

Stirlingmotor im Fokus

Neuartiges Solarkraftwerk in Saudi-Arabien im Dauertest

Seit April dieses Jahres läuft im Solar Village nahe der saudi-arabischen Hauptstadt Riyadh ein auf 18 Monate befristeter Dauertest mit einer Solaranlage, die zahlreiche Neuheiten und Vorzüge für sich in Anspruch nehmen kann. Konzipiert wurde sie von dem Stuttgarter Ingenieurbüro Schlaich und Partner. Das Projekt ist in die zwischen der Bundesrepublik Deutschland und dem Königreich Saudi-Arabien vereinbarten Zusammenarbeit auf dem Gebiet wissenschaftlicher Forschung und technologischer Entwicklung eingebunden. Das nachfolgend von den Urhebern beschriebene Forschungsvorhaben soll den Nachweis erbringen, daß sich mit Metallmembranen bespannte Großkonzentratoren in Leichtbauweise mit Stirling-Energiewandlern zur solaren Gewinnung elektrischer Energie kombinieren lassen. — Das Titelbild dieser Ausgabe zeigt die beiden in Riyadh aufgestellten Kraftwerke.

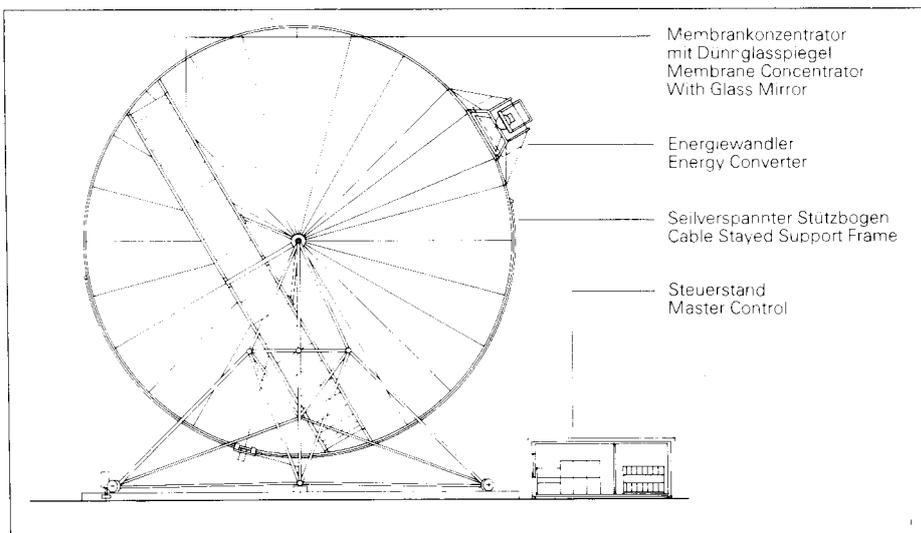
Hochtemperatur-Energiewandlung mit konzentrierenden Spiegelsystemen ist eine besonders aussichtsreiche und effektive Art der Erzeugung von elektrischem Strom aus Sonnenenergie. Das Besondere und Neue dieses Systems ist die Bauart des Konzentrators, die sehr große Reflektorabmessungen ermöglicht. Der unterdruckgestützte, dünnspiegel-laminierte Metallmembran-Konzentrator hat einen Durchmesser von 17 m und gestattet Konzentrationsfaktoren über 2000 Sonnen. Als Energiewandler ist ein Stirlingmotor direkt im Brennfleck des Konzentrators aufgehängt und unmittelbar mit einem Generator gekoppelt.

Der Konzentrator ist in einem schienegeführten Drehstand aus Stahlrohren so aufgehängt, daß er durch zwei Motoren, mit Azimut- und Elevationsantrieb, der Sonne nachgeführt werden kann. Die Nachführung und die Überwachung der für den Betrieb benötigten Daten werden jeweils von einem zentralen Rechnersystem gesteuert. Die beiden Anlagen sind so ausgelegt, daß sie einzeln völlig autark betrieben und sowohl im Netzparallelbetrieb als auch mit Batteriespeicher im Inselbetrieb gefahren werden können.

Bei einer Sonneneinstrahlung von 1000 W/m^2 erhält man damit eine auf den Receiver reflektierte Leistung von $178,6 \text{ kW}$. Die Abstrahlungsverluste dort betragen bei der Betriebstemperatur von 700°C rund 36 kW . Dadurch stehen dem Stirlingmotor $142,6 \text{ kW}$ thermisch zur Verfügung, die elektrische Bruttoleistung beträgt $54,5 \text{ kW}$. Nach Abzug der Eigenverbraucher können etwa 52 kW ins Netz eingespeist werden.

position gefahren. Angeschlossen ist eine Wetterstation, die Direktstrahlung, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur usw. erfaßt. Zusammen mit anderen betriebsrelevanten Meßwerten werden diese Daten laufend aufgezeichnet.

Die Steuerung kann im Handbetrieb, im Halbautomatikbetrieb und im Automatikbetrieb gefahren werden. Im Automatikbetrieb wird die Anlage vollständig von der Zentralsteuerung überwacht. Sie beginnt Tag für Tag bei einer vorge-



Schematisierte Ansicht eines 50-kW-Solarkraftwerkes mit Membranhohlspiegel und Stirlingmotor im Fokus

Technische Daten

(gültig für eine Sonneneinstrahlung von 1000 W/m^2)

Konzentrator Durchmesser	17 m
Konzentratorfläche	227 m^2
nutzbare Spiegelfläche	95 %
Reflektivität des Spiegels (gereinigt)	92 %
Konzentrationsfaktor (im Mittel)	600
Brennweite	13,6 m
Auffangfaktor der Receiverfläche	90 %
Konzentratorwirkungsgrad	78,7 %
Stirlingwirkungsgrad	42 %
Generatorwirkungsgrad	91 %
Wirkungsgrad (gesamt)	23,1 %
Receiververluste	36 kW
Eigenverbrauch	2 kW
Zulässige Windgeschwindigkeiten	
für Stromerzeugung	50 km/h
für Fahrbetrieb	80 km/h
zum Überleben	160 km/h

Steuerelektronik

Die Zentralsteuerung des Systems ist für die Koordination aller Einzelkomponenten und damit für das einwandfreie Funktionieren des Konzentrators zuständig. Ihre Hauptaufgabe ist die Steuerung des optimierten Nachlaufs sowie des sehr weitgehenden Sicherheitssystems. Die Nachlaufsteuerung wird durch einen Rechenalgorithmus geführt und steuert die beiden Motoren des Azimut- und Elevationsantriebes. Damit wird eine sehr genaue Positionierung des Konzentrators zur Sonne erreicht, um stets die maximal mögliche Ausgangsleistung zu erzielen. Die Nachlaufsteuerung arbeitet mit zwei hochgenauen Winkelschrittgebern, die die jeweilige Position des Spiegels rückmelden.

Die Zentralsteuerung überwacht auch das eigenständige Kontroll- und Steuersystem des Stirling-Energiewandlers. Im Falle einer Störung des Stirlingmotors oder des Konzentrators wird der Spiegel automatisch aus der Sonne in seine Nacht- oder Überlebens-

wählten Weckzeit und nimmt den Betrieb auf, sobald eine ausreichend hohe Einstrahlung vorhanden ist; abends wird die Anlage selbständig wieder abgeschaltet.

Unterdrucksystem

Der Unterdruck in dem Konzentratorgehäuse muß nur 20 bis 25 mbar betragen, um eine ausreichende Stabilisierung der Membran sicher zu stellen. Jeder Konzentrator ist mit einer eigenen kleinen Unterdruckanlage ausgerüstet. Bei den kleinen Drücken ist der Energieverbrauch zum Aufrechterhalten des Unterdrucks vernachlässigbar gering.

Energiewandlersystem mit Stirlingmotor

Als Energiewandlersystem wird ein Stirlingmotor eingesetzt. Für die Hochtemperatur-Energieumwandlung, insbesondere bei kleineren Leistungen, stellt er das System mit dem größten erreichbaren Wirkungsgrad dar. Im Pro-

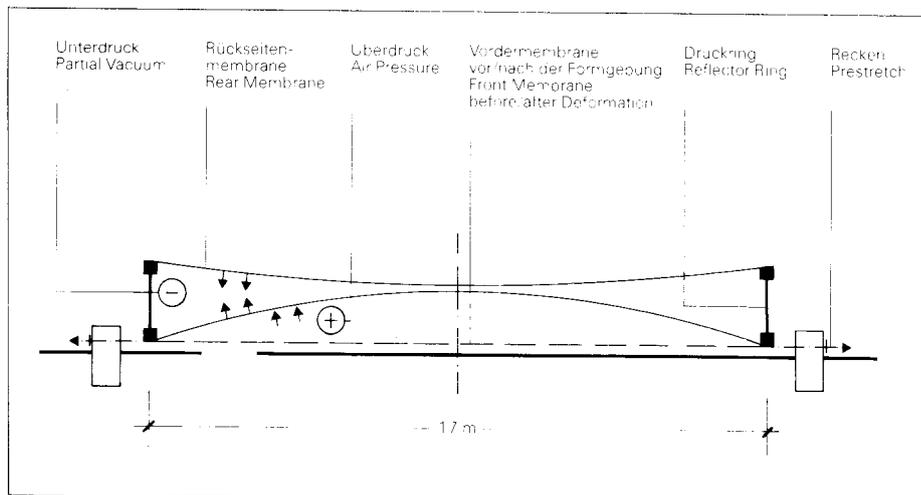
bebetrieb wurden Wirkungsgrade bis 42 % erreicht. In dem speziell für den Solarbetrieb entwickelten Röhrenreceiver wird als Arbeitsgas Wasserstoff auf rund 700°C erhitzt. Der mittlere Arbeitsdruck beträgt bei Vollast etwa 140 bar. Das Stirlingsystem ist mit einer selbständigen Kontroll- und Steuerungseinheit ausgestattet, die den Motor regelt und überwacht sowie Fehler an die Zentralsteuerung meldet.

Da weder der Stirlingmotor noch der gekoppelte Asynchrongenerator eine eigene Drehzahlbegrenzung ermöglichen, wird für den Betrieb des Energiewandlersystems die konstante Frequenz eines Stromnetzes benötigt. Im Netzparallelbetrieb wird diese durch ein äußeres Netz bereitgestellt, in das die erzeugte Leistung abgegeben wird. Im Inselbetrieb, d.h. Versorgung von Verbrauchern ohne ein solches Netz, wird die Frequenz durch einen Umformersatz aufrechterhalten, der von einem Batteriesatz gespeist wird. Je nach Bedarf der Verbraucher werden die Batterien über den Umformersatz mit überschüssiger Energie geladen oder unterstützen den Energiewandler bei der Versorgung. Der Batteriesatz dient gleichzeitig der Versorgung wichtiger Eigenverbraucher wie Antriebe, Zentralsteuerung und Unterdruckanlagen, auch bei Netzparallelbetrieb. Dadurch werden kritische Situationen durch Netzausfälle vermieden.

Möglichkeiten für kommerziellen Einsatz

Elektrischer Strom, aus Sonnenenergie gewonnen, wird als regenerierbare Energie zunehmend an Bedeutung gewinnen. Der Einsatzbereich für den Metallmembran-Konzentrator mit Stirling-Energiewandler wird in der dezentralen Stromerzeugung für Oasen, Einzeldörfer oder in Industrie- und Meerwasserentsalzungsanlagen bis zu einer Größenordnung von 20 MW möglich sein.

Gerade durch die Verbindung von leichten, billigen Membrankonzentratoren mit einer Hochtemperaturumwand-



Der unterdruck-stabilisierte Membranspiegel

Solkonzentratoren für den Einsatz zur Hochtemperaturumwandlung müssen eine definierte Reflektorform von hoher Präzision aufweisen. Solche Konzentratoren werden bereits mit großen Abmessungen in der Kommunikationstechnik eingesetzt. Die übliche Bauweise mit einzelnen justierten Facetten auf einer komplizierten räumlichen Tragstruktur ist jedoch sehr aufwendig und kostenintensiv.

Von Schlaich und Partner wurde seit 1976 eine neue Methode zur Herstellung großer Konzentratoren entwickelt. Diese bestehen aus homogenen Metallmembranen, die nur an ihrem Rand gehalten sind und pneumatisch geformt und stabilisiert werden. Dabei ergibt sich die präzise Reflektorstruktur bei Verwendung der geeigneten Werkstoffe praktisch von selbst.

Die unterdruckstabilisierte und mit Dünnlassspiegeln von 0,6 mm Dicke laminierte Reflektorfläche ist außerordentlich stabil und widerstandsfähig gegenüber äußeren Belastungen wie Wind, Hagel, Sand und Temperaturänderungen. Dadurch können nach dieser Methode großflächige, extrem leichte, aber dennoch widerstandsfähige und optisch präzise Reflektoren gebaut werden. Durch die Leichtbauweise lassen sich auch die Kosten für Antriebe, Gelenke und Nachführung niedrig halten. Das neu entwickelte Herstellverfahren erlaubt die Fertigung am Aufstellort. Dadurch können die Abmessungen im Hinblick auf die Kostenoptimierung sehr groß gewählt und gleichzeitig durch den Einsatz regionaler Arbeitskräfte die Herstellkosten gesenkt werden.

lung durch Stirlingmotoren und wegen der dadurch niedrigen Systemkosten ist eine solche Anwendung relativ kurzfristig durchsetzbar, wenn eine ausreichende Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit durch Langzeittests nachgewiesen werden kann. Weiterhin bieten die Metallmembran-Konzentratoren

den Vorteil, daß diese Bauweise nur eine einfache Technologie erfordert. Mit einem sorgfältig geplanten Technologietransfer können deshalb auch in Niedriglohnländern der Dritten Welt, von denen viele in sonnenreichen Regionen liegen, Metallmembran-Konzentratoren zum Einsatz kommen.

Wasserstoff als Arbeitsmedium in Heiz- und Kühlsystem

Folgt man einem Bericht der Japan External Trade Organization (JETRO), so ist in Japan ein regelrechter Entwicklungswettbewerb ausgebrochen, der einer „Hydrogen Heat Exchange and Storage Unit“ (HHESU) gilt (Wasserstoff-Wärmetausch- und Speichereinheit). Details sind der Veröffentlichung nicht zu entnehmen. Zum physikalischen Prinzip heißt es, daß Wasserstoff durch Rohrleitungen gepumpt werde, die als Wärmetauscher wirken. In ihnen und in der Anlage spielen Titan-Eisen- und Magnesium-Nickel-Legierungen in Verbindung mit „anderen Metallen“ eine Rolle.

Kühle man die Anlage und erhöhe man gleichzeitig den Druck in ihr, absorbieren die Metalle Wasserstoff und geben Wärme frei. Bei Erwärmung läuft

entsprechend der umgekehrte Prozeß ab. Das System eigne sich folglich im Winter zu Heizzwecken und im Sommer zur Gebäudekühlung. Als Eingangenergie werde lediglich Strom für den Verdichter benötigt. Die Hokkaido Electric Power Company, heißt es zum Schluß, plane jetzt auf der Basis dieses Systems die Versorgung eines ganzen Wohngebietes mit Wärme und Kälte.

Schweiz setzt weiter auf Energiesparen

Ein vom Eidgenössischen Departement des Innern erarbeitetes Konzept sieht für die Zeit von 1987 bis 1991 den Einsatz von 20 Mill. Franken für Pilot- und Demonstrationsanlagen vor, die

der rationellen und umweltschonenden Energienutzung gewidmet sind. 40 Prozent der Mittel sollen für Projekte zur rationellen Energienutzung aufgewendet werden, 25 Prozent für einheimische und erneuerbare Energien, vornehmlich die Sonnenenergie, 25 Prozent für Energietechniken wie Wärmepumpen, Wärmerückgewinnung, Wärme-Kraft-Kopplung und Energiespeicherung.

In einem Bericht der Neuen Zürcher Zeitung werden Beispiele genannt: Nutzung der Sonnenenergie zur Trinkwassererwärmung in der Zollschule Liestal, wissenschaftliche Auswertung einer neuerstellten Wärmepumpe an der ETH Zürich, Wärmepumpen mit Rieseldampf zur Gebäudeheizung in See- und Flußnähe, Pilotanlage zur unterirdischen Energiespeicherung.