seite **78** dem Wärmespeicher **58** zugewandt und decken diesen nach außen hin in Richtung zu der primären Kollektorvorrichtung ab. Die spiegelnde Seite **78** ist jeweils dem Wärmespeicher **58** zugewandt, so daß Wärmestrahlung von dem Wärmespeicher, welcher als Wärmequelle wirkt, auf die Absorberrohre **54** hin richtbar ist und so die Absorberrohre **54** von hinten her erwärmbar sind, um so für eine Aufheizung des Wärmeaufnahme-mediums in den Absorberrohren **54** zu sorgen.

[0081] Von den Absorberrohren **54** kann ferner, wenn sie mit konzentrierter Solarstrahlung **18** beaufschlagt werden, direkt Solarstrahlung absorbiert werden.

[0082] Die Spiegelemente **72**, **74** decken in dieser Stellung auch den Wärmespeicher **58** und zumindest teilweise die Absorberrohre **54** nach außen hin ab, um so konvektive Wärmeverluste zu minimieren. Die Stellung gemäß **Fig. 4** wird insbesondere eingesetzt, wenn der Wärmespeicher **58** beladen ist und verringerte Einstrahlung vorliegt. Die Spiegelemente **72**, **74** können auch so ausgebildet sein, daß die Absorberrohre **54** vollständig nach außen abdeckbar sind.

[0083] Durch das Vorsehen einer sekundären Kollektorvorrichtung **38** bzw. **66** bei den Solar-Receiver-vorrichtungen **20** bzw. **52** läßt sich konzentrierte Solarstrahlung, welche sonst an den frei geführten Absorberrohren **54** vorbeigehen würde, sammeln und zur Erwärmung des Wärmeaufnahme-mediums nutzen. Es läßt sich dabei erreichen, daß die thermomechanische Belastung der Solar-Receivervorrichtung **20** bzw. **52** minimiert ist, da insbesondere die Absorberrohre **54** nicht starr miteinander gekoppelt werden müssen. Grundsätzlich tritt dadurch ein Verlust an Absorptionsfläche auf, der jedoch durch die sekundäre Kollektorvorrichtung **38** bzw. **66** ausgeglichen wird, indem nämlich über die Reflexionsvorrichtung **42** bzw. **68** Solarstrahlung auf die Absorberrohre **32**, **54** gerichtet wird und durch den Wärmespeicher **58** über Solarstrahlungsabsorption Wärme gespeichert wird.

[0084] Bei einem dritten Ausführungsbeispiel einer Solar-Receivervorrichtung, welche in **Fig. 6** als Ganzes mit **80** bezeichnet ist, ist eine Mehrzahl von beabstandeten Absorberrohren **82** in ein Speichermodul **84** eingebettet, welches als Wärmespeicher **86** ausgebildet ist. Insbesondere handelt es sich dabei um einen Latentwärmespeicher, wobei dann die Absorberrohre **82** von einem Phasenwechselmedium **88** umgeben sind.

[0085] Der Wärmespeicher **86** ist mit einer Beaufschlagungsseite **90** der primären Kollektorvorrichtung **12** zugewandt und bildet eine sekundäre Kollektorvorrichtung. Konzentrierte Solarstrahlung wird durch den Wärmespeicher **86** absorbiert, wobei Wär-

meaufnahme-medium, welches in den Absorberrohren **82** strömt, erhitzt wird. Ferner wird das Phasenwechselmedium **88** erhitzt und speichert dadurch Wärme.

[0086] Bei Bedarf kann das Wärmeaufnahme-medium dem Phasenwechselmedium **88** im Wärmespeicher **86** Wärme entziehen, insbesondere wenn erniedrigte Einstrahlungsbedingungen vorliegen. Mittels der Solar-Receivervorrichtung **80** läßt sich eine Pufferwirkung bezüglich der solarthermischen Erhitzung des Wärmeaufnahme-mediums erzielen. Ein Wärmespeicher **86** ist direkt in die Solar-Receivervorrichtung **80** integriert.

[0087] Die Solar-Receivervorrichtung **80** kann auch in einem Rinnenkollektor eingesetzt werden, insbesondere wenn in den Wärmespeicher **86** nur ein Absorberrohr **82** eingebettet ist. Der Wärmespeicher **86** ist dabei im Fokalbereich des Rinnenkollektors angeordnet. Er weist eine solche äußere Gestalt auf, daß eine optimale Absorption von konzentrierter Solarstrahlung (konzentriert durch die parabolischen Rinnenspiegel des Rinnenkollektors) erfolgen kann und daß eine solche Menge an Phasenwechselmedium **88** im Wärmespeicher **86** enthalten ist, daß eine optimale Pufferwirkung erzielbar ist.

Patentansprüche

1. Solar-Receivervorrichtung mit mindestens einem Absorberrohr (**32**; **54**; **82**), welches mit konzentrierter Solarstrahlung (**18**) von einer primären Kollektorvorrichtung (**12**) beaufschlagbar ist und welches von einem Wärmeaufnahme-medium durchströmbar ist, wobei das mindestens eine Absorberrohr (**32**; **54**; **82**) in einem Beaufschlagungsbereich (**40**, **64**) angeordnet ist, welcher eine größere Ausdehnung als eine Beaufschlagungsfläche des Absorberrohrs (**32**; **54**; **82**) aufweist, und wobei eine sekundäre Kollektorvorrichtung (**38**; **66**; **86**) für den Beaufschlagungsbereich (**40**; **64**) vorgesehen ist, welche so angeordnet und ausgebildet ist, daß Wärmeaufnahme-medium über Strahlung aus dem Beaufschlagungsbereich (**40**; **64**) erwärmbar ist, welche nicht direkt vom Absorberrohr (**32**; **54**; **82**) absorbiert wurde.

2. Solar-Receivervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von beabstandeten Absorberrohren (**32**; **54**; **82**) vorgesehen ist.

3. Solar-Receivervorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Absorberrohre (**32**; **54**; **82**) bezüglich benachbarter Absorberrohre frei geführt sind.

4. Solar-Receivervorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Beaufschlagungsbereich (**40**; **64**) den Zwischenbereich zwischen benachbarten Absorberrohren (**32**; **54**; **82**) zumindest teilweise umfaßt.

5. Solar-Receivevorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die sekundäre Kollektorstarrichtung (38; 66) eine Reflexionsvorrichtung (42; 68) umfaßt, mittels welcher Strahlung aus dem Beaufschlagungsbereich (40; 64) um das Absorberrohr (32; 54) auf das Absorberrohr (32; 54) reflektierbar ist.

6. Solar-Receivevorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Reflexionsvorrichtung (42; 68) so ausgebildet ist, daß die gesamte Beaufschlagungsfläche des Absorberrohrs (32; 54) bezogen auf die Beaufschlagungsfläche für Direktbestrahlung durch die primäre Kollektorstarrichtung (12) vergrößierbar ist.

7. Solar-Receivevorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Reflexionsvorrichtung (42; 68) hinter einer Beaufschlagungsseite (36; 56) des Absorberrohrs (32; 54), welche der primären Kollektorstarrichtung (12) zugewandt ist, angeordnet ist.

8. Solar-Receivevorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Reflexionsvorrichtung ein oder mehrere Spiegelemente (44; 72, 74) umfaßt, welche hinter einem Absorberrohr (32; 54) und/oder zwischen Absorberrohren (54) angeordnet sind.

9. Solar-Receivevorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Spiegelement (44) vorgesehen ist, welches einer Beaufschlagungsseite (36) des Absorberrohrs (32) für Solarstrahlung von der primären Kollektorstarrichtung (12) abgewandt angeordnet ist.

10. Solar-Receivevorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Reflexionsvorrichtung (64) eine Mehrzahl von beweglichen Spiegelementen (72, 74) umfaßt, deren Ausrichtung einstellbar ist.

11. Solar-Receivevorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausrichtung so einstellbar ist, daß im wesentlichen keine Reflexion auf das Absorberrohr (54) stattfindet.

12. Solar-Receivevorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausrichtung so einstellbar ist, daß eine Reflexion von konzentrierter Solarstrahlung (18) aus dem Beaufschlagungsbereich (64) auf das Absorberrohr (54) stattfindet.

13. Solar-Receivevorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausrichtung so einstellbar ist, daß Wärmestrahlung von einer Wärmequelle (58) auf das Absorberrohr (54) richtbar ist.

14. Solar-Receivevorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausrichtung so einstellbar ist, daß das Absorberrohr (54) und/oder ein Wärmespeicher (58) zumindest teilweise abdeckbar sind.

15. Solar-Receivevorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Reflexionsvorrichtung (68) ein Paar Spiegelemente (72, 74) umfaßt, welche zwischen benachbarten Absorberrohren (54) angeordnet sind.

16. Solar-Receivevorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die sekundäre Kollektorstarrichtung (66; 86) einen Wärmespeicher (58; 86) umfaßt, durch welchen Solarstrahlung aus dem Beaufschlagungsbereich (64) absorbierbar ist und durch welchen Wärme an das Wärmeaufnahme-medium abgebar ist.

17. Solar-Receivevorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmespeicher ein Latentwärmespeicher ist.

18. Solar-Receivevorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmespeicher (86) in Wärmekontakt mit dem Absorberrohr (82) steht.

19. Solar-Receivevorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmespeicher (58) hinter einer Beaufschlagungsseite (56) des Absorberrohrs (54) für Strahlung von der primären Kollektorstarrichtung (12) angeordnet ist.

20. Solar-Receivevorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere Absorberrohre (82) in dem Wärmespeicher (86) angeordnet sind.

21. Solar-Receivevorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Absorberrohre (82) in den Wärmespeicher (86) eingebettet sind.

22. Solar-Receivevorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmespeicher (58; 86) sich über eine Breite des Beaufschlagungsbereichs (64) erstreckt.

23. Solarthermisches Kraftwerk, umfassend eine primäre Kollektorstarrichtung (12) zur Beaufschlagung einer Solar-Receivevorrichtung mit konzentrierter Solarstrahlung (18), gekennzeichnet durch eine Solar-Receivevorrichtung (20; 52; 80) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche.

24. Solarthermisches Kraftwerk nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Solar-Receive-

vervorrichtung (20; 52; 80) erhöht über die primäre Kollektovorrichtung (12) angeordnet ist.

25. Solarthermisches Kraftwerk nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Solar-Rezeivorrichtung (80) in einem Fokالبereich eines Rin nenkollektors angeordnet ist.

26. Verfahren zur solarthermischen Erhitzung eines Wärmeaufnahme mediums, bei dem mindestens ein Absorberrohr mit konzentrierter Solarstrahlung beaufschlagt wird, wobei das Wärmeaufnahme medium in dem Absorberrohr geführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß Solarstrahlung, welche in einen Beaufschlagungsbereich um das Absorberrohr gerichtet wird und das Absorberrohr nicht direkt trifft, zur Erhitzung des Wärmeaufnahme mediums gesammelt wird.

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß Solarstrahlung gesammelt und auf das Absorberrohr hin reflektiert wird.

28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß Solarstrahlung auf eine Beaufschlagungsfläche des Absorberrohrs reflektiert wird, welche im wesentlichen außerhalb der Beaufschlagungsfläche für direkte Absorption von Strahlung liegt.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß Solarstrahlung durch einen Wärmespeicher gesammelt wird, welcher Solarstrahlung absorbiert und Wärmeaufnahme medium aufheizt und/oder durch den Wärmeaufnahme medium aufheizbar ist.

30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmespeicher Wärme an das Wärmeaufnahme medium abgibt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG.1

