



(10) **DE 10 2009 038 962 B4** 2017.10.26

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 038 962.8**
 (22) Anmeldetag: **20.08.2009**
 (43) Offenlegungstag: **24.02.2011**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **26.10.2017**

(51) Int Cl.: **F24J 2/04 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Grimm, Friedrich, Prof. Dipl.-Ing., 70376 Stuttgart,
 DE**

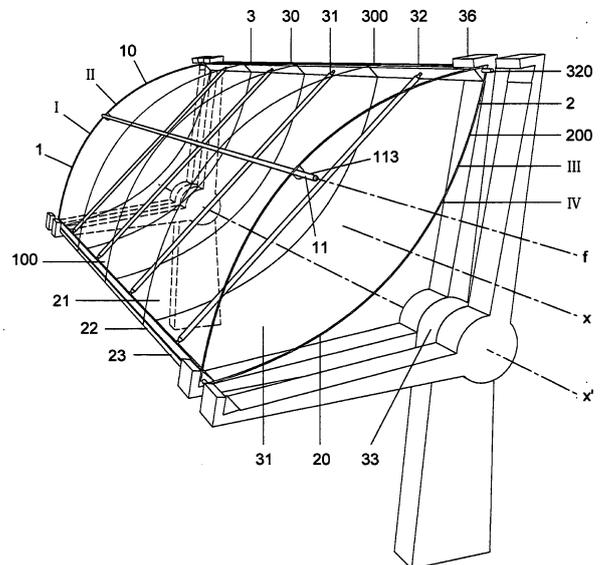
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	26 35 436	A1
DE	103 35 214	A1
DE	231 294	A
AT	505 075	A1
US	4 432 342	A
US	2 872 915	A
US	4 543 945	A
WO	2008/ 037 108	A2

(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

(54) Bezeichnung: **Röhrenförmiger Sonnenkollektor**

(57) Hauptanspruch: Sonnenkollektor (3) mit einem um eine Längsmittelachse (x) angeordneten Tragwerk, bestehend aus einer konvexen, lichtdurchlässigen Schale (1) mit den Oberflächen (I, II) und einer konkaven, parabolrinnenförmigen Reflektorschale (2) mit den Oberflächen (III, IV) und einem Hohlspiegel (21), der das Sonnenlicht auf eine Brennlinie (f) fokussiert, sowie einer parallel zur Brennlinie angeordneten Schwenkachse (x') für eine Ausrichtung zum Stand der Sonne, bei dem die lichtdurchlässige Schale (1) ein im Fokus des Hohlspiegels (21) angeordnetes, den Oberflächen (I, II) zugeordnetes Empfängerelement (11) trägt und schubsteif mit der Reflektorschale (2) verbunden ist, sodass eine biege-, schub- und torsionssteife Röhre (30) mit einem linsenförmigen Querschnitt gebildet wird, wobei die Schalen (1, 2) als jeweils von der Längsmittelachse (x) beabstandete Gurtungen (10, 20) wirksam sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen zum Stand der Sonne ausrichtbaren Sonnenkollektor mit einem linear fokussierenden, optischen Konzentratorsystem aus einem parabolrinnenförmigen Spiegel und einem Empfängererelement im Fokus des Spiegels.

Stand der Technik

[0002] Solarzellen als mono- oder polykristalline Zellen können heute ca. 14–20% der eingestrahlten Sonnenenergie in Strom umwandeln. Hocheffiziente Tandem-, Triple- und Quinto-Solarzellen erreichen einen Wirkungsgrad von deutlich über 30%. Trotz der Einführung industrieller Herstellungstechniken und einer Massenproduktion von Zellen und Modulen ist fotovoltaisch gewonnener Strom mit einem Preis von ca. 21 €/kWh immer noch erheblich teurer als Strom aus fossilen Energiequellen, für den ein Erzeugungspreis von ca. 6 €/kWh angegeben wird. Bekannte optische Konzentratorsysteme bündeln das Sonnenlicht auf die Solarzellen und können deshalb einen Beitrag für eine signifikante Absenkung der Stromerzeugungskosten leisten. Die Konzentration des Sonnenlichts führt jedoch zu hohen Temperaturen auf der Oberfläche der Solarzellen, was wiederum eine deutliche Reduktion ihres Wirkungsgrads bewirkt. Insbesondere hocheffiziente, mehrfach beschichtete Solarzellen müssen deshalb durch besondere Maßnahmen gekühlt werden.

[0003] Parabolrinnenkraftwerke nutzen einen rinnenförmigen Spiegel, um das Sonnenlicht auf ein selektiv beschichtetes Absorberrohr zu konzentrieren. Die Stromerzeugungskosten liegen hier zwischen 10 und 15 €/kWh. Die Massenfertigung etwa 12 m langer Kollektormodule mit einer Spiegelapertur von etwa 6 m Breite und einem biege-, schub- und torsionssteifen Raumfachwerk aus Stahl, auf das die Glasspiegel montiert werden, reduziert den Materialeinsatz auf ca. 18 kg Stahl und 11 kg Glas pro Quadratmeter Aperturfläche. Bei einem derartigen Kollektormodul besteht der Spiegel aus einzelnen gebogenen Glasscheiben, die auf ein darunter liegendes Stahltragwerk montiert werden. Dabei übernehmen die Glasscheiben keine Tragfunktion. Für den Bau von Parabolrinnenkraftwerken im sog. Sonnengürtel der Erde gilt es zu bedenken, dass die Anlagen regelmäßig gereinigt und gegen die Auswirkungen von Sandstürmen geschützt werden müssen. Bereits in der Patentschrift DE 231 294 A weisen die Erfinder aus Aalen und Stuttgart auf diese Tatsache hin und schützen den empfindlichen Metallspiegel durch eine dünne Glasplatte.

[0004] Die US 4 543 945 A zeigt einen konzentrierenden Sonnenkollektor, der aus zwei flexiblen Folienwänden, einer strahlungsseitig lichtdurchlässigen und einer rückseitigen verspiegelten Folienwand, aufgebaut ist, die jeweils an ihren äußeren Rändern untereinander luftdicht verbunden sind und entweder durch Unterdruck oder Überdruck pneumatisch stabilisiert werden, wobei die verspiegelte Wand einen Parabolspiegel bildet.

[0005] Die WO 2008/037 108 A2 zeigt einen Strahlungskollektor mit zwei Druckräumen, bei dem die Druckdifferenz zwischen den Druckräumen den konzentrierenden Spiegel möglichst verschleißfrei in Form hält.

[0006] Die US 4 432 342 A zeigt einen starr zur Sonne ausgerichteten konzentrierenden Sonnenkollektor, der aus flexiblen Folien aufgebaut ist, die durch einen inneren Überdruck stabilisiert werden, und bei dem das Empfängererelement beweglich ausgebildet ist und dem jeweiligen Brennpunkt des Spiegels folgt.

[0007] Die US 2 872 915 A offenbart einen Parabolrinnenkollektor mit einer konvex gewölbten Abdeckung aus Glas. Die Glasabdeckung hat hier die Aufgabe, sekundäre Wärmestrahlung mittels einer teilweise verspiegelten Oberfläche auf ein im Rinnenbodenbereich angeordnetes Absorberrohr zu bündeln. Durch diese Anordnung ist der Gedanke einer selbsttragenden Röhre mit zwei von der Längsmittelachse beabstandeten Gurtungen nicht vorweggenommen. Die DE 26 35 436 A1 zeigt einen Sonnenkollektor, bei dem ein parabolrinnenförmiges Spiegelement in einen separaten Rahmen eingesetzt wird und diesen aussteift. Das Prinzip einer selbsttragenden, starren Röhre geht aus dieser Patentschrift ebenfalls nicht hervor.

[0008] Aus der DE 103 35 214 A1 geht ein Parabolrinnenkollektor hervor, dessen Tragstruktur als zweiseitiger Torsionskasten ausgeführt ist. Die Reflektorschale ist bei diesem Ausführungsbeispiel zur Sonneneinstrahlung offen, während sich das Schalentragwerk auf der Rückseite des Spiegels befindet.

[0009] Aus der AT 505 075 A1 geht ein aufblasbarer Sonnenkollektor hervor, bei dem der Reflektor als Membran in einen zylindrischen, aufblasbaren Schlauch mit zwei Kammern integriert ist. Ein pneumatisch stabiliertes Schlauch aus Kunststoff erreicht insbesondere bei größeren Durchmessern nicht die nötige Präzision, um das Sonnenlicht möglichst konzentriert auf ein Empfängererelement zu bündeln.

Aufgabenstellung

[0010] Es ist die Aufgabe der Erfindung, einen Sonnenkollektor mit einem linear fokussierenden, optischen Konzentratorsystem, das ein Tragwerk, einen parabolrinnenförmigen Hohlspiegel und ein Empfängerelement umfasst, zu finden, der die Nachteile des Standes der Technik vermeidet und die Vorteile bekannter Kollektorsysteme vereint und dabei einfach und kostengünstig herzustellen ist.

[0011] Es ist insbesondere die Aufgabe der Erfindung, das optische Konzentratorsystem so weiter zu entwickeln, dass es mit minimalem Materialaufwand für das Tragwerk möglichst viel Sonnenlicht präzise auf ein im Fokus des Hohlspiegels angeordnetes Empfängerelement bündelt. Diese Aufgabe wird durch einen Sonnenkollektor mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen gelöst.

[0012] Ein erfindungsgemäßer Sonnenkollektor kann ein oder mehrere Kollektormodule umfassen, die in Reihe hintereinander oder in einem Register parallel nebeneinander angeordnet werden können. Das optische Konzentratorsystem besteht aus einer lichtdurchlässigen, in Richtung der Sonneneinstrahlung konvex gewölbten Schale, die das Empfängerelement trägt, und aus einer verspiegelten, konkav gewölbten Reflektorschale. Erfindungsgemäß bilden beide Schalen eine biege-, schub- und torsionssteife Röhre, sodass ein weitspannendes und selbsttragendes Kollektormodul hergestellt werden kann.

[0013] Die Erfindung bezieht sich dabei auf spiegelsymmetrisch ausgebildete Röhren mit einer oder zwei Symmetrieachsen, wobei die lichtdurchlässige Schale und die Reflektorschale formgleich ausgebildet sein können oder jeweils eine voneinander abweichende Form mit unterschiedlichen Krümmungen aufweisen können. Bei einem photovoltaischen Sonnenkollektor wird das Empfängerelement von photovoltaischen Zellen oder von einer photovoltaisch wirksamen Beschichtung gebildet. Bei einem solarthermischen Sonnenkollektor besteht das Empfängerelement aus einem selektiv beschichteten Absorberrohr. Ein mit der lichtdurchlässigen Schale verbundener Sekundärspiegel kann dabei der vollständigen Bündelung der Sonnenstrahlen auf das Absorberrohr dienen. Ein erfindungsgemäßer, röhrenförmiger Sonnenkollektor kann in unterschiedlichsten Größen hergestellt werden, wobei die kleinsten Ausführungsvarianten als Glas- oder Kunststoffröhren eine Aperturbreite von 0,2–1,0 m aufweisen. Mittlere Größen betreffen Röhren als Ganzglaskonstruktion mit einer Aperturbreite von 1–6 m, die freispannend und selbsttragend 6–12 m überspannen können.

[0014] Um den Stromerzeugungspreis in einer Parabolrinnenanlage weiter abzusenken, kann es sinnvoll sein, Spannweite und Apertur eines Moduls weiter zu erhöhen. Deshalb werden im Rahmen der Erfindung auch Fachwerkrohre aus Stahl vorgeschlagen, bei denen die einander gegenüber liegenden Schalen z. B. als konvex bzw. konkav gebogene Gitterschalen ausgebildet sind. Durch den kraftschlüssigen Verbund der beiden gegensinnig gekrümmten Schalen entsteht eine biege-, schub- und torsionssteife Fachwerkrohre, die mit minimalem Materialaufwand Spannweiten bis zu 30 m überbrücken kann und eine exakte Spiegelgeometrie mit einer Aperturbreite von 6–15 m ermöglicht. Die Gurtungen einer Fachwerkrohre bestehen aus Stahlhohlprofilen, die untereinander zu Dreiecken zusammengeschlossen sind oder deren viereckige Felder durch ein Seilnetz ausgesteift werden. Die hohe Steifigkeit und Stabilität einer Fachwerkrohre ermöglicht nicht nur die Ausbildung weitspannender Kollektormodule, sondern erlaubt auch die Konstruktion eines 100–150 m hohen Turms als Sonnenkollektor mit einer Aperturbreite von z. B. 20 m, der ggf. auch die Maschinengondel einer Windkraftanlage tragen kann und dabei über ein Azimutlager an der Basis dem Stand der Sonne folgt. Der Nachteil einer Verschattung der Apertur durch die Stahlfachwerkkonstruktion um ca. 10–20% wird durch den Leichtbauvorteil mehr als kompensiert.

[0015] Eine Röhre als Ganzglaskonstruktion besteht z. B. aus zwei gegensinnig gebogenen, parabolischen Halbschalen aus ESG, die jeweils an ihren Längskanten durch ein Randprofil, z. B. aus glasfaserverstärktem Kunststoff, kraftschlüssig untereinander verbunden werden. Randprofile aus gebogenem Glas ermöglichen die Herstellung einer mehrlagigen Verbundglasrohre, bei der die lichtdurchlässige Schale und die Reflektorschale jeweils aus gebogenen, etwa 4 mm dicken Glaslamellen bestehen, die über Zwischenschichten aus transparenter Kunststoffolie kraftschlüssig untereinander verbunden werden. Liegt die Brennlinie der Reflektorschale außerhalb des von der Röhre umschlossenen Hohlraums, können mono- oder polykristalline PV-Zellen als Empfängerelement innerhalb des Glasverbunds der lichtdurchlässigen Schale in einem streifenförmigen Fokusbereich angeordnet werden. Eine derartige Glasrohre ist korrosionsbeständig, kratzfest, windschlüpfrig und formschön, wobei der Hohlraum gegenüber der Umgebung staubdicht abgeschlossen werden kann, sodass die Konstruktion leicht gereinigt werden kann und sich durch eine hohe Lebensdauer auszeichnet. Liegt die Brennlinie innerhalb des von der Röhre umschlossenen Hohlraums, ist in einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen, Tandem-, Triple- oder Quinto-Solarzellen als Empfängerelement auf der Oberfläche eines mediendurchströmten Kühlrohrs anzuordnen.

[0016] Erfindungsgemäße Glasröhren, deren Spiegelapertur eine Breite von 2–6 m aufweisen kann, werden aus Querabschnitten vorgefertigt, die im Randbereich mittels eines innerhalb des Randprofils geführten Zugglieds untereinander verspannt und an den Glasfugen über punktförmig angeordnete, geschraubte Verbindungsplatten oder linienförmige Klemmschienen kraftschlüssig verbunden werden. Durch Verklebung der einzelnen Querabschnitte einer Glasröhre kann ebenfalls ein schubsteifen Verbund der Fertigteile hergestellt werden. Ein in regelmäßigen Abständen quer zur Brennlinie angeordneter Zug-Druckstab gewährleistet die Formstabilität einer Glasröhre in den unterschiedlichen Betriebsstellungen eines Kollektormoduls, das über einen Verschwenkmechanismus dem jeweiligen Stand der Sonne folgt. Prismen, die auf der lichtdurchlässigen Schale quer zur Brennlinie angeordnet sind, lenken flach einfallende Sonnenstrahlen, insbesondere bei einer Ost-West-Ausrichtung der Kollektormodule in einem steilen Winkel auf die Reflektorschale. Wird etwa ein Drittel bis ein Viertel der Aperturfläche eines ost-west-orientierten Kollektors mit lichtlenkenden Prismen ausgestattet, verlängert sich die Betriebsphase der Anlage, wobei die Betriebstemperatur morgens früher erreicht wird und abends länger aufrechterhalten werden kann.

[0017] Mit einer Spannweite von 12–15 m zwischen den verschwenkbaren Tragarmen des Tragwerks und einer Aperturweite von ca. 6 m erreicht eine erfindungsgemäße Röhre als Ganzglaskonstruktion eine strukturelle Obergrenze.

Ausführungsbeispiele

[0018] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele erfindungsgemäßer fotovoltaischer und solarthermischer Kollektoren unter Bezugnahme zu beiliegenden Figuren beschrieben.

[0019] In diesen zeigt:

[0020] Fig. 1 eine einschalige Glasröhre als Sonnenkollektor im schematischen Querschnitt

[0021] Fig. 2 eine zweischalige Verbundglasröhre als Sonnenkollektor im schematischen Querschnitt

[0022] Fig. 3 eine dreischalige Verbundglasröhre als Sonnenkollektor im schematischen Querschnitt

[0023] Fig. 4 einen Sonnenkollektor mit einer Glasröhre in der isometrischen Übersicht

[0024] Fig. 5 einen Sonnenkollektor mit einer Glasröhre und Randprofilen im schematischen Querschnitt

[0025] Fig. 6 ein Scharnier als Randprofil für einen Sonnenkollektor im schematischen Querschnitt

[0026] Fig. 7 ein Fertigteil für ein solarthermisches Kollektormodul in der isometrischen Übersicht

[0027] Fig. 8 ein Fertigteil für ein solarthermisches Kollektormodul mit Prismen auf der lichtdurchlässigen Schale in der isometrischen Übersicht

[0028] Fig. 9 das Modul eines solarthermischen Kollektors mit verschwenkbarer Tragkonstruktion in der perspektivischen Übersicht

[0029] Fig. 10 den Ausschnitt einer Fachwerkrohre als solarthermischen Kollektor in der isometrischen Übersicht

[0030] Fig. 11 den Ausschnitt einer vertikal angeordneten Fachwerkrohre als fotovoltaischer Kollektor in der isometrischen Übersicht

[0031] Fig. 1 zeigt eine Glasröhre **300** mit einer lichtdurchlässigen Schale **1**, einer Reflektorschale **2** und einem den Oberflächen **I**, **II** zugeordneten Empfängererelement **11**. Die Reflektorschale **2** mit den Oberflächen **III**, **IV** trägt auf der Oberfläche **IV** einen Hohlspiegel **21**, der das Sonnenlicht bei einer nicht näher dargestellten einachsigen Nachführung auf eine außerhalb der Röhre **30** liegende Brennlinie f fokussiert. Das Empfängererelement **11** liegt im Fokusbereich des Hohlspiegels **21** und besteht aus fotovoltaischen Zellen **110** oder aus einer fotovoltaisch wirksamen Beschichtung, die jeweils in einer streifenförmigen Anordnung auf der dem Hohlraum zugewandten Oberfläche **II** der lichtdurchlässigen Schale **1** angeordnet sind. Die Außenoberfläche **I** trägt ebenfalls streifenförmig angeordnete PV-Zellen **110**, die von der Sonne unmittelbar belichtet werden. Jeweils mit einem Abstand zur Längsmittelachse x der Glasröhre **300** angeordnet, wirken die lichtdurchlässige

Schale **1** und die Reflektorschale **2** als Gurtungen **10**, **20** der biege-, schub- und torsionssteifen Röhre **30**. Eine derartige Röhre **30** kann aus Acrylglas, Polycarbonat, Kalknatronglas oder Borosilicatglas in einem Strang oder durch Verschweißen der beiden symmetrisch ausgebildeten Schalen **1**, **2** hergestellt werden.

[0032] Fig. 2 zeigt eine Verbundglasröhre **300**, die in ihrem Aufbau weitgehend dem in Fig. 1 beschriebenen Beispiel gleicht. Der schematische Querschnitt durch die Röhre **30** zeigt eine zweilagig ausgebildete Verbundglasröhre **300**. Sowohl der Hohlspiegel **21** als auch die PV-Zellen **110** sind jeweils in eine Zwischenschicht zwischen den Oberflächen **I**, **II** bzw. **III**, **IV** integriert, die dem schubsteifen Verbund der konzentrisch ausgebildeten Glasschalen **100**, **200** dient. Die beiden Schichten der konvex bzw. konkav ausgebildeten Glasschalen **100**, **200** werden z. B. mit einer sog. SGP-Folie (SentryGlas Plus der Firma Dupont) in einem Klebe-Schmelz-Verfahren in einem Autoklaven kraftschlüssig untereinander verbunden. Im Unterschied zu einer PVB-Folie, die ebenfalls als Zwischenschicht in Frage kommt, ermöglicht die SGP-Folie den statischen Verbund der einzelnen Glasschichten, wobei die Steifigkeit der Klebeverbindung erst ab einer Temperatur von ca. 40°C allmählich nachlässt. Bei diesem Ausführungsbeispiel liegt die Brennlinie f deutlich außerhalb des von der Röhre **30** definierten Hohlraums, sodass für die Anordnung der PV-Zellen **110** ein entsprechend breiterer Streifen zur Verfügung steht. Die PV-Zellen **110** empfangen gebündeltes Licht aus dem Hohlspiegel **21** und werden auf ihrer Rückseite direkt von der Sonne bestrahlt, wobei sie entweder als beidseitig wirksame PV-Zellen **110** oder als zweilagig angeordnete PV-Zellen **110** ausgebildet sind.

[0033] Fig. 3 zeigt eine dreilagig aufgebaute Verbundglasröhre **300**, bei der die konvexe Glasschale **100** mit der konkaven Glasschale **200** über zwei Randprofile **22** als Glasprofile **222** verbunden ist. Bei dieser Röhre **30** liegt die Brennlinie f innerhalb des von der Glasröhre **300** umschlossenen Hohlraums. Das Empfängerelement **11** besteht aus mehrschichtig aufgebauten Solarzellen **110**, sog. Tandem-, Triple- oder Quinto-Solarzellen, deren Wirkungsgrad deutlich über 30% liegt. Diese hocheffizienten Solarzellen sind jeweils nur wenige Millimeter groß und werden in modularer Anordnung auf eine Kupfer-Keramik-Platte aufgebracht und mit einem Kühlrohr **111** aus Kupfer wärmeleitend verbunden. Die bei einer 500- bis 1000-fachen Konzentration des Sonnenlichts entstehenden, hohen Temperaturen werden von einer Wärmeträgerflüssigkeit im Kühlrohr **111** abgeleitet. Zugunsten einer möglichst übersichtlichen Prinzipdarstellung der Funktionselemente eines Sonnenkollektors **3** wurde in den Fig. 1–Fig. 3 auf eine maßstäbliche Wiedergabe verzichtet.

[0034] Fig. 4 zeigt einen Sonnenkollektor **3** in der isometrischen Übersicht. Eine fotovoltaisch wirksame Beschichtung **112** ist auf die Innenseite der lichtdurchlässigen Schale **1** aufgebracht und liegt im Fokusbereich des Hohlspiegels **21** der Reflektorschale **2**. Die Schalen **1**, **2** bilden eine einstückige Glasröhre, die jeweils an ihren Enden durch eine Stirnplatte mit Gelenkbolzen verschlossen ist. Bei dieser symmetrisch ausgebildeten und vertikal angeordneten Glasröhre **300** fällt die Längsmittelachse x des Sonnenkollektors **3** mit der Drehachse x' zusammen und folgt über ein Azimutlager **34** dem jeweiligen Stand der Sonne. Als erste Gurtung **10** bildet die konvexe Glasschale **100** mit der konkaven Glasschale **200** als zweite Gurtung eine einstückig ausgebildete Glasröhre **300**, die in der Lage ist, Biege-, Zug-, Druck- und Torsionskräfte aufzunehmen und sich deshalb besonders als Fertigteil **32** für eine Sonnenschutzkonstruktion eignet. Dabei können mehrere Fertigteile **32** in einem Register zusammengefasst und vertikal oder horizontal vor einer Gebäudehülle angeordnet werden.

[0035] Fig. 5 zeigt einen solarthermischen Kollektor **36**, bei dem die lichtdurchlässige Schale **1** und die Reflektorschale **2** jeweils aus parabelförmig gebogenen ESG-Scheiben **100**, **200** bestehen. Die beiden ESG-Scheiben **100**, **200** werden jeweils an ihren geraden Längskanten mit zwei Randprofilen **22** verklebt oder verschraubt. Die Randprofile **22** sind als GFK-Profil **223** ausgebildet und nehmen einen quer zur Längsmittelachse x der Glasröhre **300** angeordneten Zug-Druck-Stab als Aussteifungselement **31** auf. Das Absorberrohr **113** wird von der lichtdurchlässigen Schale **1** getragen und ist coaxial und konzentrisch zur Brennlinie f des Hohlspiegels **21** der Reflektorschale **2** angeordnet. Das Absorberrohr **113** besteht aus einem selektiv beschichteten Stahlrohr, durch das eine Wärmeträgerflüssigkeit geleitet wird und wird von einem gläsernen Hüllrohr umschlossen. Ein Vakuum zwischen Hüllrohr und Metallrohr begrenzt Verluste der aufgenommenen Wärme auf ein Minimum. Der einschalige Aufbau der Glasröhre **300** mit einer ersten Gurtung **10** und einer zweiten Gurtung **20**, jeweils aus eisenarmem, thermisch vorgespanntem ESG-Glas begrenzt den an jeder Glasoberfläche verursachten Verlust der nutzbaren Lichtenergie auf maximal 10%. Dabei ist es sinnvoll, die Oberflächen **I** und **III** zu entspiegeln, kratzfest zu beschichten und den Hohlspiegel **21** auf der Oberfläche **IV** anzuordnen.

[0036] Fig. 6 zeigt die alternative Ausbildung eines Randprofils **22**. Während die konvexe Glasschale **100** und die konkave Glasschale **200** in Fig. 5 biegesteif mit dem Randprofil **22** verbunden sind, zeigt Fig. 6 den Detailschnitt durch ein Scharnier **221**, bei dem die lichtdurchlässige Schale **1** und die Reflektorschale **2** gelenkig untereinander verbunden sind. Ein Zug-Druck-Stab, der in regelmäßigen Längsabständen die einander gegenüberliegenden Randprofile **22** verbindet, dient als Aussteifungselement **31** der Glasröhre **300**. Mittels

einer nicht näher bezeichneten Stellschraube an dem Zug-Druck-Stab **31** wird die Apertur des Hohlspiegels **21** justiert.

[0037] Fig. 7 zeigt einen Sonnenkollektor **3**, dessen funktionaler Aufbau dem in Fig. 5 beschriebenen solarthermischen Kollektor **36** entspricht. Die Zeichnung zeigt ein Fertigteil **32** als Bestandteil einer weitspannenden, selbsttragenden Glasröhre **300**. Verbindungsplatten **321** stellen jeweils am Querstoß zweier aneinandergrenzender Fertigteile **32** eine schubsteife Verbindung sowohl der konvexen Glasschale **100** als oberer Gurtung **10**, als auch der konkaven Schale **200** als unterer Gurtung **20** der Glasröhre **300** her. Für die kraftschlüssige Verbindung der Fertigteile **32** untereinander kommen neben den gezeigten, punktförmig angeordneten, geschraubten Verbindungsplatten **321** auch linienförmig wirksame Klemmleisten oder aber auch stirnseitige Verklebungen der Glasschalen **100**, **200** in Frage. Im Bereich der Randprofile **22** werden die Fertigteile **32** durch in Leerrohren geführte Spann-glieder **320** zusammengeschlossen. Die nötige Formstabilität für die exakte Fokussierung des Sonnenlichts auf die Brennlinie f wird durch ein justierbares Aussteifungselement **31**, das als Zug-Druck-Stab die einander gegenüber liegenden Randprofilen **22** verbindet, gewährleistet.

[0038] Fig. 8 zeigt ein Fertigteil **32** zum Aufbau eines solarthermischen Kollektors **36**, das in seinem funktionalen Aufbau dem in den Fig. 5 und Fig. 7 beschriebenen Ausführungsbeispiel entspricht. Quer zur Längsmittelachse x angeordnete Prismen **12** auf der Oberfläche **I** der lichtdurchlässigen Schale **1** lenken flach einfallendes Licht so ab, dass es in einem steilen Winkel auf den Hohlspiegel **21** auf der Oberfläche **IV** der Reflektorschale **2** trifft. Insbesondere bei einem ost-west ausgerichteten solarthermischen Kraftwerk wird der Wirkungsgrad verbessert, indem die Arbeitstemperatur der Wärmeträgerflüssigkeit in den Morgenstunden früher erreicht wird und in den Abendstunden länger erhalten bleibt. Dafür genügt es, nur etwa jedes dritte oder vierte Fertigteil **32** mit Prismen **12** zu versehen. Diese Prismen können auch bei einem wie z. B. in Fig. 4 beschriebenen photovoltaischen Kollektor zum Einsatz kommen, wobei sie bei einer senkrechten Anordnung der Fertigteile steil einfallende Sonnenstrahlen günstig ablenken.

[0039] Fig. 9 zeigt ein solarthermisches Kollektormodul **36** mit Verschwenkmechanismus. Das Modul ist aus insgesamt vier der in Fig. 7 beschriebenen Fertigteile **32** aufgebaut. In den Randprofilen **22** geführte Spann-glieder **320** und eine kraftschlüssige Verbindung an den Längsstößen der Fertigteile **32** schließen die lichtdurchlässige Schale **1** und die Reflektorschale **2** zu einer weitgespannten und selbsttragenden Glasröhre **300** zusammen. Als Aussteifungselemente **31** der Röhre **30** dienen quer zur Längs-mittelachse x angeordnete Koppelstäbe, die die Randprofile **22** zug- und drucksteif untereinander verbinden, sowie stirnseitig angeordnete Schotte **31** aus Glas, die die Glasröhre **300** an beiden Enden staubdicht abschließen. Da die beiden Schalen **1**, **2** eine selbsttragende Glasröhre **300** bilden, ist die Konstruktion sehr wirtschaftlich und kommt mit einem Minimum an Stahl aus. Zudem reduziert die aerodynamische Form die Windbelastung erheblich und lässt sich aufgrund der glatten Oberfläche vergleichsweise leicht reinigen. Durch Verschwenken um die Drehachse x' kann der Sonnenkollektor **3** in einem Radius von 180 Grad dem Stand der Sonne folgen.

[0040] Fig. 10 zeigt eine Röhre **30** mit einer lichtdurchlässigen Schale **1** und einer Reflektorschale **2**, die als konvexe und konkave Gitterschalen **101**, **201** aufgebaut sind. Die Felder der lichtdurchlässigen Schale **1** werden von längs und quer angeordneten Stahlprofilen gleicher Länge gebildet und sind mittels aussteifender Verbände aus diagonal angeordneten, jeweils über mehrere Felder durchlaufenden Seilen ausgesteift. Die Felder der Reflektorschale **2** werden durch modulare Hohlspiegel **21** aus Glas ausgesteift. Bezüglich der Längsmittelachse x weisen die beiden Schalen **1**, **2** einen Abstand auf und bilden die obere und die untere Gurtung **10**, **20** einer weitspannenden Fachwerkrohre **301**. Beide Gitterschalen **101**, **201** werden jeweils über ein Randprofil **22**, das als Rahmenecke **220** ausgebildet ist, biegesteif untereinander verbunden. Als Aussteifungselemente **31** sind Zugglieder vorgesehen, mit denen die Gitterschalen **101**, **201** in regelmäßigen Querabständen untereinander verspannt werden. Da ein derartiger Sonnenkollektor **3** eine wesentlich größere Apertur als bisherige Konstruktionen aufweist und dabei mit einem Minimum an effizient eingesetzten Konstruktionsteilen auskommt, können mit dieser Konstruktion große Kollektorfelder wirtschaftlich hergestellt werden. Zur Bündelung der einfallenden Sonnenstrahlen auf das Absorberrohr **113** trägt die lichtdurchlässige Schale **1** auf der Oberfläche **II** einen Sekundärspiegel s . Ein entsprechendes Kollektormodul spannt z. B. freitragend über 20–30 m, wobei die Apertur eine Breite von 6–18 m aufweisen kann. Damit wird ein Beitrag zur Senkung der Stromerzeugungskosten in einem solarthermischen Kraftwerk geleistet.

[0041] Fig. 11 zeigt einen Sonnenkollektor **3**, der als photovoltaischer Kollektor **35** ausgebildet ist und aus einer senkrecht aufgestellten Fachwerkrohre **301** besteht. Eine lichtdurchlässige konvexe Gitterschale **101** bildet die erste Gurtung **10** der Fachwerkrohre **301**, während eine konkave Gitterschale **201** als zweite Gurtung **20** modulare Hohlspiegel **21** trägt. Der Hohlspiegel **21** als Ganzes fokussiert das Sonnenlicht auf ein streifenförmiges Empfängerelement **11**, das auf beiden Oberflächen mit PV-Zellen **110** bestückt ist. Während die auf

der Oberfläche I angeordneten PV-Zellen das Licht direkt aus der Sonnenstrahlung empfangen, fokussiert der Hohlspiegel 21 auf der Oberfläche III der Reflektorschale 2 das Licht auf PV-Zellen, die auf der Oberfläche II, also auf der dem Hohlraum zugewandten Seite der Röhre 30 angeordnet sind. Über ein Azimutlager 34 erfolgt die einachsige Nachführung zum Stand der Sonne, wobei die Drehachse x' bei diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung mit der Längsmittelachse x zusammenfällt. Das Konstruktionsprinzip eignet sich auch für den Bau eines 100–150 m hohen Turms, der die Maschinengondel einer Windkraftanlage tragen kann.

Bezugszeichenübersicht

Lichtdurchlässige Schale	1	Reflektorschale	2	Sonnenkollektor	3
Oberflächen	I II	Oberflächen	III IV	Längsmittelachse	x
Sekundärspiegel	s	Brennlinie	f	Drehachse	x'
Gurtung	10	Gurtung	20	Röhre	30
Konvexe Glasschale	100	Konkave Glasschale	200	Glasröhre	300
Konvexe Gitterschale	101	Konkave Gitterschale	201	Fachwerkröhre	301
Empfängerelement	11	Hohlspiegel	21	Aussteifungselement	31
PV-Zellen	110	Randprofil	22	Fertigteil	32
Kühlrohr	111	Rahmenecke	220	Spannglied	320
PV-Beschichtung	112	Scharnier	221	Verbindungsplatte	321
Absorberrohr	113	Glasprofil	222	Gelenk	33
Prismen	12	GFK-Profil	223	Azimutlager	34
		Hohlprofil	224	PV-Kollektor	35
				Solarthermischer Kollektor	36

Patentansprüche

1. Sonnenkollektor (3) mit einem um eine Längsmittelachse (x) angeordneten Tragwerk, bestehend aus einer konvexen, lichtdurchlässigen Schale (1) mit den Oberflächen (I, II) und einer konkaven, parabolrinnenförmigen Reflektorschale (2) mit den Oberflächen (III, IV) und einem Hohlspiegel (21), der das Sonnenlicht auf eine Brennlinie (f) fokussiert, sowie einer parallel zur Brennlinie angeordneten Schwenkachse (x') für eine Ausrichtung zum Stand der Sonne, bei dem die lichtdurchlässige Schale (1) ein im Fokus des Hohlspiegels (21) angeordnetes, den Oberflächen (I, II) zugeordnetes Empfängerelement (11) trägt und schubsteif mit der Reflektorschale (2) verbunden ist, sodass eine biege-, schub- und torsionssteife Röhre (30) mit einem linsenförmigen Querschnitt gebildet wird, wobei die Schalen (1, 2) als jeweils von der Längsmittelachse (x) beabstandete Gurtungen (10, 20) wirksam sind.

2. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennlinie (f) des Hohlspiegels (21) innerhalb oder außerhalb des von den Schalen (1, 2) umschlossenen Hohlraums liegt.

3. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Glasröhre (300) einstückig ausgebildet ist und in einem Strang hergestellt wird oder aus mindestens zwei gegensinnig gebogenen Glasschalen (100, 200) aufgebaut ist, die untereinander verklebt oder verschmolzen werden.

4. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die lichtdurchlässige Schale (1) und die Reflektorschale (2) jeweils als zwei- oder mehrlagiges Laminat aus gebogenen Glasscheiben aufgebaut sind, wobei transparente, amorphe Thermoplaste, wie z. B. sog. SGP-Folien (SentryGlas Plus der Firma Dupont), eine kraftschlüssige Verbindung der einzelnen Glasschichten untereinander ermöglichen.

5. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Glasröhre (300) aus Kalknatronglas, Borosilikatglas oder Kunststoff aufgebaut ist und die Oberflächen (I–III) entspiegelt und kratzfest beschichtet sind.

6. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Glasröhren (300) zu einem Lamellenregister zusammengefasst sind und als bewegliche Sonnenschutzelemente Teil einer Gebäudehüllkonstruktion sind.

7. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die schubsteife Verbindung der lichtdurchlässigen Schale (1) und der Reflektorschale (2) Randprofile (22) vorgesehen sind.

8. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Randprofil (22) die Ausbildung einer biegesteifen Rahmenecke (220) oder eines gelenkigen Scharniers (221) aus Stahl ermöglicht und im Falle einer Rahmenecke (220) ein Glasprofil (222), ein GFK-Profil (223) oder ein Hohlprofil (224) aufweist.

9. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Kollektormodul aus mehreren Fertigteilen (32) aufgebaut ist.

10. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fertigteile (32) als Querabschnitte einer Glasröhre (300) ausgebildet sind, die durch Verbindungselemente, wie z. B. Spannglieder (320) im Bereich der Randprofile (22) und Verbindungsplatten (321) im Bereich der Glasstöße schubsteif untereinander verbunden werden.

11. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Röhre (30) innere Aussteifungselemente (31), die als quer zur Längsmittelachse (x) angeordnete Zugglieder, Zug-Druckstäbe oder Querschotte ausgebildet sind, aufweist.

12. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf der Oberfläche (I) einer lichtdurchlässigen Schale (1) lichtlenkende Prismen (12) vorgesehen sind.

13. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Röhre (30) allseitig geschlossen ist und einen vor Verschmutzung geschützten Hohlraum umschließt.

14. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein horizontal angeordnetes Kollektormodul an beiden Enden mit Tragarmen verbunden ist, die über ein Gelenk (33) an eine Säule angelenkt sind.

15. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine vertikal angeordnete Röhre (30) an der Basis eingespannt wird und über ein Azimutlager (34) mit einer Drehachse (x') dem Sonnenstand folgt.

16. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Röhre (30) als Fachwerkröhre (301) ausgebildet ist, wobei mindestens die lichtdurchlässige Schale (1) eine Gitterschale (101) aufweist und die Reflektorschale (2) ebenfalls als Gitterschale (201) oder z. B. auch als Schalenkörper aus Stahlblechen, glasfaserverstärktem Kunststoff oder bewehrtem Beton aufgebaut sein kann.

17. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Röhre (30) als Fachwerkröhre (301) ausgebildet ist, deren konvexe, lichtdurchlässige Gitterschale (101) durch aussteifende Verbände und deren konkave Gitterschale (201) durch Spiegelelemente aus Glas oder Metall ausgesteift sind.

18. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Empfängererelement (11) eines photovoltaischen Kollektormoduls (35) aus einzelnen PV-Zellen (110) oder aus einer photovoltaisch wirksamen Beschichtung (112) besteht, die jeweils im Fokusbereich des Hohlspiegels (21) mit der Oberfläche (II) oder zwischen den Oberflächen (I, II) der lichtdurchlässigen Schale (1) angeordnet sind.

19. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die PV-Zellen (110) eine zweiseitige Wirksamkeit aufweisen und auf der einen Seite die direkte Sonneneinstrahlung empfangen, während sie auf der anderen Seite gebündeltes Licht durch den Hohlspiegel (21) empfangen.

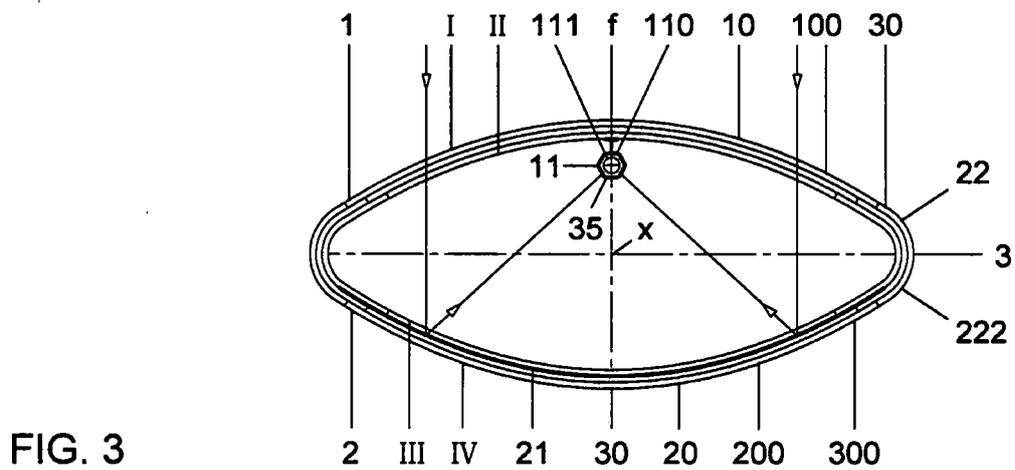
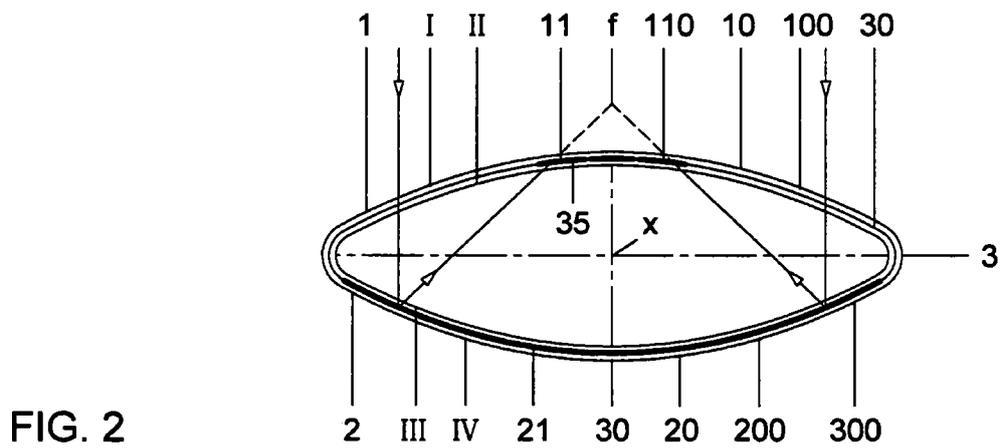
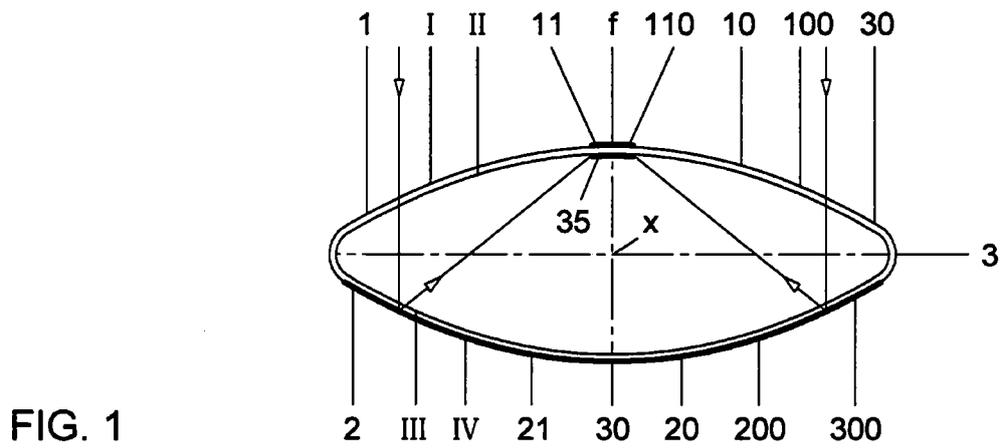
20. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Empfängererelement (11) eines PV-Kollektors (35) von hocheffizienten Tandem-, Triple- oder Quinto-Solarzellen (110) gebildet wird, die auf der Oberfläche eines mediendurchströmten Kühlrohrs (111) im Fokus des Hohlspiegels (21) angeordnet sind.

21. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Sonnenkollektor (3) als solarthermischer Kollektor (36) ausgebildet ist, wobei das Empfängerelement (11) ein selektiv beschichtetes Absorberrohr (113), das von einer Wärmeträgerflüssigkeit durchströmt und von einem transparenten Hüllrohr umgeben wird, aufweist.

22. Sonnenkollektor (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die lichtdurchlässige Schale (1) einen Sekundärspiegel (s) mit parabel- oder evolventenförmigem Querschnitt trägt, der das von dem Hohlspiegel (21) gebündelte Sonnenlicht auf ein Empfängerelement (11) fokussiert.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



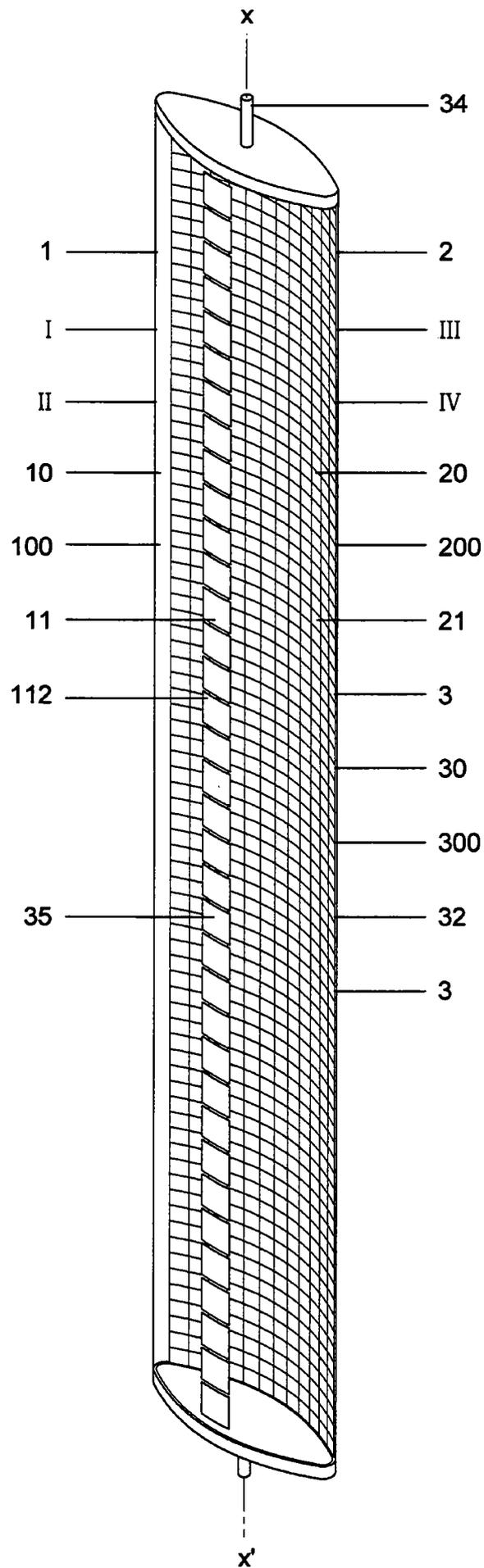


FIG. 4

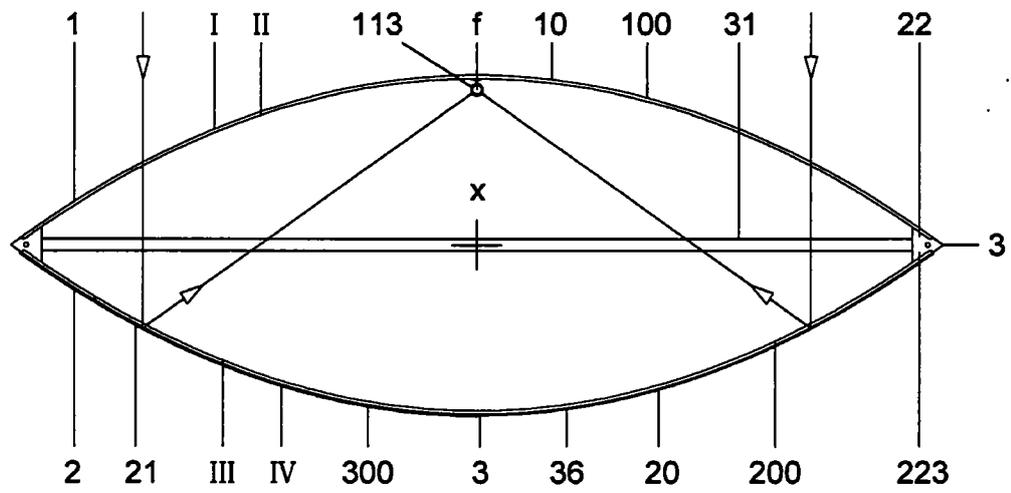


FIG. 5

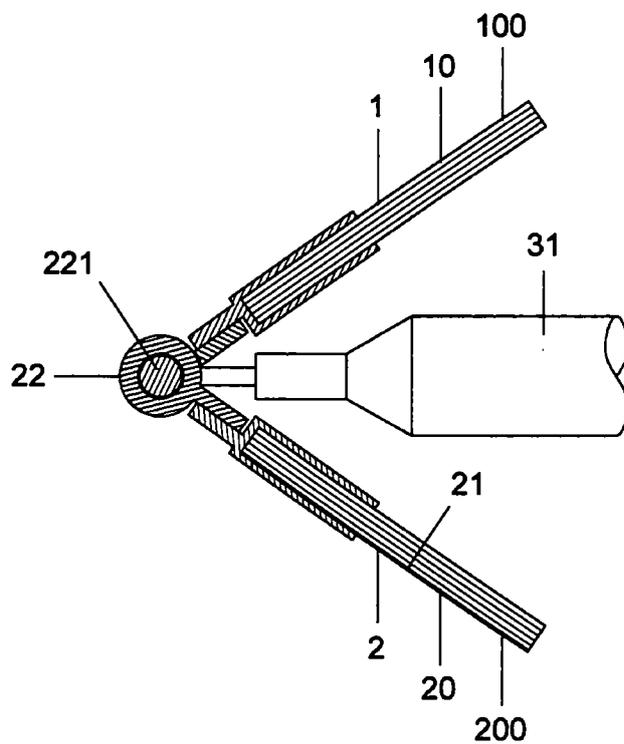


FIG. 6

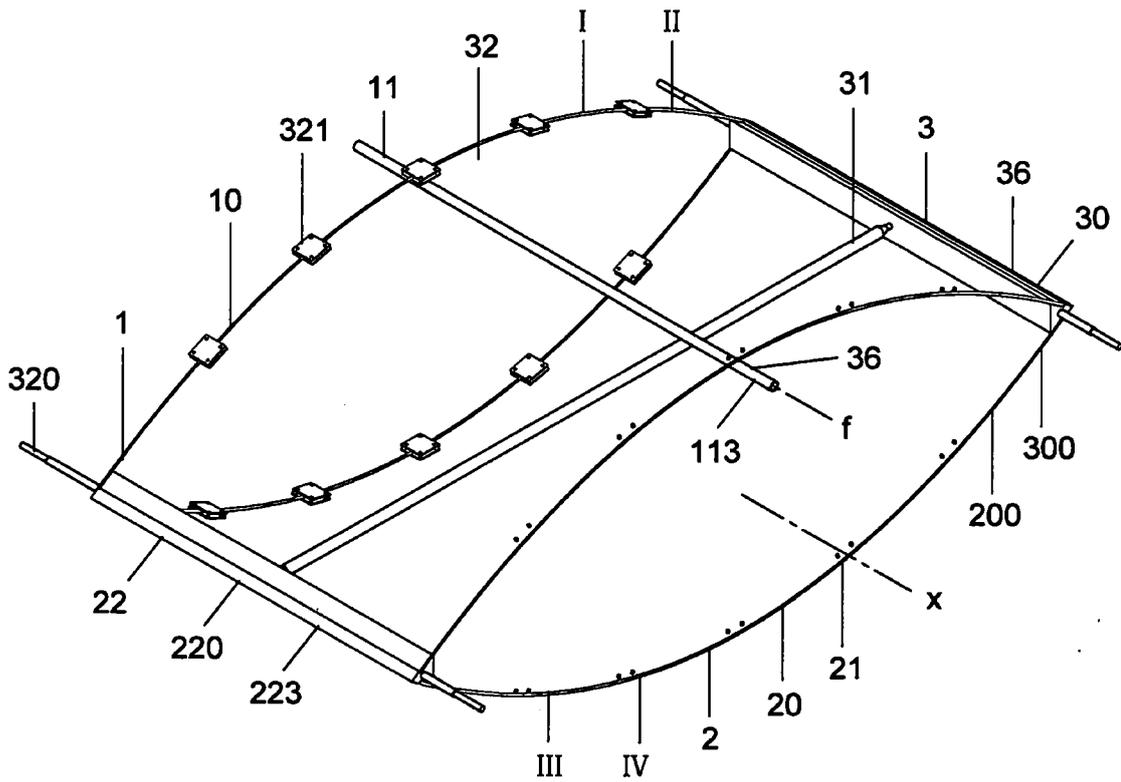


FIG. 7

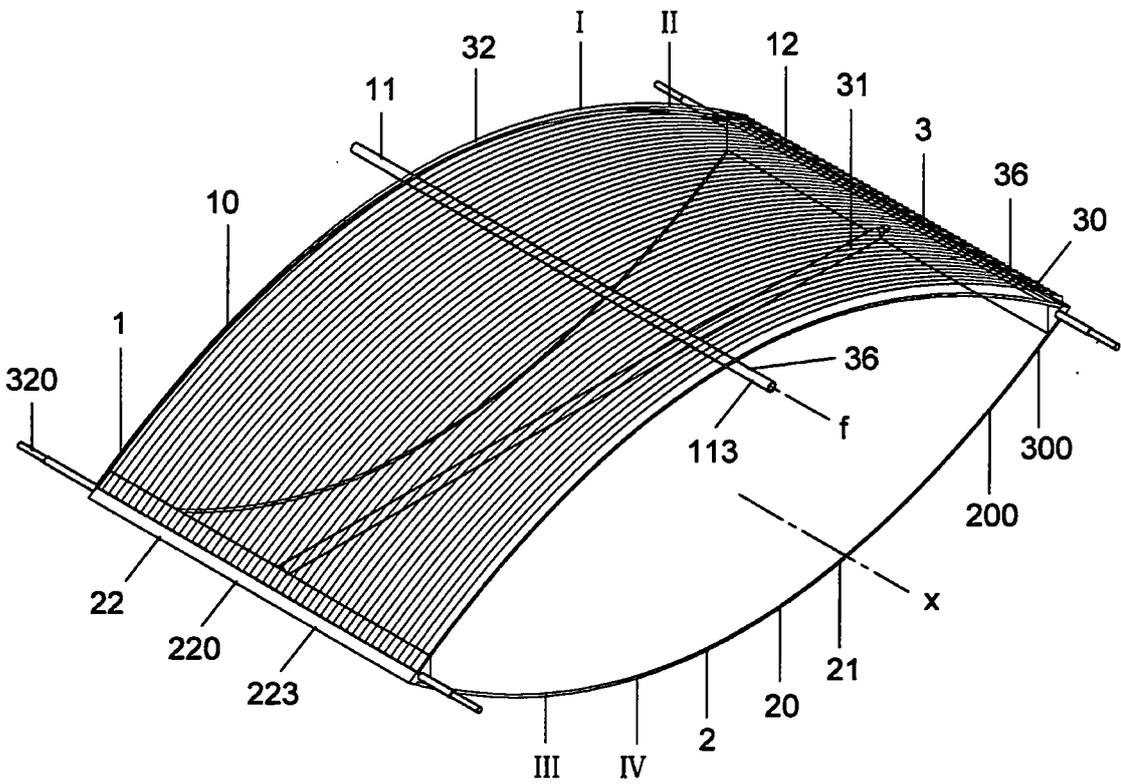


FIG. 8

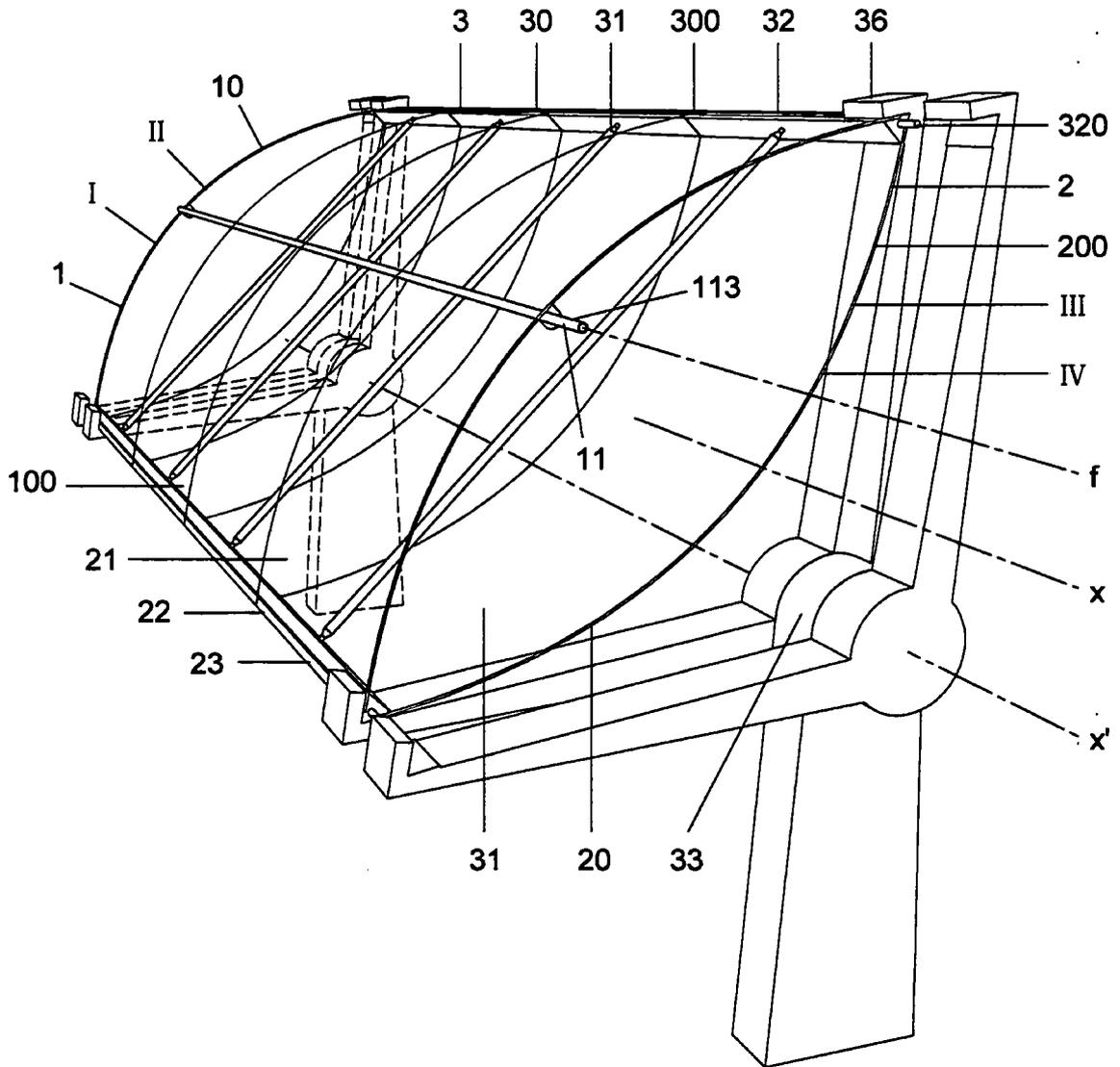


FIG. 9

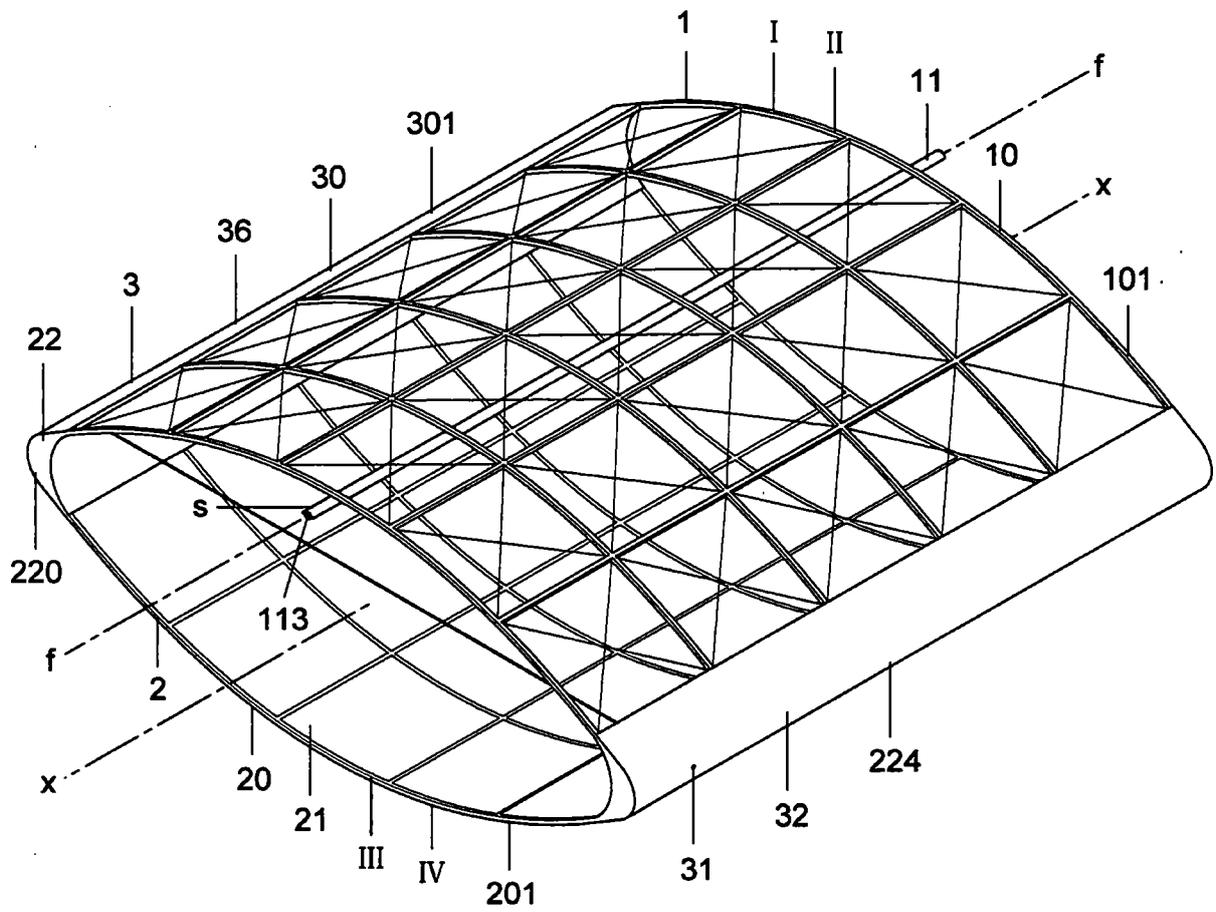


FIG. 10

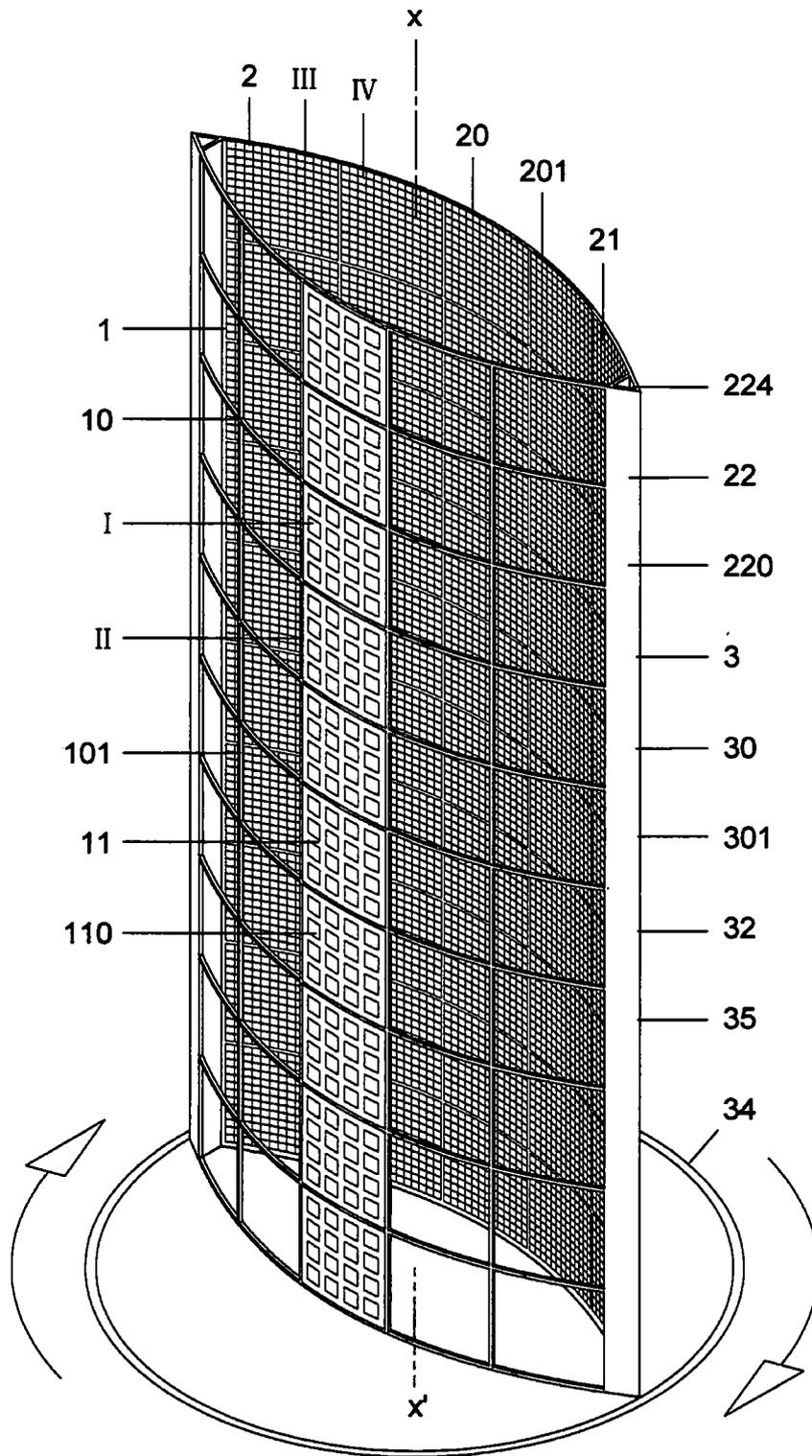


FIG. 11