

(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
15. Juli 2010 (15.07.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/078668 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
F24J 2/07 (2006.01) F24J 2/14 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH2010/000003
- (22) Internationales Anmeldedatum:
7. Januar 2010 (07.01.2010)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
20/09 8. Januar 2009 (08.01.2009) CH
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): AIRLIGHT ENERGY IP SA [CH/CH]; Via Croce, CH-6710 Biasca (CH).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): PEDRETTI, Andrea [CH/CH]; Via Campagne 15, CH-6948 Porza (CH).
- (74) Anwalt: STUMP, Beat; Stump und Partner AG, Dufourstrasse 116, CH-8008 Zürich (CH).
- (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, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: ABSORBER PIPE FOR THE TROUGH COLLECTOR OF A SOLAR POWER PLANT

(54) Bezeichnung : ABSORBERLEITUNG FÜR DEN RINNENKOLLEKTOR EINES SOLARKRAFTWERKS

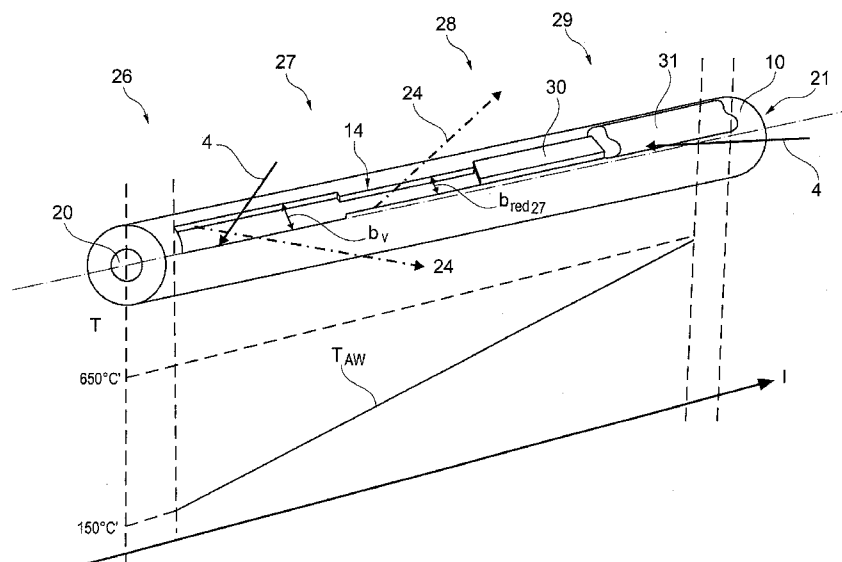


Fig. 3

(57) Abstract: The absorber pipe 10 according to the invention has a thermal opening 10, on which means are provided which reduce the radiation 26 emitted to the outside by the absorbing surface 13 based on the operating temperature thereof at an increased rate as the operating temperature rises.

(57) Zusammenfassung: Das erfindungsgemässe Absorberrohr 10 besitzt eine thermische Öffnung 10, an welcher Mittel vorgesehen sind, welche die von der absorbierenden Oberfläche 13 aufgrund ihrer Betriebstemperatur nach aussen emittierte Strahlung 26 mit ansteigender Betriebstemperatur vermehrt reduzieren.



WO 2010/078668 A2

Absorberleitung für den Rinnenkollektor eines Solarkraftwerks

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Absorberleitung für ein Solarkraftwerk
5 nach Anspruch 1 und ein Verfahren zu deren Herstellung nach Anspruch 12.

Solarthermische Kraftwerke produzieren schon seit einiger Zeit Strom im
industriellen Massstab zu Preisen, die – gegenüber der Fotovoltaik – nahe an den
heute üblichen kommerziellen Preisen für in herkömmlicher Art erzeugten Strom
10 liegen.

In Solarthermischen Kraftwerken wird die Strahlung der Sonne durch Kollektoren
mit Hilfe des Konzentrators gespiegelt und gezielt auf einen Ort fokussiert, in
welchem dadurch hohe Temperaturen entstehen. Die konzentrierte Wärme kann
15 abgeführt und zum Betrieb von thermischen Kraftmaschinen wie Turbinen
verwendet werden, die wiederum die Strom erzeugenden Generatoren antreiben.

Heute sind drei Grundformen von solarthermischen Kraftwerken im Einsatz:
Dish-Sterling-Systeme, Solarturmkraftwerkssysteme und Parabolrinnensysteme.
20

Parabolrinnenkraftwerke besitzen Kollektoren in hoher Anzahl, die lange
Konzentratoren mit geringer Querabmessung aufweisen, und damit nicht einen
Brennpunkt, sondern eine Brennlinie besitzen, was diese in ihrer Konstruktion
grundlegend von den Dish-Sterling- und Solarturmkraftwerken unterscheidet.
25 Diese Linienkonzentratoren besitzen heute eine Länge von 20 m bis zu 150 m,
während die Breite 5 m oder 10 m und mehr erreichen kann. In der Brennlinie
verläuft eine Absorberleitung für die konzentrierte Wärme (in der Regel bis
gegen 400°C), welche diese zum Kraftwerk transportiert. Als Transportmedium
kommt ein Fluid wie z.Bsp. Thermoöl oder überhitzter Wasserdampf in Frage,
30 welches in den Absorberleitungen zirkuliert.

Obschon ein Rinnenkollektor vorzugsweise als Parabolrinnenkollektor ausgebildet
ist, werden häufig Rinnenkollektoren mit sphärischem oder nur annähernd
parabolisch ausgebildetem Konzentrador verwendet, da ein exakt parabolischer
35 Konzentrador mit den oben genannten Abmessungen nur mit grossem, damit

wirtschaftlich kaum sinnvollen Aufwand herzustellen ist.

Die 9 SEGS-Rinnen-Kraftwerke in Südkalifornien produzieren zusammen eine Leistung von ca. 350 MW; ein zusätzliches Kraftwerk in Nevada soll zurzeit ans
5 Netz gehen und über 60 MW liefern. Ein weiteres Beispiel für ein Rinnenkraftwerk ist das sich im Testbetrieb befindende Andasol 1 in Andalusien, mit einer Konzentratorfläche von 510'000 m² und 50 MW Leistung, wobei die Temperatur in den Absorberleitungen bei ca. 400⁰ C liegt. Das Leitungssystem für die Zirkulation des wärmetransportierenden Fluids kann in solchen
10 Kraftwerken eine Länge von bis zu 100 km erreichen, oder mehr, wenn die Konzepte für die künftigen Grossanlagen realisiert werden. Die Kosten für Andasol 1 belaufen sich auf 300 Millionen €.

Überschlagsmässig lässt sich festhalten, dass 40% oder mehr der Gesamtkosten
15 für ein Solarkraftwerk auf die Kollektoren und das Leitungssystem für das Wärme transportierende Fluid entfallen, und dass der Wirkungsgrad des Kraftwerks entscheidend von der Qualität der Absorberleitungen mitbestimmt wird.

Konventionelle Konzentratoren erlauben ein Konzentrationsverhältnis im Bereich
20 von 30 bis 80, was zu den gewünschten hohen Temperaturen im wärmetransportierenden Medium führt. Dies wiederum hat ungünstigerweise eine erhebliche Wärmeabstrahlung der Absorberleitungen zur Folge, die 100 W/m erreichen kann, was einer Leitungslänge in der Grössenordnung der oben genannten 100 km den Wirkungsgrad des Kraftwerks erheblich beeinträchtigt.

25 Entsprechend werden die Absorberleitungen zunehmend aufwendig gebaut, um diese Energieverluste zu vermeiden. So sind weit verbreitete konventionelle Absorberleitungen als ein von Glas umhülltes Metallrohr ausgebildet, wobei zwischen Glas und Metallrohr ein Vakuum herrscht. Das Metallrohr führt in
30 seinem Inneren das Wärme transportierende Medium und ist an seiner Aussenfläche mit einer Beschichtung versehen, die eingestrahktes Licht im sichtbaren Bereich verbessert absorbiert, aber eine tiefe Abstrahlungsrate für Wellenlängen im Infrarotbereich besitzt. Das umhüllende Glasrohr schützt das Metallrohr von der Kühlung durch Wind und wirkt als zusätzliche Barriere für
35 Wärmeabstrahlung. Nachteilig ist dabei, dass die umhüllende Glaswand

einfallende konzentrierte Sonnenstrahlung teilweise ebenfalls reflektiert oder auch absorbiert, was dazu führt, dass auf das Glas eine die Reflexion reduzierende Schicht aufgebracht wird.

5 Um den aufwendigen Reinigungsaufwand für solche Absorberleitungen zu senken, aber auch um das Glas vor mechanischen Beschädigungen zu schützen, kann die Absorberleitung zusätzlich mit einer sie umgebenden mechanischen Schutzrohr versehen werden, das zwar mit einer Öffnung für die einfallende Sonnenstrahlung versehen werden muss, die Absorberleitung aber sonst recht
10 zuverlässig schützt.

Solche Konstruktionen sind aufwendig und entsprechend teuer, sowohl in der Herstellung, als auch im Unterhalt. Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Absorberleitungen der genannten Art bereitzustellen, die
15 kostengünstiger sind und für möglichst hohe Temperaturen des Wärme transportierenden Fluids eingesetzt werden können.

US PS 1 644 473 zeigt nun eine aussenisolierte Absorberleitung mit einem sich längs durch diese erstreckenden, innen liegenden Absorberraum, in den
20 konzentrierte Strahlung über einen ebenfalls längs an der Absorberleitung verlaufenden Schlitz eintritt.

Dies erlaubt, die Aussenseite der Absorberleitung auf einfache Weise effektiv und kostengünstig zu isolieren und damit die Wärmeverluste gegenüber den heute
25 verbreiteten, komplizierten und wartungsintensiven Konstruktionen tief zu halten. Darüber hinaus ist solch eine Konstruktion robust und einfach herzustellen.

Weiter sind im genannten Dokument Mittel offenbart, um die durch den Schlitz in
30 den Absorberraum eingetretene Strahlung durch Reflektion über möglichst den gesamten Wandbereich des Absorberraums zu verteilen, und dadurch die absorbierende Wandoberfläche auf Kosten der Schlitzöffnung entsprechend zu vergrößern. Diese Mittel bestehen einerseits aus zwei der Schlitzöffnung gegenüberliegenden Ablenkspiegeln, wobei dann vorzugsweise im Schlitz eine
35 Sammellinse angeordnet ist, die eintretende Strahlung gesammelt auf die

Ablenkspiegel richtet. Durch die Spiegel wird dann die Strahlung über die Wandoberfläche verteilt. In einer anderen Ausführungsform ist die absorbierende Wand des Absorberraums mit sich abwechselnden Erhebungen und Rillen versehen, an welchen die eintretende Strahlung durch Reflektion gestreut und so ebenfalls über die gesamte Wandoberfläche verteilt wird.

Ein Wärme transportierendes Fluid umfließt die absorbierende Wand des Absorberraums und führt die Wärme ab.

Über die gestellte Aufgabe hinaus sollen nun auch Absorberleitungen der genannten Art verbessert werden.

Die gestellte Aufgabe wird durch eine Absorberleitung mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Eine bevorzugte Ausführungsform einer aussenisolierten Absorberleitung weist die Merkmale von Anspruch 3 auf.

Dadurch, dass die Mittel zur Reduktion der von der absorbierenden Oberfläche emittierten Strahlung diese mit ansteigender Temperatur der absorbierenden Oberfläche vermehrt reduzieren, umgekehrt am Ort vergleichsweise tiefer Temperatur weniger reduzieren, kann der Aufwand für eine Absorberleitung gesenkt werden. Mit der Betriebstemperatur der absorbierenden Oberfläche steigt auch der technische Aufwand für die Reduktion der emittierten Strahlung stark an, was insbesondere ins Gewicht fällt, wenn die Temperatur des Wärme transportierenden Fluids zur Steigerung des Wirkungsgrades des Kraftwerks über die heute üblichen 400°C hinaus gesteigert und für den industriellen Einsatz bereit gestellt werden soll. Erfindungsgemäss werden aufwendige Mittel für die Reduktion der emittierten Strahlung an der Ausgangsseite der Absorberleitung, d.h. im Bereich mit hoher Betriebstemperatur der absorbierenden Oberfläche konzentriert und einfache (oder keine) Mittel zur Reduktion der emittierten Strahlung an der Eingangsseite vorgesehen.

Im Fall der konventionellen Absorberleitung kann diese im Sinne eines Baukastens aus verschiedenen Modulen zusammengesetzt werden, die unterschiedlich gegen die Emission von Strahlung abgeschirmt sind. Denkbar ist, ein eingangsseitiger erster Abschnitt ohne Abschirmung, ein mittlerer Abschnitt mit einer ersten,

günstigen Abschirmung und ein dritter, ausgangsseitiger Abschnitt mit aufwendiger, entsprechend effektiver aber auch teuren und wartungsintensiven Abschirmung. Solch eine Anordnung verringert die Kosten eines Kollektorfeldes für ein Solarkraftwerk im industriellen Massstab spürbar.

5

Für eine bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäss ausgebildeten, aussenisolierten Absorberleitung ergibt sich:

10 Dadurch, dass der Austritt der von der Wand des Absorberraums emittierten Strahlung verhindert wird, erhöht sich der Wirkungsgrad der Absorberleitung; dadurch, dass dies nur in Zonen mit hoher Betriebstemperatur erfolgt, vereinfacht sich die Konstruktion der Absorberleitung, die trotz erhöhtem Wirkungsgrad immer noch vergleichsweise kostengünstig hergestellt werden kann. Die Temperatur der Wand des Absorberraums erhöht sich grundsätzlich
15 vom Eingang für das Wärme transportierende Fluid linear bis zum Ausgang, während die Emission der Strahlung mit steigender Temperatur exponentiell zunimmt. Die Strahlungsemission ist also im Eingangsbereich der Absorberleitung von untergeordneter und an deren Ausgangsbereich von entscheidender Bedeutung.

20

Über die gestellte Aufgabe hinaus ist die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung für Rinnenkollektoren mit sphärisch gekrümmtem Konzentrador besonders geeignet. Solche Konzentratoren erzeugen keine Brennlinie, sondern einen Brennlinienbereich, der als solcher eine
25 vergleichsweise breite thermische Öffnung voraussetzt. Besonders dann, wenn für verbesserten Wirkungsgrad hohe Temperaturen in der Wand des Absorberraums erreicht werden sollen, ist eine breite thermische Öffnung wegen der Strahlungsverluste für einen hohen Wirkungsgrad kritisch. Erfindungsgemäss werden nun die Strahlungsverluste dort, wo sie anfallen, reduziert, während dort,
30 wo die Strahlungsverluste gering sind, die einfache, kostengünstige Konstruktion mit breiter thermischer Öffnung unverändert beibehalten werden kann.

Damit resultiert wiederum eine relevante Reduktion der Herstellungs- Montage und Wartungskosten eines Solarkraftwerks beim Einsatz der erfindungsgemässen
35 Absorberleitung.

Die Merkmale bevorzugter Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

- 5 Weitere Vorteile der erfindungsgemässen Absorberleitung sind in Zusammenhang mit einer bevorzugten Ausführungsform, wie sie anhand der Figuren dargestellt ist, näher beschrieben.

Es zeigt:

10

Figur 1 schematisch einen Rinnenkollektor mit einer Absorberleitung gemäss Stand der Technik,

15

Figur 2 einen Querschnitt durch eine aussenisolierte Absorberleitung mit einem inneren Absorberraum,

Figur 3 eine Ansicht der erfindungsgemässen Absorberleitung,

20

Figur 4 eine Darstellung der Verteilung des Flusses der konzentrierten Strahlung in der thermischen Öffnung, un

Figur 5a bis 5d den Fluss in den vier verschiedenen Abschnitten der Absorberleitung von Figur 2, und

25

Figur 6 einen teilweisen Querschnitt durch die erfindungsgemäss ausgebildete Absorberleitung mit einem optischen Element.

30

In Figur 1 ist ein Rinnenkollektor 1 dargestellt, von der Art, wie sie z.Bsp. in den Solarkraftwerken SEGS zu Tausenden Verwendung finden. Ein rinnenförmiger, im Querschnitt einer Parabel möglichst gut angenäherter, als Spiegel ausgebildeter

35

Konzentrator 2 ruht auf geeignet ausgebildeten Stützen 3. Sonnenstrahlung 4 wird am Spiegel des Konzentrators 2 reflektiert und auf eine Absorberleitung 5 gelenkt; diese befindet sich am Ort der Brennlinie 7 des Spiegels. Im Fall einer nur angenäherten parabolischen Wölbung des Spiegels, insbesondere bei einer sphärischen Wölbung, entsteht ein Brennlinienbereich an Stelle einer Brennlinie

7, mit der Folge, dass das Äussere der Absorberleitung über ihre ganze Querschnittsabmessung angestrahlt und aufgeheizt wird.

Die Absorberleitung 5 ist an geeigneten Trägern 6 am Ort der Brennlinie 7 bzw. des Brennliniereichs aufgehängt. Je nach Konstruktion ist der Spiegel auf den Stützen 3 verschwenkbar gelagert, damit der Spiegel dem jahreszeitlichen (oder auch dem täglichen) Sonnenstand nachgefahren werden kann.

In der Absorberleitung 5 gefördertes Fluid nimmt die durch die konzentrierte Sonnenstrahlung in die Leitung 5 eingebrachte Wärme auf und transportiert diese über ein geeignetes, konventionelles, zur Entlastung der Figur nicht näher dargestelltes Leitungssystem zu den thermischen Maschinen des Kraftwerks, wo Strom erzeugt wird.

Solche Rinnenkollektoren 1 sind dem Fachmann in verschiedensten Ausführungsformen in allen Details der Konstruktion bekannt. Ebenso kennt der Fachmann die geeignete Führung der Leitungen, die das Wärme transportierende Fluid zum jeweiligen Rinnenkollektor eines Solarkraftwerks hin- und von diesem weg führen. In der Regel, aber nicht notwendigerweise, befindet sich das Wärme transportierende Fluid in einem Kreislauf.

Verschiedenste Fluide werden für den Wärmetransport verwendet; insbesondere Fluide wie Öl, die eine hohe Wärmekapazität besitzen, werden bevorzugt. Kaum verbreitet - auf jeden Fall nicht bei der Solarstromproduktion im industriellen Messstab - sind Wasser oder Luft, letztere, weil durch ihre auf ihr Volumen bezogene vergleichsweise geringe Wärmekapazität grosse Volumina durch das Leitungssystem des Kraftwerks hindurch bewegt werden müssen, was eigene Probleme schafft.

Die Verwendung von etwa Öl oder Wasser ist jedoch ebenfalls nicht problemlos: Um die Wärmekapazität des Öls optimal zu nutzen, und um den Wirkungsgrad des Kraftwerks möglichst hoch zu halten, wird das Öl hoch erhitzt. Ein geeigneter Kreislauf läuft dann z. Bsp. mit 390°C und 10 bar Druck. Neben den hohen Kosten für solches Öl ist weiter nachteilig, dass sich das Öl bei einer Temperaturerhöhung auf 400°C schon zersetzt, was aufwendige

Temperaturregelungen bedingt. Ein Wasserkreislauf kann z.Bsp. bei 300 °C mit 200 bar betrieben werden. Zwar ist bei Temperaturspitzen keine Denaturierung des Wassers zu befürchten, aber die hohen Drücke schaffen konstruktive Probleme beim Bau der Absorberleitungen, während die Wärmekapazität im Vergleich zu Öl schlechter ist. Ebenso ist die korrosive Wirkung des Wassers, nicht zuletzt beim Phasenwechsel Wasser – Dampf, nicht zu unterschätzen.

Figur 2 zeigt eine aussenisolierte Absorberleitung 10 in einer für die Anwendung der vorliegenden Erfindung bevorzugten Ausführungsform im Querschnitt. Eine hier als Schlitz 11 mit den Rändern 22,23 ausgebildeter, längs an der Absorberleitung 10 verlaufende thermische Öffnung 14 erlaubt den Durchtritt konzentrierter Sonnenstrahlung in das Innere der Leitung 10 hinein, wie dies in der Figur am Beispiel eines Sonnenstrahls 4 dargestellt ist.

Längs im Inneren der Absorberleitung 10 verläuft ein Absorberraum 12 zur bevorzugt durch eine als dünnwandiges Hohlprofil ausgebildete absorbierende Wand 13 mit im wesentlichen konstanter Wandstärke gebildet ist.

Ein Mantel 18 umschliesst den Absorberraum 12 im Wesentlichen konzentrisch und derart, dass zwischen ihm und der absorbierenden Wand 13 ein im Querschnitt ringartiger Raum 19 gebildet wird, der längs durch die Absorberleitung 10 verläuft.

Durch diesen ringartigen Raum 19, der in einem Aussenbereich der Absorberleitung 10 liegt, zirkuliert das Wärme transportierende Fluid (vorliegend z.Bsp. ein Gas), wie es durch den die möglichen Zirkulationsrichtungen anzeigenden Doppelpfeil 20 angedeutet ist.

Bei der in der Figur gezeigten Ausführungsform ist die absorbierende Wand 13 als im Querschnitt wellenförmiges Profil ausgebildet. Dadurch wird ein einfallender, konzentrierter Sonnenstrahl 4, soweit nicht durch die absorbierende Wand 13 absorbiert, mehrfach reflektiert (dabei jedesmal wiederum teilweise absorbiert) und damit die einfallende Strahlung gestreut, was am Beispiel seiner reflektierten Komponenten 4' bis 4''' dargestellt ist. Damit verteilt sich die durch den Strahl 4 eingebrachte Energie über den gesamten Bereich der

absorbierenden Wand 13, mit der Folge, dass diese durch die konzentrierte Strahlung 4 über ihren Umfang verteilt und damit recht gleichmässig aufgeheizt wird.

5 Im Betrieb fließt das Wärme transportierende Fluid konstant von der Eingangsseite der Absorberleitung zu deren Ausgangsseite, womit die absorbierende Wand 13 eingangsseitig am stärksten gekühlt ist; entsprechend ist die Betriebstemperatur der absorbierenden Wand 13 eingangsseitig am kleinsten, steigt dann bis zur Ausgangsseite gleichmässig an, wo sie am höchsten
10 ist.

Das Wärme transportierende Fluid tritt beispielsweise mit einer Temperatur von z.Bsp. 60°C in die Absorberleitung 10 ein, wird auf dem Weg durch diese laufend aufgeheizt und verlässt sie mit einer Ausgangstemperatur, die bei Anwendung
15 der vorliegenden Erfindung z.Bsp. im Fall von Luft (oder auch bei anderen Medien) bei 650°C liegen kann. Eingangsseitig wird deshalb die absorbierende Wand 13 am stärksten und ausgangsseitig am schwächsten gekühlt; im vorliegenden Beispiel beträgt dann ihre Temperatur T_{AW} eingangsseitig 150°C, steigt dann über ihre Länge linear an und liegt schliesslich Ausgangsseitig bei
20 650°C (Figur 3).

Der Mantel 18 besitzt eine isolierenden Schicht, die eine Wärmeabgabe der Absorberleitung 10 gegen aussen reduziert bzw. verhindert. Da diese Isolation nicht wie bei einer weit verbreiteten Bauart gemäss dem Stand der Technik für
25 eintretende Strahlung durchlässig sein muss, kann sie einfach (damit auch kostengünstig) und wirkungsvoll zugleich, z.Bsp. aus Steinwolle ausgeführt werden.

Im Ganzen ergibt sich eine robuste und kostengünstige Konstruktion, die beim
30 Bau eines Solarkraftwerks auch vor Ort, beispielsweise in der Wüste mit beschränkter Zugänglichkeit, hergestellt werden kann. Einfacher Transport und einfache Montage vor Ort, verbunden mit robuster Ausführung, sind nicht zu unterschätzende Eigenschaften bei einer Technik, die der Natur der Sache nach auch in wenig besiedelten Gebieten, die wenig oder keine Infrastruktur
35 aufweisen, eingesetzt werden soll.

Figur 3 zeigt eine Ansicht der Absorberleitung 10 von Figur 2 mit Blick auf deren thermische Öffnung 14. Schematisch dargestellt ist der eingangsseitige Anschluss 20 für Wärme transportierendes Fluid, die Ausgangsseite der Absorberleitung 10 ist mit 21 bezeichnet.

Wie zu Figur 2 erwähnt, erwärmt sich die absorbierende Wand 13 bei der hier bevorzugten Ausführungsform von 150°C auf der Eingangsseite bis auf 650°C an der Ausgangsseite, s. die Darstellung des Betriebs-Temperaturverlaufs T_{AW} der absorbierenden Wand 13 über die Länge l der Absorberleitung 10. Dabei ist zu bemerken, dass für verbesserten Wirkungsgrad insbesondere der industriell Strom produzierenden Solarkraftwerke eine aus heutiger Sicht hohe Konzentration der Sonnenstrahlung, im vorliegenden Beispiel 80-fach (erfindungsgemäss auch mehr), d.h. 80 Sonnen, wie auch eine möglichst hohe Temperatur des Wärme transportierenden Fluids (und damit auch der absorbierenden Wand 13) wünschenswert ist und deshalb angestrebt werden soll.

Im Betrieb, d.h. unter Betriebstemperatur strahlt die absorbierende Wand 13 nun ihrerseits Wärmestrahlung 24 ab, wie dies nachstehend beschrieben ist. Diese wird über die Fläche der thermischen Öffnung 14 nach aussen emittiert, was den Wirkungsgrad der Absorberleitung 10 herabsetzt.

Nach dem Gesetz von Stefan/Boltzmann wird grundsätzlich von jedem Körper Wärmestrahlung, im Wesentlichen Infrarotstrahlung 24, emittiert, wobei die Emission mit der vierten Potenz der Temperatur des Körpers zunimmt. Die emittierte Strahlung W beträgt $W = \sigma T^4$ [W/m²] und entspricht vorliegend bei einer Temperatur der absorbierenden Wand 13 von 650°C ca. 40'000 W/m². Wird weiter davon ausgegangen, dass die von der Sonne auf die Erdoberfläche eingestrahlte Energie einem Fluss von 1'000 W/m² entspricht, folgt, dass dieser Verlust bei 40 Sonnen liegt. Wird nun schliesslich eine 80-fache Konzentration im Kollektor verlangt, bedeutet dies einen durchschnittlichen Fluss von 80'000 W/m² (80 Sonnen) an konzentrierter Strahlung 4 durch die thermische Öffnung 14 hindurch in den Absorberraum 12 hinein. Bei einem Temperaturniveau der absorbierenden Wand 13 von 650°C ergibt sich nun gleichzeitig zwingend ein

Verlust von 40 Sonnen aus der Öffnung 14 heraus, was 50% der konzentrierten Strahlung entspricht.

Erfindungsgemäss sind nun an der Absorberleitung 10 Mittel vorgesehen, die in
5 Abhängigkeit von der über die Länge der thermischen Öffnung ansteigenden Betriebstemperatur der absorbierenden Wand 13 den Austritt der durch die thermische Öffnung 14 nach aussen emittierten Strahlung 24 reduzieren. In Figur 3 ist dazu die thermische Öffnung 14 über ihre Länge in vier Abschnitte 26 bis 29 unterteilt, die jeweils folgende Mittel aufweisen:

10
Im ersten Abschnitt 26 sind, dank der noch tiefen Temperatur der absorbierenden Wand 13 noch keine solchen Mittel vorgesehen; die thermische Öffnung 14 weist ihre volle, nicht reduzierte Breite b_v auf. Im zweiten Abschnitt 27 weisen diese Mittel die thermische Öffnung 14 mit reduzierter Breite $b_{red\ 27}$
15 auf, im dritten Abschnitt 28 ist die thermische Öffnung 14 mit einer Abdeckung 30 versehen, die für Strahlung im sichtbaren Bereich durchlässig und für Strahlung im Wesentlichen im Infrarotbereich undurchlässig oder reduziert durchlässig ist. Im vierten Bereich 29 schliesslich ist an der thermischen Öffnung 14 von reduzierter Breite $b_{red\ 29}$ ein optisches Element 31 angeordnet, das
20 ausgebildet ist, auch solche konzentrierte Strahlung 4, die ausserhalb der thermischen Öffnung 14 von reduzierter Breite $b_{red\ 29}$ einfällt, durch Brechung des Strahlenganges durch die thermische Öffnung 14 hindurch zu leiten (Figur 6). Vorzugsweise ist das optische Element weiter derart ausgebildet, dass diejenige Strahlung 4 erfasst wird, die in einer Breite einfällt, die der thermischen Öffnung
25 14 nicht reduzierter Breite b_v entspricht.

Eine Abdeckung der thermischen Öffnung 14 in den Abschnitten 26 und 27 kann entfallen, wenn die Öffnung gegen unten gerichtet ist, da die heisse Luft im Absorberraum 12 aufgrund der Konvektion nicht ausfliesst, somit kein
30 Wärmeverlust eintritt.

Figur 4 zeigt nun eine allgemeine Darstellung der Verteilung K des Flusses der konzentrierten Strahlung 4 im Bereich und über die Breite der thermischen Öffnung 14. Insbesondere dann, wenn der Kollektor 2 (Figur 1) nicht parabolisch,
35 sondern sphärisch gekrümmt ist, entsteht an Stelle einer Brennlinie ein

Brennlinienbereich, was wiederum zu einer wie in der Figur dargestellten Verteilung K der konzentrierten Strahlung 4 führt. In einem zentralen Bereich der thermischen Öffnung 14, markiert durch die vertikale Achse F des Diagramms, ist der grösste Anteil an Strahlung konzentriert; der Spitzenwert in unserem
5 Beispiel $160'000[\text{W}/\text{m}^2]$, ist jedoch auf einen sehr schmalen Bereich beschränkt. Dies führt dazu, die Breite b der thermische Öffnung 14 möglichst gross auszubilden, um die gesamte konzentrierte Strahlung 4 zu erfassen. Es ergibt sich dann ein Durchschnittswert D an konzentrierter Strahlung 4 von $80'000$
10 $[\text{W}/\text{m}^2]$ der durch die thermische Öffnung 14 in den Absorberraum 13 eintritt, da die in der Figur schraffierten Bereiche eine gleich grosse Fläche besitzen. Es ist dann mit anderen Worten so, dass durch den Konzentrator 2 eine 80 -fache Konzentration (bzw. 80 Sonnen) erreicht wird.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass üblicherweise die auf den Konzentrator 2
15 (Figur 1) einfallende Sonnenstrahlung als parallel angenommen wird. Der Öffnungswinkel der Sonne beträgt ca. $0,5^\circ$ was bei der Dimensionierung der Breite b der thermischen Öffnung 14 und beim Fluss der konzentrierten Strahlung 4 durch den Fachmann berücksichtigt werden kann.

20 Die Figuren 5a bis 5d zeigen nun vier jeweils dem Diagramm von Figur 4 entsprechende Diagramme 26* bis 29*, entsprechend den Verhältnissen in den Abschnitten 26 bis 29 der Absorberleitung 10 (Figur 3), wobei zusätzlich der Fluss W der von der absorbierenden Wand 13 emittierten Strahlung 24 eingetragen ist. Da die absorbierende Wand 13 im Wesentlichen gleichmässig
25 erwärmt wird, ist die Verteilung W des Flusses von Strahlung 24 eine horizontale Gerade; die emittierte Strahlung 24 tritt über die ganze Breite b der thermischen Öffnung 14 mit im Wesentlichen gleichmässiger Intensität aus dieser heraus.

30 Wird die Richtung der konzentrierten Strahlung 4 positiv angenommen (in die Leitung 10 hinein), ist die Richtung der emittierten Strahlung 24 negativ (aus der Leitung 10 hinaus). Entsprechend wäre der Fluss W im negativen Bereich der vertikalen Achse der Diagramme einzuzeichnen. Der erleichterten Darstellung wegen (Schnittpunkte der Verteilung K mit dem Fluss W) ist W dennoch mit positivem Wert eingetragen.

35

Es gilt dabei, ausgehend von einem Fluss $W = 40'000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ bei $650 \text{ }^\circ\text{C}$:

Abschnitt der Absorberleitung 10	Betriebstemperatur der absorbierenden Wand 13	Fluss W der von der Wand 13 emittierten Strahlung 24
26	$150 \text{ }^\circ\text{C}$	$133 \text{ [W/m}^2\text{]}$
27	$275 \text{ }^\circ\text{C}$	$5'700 \text{ [W/m}^2\text{]}$
28	$400 \text{ }^\circ\text{C}$	$17'000 \text{ [W/m}^2\text{]}$
29	$650 \text{ }^\circ\text{C}$	$40'000 \text{ [W/m}^2\text{]}$

5 Im Abschnitt 26 ist der Fluss W_{26} nicht relevant. Die Breite b der thermischen Öffnung 14 wird deshalb nicht reduziert und auf die volle Breite b_v der Verteilung K der konzentrierten Strahlung 4 abgestimmt. Es liegen die Verhältnisse von Figur 4 vor, der durchschnittliche Fluss D_{26} durch die Öffnung 14 hindurch beträgt $80'000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ bzw. 80 Sonnen.

10 Im Abschnitt 27 ist der Fluss W_{27} schon relevant. Entsprechend wird erfindungsgemäss hier die Breite der thermischen Öffnung auf die Breite $b_{\text{red } 27}$ reduziert, derart, dass innerhalb der Breite $b_{\text{red } 27}$ die Summe der Flüsse $K + W$ (konzentrierter Strahlung 4 und emittierte Strahlung 24) an jedem Punkt mindestens Null ist (was ausserhalb $b_{\text{red } 27}$ eben nicht mehr der Fall wäre). Über
 15 jeden Punkt der Breite $b_{\text{red } 27}$ tritt in der Summe stets mehr Strahlung ein, als hinaus. Damit ergibt sich trotz der durch Strahlung 24 verursachten Wärmeemission W über die gesamte Breite $b_{\text{red } 27}$ ein ausschliesslich positiver Energieeintrag in die Absorberkammer 12 hinein. Der durchschnittliche Fluss D_{27} beträgt (s. wiederum die schraffierten Bereiche) mehr als $80'000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ bzw. 80
 20 Sonnen, so dass trotz reduzierter Breite $b_{\text{red } 27}$ der Energieeintrag durch die Öffnung 14 hindurch optimal ist.

Im Abschnitt 28 ist der Fluss W_{28} bedeutend. Hier lohnt sich der zusätzliche Aufwand, an der thermischen Öffnung 14 eine Abdeckung 30 vorzusehen, die für
 25 Strahlung 4 im Wesentlichen im sichtbaren Bereich durchlässig und für Strahlung 24 im Wesentlichen im Infrarotbereich undurchlässig oder reduziert durchlässig ist. Entsprechend reduziert sich der Fluss der von der absorbierenden Wand 13 emittierte Fluss W_{28} zum durch die Öffnung 14 tatsächlich austretenden Fluss $W_{28'}$, womit letzterer für die Bemessung der Breite $b_{\text{red } 28}$ massgebend ist, die
 30 wiederum derart bemessen wird, dass die Summe des Flusses F und der

emittierten Strahlung W stets mindestens Null ist. Damit ergibt auch im Abschnitt 28 ein optimierter Energieeintrag in die Absorberkammer 12 hinein.

5 Im Abschnitt 29 ist der Fluss W_{29} kritisch. Hier lohnt sich der zusätzliche Aufwand, an der thermischen Öffnung 14 ein optisches Element 31 vorzusehen, das auftreffende konzentrierte Strahlung 4 durch Brechung des Strahlengangs durch die thermische Öffnung 14 hindurch leitet. Dies hat zur Folge, dass sich die Verteilung der konzentrierten Strahlung 4 nach dem Durchtritt durch das optische Element 31 gegenüber derjenigen der Figuren 4, Fa bis 5c ändert. Die
10 Verteilung ist nun nahezu gleichmässig, durch das optische Element 31 wird vorzugsweise diejenige Strahlung 4 erfasst, die im Bereich der Öffnung 14 über die nicht reduzierte Breite b_v einfällt. Damit wird erreicht, dass die eingetragene Energiemenge nach wie vor der vollen Leistung des Konzentrators 2 (Figur 1) entspricht, der Wärmeverlust durch die emittierte Strahlung W aber
15 entsprechend der verringerten Breite $b_{red\ 29}$ massiv verringert ist. Das optische Element 31 konzentriert somit die durch den Konzentrator 2 konzentrierte Strahlung 4 zusätzlich, womit die Verteilung des Flusses F_{29} gegenüber derjenigen von Figur 4 und den Figuren 5a bis 5c entsprechend der in der Figur eingezeichneten Kurve vorteilhaft verändert ist.

20
Überschlagsmässig kann die Breite $b_{red\ 29}$ grundsätzlich auf ca. 70% der vollen Breite b_v reduziert werden. Durch die Verwendung solch eines optischen Elements 31 ergibt sich darüber hinaus der Vorteil, dass vermehrt konzentrierte Strahlung 4 durch die Öffnung 14 eintritt, die von der nicht parallelen
25 Sonnenstrahlung (Öffnungswinkel der Sonnenstrahlung von ca. $0,5_0$, s. oben) bzw. am Konzentrator 2 (Figur 1) gestreuter Sonnenstrahlung stammt. Einem Brechungsindex von 1,5 (Glas) führt dazu, dass sich die Breite $b_{red\ 29}$ weiter reduzieren lässt, zu schliesslich ca. 50% der vollen Breite b_v , und trotzdem die einer Konzentration von 80 Sonnen entsprechende Energie (parallele Strahlung)
30 von der Leitung 10 aufgenommen wird. Im Ergebnis lässt sich also bei einem im Wesentlichen unverändert grossen, demjenigen von Figur 5a entsprechenden Energieeintrag die Verlustenergie W_{29} auf die Hälfte reduzieren. Im Abschnitt 29 beträgt mithin der Verlust trotz der hohen Temperatur der absorbierenden Wand 13 nicht mehr 50% (entsprechend $40'000\ \text{W/m}^2$) der vom Konzentrator 2 (Figur
35 1) zur Verfügung gestellten konzentrierten Strahlung 4, sondern nur noch 25%.

Figur 6 zeigt einen Querschnitt durch einen Teil der Absorberleitung 10 im Abschnitt 29 am Ort der thermischen Öffnung 14. Dargestellt ist die absorbierende Wand 13, der Mantel 18, der Ringraum 19 und das optische Element 31. Ein konzentrierter Sonnenstrahl 4 trifft auf das optische Element 31 und wird gegen das Lot 40 hin gebrochen, so dass er als Strahl 4* im optischen Element 31 verläuft und als Strahl 4** die absorbierende Wand 13 erreicht, wo er in die Absorberkammer 12 gestreut wird. Aus der Figur ist ersichtlich, dass wie zu Figur 5d erwähnt, die gesamte über die Breite b_v konzentrierte Strahlung erfasst und über die Breite $b_{red\ 29}$ in die Absorberkammer 12 gelangt. Dies trifft bei geeigneter Formgebung des optischen Elements 31 auch für die nicht parallelen Strahlen 4 der Sonne zu. Die Form des optischen Elements 31 kann durch den Fachmann graphisch konstruiert und entsprechend hergestellt werden. Erfindungsgemäss wird das dann aufwendig herzustellende Element nur in demjenigen Abschnitt angeordnet, wo die Verluste durch die emittierte Strahlung 24 sonst zu hoch wären.

Das in den Figuren 4 und 5 dargestellte Beispiel betrifft eine bevorzugte Ausführungsform; je nach den lokalen Verhältnissen wird der Fachmann den Konzentrationsfaktor des Konzentrators 2 (Figur 1) bzw. die Verteilung des Flusses der konzentrierten Strahlung 4 im Bereich der thermischen Öffnung (sowie auch diese selbst) anpassen und geeignet auslegen. So können die Mittel zur Reduktion der emittierten Strahlung 24 (hier reduzierte Breite der Öffnung, Abdeckung 30, optisches Element 31) geeignet mit einander kombiniert oder auch andere solche Mittel vorgesehen werden. Ebenso kann z.Bsp. die Breite der Öffnung 14 an Stelle eine Stufung zwischen den Abschnitten 26, 27, 28 und auch 29 kontinuierlich der steigenden Betriebstemperatur der absorbierenden Wand 13 angepasst werden. Darüber hinaus können die erfindungsgemässen Mittel bei noch höheren Betriebstemperaturen als $650\ ^\circ\text{C}$ eingesetzt werden.

Im Ergebnis lässt sich eine Absorberleitung für höhere und höchste Temperaturen des Wärme transportierenden Fluids auslegen, ohne dass der Aufwand dafür prohibitiv wird, da die jeweils entsprechenden Mittel nur an den Wirkungsgrad-relevanten Abschnitten vorgesehen werden.

35

Patentansprüche

1. Absorberleitung für ein Solarkraftwerk mit über ihre Länge ansteigender Betriebstemperatur, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel vorgesehen sind,
5 welche die von der absorbierenden Oberfläche aufgrund ihrer Betriebstemperatur nach aussen emittierte Strahlung in Abhängigkeit von der ansteigenden Betriebstemperatur reduzieren.
2. Absorberleitung nach Anspruch 1, wobei die Mittel zur Reduktion der
10 emittierten Strahlung nach einem ersten, eingangsseitigen Abschnitt der absorbierenden Oberfläche angeordnet sind und wobei Mittel mit der stärksten reduzierenden Wirkung an einem letzten, ausgangsseitigen Abschnitt der absorbierenden Oberfläche vorgesehen sind.
- 15 3. Aussenisolierte Absorberleitung für ein Solarkraftwerk mit einem in ihr längs verlaufenden inneren Absorberraum nach einem der Ansprüche 1 oder 2, der von konzentrierter Strahlung über eine ebenfalls längs an der Absorberleitung verlaufende thermische Öffnung erreichbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel vorgesehen sind,
20 die in Abhängigkeit von der über die Länge der thermischen Öffnung ansteigenden Betriebstemperatur der absorbierenden Wand des Absorberraums den Austritt der von dieser durch die thermische Öffnung nach aussen emittierten Strahlung reduzieren.
- 25 4. Absorberleitung nach Anspruch 3, wobei die Mittel den Austritt der von der absorbierenden Wand emittierten Strahlung über die Länge der thermischen Öffnung stufenweise und/oder kontinuierlich vermehrt reduzieren.
5. Absorberleitung nach einem der Ansprüche 3 oder 4, wobei die Mittel die
30 thermische Öffnung aufweisen, deren wirksame Breite in Zonen mit höherer Betriebstemperatur der absorbierenden Wand kleiner ist.
6. Absorberleitung nach Anspruch 4, wobei die wirksame Breite stufenweise und/oder kontinuierlich reduziert wird.

7. Absorberleitung nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei die Mittel eine Abdeckung der thermischen Öffnung aufweisen, die für Strahlung im Wesentlichen im sichtbaren Bereich durchlässig und für Strahlung im Wesentlichen im Infrarotbereich undurchlässig oder reduziert durchlässig ist.

5

8. Absorberleitung nach einem der Ansprüche 3 bis 7, wobei die Mittel ein optisches Element aufweisen, das an der thermischen Öffnung von reduzierter Breite angeordnet und ausgebildet ist, in einem der thermischen Öffnung von vorzugsweise nicht reduzierter Breite entsprechenden Bereich auftreffende Strahlung durch Brechung des Strahlengangs durch die thermische Öffnung hindurch zu leiten.

10

9. Absorberleitung nach Anspruch 5, 7 und 8, wobei die thermische Öffnung am einen Ende der Absorberleitung einen ersten Abschnitt mit grösster Breite, einen mittleren Abschnitt mit einer für im Wesentlichen Infrarotstrahlung reduziert durchlässigen Abdeckung und in einem letzten Abschnitt mit reduzierter Breite ein optisches Element aufweist.

15

10. Rinnenkollektor (1) mit einer Absorberleitung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9.

20

11. Solarkraftwerk mit einem Rinnenkollektor (1), der eine Absorberleitung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 aufweist

12. Verfahren zur Herstellung einer Absorberleitung nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass

25

- aus dem zugeordneten Konzentrator die Verteilung des Fluss der konzentrierten Strahlung im Bereich der thermischen Öffnung der Absorberleitung und daraus deren maximale Breite
- die Betriebstemperatur der absorbierenden Wand des Absorberraums über deren Länge und daraus der Fluss der von ihr emittierten Strahlung im Bereich der thermischen Öffnung

30

bestimmt wird,

dass abschnittsweise über die Länge der Absorberleitung diejenige Breite der thermischen Öffnung bestimmt wird, innerhalb welcher der Fluss der

35

konzentrierten Strahlung mindestens gleich dem Fluss der emittierten Strahlung ist,

und dass die thermische Öffnung der Absorberleitung mindestens über einen ersten Längenabschnitt mit der so bestimmten Breite ausgebildet wird.

5

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei der Fluss der emittierten Strahlung mindestens über einen Längenabschnitt der thermischen Öffnung durch ein optisches Element reduziert wird, das für konzentrierte Strahlung im Wesentlichen durchlässig ist.

10

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, wobei konzentrierte Strahlung mit einem neben der thermischen Öffnung liegenden Strahlungspfad von einem optischen Element durch Brechung in die thermische Öffnung gelenkt wird, derart, dass der Fluss der konzentrierten Strahlung erhöht ist.

15

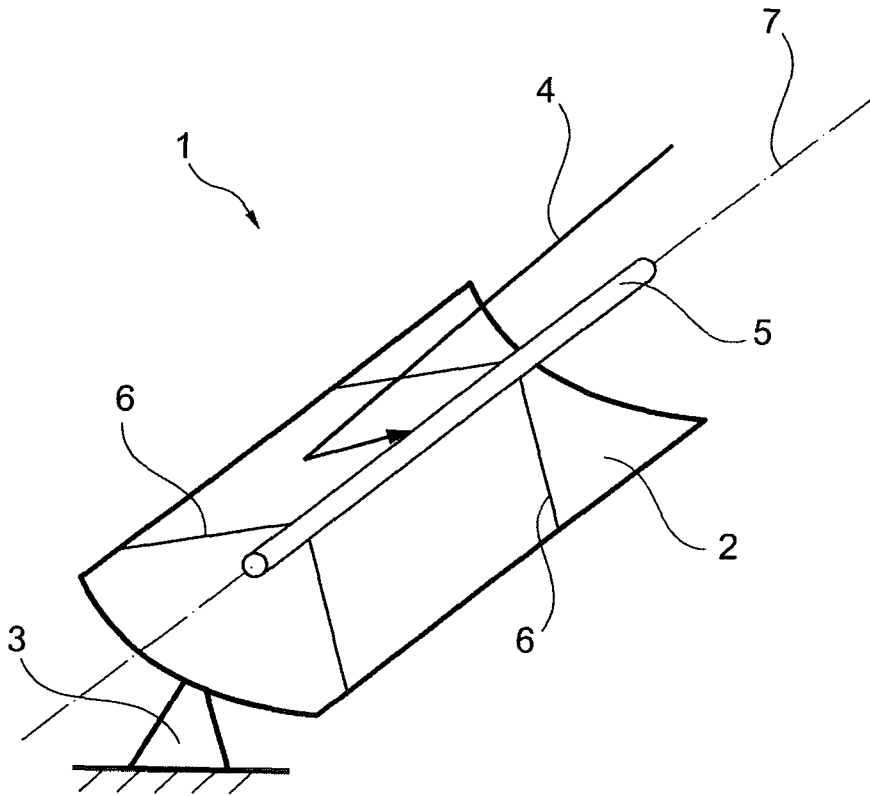


Fig. 1

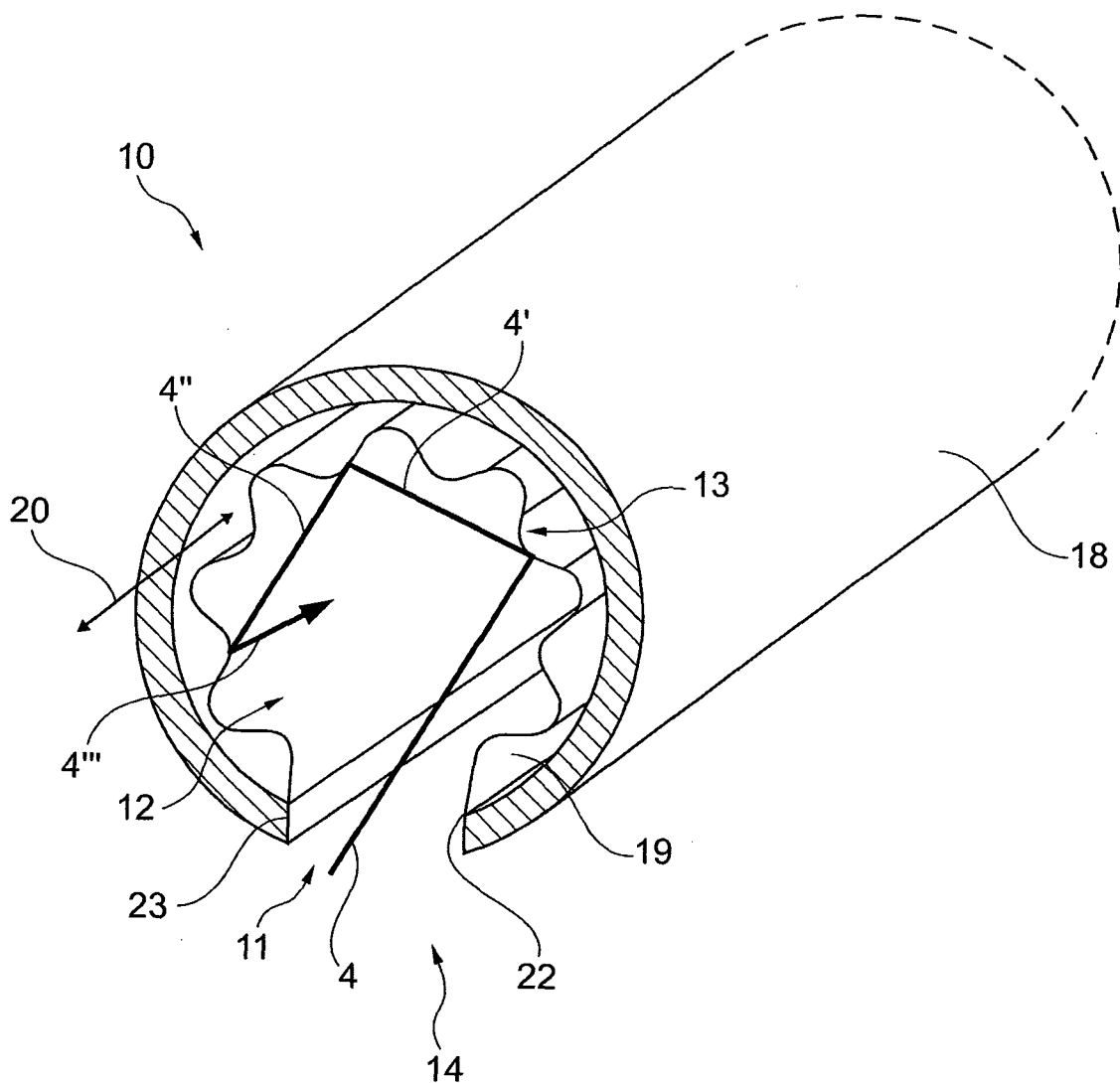


Fig. 2

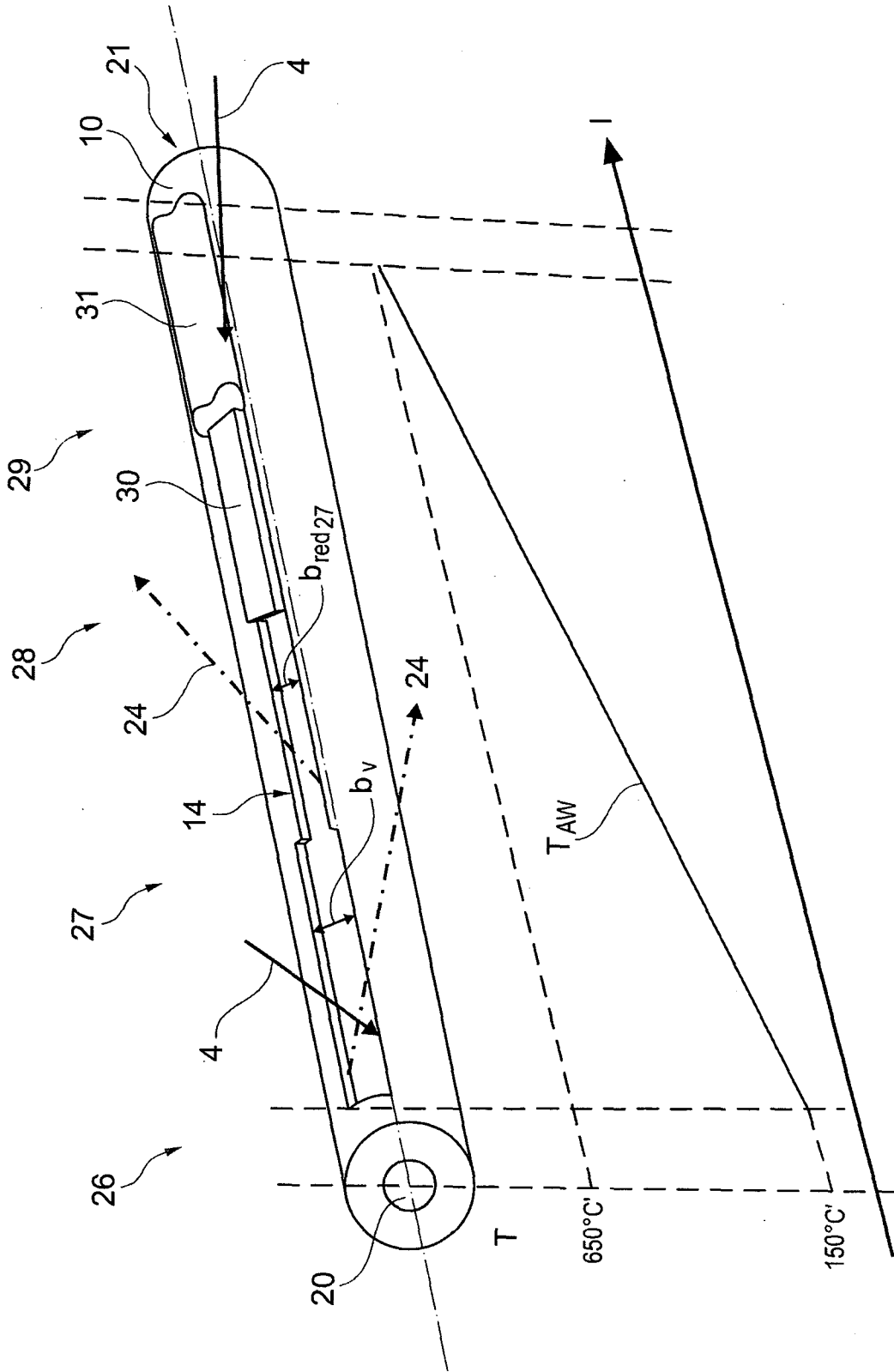


Fig. 3

ERSATZBLATT (REGEL 26)

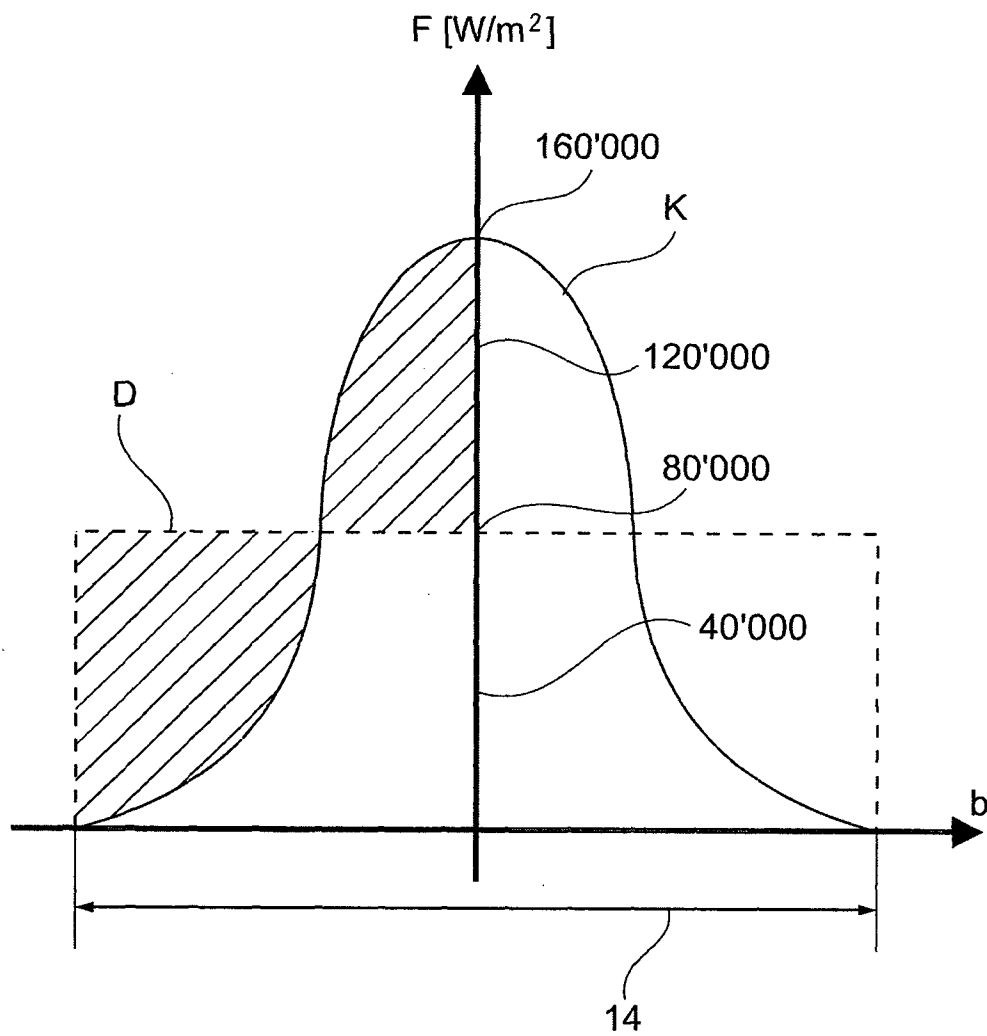


Fig. 4

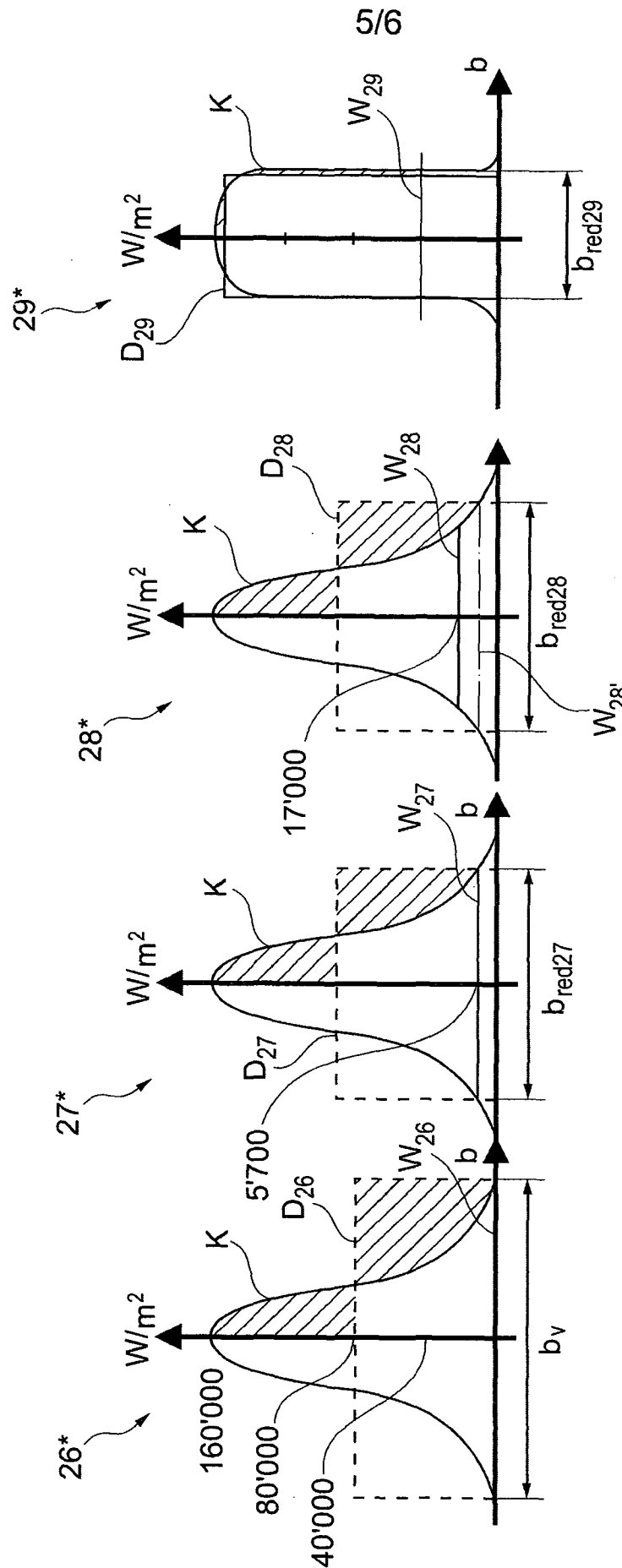


Fig. 5d

Fig. 5c

Fig. 5b

Fig. 5a

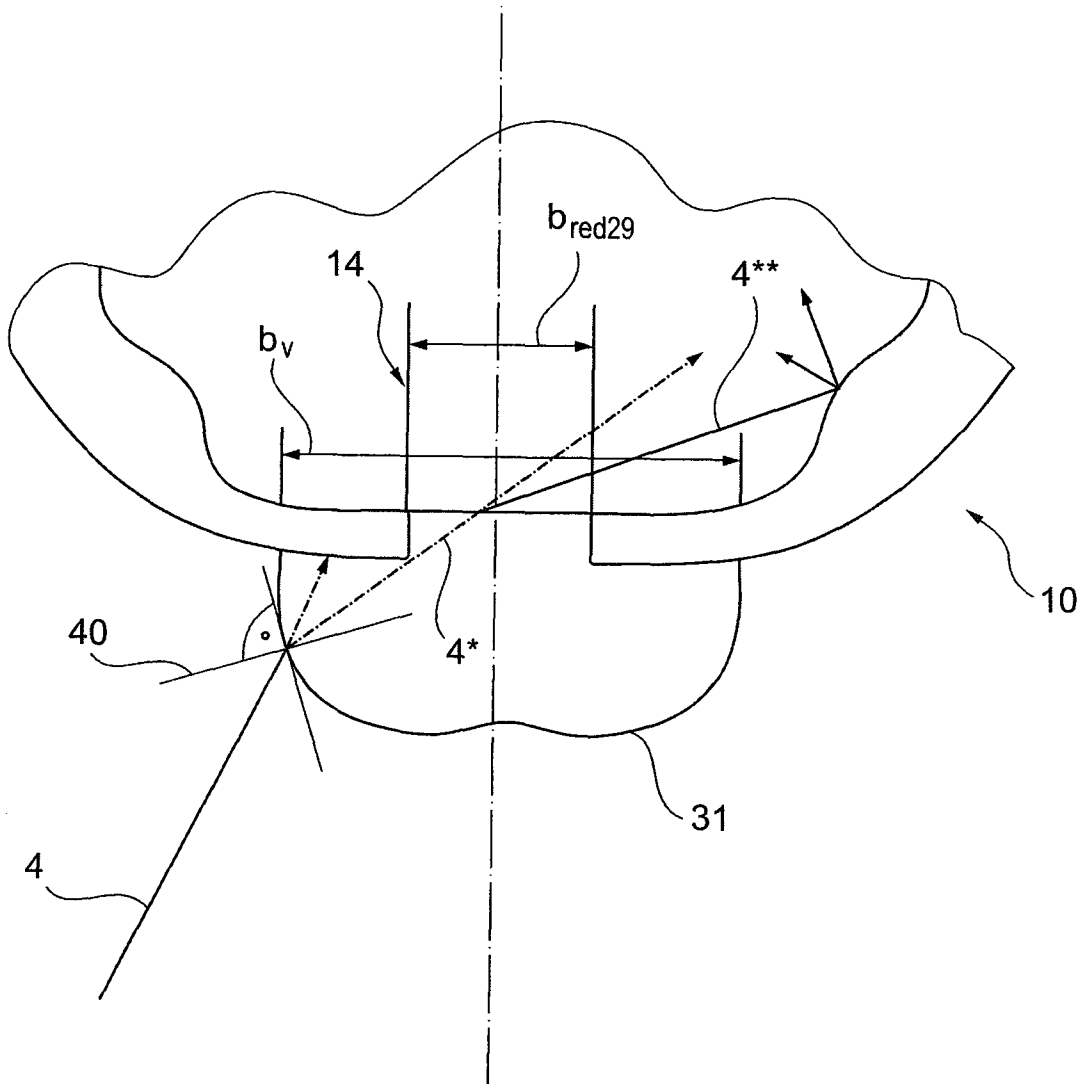


Fig. 6