



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 699 229 A2

(51) Int. Cl.: F24J 2/18 (2006.01)

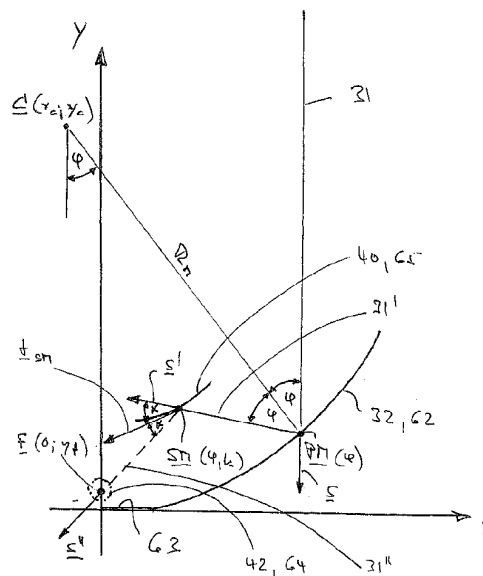
Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01113/08	(71) Anmelder: Airlight Energy IP SA, Via Croce 1 6710 Biasca (CH)
(22) Anmeldedatum: 17.07.2008	(72) Erfinder: Andrea Pedretti, 6948 Porza (CH)
(43) Anmeldung veröffentlicht: 29.01.2010	(74) Vertreter: Stump und Partner Patentanwälte AG, Dufourstrasse 116 8008 Zürich (CH)

(54) Verfahren zur Herstellung eines Sekundärkonzentrators für einen Rinnenkollektor.

(57) Durch das erfindungsgemässe Verfahren wird ausgehend von einem vorbestimmten Konzentrator 32, 62 und einem vorbestimmten Absorberrohr 42, 64 die Form der reflektierenden Oberfläche eines zugehörigen Sekundärkonzentrators 40, 65 bestimmt. Solch ein Sekundärkonzentrator wird vorzugsweise in einem Rinnenkollektor für ein Solarkraftwerk eingesetzt.



## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Sekundärkonzentrator für ein Solarkraftwerk nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] 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 erzeugtem Strom liegen.

[0003] 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 abgeführt und zum Betrieb von thermischen Kraftmaschinen wie Turbinen verwendet werden, die wiederum die Strom erzeugenden Generatoren antreiben.

[0004] Heute sind drei Grundformen von solarthermischen Kraftwerken im Einsatz: Dish-Sterling-Systeme, Solarturmkraftwerkssysteme und Parabolrinnensysteme.

[0005] 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. Diese Linienkonzentratoren besitzen heute eine Länge von 20 m bis zu 150 m, während die Breite 3 m, 5 m und mehr erreichen kann. In der Brennlinie verläuft eine Absorberleitung für die konzentrierte Wärme (bis gegen 400°C), welche diese zum Kraftwerk transportiert. Als Transportmedium kommt ein Fluid wie z.B. Thermoöl oder überhitzter Wasserdampf in Frage, welches in den Absorberleitungen zirkuliert.

[0006] Obschon ein Rinnenkollektor vorzugsweise als Parabolrinnenkollektor ausgebildet ist, werden häufig Rinnenkollektoren mit sphärischem oder nur annähernd parabolisch ausgebildetem Konzentrator verwendet, da ein exakt parabolischer Konzentrator mit den oben genannten Abmessungen nur mit grossem, damit wirtschaftlich kaum sinnvollen Aufwand herzustellen ist.

[0007] Die 9 SEGS-Rinnen-Kraftwerke in Südkalifornien produzieren zusammen eine Leistung von ca. 350 MW; ein zusätzliches Kraftwerk in Nevada soll zur Zeit ans Netz gehen und über 60 MW liefern. Ein weiteres Beispiel für ein Rinnenkraftwerk ist das im Bau befindliche Andasol 1 in Andalusien, mit einer Konzentratorfläche von 510 000 m<sup>2</sup> und 50 MW Leistung, wobei die Temperatur in den Absorberleitungen ca. 400° C erreichen soll. Das Leitungssystem für die Zirkulation des wärmetransportierenden Fluids kann in solchen 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 werden auf mehrere hundert Millionen Euro veranschlagt.

[0008] Überschlagsmässig lässt sich festhalten, dass ein immer grösserer Anteil der Gesamtkosten, heute z.B. 65% oder mehr, bei solch einem Solarkraftwerk auf die Rinnenkollektoren und das Leitungssystem für das Wärme transportierende Fluid entfallen.

[0009] Angesichts der genannten hohen Baukosten und auch der hohen Wartungskosten für solche Rinnenkollektoren wurden schon früh Bauformen vorgeschlagen, bei welchen die Verschmutzung der spiegelnden Konzentratoroberfläche vermindert und dadurch der Wartungsaufwand, aber auch der Aufwand für den Bau des Kollektors selbst, reduziert ist.

[0010] So zeigt FR-PS 1 319 144 einen Wannens- oder Rinnenkollektor für ein Solarkraftwerk der oben genannten Art, der eine zylindrische Druckzelle aus einer flexiblen Membran aufweist, die einen transparenten Bereich und einen reflektierenden Bereich aufweist. Durch erhöhten Innendruck wird die zylindrische Druckzelle in ihrer Form gehalten, so dass durch den transparenten Bereich eingefallene Sonnenstrahlung auf den sphärisch gekrümmten, reflektierenden Bereich gelangt und von diesem auf eine in der Druckzelle verlaufende Absorberleitung konzentriert wird.

[0011] Mit solch einer Anordnung ist es grundsätzlich denkbar, ein durch die zylindrische Druckzelle hindurch verlaufende Absorberleitung entlang ihrer Länge aufzuheizen, wobei sie durch die Druckzelle vor Verschmutzung und Kühlung durch den Wind geschützt ist. Der so entfallende Reinigungsaufwand für die Absorberleitung und speziell der Schutz vor Kühlung sind nicht zu unterschätzende Kostenfaktoren bei der Produktion von Solarstrom im industriellen Massstab.

[0012] Eine konventionelle Absorberleitung z.Bsp., die im Freien verläuft, verliert durch Wärmeabstrahlung und Kühlung durch die Umgebungsluft bis zu 100 W/m, was bei einer Leitungslänge von bis zu 100km (oder mehr) einem Verlust von 10 MW entspricht. Jede Reduktion dieses Verlusts z.Bsp. durch Schutz vor Windkühlung, ist deshalb von Bedeutung und anzustreben.

[0013] Weiter eröffnet die Ausbildung des Konzentrators als flexible Membran, die ein geringes Gewicht besitzt, die gesamte Tragstruktur des Kollektors einfacher und damit günstiger aufzubauen, da die gegenüber den herkömmlichen, massiven Spiegeln wesentlich weniger Gewicht gelagert und (dem Sonnenstand entsprechend) verschwenkt werden muss. Schliesslich ist auch ein aus einer flexiblen Membran bestehender Konzentrator günstiger herzustellen und einfacher zur Baustelle zu bringen (die der Natur der Sache nach in abgelegenen Gebieten, z.B. einer Wüste, liegen kann), und auch einfacher zu montieren, als dies bei konventionellen Konzentratoren der Fall ist.

[0014] Die Ausbildung eines Rinnenkollektors mit einer zylindrischen Druckzelle ist jedoch bei den heute geforderten, oben erwähnten Abmessungen nicht praktikabel. Die durch den zylindrischen Membrankörper gebildete äusserst grosse Angriffsfläche für z.Bsp. Wind erfordert eine Verstärkung der zylindrischen Druckzelle durch ein massives Fachwerk, wie es bereits in der genannten FR-PS im Hinblick auf verstärkende «nervures annulaires» des zylindrischen Körpers erwähnt wird. Durch ein solches Fachwerk, welches zu der an sich leichter und einfacher zu bauenden Tragstruktur für den Zylinder hinzu tritt, verliert die offenbarte Ausführungsform die in der FR-PS eingangs erwähnten Vorteile betreffend leichter und günstiger Konstruktion im wesentlichen Mass.

[0015] Dieselbe Bauform eines Rinnenkollektors mit aufblasbarem Kollektorkörper zeigt FR-PS 2 362 347. Hier wird berücksichtigt, dass auf dem transparenten Abschnitt der Membran auftreffende Sonnenstrahlung in Abhängigkeit vom Auftreffwinkel teilweise reflektiert wird; praktisch nicht, wenn die Sonnenstrahlung senkrecht auf den transparenten Abschnitt auftrifft, und mit ansteigendem Anteil, je schräger sie auf diesen gelangt.

[0016] Eine zylinderförmige Druckzelle hat entsprechend die Eigenschaft, dass (in Richtung der Sonnenstrahlung gesehen) randseitig auf ihr auftreffende Sonnenstrahlen im Wesentlichen reflektiert werden, also den Konzentrator nur noch zu einem geringen Anteil erreichen.

[0017] Entsprechend besitzt der in der FR-PS 2 363 347 dargestellte zylindrische Rinnenkollektor eine reflektierende Schicht, die sich nicht über die an sich mögliche Hälfte des Zylindermantels, sondern nur über ein Segment dieser Zylinderhälfte erstreckt.

[0018] Dadurch ergibt sich bei gleicher Konzentratorfläche ein noch grösserer Zylinderdurchmesser, als bei der Bauform nach FR-PS 1 319 144, was entsprechend ungünstig ist. Abhilfe wird gesucht, indem beim zylindrischen Körper die parallel zur Sonnenstrahlung verlaufenden Mantelbereiche gewissermassen «weggeschnitten» werden; es ergibt sich so eine bikonvexe, linsenförmige Struktur, deren Dicke bzw. Höhe gegenüber dem Durchmesser des Zylinders bei gleichbleibendem Anteil an eingefallenem bzw. nicht reflektiertem Sonnenlicht reduziert ist.

[0019] Der Fachmann erkennt, dass die gezeigten Ausführungsformen auch in bikonvexer, d.h. linsenförmiger Konfiguration tatsächlich immer noch erhebliche Höhe aufweisen, da der Brennlinienbereich innerhalb der Druckzelle liegt, somit der Krümmungsradius des Konzentrators entsprechend klein ist, was bei einem Rinnenkollektor von 5 oder 10m Breite zu einem beträchtlichen Volumen der Druckzelle führt. Die Angriffsfläche auch für seitlich einfallenden Wind (z.B. bei Ruhestellung für starken Wind) ist nach wie vor so gross, dass auch hier ein die Druckzelle unter Windangriff stabilisierendes, zusätzliches Fachwerk zur Tragstruktur für die Druckzelle selbst hinzukommen muss, also nicht weggelassen werden kann.

[0020] Die Tragstruktur für die Druckzelle kann im Wesentlichen aus einem einfachen, rechteckigen Rahmen bestehen, in welchem die Druckzelle ihren Längsrändern entlang aufgespannt wird.

[0021] Entsprechend besitzen die heute gebauten oder geplanten Solarkraftwerke des Typs mit Rinnenkollektoren solche herkömmlicher Art ohne Druckzelle, und realisieren damit die an sich denkbaren Vorteile (kostengünstiger Leichtbau, vereinfachte Wartung durch vor Verschmutzung geschützte Konzentratoren, keine Kühlung der Absorberleitung durch Wind, etc.) nicht.

[0022] Nun hat die Anmelderin in der noch unveröffentlichten schweizerischen Patentanmeldung 00 462/08 eine Konfiguration gemäss Fig. 1 vorgeschlagen, die ermöglicht, die Vorteile einer Druckzelle zu nutzen, indem ein Sekundärkonzentrator in der Druckzelle vorgesehen ist: dadurch, dass der Konzentrator im Rinnenkollektor gemäss Fig. 1 die einfallende Sonnenstrahlung gegen einen ausserhalb der Druckzelle verlaufenden Brennlinienbereich konzentriert, kann er flach, d.h. mit einem grossen Krümmungsradius konzipiert werden, was die Grundlage bietet, die Höhe der Druckzelle klein zu halten; dadurch, dass ein Sekundärkonzentrator vorgesehen ist, kann die Absorberleitung an einem geeigneten Ort innerhalb der Druckzelle angeordnet werden, jedoch ohne dass deren Höhe vergrössert werden muss, mit der Folge, dass die Druckzelle nunmehr z.B. ohne eigenes Verstärkungs-Fachwerk gebaut werden kann und damit ihre Vorteile als preisgünstige Leichtbaulösung genutzt werden können.

[0023] Die reflektierende Oberfläche des Sekundärkonzentrators, bzw. deren Krümmung oder Kontur kann durch Versuche zwar ermittelt werden; es ist jedoch wünschenswert, über ein Herstellungsverfahren für solch einen Sekundärkonzentrator zu verfügen, das nicht auf Versuchen aufsetzen muss und auch als Instrument für den Fachmann geeignet ist, den Sekundärkonzentrator für einen Kollektor im konkreten Fall schnell und einfach auszulegen, und damit gegebenenfalls auch vor Ort richtig, verbessert oder korrigiert ausgelegt herstellen zu können. Letzteres kann auch für Nachrüstungen konventioneller Kollektoren in Frage kommen.

[0024] Entsprechend ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein solches Herstellverfahren anzugeben.

[0025] Zur Lösung der Aufgabe dienen die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1, die eine nicht aufwendige Berechnung der Krümmung der reflektierenden Oberfläche des Sekundärkonzentrators ermöglichen, mit der jeweils gewünschten Genauigkeit, so dass je nach Auslegung eines Rinnenkollektors im konkreten Fall der Sekundärkonzentrator ohne weiteres richtig ausgelegt und hergestellt werden kann.

[0026] Nachstehend wird das erfindungsgemässe Herstellverfahren anhand der Figuren noch etwas näher erläutert. Es zeigt:

- Fig. 1 eine Ansicht eines Rinnenkollektors gemäss Stand der Technik, bei welchem das Absorberrohr ausserhalb der Druckzelle liegt
- Fig. 2 einen Querschnitt durch einen Rinnenkollektor mit einem Sekundärkonzentrator,
- Fig. 3 einen Querschnitt durch eine bevorzugte Ausführung eines Rinnenkollektors mit einem Sekundärkonzentrator, hergestellt nach dem erfindungsgemässen Verfahren
- Fig. 4 ein in die Anordnung von Fig. 3 gelegtes Koordinatensystem mit den im erfindungsgemässen Verfahren verwendeten Vektoren.

**[0027]** Fig. 1 zeigt eine Ansicht eines Rinnenkollektors 1 gemäss Stand der Technik mit einer Tragstruktur 2, bestehend aus einem rechteckigen Rahmen 3, der auf einer Verschwenkeinrichtung 4 gelagert ist, welche ihrerseits auf geeigneten Stützen 5 ruht. Die Verschwenkeinrichtung 4 ermöglicht, den Rinnenkollektor 1 dem jeweiligen Sonnenstand entsprechend auszurichten.

**[0028]** Die Figur zeigt weiter eine Druckzelle 10 unter Betriebsdruck, d.h. im aufgeblasenen Zustand mit der durch die Hilfslinien 11 symbolisierten kissenartigen Form. Die Länge solch eines Rinnenkollektors 1 kann 250 m, die Breite 10 m übersteigen. Die Höhe der Druckzelle 10 ist abhängig von der Breite, aber auf jeden Fall kleiner als diese.

**[0029]** Ein Absorberrohr 12 wird durch die reflektierte Sonnenstrahlung aufgeheizt; der Konzentrator befindet sich in der Druckzelle 10 und ist deshalb in der Figur nicht sichtbar. Das Absorberrohr 12 ist an geeigneten Stützen 13 aufgehängt, so dass es sich im Brennlinsenbereich des Konzentrators befindet.

**[0030]** In den nachfolgenden Figuren werden für gleiche Teile dieselben Bezugsnummern verwendet.

**[0031]** Die in der oben genannten, noch nicht veröffentlichten schweizerischen Patentanmeldung 00462/08 offenbarte Konfiguration ist in Fig. 2 dargestellt.

**[0032]** Fig. 2 zeigt schematisch einen Querschnitt durch eine Ausführungsform 20 des Rinnenkollektors 1. Die Verschwenkeinrichtung 4 ist gebildet durch einen bogenförmigen Verschwenkbügel 6, der in einem Verschwenkantrieb 7 läuft, welcher über Rollen 8 den Verschwenkbügel 6 verstellbar und damit den Rahmen 3 in gewünschter Stellung ausrichtet.

**[0033]** Im Rahmen 3 befestigt (und damit durch diesen aufgespannt) ist eine Druckzelle 25, die aus flexiblen Membranabschnitten 26,27 gebildet ist, vorliegend deren zwei, die ihren Rändern 28,29 entlang verbunden sind. Der eine, hier obere Membranabschnitt 26 ist für einfallendes Sonnenlicht, dargestellt durch die Strahlen 30, 31, mindestens teilweise transparent; der andere, untere Membranabschnitt 27 ist durch eine den Sonnenstrahlen 30,31 zugewandte reflektierende Beschichtung 32 als Konzentrator 33 ausgebildet.

**[0034]** Unter Betriebsdruck werden die Membranabschnitte 26,27 mit Druck beaufschlagt und dabei sphärisch gekrümmt, so dass der Konzentrator 33 im Rahmen 3 seine Rinnenform einnimmt, die dieser Gattung von Solarkollektoren den Namen gegeben hat.

**[0035]** Durch die sphärische Krümmung ergibt sich gegenüber einer exakten parabolischen Krümmung, dass die durch den Konzentrator 33 reflektierten Strahlen 30', 31' in einen Brennlinsenbereich 34, und nicht in eine Brennlinie konzentriert werden. Der Brennlinsenbereich 34 ist schematisch durch die punktierte Linie angedeutet. Die Auslegung eines zu bauenden Rinnenkollektors 20, d.h. Länge, Breite etc., also auch die Auslegung des Krümmungsradius 36, erfolgt durch den Fachmann im Hinblick auf ein konkretes Projekt.

**[0036]** Der Krümmungsradius 36 des Konzentrators 33 ist so gross gewählt, dass der Brennlinsenbereich 34 ausserhalb der Druckzelle 25 liegt, mit dem Vorteil, dass diese flach ausgebildet ist, d.h. eine geringe Höhe besitzt. Im Fall heftiger Winde kann die Druckzelle 25 durch den Verschwenkantrieb 7 derart ausgerichtet werden, dass sie dem Windangriff nur von der Schmalseite her, mit ihrer geringen Höhe, ausgesetzt ist. Damit entfällt ein zusätzliches, die Druckzelle 25 stabilisierendes Fachwerk (oder auch andere konstruktive Massnahmen zur Stabilisierung der Druckzelle 25). Die Druckzelle 25 mit dem Konzentrator 33 besitzt gegenüber einem konventionellen, massiv gebauten Konzentrator geringes Gewicht, mit der Folge, dass der Rahmen 3, aber auch die Verschwenkeinrichtung 4 mit den Stützen 5 geringer dimensioniert werden können. Als Folge dieses Leichtbaus ergibt sich nicht nur eine materialseitige Kostenreduktion, sondern auch eine wesentlich vereinfachte Herstellung und Montage, die besonders für abgelegene Gebiete, wie Wüstengebiete, geeignet ist.

**[0037]** In der Druckzelle 25 sind weiter ein Sekundärkonzentrator 40 und eine Absorberleitung 42 vorgesehen, die über ein Trägerfachwerk mit gestrichelt angedeuteten Trägern 44 an Halteplatten 45 des Rahmens 3 aufgehängt sind. Damit bleibt trotz grossem Krümmungsradius des Konzentrators 33 der Vorteil bestehen, dass die Sonnenstrahlung 30,31 nicht zweimal durch die transparente Membran 26 hindurchtreten muss; der Verlust beim einmaligen Durchtritt kann 1% der Strahlenenergie betragen (oder, mit der Alterung der Membran 26, noch grösser werden). Die Ausbildung und Dimensionierung dieses Trägerfachwerks kann durch den Fachmann leicht für einen konkret zu bauenden Rinnenkollektor 1 vorgenommen werden.

**[0038]** In der Absorberleitung 42 zirkuliert auf bekannte Weise ein Wärme transportierendes Fluid, das die von der einfallenden, konzentrierten Strahlung 30, 31 erzeugte Wärme abtransportiert.

**[0039]** Der Wartungsaufwand für den Sekundärkonzentrator 40 und die Absorberleitung 42 ist klein, da beide (wie auch der Konzentrator 33 selbst) durch die Druckzelle 25 vor Verschmutzung geschützt sind. Diese kann zudem an Stelle der Umgebungsluft mit z.B. Stickstoff gefüllt werden, was zusätzlich die Korrosion sowohl der reflektierenden Schicht des Konzentrators 33 als auch des Sekundärkonzentrators 40 (falls er z.B. aus Blech bestehen sollte, s. unten) verhindert oder verlangsamt. Alternativ dazu kann die Luft in der Druckzelle 25 entfeuchtet werden.

**[0040]** Dabei ist der Sekundärkonzentrator 40 im Pfad der durch den Konzentrator 33 konzentrierten Strahlung 30', 31' angeordnet und derart ausgebildet, dass die konzentrierte Strahlung 30' 31' weiter, gegen einen sekundären Brennlinienbereich 41 am Ort der Absorberleitung 42 hin, konzentriert wird. Es ergibt sich eine Anordnung, bei der der Sekundärkonzentrator 40 dem Konzentrator 33 gegenüberliegt und nahe dem transparenten Membranabschnitt 26 angeordnet ist, wobei die Absorberleitung 42 zwischen dem Konzentrator 33 und dem Sekundärkonzentrator 40 verläuft. Da die Krümmung des Konzentrators 33 bei gegebener Breite des Rinnenkollektors 1 schwach ausgeprägt ist (grosser Krümmungsradius 36), besitzt der Brennlinienbereich 34 eine nur kleine Ausdehnung, mit dem Vorteil, dass der Sekundärkonzentrator 40 schmal baut und nur wenig Schatten wirft.

**[0041]** Die Absorberleitung 42 ist von äusseren Einflüssen wie Wind geschützt und verliert entsprechend wenig Wärme.

**[0042]** Das in der Figur dargestellte Grundlayout für einen Rinnenkollektor gemäss der vorliegenden Erfindung ist symmetrisch bezüglich einer mittig längs der durch den Konzentrator 33 gebildeten Rinne verlaufenden Symmetrieebene, die durch die strichpunktierte Linie 43 angedeutet ist.

**[0043]** Fig. 3 zeigt eine weitere, bevorzugte Ausführungsform eines Kollektors 1. Der Konzentrator 60 weist zwei längs verlaufende reflektierende Bereiche 61, 62 auf, die einen Mittelstreifen 63 zwischen sich einschliessen, der vorteilhafterweise zur Tragstruktur des Rinnenkollektors gehört und damit begehbar ist. Dadurch ist die über dem Mittelstreifen 63 verlaufende Absorberleitung 64 für Montage und Wartung leicht zugänglich, so wie der ebenfalls über dem Mittelstreifen 63 verlaufende und unter dem transparenten Membranabschnitt 26 angeordnete Sekundärkonzentrator 65, welcher seinerseits zwei Bereiche 66, 67 besitzt, die jeweils die Sonnenstrahlung 30', 31' aus dem ihnen zugeordneten Bereich 61, 62 des Konzentrators 60 weiter, gegen die Absorberleitung 64 hin, konzentrieren. Diese Anordnung besitzt eine gegenüber derjenigen von Fig. 2 unverändert geringe Bauhöhe, ist günstig für Montage und Wartung, aber zusätzlich unempfindlich gegen den Schattenwurf des Sekundärkonzentrators, da die beiden Bereiche 61, 62 des Konzentrators 60, weil von einander durch den Mittelstreifen 63 getrennt, nicht oder nur marginal vom Schatten erreicht werden können.

**[0044]** Grundsätzlich ist es wünschenswert, den Brennlinienbereich so klein wie möglich auszubilden, was zu einer hohen Temperatur und damit zu einem verbesserten Wirkungsgrad der thermischen Maschinen des Solarkraftwerks führt. Andererseits ist zu bedenken, dass in einem Brennlinienbereich, der sich der idealen Brennlinie nähert, Temperaturen entstehen, die eine aus Metall bestehende, konventionelle Absorberleitung lokal zum Glühen bringen. Der Fachmann kann dies bei der Auslegung des Sekundärkonzentrators 40,65 berücksichtigen, was ebenfalls unterstreicht, dass die Form der reflektierenden Oberfläche den konkreten Anforderungen entsprechend präzise bestimmt und hergestellt werden muss.

**[0045]** Hier kann erwähnt werden, dass sich durch die Verwendung eines Sekundärkonzentrators 40, 54, 65 der weitere Vorteil ergibt, dass der Lichtpfad zwischen dem Konzentrator 33, 60, 65 und der Absorberleitung 42, 64 kürzer ist, als es in einer vergleichbaren Konfiguration ohne Sekundärkonzentrator 40, 54, 65 der Fall wäre; damit ist die Defokussierung kleiner und eine der theoretischen verbessert angenäherte Brennlinie erreichbar.

**[0046]** Vorteilhafterweise besteht der Sekundärkonzentrator 40, 65 aus einem Profil aus Blech (oder aus zwei solchen Profilen, die dann die Bereiche 55, 56 oder 66, 67 des Sekundärkonzentrators bilden), das langgestreckt, quer zu seiner Länge gekrümmt ist und auf seiner dem Konzentrator zugewendeten Seite eine reflektierende Schicht besitzt. Der Fachmann bestimmt dann (wie oben erwähnt, gegebenenfalls durch Versuche) die gewünschte Krümmung des Profils so, dass in der vorbestimmten relativen Lage von Konzentrator 33, 61, 62 und Sekundärkonzentrator 40, 65 der gewünschte Brennlinienbereich entsteht. Alternativ, je nach Ausbildung der Absorberleitung 64 kann natürlich auch eine Brennlinie an Stelle eines Brennlinienbereichs angestrebt werden.

**[0047]** Andererseits kann die gewünschte Profilform leicht durch Umformung eines Blechs in einer Presse hergestellt werden, was erlaubt, den Brennlinienbereich (oder die Brennlinie) genau zu definieren. Die reflektierende Schicht kann vor oder nach dem Umformvorgang auf das Blech bzw. auf die konkave Seite des erzeugten Blechprofils aufgebracht werden.

**[0048]** Mit anderen Worten ist es so, dass auch der Sekundärkonzentrator 40, 65 einfach und robust aufgebaut und von vergleichsweise geringem Gewicht ist; weiter ist auch er leicht transportabel und kann gegebenenfalls vor Ort hergestellt werden.

**[0049]** Fig. 4 zeigt nun in die Anordnung von Fig. 3 gelegtes x, y-Koordinatensystem mit den im erfindungsgemässen Verfahren verwendeten Vektoren, wobei das Koordinatensystem in einer Querschnittsebene, hier des Sekundärkonzentrators 65, liegt. Natürlich auch in einen Querschnitt durch den Rinnenkollektor 20 (Fig. 2) oder in einen Kollektor beliebiger Bauart eingelegt werden.

**[0050]** Zur Illustration ist in Fig. 4 der Mittelstreifen 63 angedeutet, der jedoch für den nachstehend geschilderten Berechnungsgang keine Rolle spielt. Ersichtlich sind der gegebene Konzentrator 32, 62, der im dargestellten Querschnitt, vorliegend da druckbeaufschlagt, kreisbogenförmig ausgebildet ist, und für den ein Sekundärkonzentrator 40,65 bestimmt

werden soll. Weiter ersichtlich ist der Sonnenstrahl 31, der am Konzentrator 32, 62 reflektierte Sonnenstrahl 31' und der am Sekundärkonzentrator wiederum reflektierte (gestrichelt dargestellte) Sonnenstrahl 31'', der auf das strichpunktiert angedeutete Absorberrohr 42,64 auftrifft und von diesem absorbiert wird. In der Figur ist das Absorberrohr 42, 64 durch den Brennpunkt bzw. einen Punkt auf der Brennpunktlinie  $F(0;y_{\#})$  dargestellt. Das Absorberrohr 42, 64 ist also ebenso wie der Konzentrator 32,62 vorbestimmt, d.h. für den Berechnungsgang vorgegeben.

[0051] Im den nachfolgend beschriebenen Schritten des Herstellverfahrens des Sekundärkonzentrators 40, 65 sind Vektoren durch eine Unterstreichung als solche gekennzeichnet.

[0052]  $C(x_c; y_c)$  bezeichnet den Krümmungsmittelpunkt des vorgegebenen Konzentrators 32, 62.  $PM(\#)$  bezeichnet einen allgemeinen Punkt auf dem Konzentrator 32, 62 (bzw auf der Konzentratoroberfläche);  $R_M$  den Krümmungsradius des Konzentrators 32, 62, der durch den Punkt  $PM(\#)$  läuft, wo  $\#$  der Winkel von  $R_M$  zur y-Achse ist.

[0053] Mit anderen Worten werden über den Winkel alle Punkte auf dem Konzentrator 32,62 bezeichnet, von denen aus die Sonnenstrahlung 31 in das Absorberrohr 42, 64 reflektiert werden soll.

[0054] Die Vektoren  $s(\#)$ ,  $s'(\#)$  und  $s''(\#)$  sind Einheitsvektoren im Pfad der jeweiligen Sonnenstrahlen (und werden nachstehend der Einfachheit halber nicht mehr jedes Mal explizit als Funktion von  $\#$  dargestellt):  $s$  liegt im Pfad des Sonnenstrahls 31,  $s'$  liegt im Pfad des am Konzentrator 32, 62 reflektierten Strahls 31' und  $s''$  im Pfad des am Sekundärkonzentrator reflektierten Strahls 31''.

[0055]  $R_M$  bildet als Krümmungsradius das Lot auf den Konzentrator im Punkt  $PM(\#)$ . Einfallender und reflektierter Strahl bilden denselben Strahl zum Lot, entsprechend sind die Winkel zwischen  $R_M$  und dem Strahl 31 sowie  $R_M$  und  $s'$  gleich gross und gleich  $\#$ .

[0056] Der reflektierte Strahl 31' trifft den Sekundärkonzentrator 40, 65 im Punkt  $SM(\#,k)$ , wobei der Wert von  $k$  als Streckungsfaktor für  $s'$  unbekannt ist.

[0057]  $t_{SM}(\#)$  ist Tangente an den Sekundärkonzentrator 40,65 im Punkt  $SM(\#,k)$ .

[0058] Die Einheitsvektoren  $s'$  und  $s''$  schliessen zwischen sich einen Winkel  $2\alpha$  ein. Da  $t_{SM}$  Tangente an den Sekundärkonzentrator 40, 65 im Punkt  $SM(\#,k)$  ist, ist sie damit auch Winkelhalbierende zwischen  $s'$  und  $s''$ , gemäss dem oben erwähnten Grundsatz, wonach einfallender und reflektierter Strahl denselben Winkel zum Lot einnehmen. ( $t_{SM}$  steht als Tangente senkrecht zum Lot im Punkt  $SM(\#,k)$ ).

[0059] Wird nun der unbekannt Faktor  $k$  so bestimmt, dass  $s''$  durch den Brennpunkt  $F$  (bzw. das Absorberrohr 42, 64) geht, ist  $SM(\#,k)$  bekannt. Damit die Form der reflektierenden Oberfläche des Sekundärkonzentrators 40, 65 bekannt, da jedem Wert  $\#$  (d.h. jedem bestrahlten Punkt auf der Oberfläche des Konzentrators) ein korrespondierender Punkt auf der Oberfläche des Sekundärkonzentrators 40, 65 zugeordnet werden kann, welche korrespondierenden Punkte zusammen die Oberfläche des gesuchten Sekundärkonzentrators 40, 65 bilden.

[0060] Zusammenfassend ist die Vektorsumme der Vektoren  $C + CPM(\#) + k \cdot s'$  gleich dem Vektor  $SM(\#,k)$ , der im Koordinatensystem den jeweiligen, einem Winkel  $\#$  entsprechenden, Punkt auf der reflektierenden Oberfläche des Sekundärkonzentrators 40, 65 entspricht.

[0061] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Herstellverfahrens wird  $k$  dadurch bestimmt, dass die Skalarprodukte  $s' \cdot t_{SM}(\#)$  und  $s'' \cdot t_{SM}(\#)$  zu  $s' \cdot t_{SM}(\#) = s'' \cdot t_{SM}(\#)$  gleichgesetzt werden, da der je eingeschlossene Winkel  $\alpha$  gleich gross ist. In dieser bevorzugten Ausführungsform präsentiert sich die Rechnung wie folgt:

$$\underline{s} = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

und damit ist  $PM(\#)$

$$= \underline{C} + R_M \begin{pmatrix} \sin \varphi \\ -\cos \varphi \end{pmatrix}$$

und  $s'$

$$= \begin{pmatrix} -\sin 2\varphi \\ \cos 2\varphi \end{pmatrix}$$

[0062] Die Gleichung des Sekundärkonzentrators 32, 62 hat, s. oben, die Form

$$\underline{S\pi}(\varphi, k) = \underline{P\pi}(\varphi) + k \cdot \underline{s}'(\varphi)$$

womit die Tangente  $t_{SM}(\#)$  als Ableitung des Ausdrucks

$$= \underline{P\pi}(\varphi) + k \cdot \underline{s}'(\varphi)$$

wird zu

$$\begin{aligned} t_{SM}(\varphi) &= \frac{d\underline{S\pi}}{d\varphi} = \frac{d\underline{P\pi}}{d\varphi} + \frac{dk}{d\varphi} \cdot \underline{s}' + k \cdot \frac{d\underline{s}'}{d\varphi} = \\ &= R_m \begin{pmatrix} \cos\varphi \\ \sin\varphi \end{pmatrix} + \frac{dk}{d\varphi} \begin{pmatrix} -\sin 2\varphi \\ \cos 2\varphi \end{pmatrix} + 2 \cdot k \cdot \begin{pmatrix} -\cos 2\varphi \\ -\sin 2\varphi \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$s''$  ist:

$$\begin{aligned} \underline{s}''(\varphi) &= \frac{\underline{S\pi} - \underline{f}}{|\underline{S\pi} - \underline{f}|} \longrightarrow \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ y_p \end{pmatrix} + R_m \begin{pmatrix} \sin\varphi \\ -\cos\varphi \end{pmatrix} + k \begin{pmatrix} -\sin 2\varphi \\ \cos 2\varphi \end{pmatrix} \\ &\hookrightarrow \sqrt{(x_c + R_m \sin\varphi - k \sin 2\varphi)^2 + (y_c - y_p - R_m \cos\varphi + k \cos 2\varphi)^2} = \sqrt{\dots} \end{aligned}$$

[0063] Die Wurzel im Nenner der Gleichung für  $s''$ , abgekürzt  $\sqrt{\dots}$  wird

[0064] Nun sind  $s'$ ,  $s''$  und  $t_{SM}(\#)$  berechnet, können also in  $s' \# t_{SM}(p) = s'' \# t_{SM}(\#)$  eingesetzt werden.

[0065] Es ergibt sich, dass

$$\begin{aligned} \underline{s}' \cdot t_{SM} &= -\sin 2\varphi \left( R_m \cos\varphi + \frac{dk}{d\varphi} \cdot -\sin 2\varphi + 2k \cdot -\cos 2\varphi \right) + \\ &+ \cos 2\varphi \left( R_m \sin\varphi + \frac{dk}{d\varphi} \cdot \cos 2\varphi + 2k \cdot -\sin 2\varphi \right) = \\ &= R_m \cdot \underbrace{(-\sin 2\varphi \cos\varphi + \cos 2\varphi \sin\varphi)}_{=\sin(-2\varphi + \varphi) = -\sin(\varphi)} + \frac{dk}{d\varphi} \underbrace{(\sin^2 2\varphi + \cos^2 2\varphi)}_1 + 2k \cdot \underbrace{(\sin 2\varphi \cos 2\varphi - \sin 2\varphi \cos 2\varphi)}_{\emptyset} \end{aligned}$$

$$\underline{s}' \cdot t_{SM} = \frac{dk}{d\varphi} - R_m \sin\varphi$$

und dass

$$\underline{s}'' \cdot t_{SM} = \frac{1}{\sqrt{\dots}} \cdot \left\{ \begin{aligned} &\left( R_m \cos\varphi + \frac{dk}{d\varphi} \cdot -\sin 2\varphi + 2k \cdot -\cos 2\varphi \right) (x_c + R_m \sin\varphi + k \cdot -\sin 2\varphi) + \\ &+ \left( R_m \sin\varphi + \frac{dk}{d\varphi} \cdot \cos 2\varphi + 2k \cdot -\sin 2\varphi \right) (y_c - y_p + R_m \cdot -\cos\varphi + k \cos 2\varphi) \end{aligned} \right\}$$

werden die oben erhaltenen Werte für  $s' \# t_{SM}(\#)$  und  $s'' \# t_{SM}(\#)$  in die Gleichung  $s' \# t_{SM}(\#) = s'' \# t_{SM}(\#)$  eingesetzt und diese nach  $dk / d\varphi$  aufgelöst, ergibt sich ein wegen  $\int$  elliptischer Ausdruck der analytisch nur aufwendig integrierbar ist.

[0066] Entsprechend wird die oben erhaltene Funktion

$$\frac{dk}{d\varphi} = F(k, \varphi)$$

in noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform als  $K = k(\#)$  numerisch bestimmt. Der Fachmann kann dies durch das Programm mathcad der Firma mathsoft ohne weiteres tun.

[0067] Die erhaltenen Werte für  $k(\#)$  können dann in  $SM(\#)$  eingesetzt und dadurch die Form des Sekundärkonzentrators 40,65 durch eine Linie von Punkten bestimmt werden. Z.B. die Methode der kleinsten Quadrate liefert dann eine kontinuierliche Form, die der idealen Form mit der ansteigenden Anzahl der bestimmten Punkte  $SM(\#)$  (bzw. kleiner werdendem Intervall für  $\#$ ) immer näher kommt.

[0068] Der Fachmann kann nun wählen, ob die oben erwähnte Linie von Punkten mit grösserem oder kleinerem  $\#$  bestimmt wird, d.h. ob die Punkte weniger eng oder enger zusammen liegen, so dass ein Brennlinienbereich oder eine exakte Brennlinie am Ort des Absorberrohrs 42, 64 entsteht. Dadurch kann er im konkreten Fall die oben in Zusammenhang mit Fig. 3 beschriebene Temperaturverteilung auf dem Absorberrohr im gewünschten Sinn beeinflussen.

[0069] Wegen des Durchmessers der Sonnenscheibe gelangen die Sonnenstrahlen 31 nicht nur parallel auf den Konzentrator 32, 62, sondern mit einem Öffnungswinkel von ca. 0,5 Grad. Entsprechend kann über das oben beschriebene Verfahren z.B. die Form des Sekundärkonzentrators 40, 65 je für einen Einheitsvektor  $s$  bestimmt werden, der parallel zur y-Achse verläuft, und für einen Einheitsvektor  $s$ , der um 0,25 Grad nach links und nach rechts zur y-Achse geneigt ist. Es ergeben sich dann drei Formen für den Sekundärkonzentrator 40, 65, respektive ein Bereich, in dem dessen Oberfläche liegen soll, in welchem eine Optimierung vorgenommen werden kann.

[0070] Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden zur Vereinfachung die einfallenden Sonnenstrahlen als parallel angenommen, wobei sie besonders bevorzugt parallel zur Mittel-Symmetrieebene des Konzentrators 32, 62 liegen.

[0071] Das oben angegebene Verfahren erlaubt, den Einheitsvektor  $s'$  auch bei nicht kreisbogenförmigem Konzentrator anzugeben, z.B. dann, wenn dieser Parabel-förmig ausgebildet ist. Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel wird jedoch der Konzentrator 32, 62 im Querschnitt als bogenförmig angenommen.

[0072] Bei noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Herstellverfahrens wird der Ursprung des Koordinatensystems im Krümmungsmittelpunkt C des Konzentrators 32, 62 angenommen.

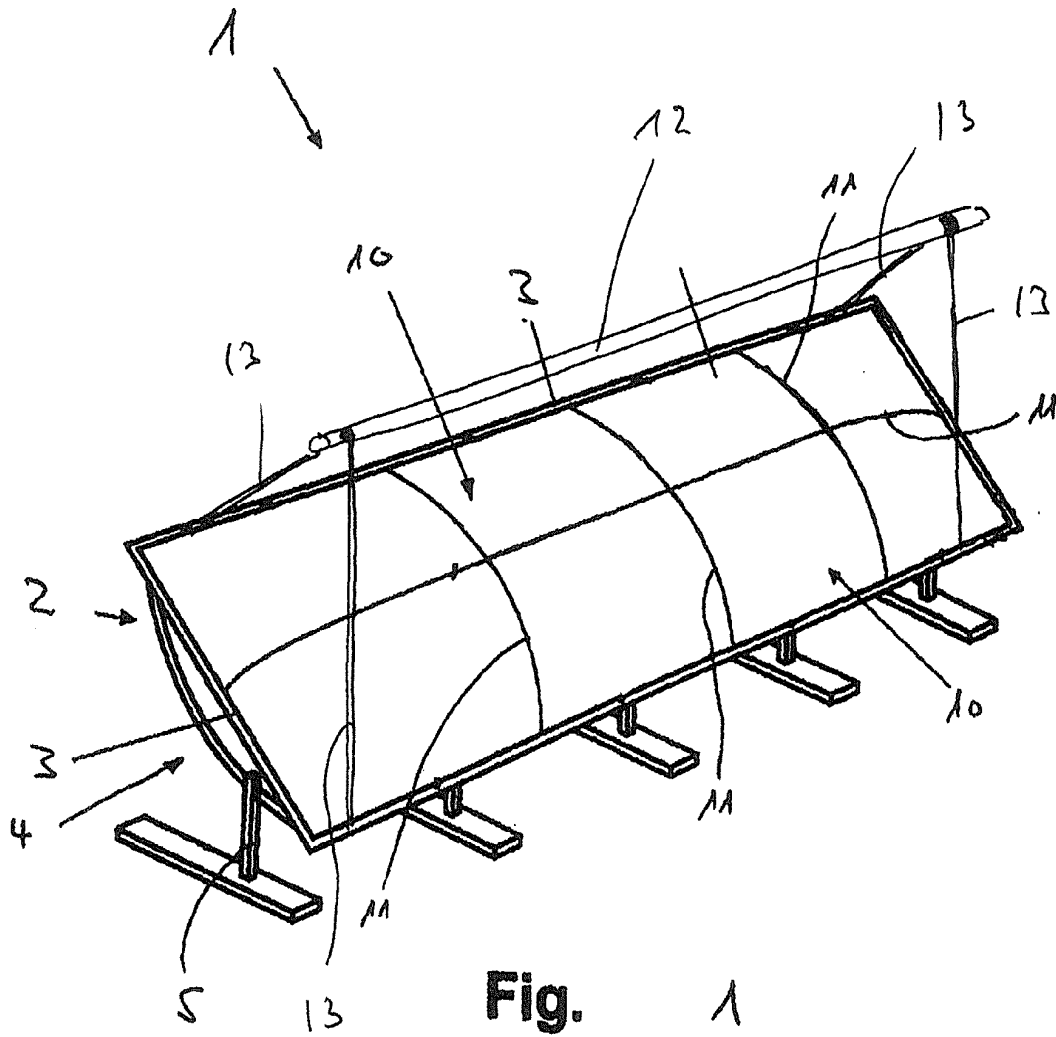
[0073] Ist die Form der reflektierenden Oberfläche Sekundärkonzentrators 40, 65 einmal bestimmt, kann sie auf den Sekundärkonzentrator übertragen werden, vorzugsweise auf einen Block aus geeignetem Schaumstoff, der den Körper des Sekundärkonzentrators bildet, worauf die dann der Kurve entsprechend bearbeitete Oberfläche des Schaumstoffs mit einer reflektierenden Folie bedeckt, und so ein in den Rinnenkollektor einbaufähiger Sekundärkonzentrator 40, 65 hergestellt wird. Besonders bevorzugt besitzen solche Schaumstoffblöcke eine einheitliche Länge von z.B. 2 m und werden dann für die zu bestückenden Rinnenkollektoren zusammengesetzt eingebaut.

[0074] Damit ergibt sich ein betriebsfähiger Sekundärkonzentrator 40, 65, der auf einen vorgegebenen Konzentrator 32, 62 sowie ein vorgegebenes Absorberrohr 42, 64 abgestimmt ist. Obschon solch ein Sekundärkonzentrator 40, 65 für den Einbau in eine Druckzelle besonders geeignet ist, kann er natürlich auch ohne Druckzelle in konventionellen Rinnenkollektoren Verwendung finden. Ebenso kann das erfindungsgemässe Verfahren z.B. in Dish-Sterling Kollektoren mit rundem (und nicht rinnenförmigem) Konzentrator eingesetzt werden, wenn die Strahlung durch ein Loch im Konzentrator auf einen Punkt konzentriert werden soll, der hinter dem Konzentrator liegt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Sekundärkonzentrators für einen Sonnenkollektor, das die folgenden Schritte zur Bestimmung der Form der reflektierenden Oberfläche des Sekundärkonzentrators umfasst;
  - annehmen mindestens einer Querschnittsebene des Sekundärkonzentrators, wobei in dieser wie folgt verfahren wird:
    - bestimmen des Einheitsvektors  $s(\#)$  des einfallenden Sonnenstrahls
    - bestimmen des Einheitsvektors  $s'(\#)$  des am Konzentrator reflektierten Sonnenstrahls
    - annehmen eines Einheitsvektors  $s''(\#)$  des am Sekundärkonzentrator reflektierten Sonnenstrahls
    - bestimmen einer Anzahl von Punkten  $SM(\#)$  auf dem Sekundärkonzentrator über den Vektor  $PM(\#)$ , wobei  $PM(\#)$  auf dem Konzentrator liegt, und wobei  $SM(\#) = PM(\#) + k \cdot s'(\#)$
    - bestimmen des Faktors  $k$  derart, dass  $s''(\#)$  durch den vorbestimmten Brennpunkt oder der Brennlinie  $F$  der aus dem Konzentrator und dem Sekundärkonzentrator bestehenden Anordnung geht

- bestimmen der Kurve, und damit der gesuchten Form der reflektierenden Oberfläche, die durch die erhaltene Anzahl von Punkten  $SM(\#)$  geht
  - übertragen der unter Anwendung der vorgehenden Schritte erhaltenen Kurve auf den Sekundärkonzentrator zur Ausbildung dessen reflektierender Oberfläche.
2. Verfahren nach Anspruch 1, indem der Faktor  $k$  durch die Gleichsetzung der Skalarprodukte  $s' \cdot t(\#) = s'' \cdot t(\#)$  bestimmt wird, wobei  $t(\#)$  die im Punkt  $SM(\#)$  an den Sekundärkonzentrator angelegte Tangente ist.
  3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Gleichung  $s' \cdot t(\#) = s'' \cdot t(\#)$  nach  $dk/d\#$  aufgelöst und die Werte von  $k$  aus dem entstehenden elliptischen Integral numerisch bestimmt werden.
  4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zur Vereinfachung die einfallenden Sonnenstrahlen 31 als parallel angenommen werden.
  5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Konzentrator im Querschnitt als bogenförmig angenommen wird.
  6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Ursprung des Koordinatensystems im Krümmungsmittelpunkt des Konzentrators angenommen wird.
  7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Kurve durch die erhaltenen Punkte  $SM(\#)$  durch die Methode der kleinsten Quadrate bestimmt wird.
  8. 8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Kurve auf einen Schaumstoffblock übertragen und die so entstehende gekrümmte Oberfläche mit einer reflektierenden Folie bedeckt wird.
  9. 9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei ein Rinnenkollektor hergestellt wird, der zwei parallel angeordnete, durch einen Mittelstreifen getrennte Konzentratorabschnitte aufweist, wobei die Konzentratorabschnitte symmetrisch zueinander ausgebildet sind und der Einheitsvektor  $s$  senkrecht zum Mittelstreifen steht.
  10. 10. Sekundärkonzentrator hergestellt nach einem der Ansprüche 1 bis 9.
  11. 11. Sekundärkonzentrator nach Anspruch 8, der einen Körper aus Schaumstoff aufweist, dessen eine Oberfläche mit einer reflektierenden Folie belegt ist, wobei die Form dieser Oberfläche in Betriebsposition des Sekundärkonzentrators von einem zugehörigen Konzentrator reflektierte Sonnenstrahlung am vorbestimmten Ort eines Absorberrohrs 42,64 konzentriert.
  12. 12. Rinnenkollektor für ein Solarkraftwerk, gekennzeichnet durch einen Sekundärkonzentrator, hergestellt nach dem Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 9.
  13. 13. Solarkraftwerk, gekennzeichnet durch einen Rinnenkollektor, hergestellt nach dem Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 9.



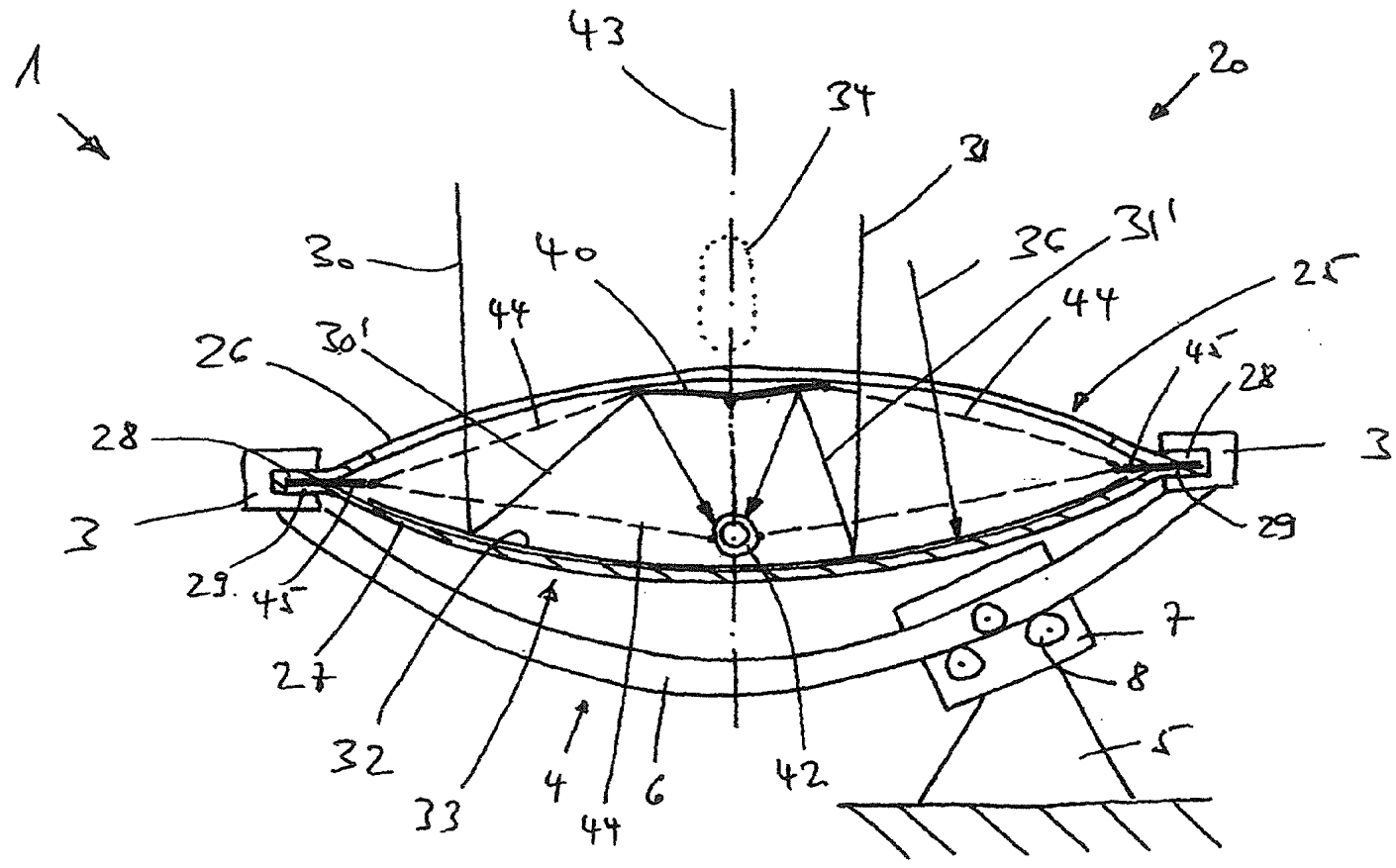


Fig 2

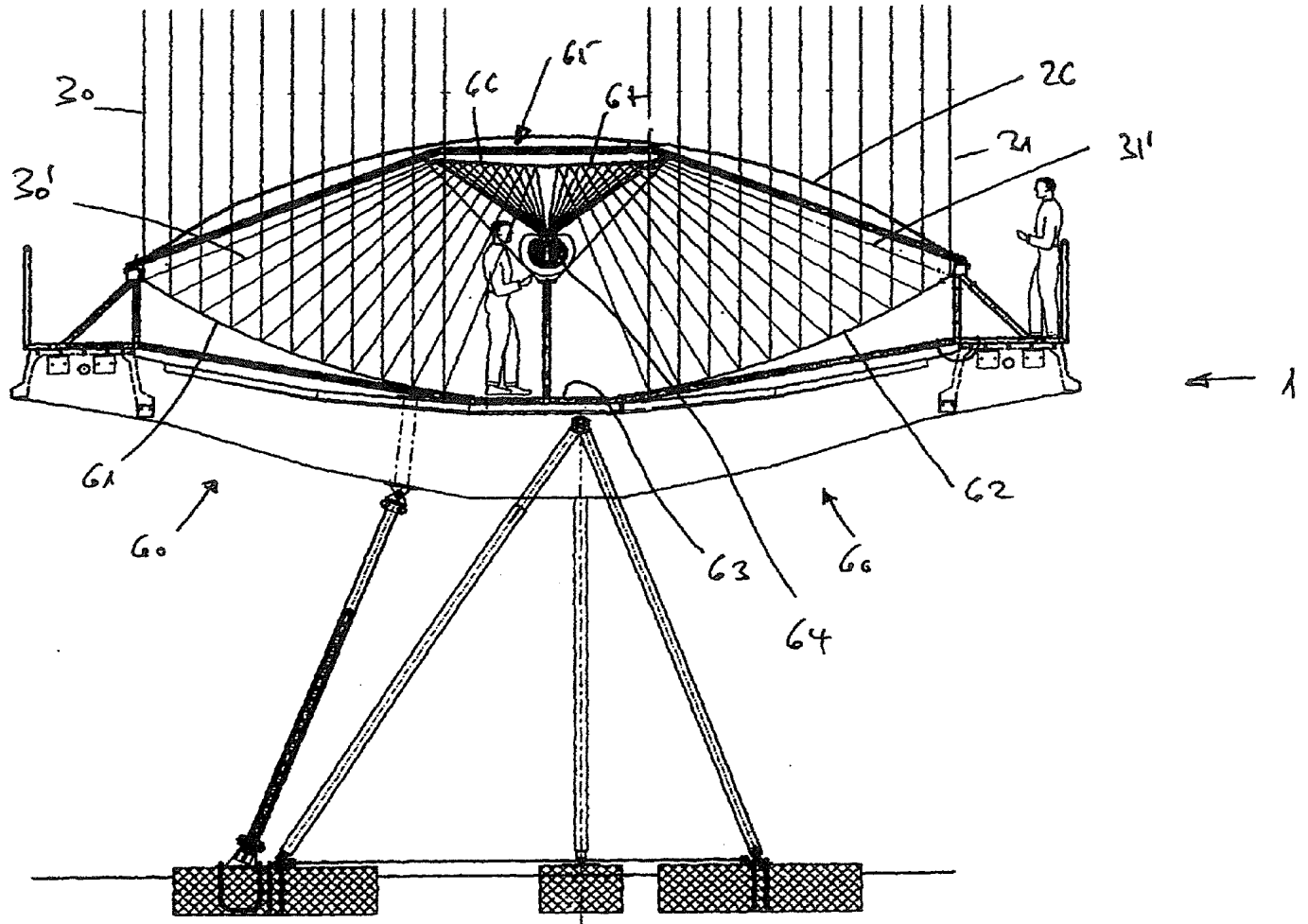


FIG 3

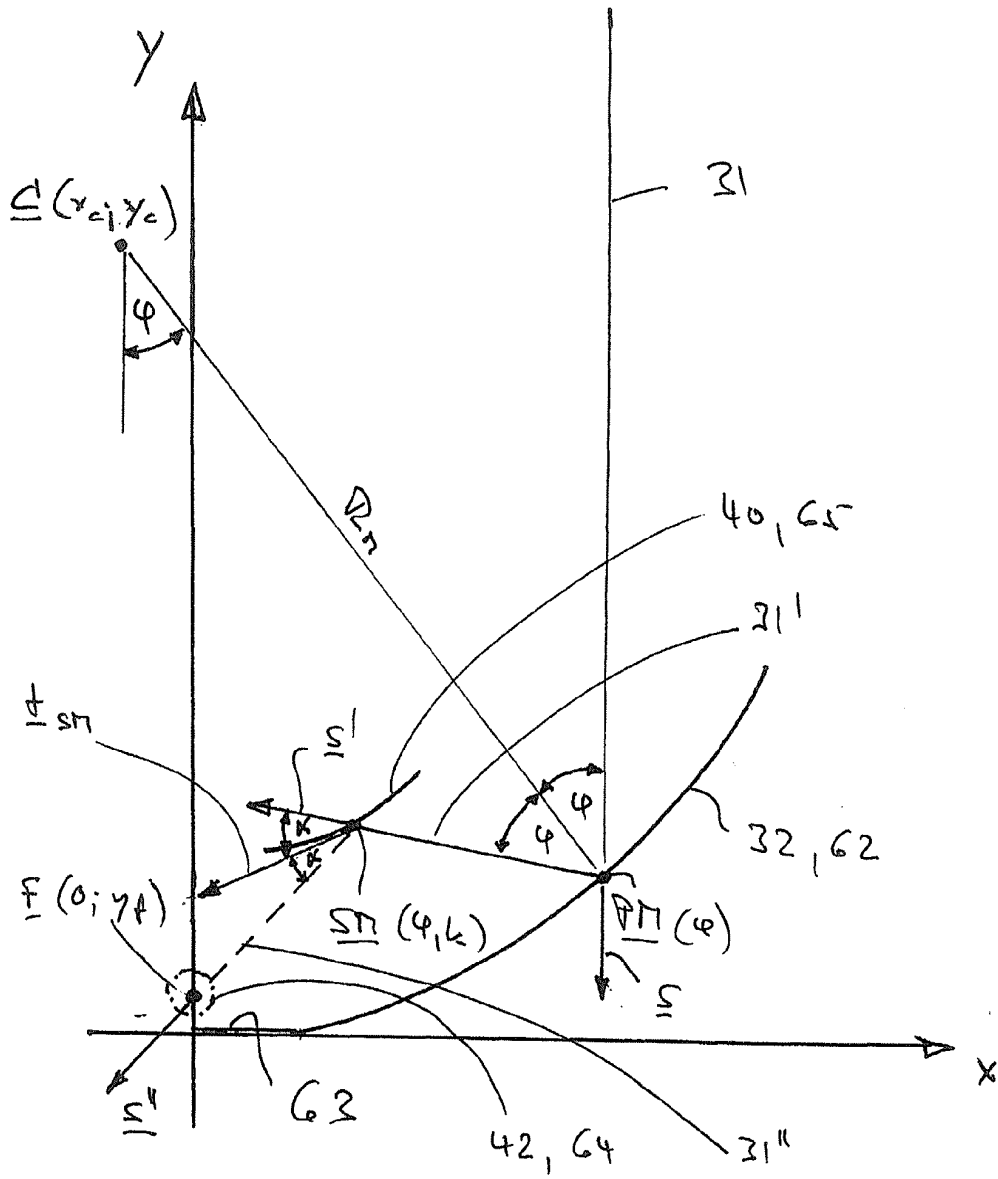


Fig 4