

# Entwicklungsschub Plasmatechnologie

## CPC-Vakuumröhren-Kollektortechnik für Prozesswärme bis 160 °C

DR. ROLF MEISSNER\*

CPC-Vakuumröhren-Kollektortechnik (CPC-VRK) mit Wasser als Wärmeträger liefert weitgehend unabhängig von Witterung und Jahreszeiten Temperaturen von 80-160 °C und ist völlig eigensicher gegen thermischen Stillstand, auch bei Stromausfall. Deshalb kann bei dieser Technologie der Speicher frei nach Platzbedarf, Lastprofil und Rentabilität optimiert, bei kleinen Deckungsgraden oft auch ganz weggelassen werden. Sie ist damit prädestiniert für Mitteltemperatur-Prozesswärme, Fernwärme und hohe Deckungsanteile bei solarer Heizungsunterstützung.

### 1 Kurzcharakteristik der CPC-VRK mit AquaSystem

Grundlage dieser Technik sind sog. Dewar- oder Sydney-Röhren. Dies sind evakuierte doppelwandige Glasgefäße, so simpel aufgebaut wie eine Vakuum-Thermoskanne. Entsprechend der über einhundertjährigen Erfahrung mit gläsernen Thermoskannen beträgt auch die Haltbarkeit von Dewar-Kollektorröhren 20 bis 50 Jahre. Auf der Innenröhre befindet sich im Vakuum eine hochselektive Absorberschicht, die bei guten Strahlungsverhältnissen im Stillstand bis zu 340 °C heiß wird. Wenn der Kollektor nicht im Stillstand ist, wird die Wärme über dünne, wasserführende Metallrohrregister aus je nach Anwendung Kupfer, Stahl oder Edelstahl abgeführt. Der CPC-Spiegel (Compound Parabolic Concentrator) gewährleistet, dass pro Fläche möglichst wenig Röhren gebraucht werden und trotzdem die Brut-

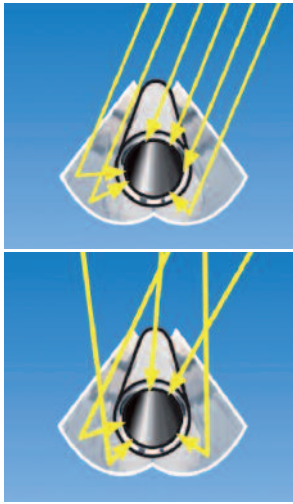
tokollektorfläche zu über 90 % optisch aktiv ausgenutzt wird. Er spart also vor allem Material, vergrößert den Ertrag und senkt die Wärmeverluste. Aufgrund seiner speziellen Geometrie wird alles direkte und diffuse Licht ausgenutzt (Bilder 1 und 2). Der jüngste Stand der Technik zu CPC-VRK ist die Plasmatechnologie, erstmals vorgestellt und zum Award nominiert auf der Intersolar 2012 in München. Dabei werden die CPC-Spiegel mit Plasma behandelt, um einen höheren Reflexionsgrad und eine maximale Witterungsbeständigkeit zu erreichen und die Röhren, um ihre Oberflächen mit Antireflex-Schichten auszustatten. Damit erlebte die CPC-VRK-Technik noch einen deutlichen Entwicklungssprung hin zu höheren Temperaturen. Mit dem Solar Keymark Output Calculator (SKOC) ergeben sich für ständige Prozesstemperaturen von 60 °C bis 180 °C Steigerungen des Kollektorertrags

► Bild 1 •  
Dewar-Röhre,  
CPC-Spiegel,  
Wärmeleitblech  
und Rohr-  
register



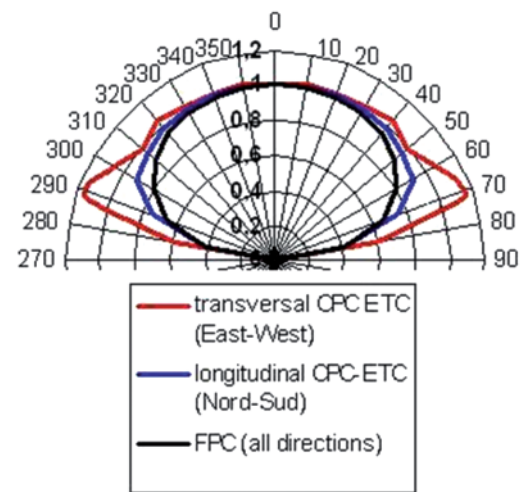
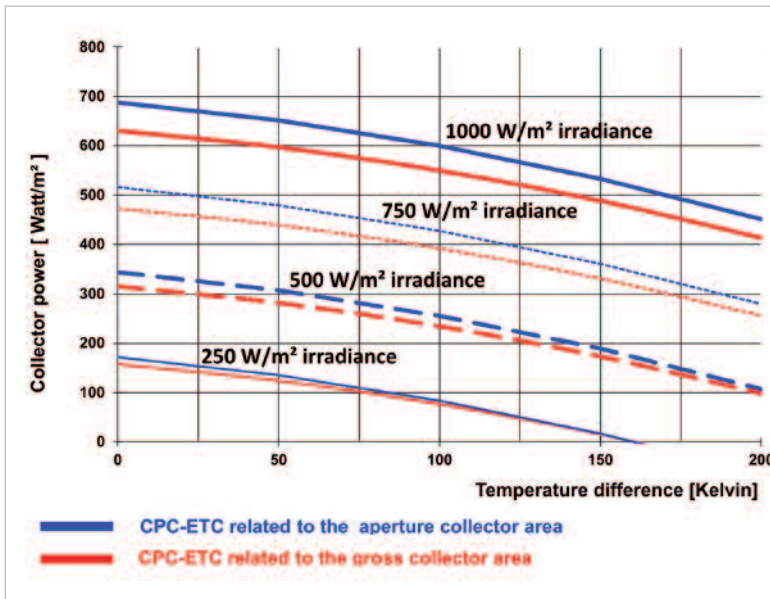
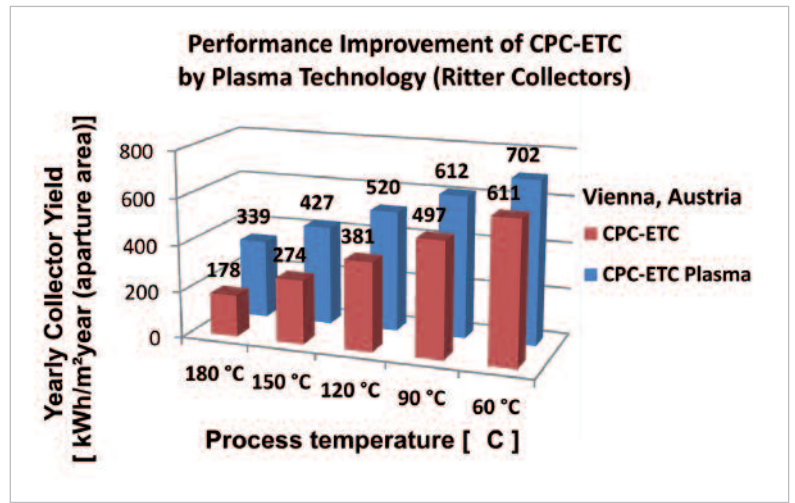
\* Rolf Meißner ist Physiker und befasst sich als Produktmanager und Entwickler seit 1990 bei Ritter Energie- und Umwelttechnik mit der Systemtechnik und Speicherung von Solarwärme. Gegen Ende 2006 gründete er den Bereich Paradigma XL Solar und ist seit 2010 Geschäftsführer der Ritter XL Solar GmbH.

E-Mail: r.meissner@ritter-xl-solar.com



◀ Bild 2 • Strahlengang bei CPC-VRK bei direkter und bei diffuser Einstrahlung

▶ Bild 3 • Verbesserung der jährlichen Kollektorerrträge von CPC-VRK durch Plasma-Technologie bei Südausrichtung und 30 Grad Neigung, berechnet mit dem Solar Keymark Output Calculator (SKOC)

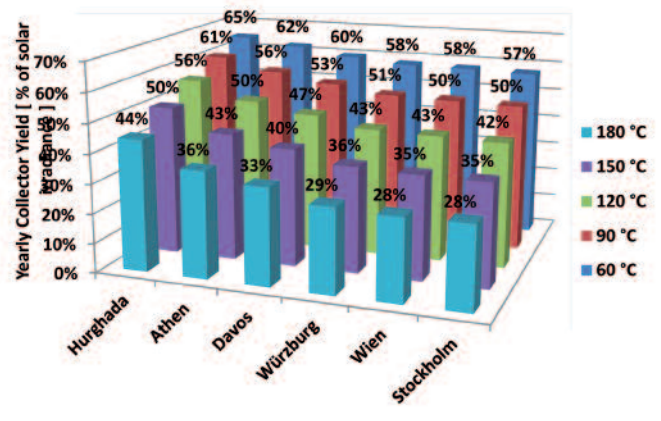
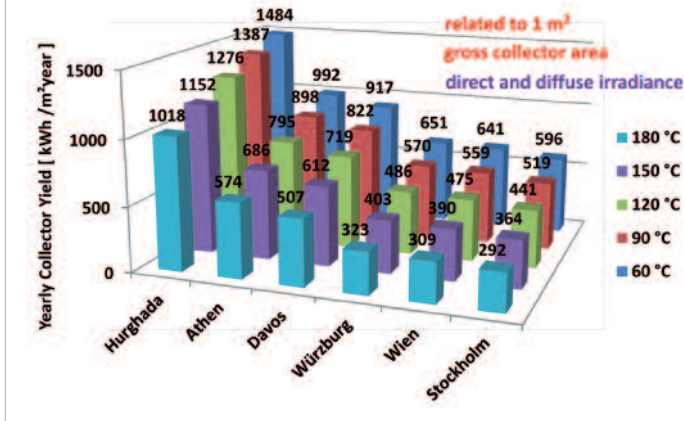


von 15 % bis 90 %. Der SKOC geht von einer konstanten mittleren Kollektortemperatur aus und davon, dass die Solarwärme vollständig gebraucht wird. Bei kleinen Temperaturspreizungen kann diese mit der Prozesstemperatur annähernd gleichgesetzt werden. Verluste, außer denen des Kollektors, bleiben vom SKOC unberücksichtigt. Er ist nur bis 100 °C eingerichtet und wurde hierzu erweitert. Wie belastbar sind jedoch Simulationsergebnisse bei höheren Temperaturen als jenen, bei denen der Kollektortest nach EN 12975-2 durchgeführt wird? Da die gemessenen Stagnationstemperaturen mit der berechneten gut übereinstimmen, kann man auch dem beim Kollektortest nicht gemessenen Temperaturbereich hinreichend vertrauen (Bild 3). Die Kollektorkennlinie (Bild 4) zeigt, dass für Temperaturdifferenzen zwischen Kollektor und Umgebung von 150 Kelvin der Kollektor bei 1000 Watt/m<sup>2</sup> Einstrahlung noch über 50 % Wirkungsgrad hat und selbst bei 500 W/m<sup>2</sup> noch deutlich über 30 %. Um

Temperaturdifferenzen bis 75 Kelvin mit mindestens 35 % Wirkungsgrad zu erreichen, genügen bereits 250 W/m<sup>2</sup> Einstrahlung, dazu muss nicht einmal die Sonne scheinen. Unter einer 5 cm starken Schneedecke erhöht sich die Kollektortemperatur bei Sonnenschein noch um 50 K. Bei Betriebsdrücken von 6 bar kann Wasser mit CPC-VRK also auf einfache Weise und ohne mechanische Nachführung auf 160 °C überhitzt und für Prozesswärme genutzt werden. Auch die Erzeugung von Dampf ist kein Problem und bereits in praktischer Erprobung. Ein besonderer Vorteil zylindrischer Absorber ist die weitreichende Unabhängigkeit der Einstrahlungsnutzung vom radialen Einfallswinkel. Praktisch heißt dies, dass während eines Tages über viele Stunden annähernd die gleiche maximale Leistung erzielt werden kann. Mit dem SKOC ergeben sich für die Standorte Stockholm, Wien, Würzburg, Davos, Athen und Hurghada für Prozesstemperaturen von 60 °C bis 180 °C folgende Kollektorerrträge (Bild 5). Wasser

ist physikalisch und chemisch temperaturbeständig. Dies ist zwar die wichtigste Voraussetzung, doch damit allein ist ein Wasser-System noch nicht stagnations-sicher. Erst eine präzise Auslegung der Kollektorhydraulik, ein kontrolliertes Sieden und nahezu geräuschfreies Leerpresen des Kollektorfeldes mittels des sich ausdehnenden Dampfes, die gezielte Nutzung der Kondensationswärme des Dampfes, z. B. im Speicher, eine resistente Rohrdämmung sowie geeignete Ausdehnungsvorrichtungen gewährleisten die Eigensicherheit der Anlagen im thermischen Stillstand. Zusätzliche Ventile im Kollektorkreis sind nicht obligatorisch, können aber die Zeit des Siedens noch drastisch reduzieren und die Leerung des Kollektorfeldes nahezu geräuschlos gestalten. Die Robustheit des Systems zeigt sich gut vorstellbar darin, dass es auch „Heißstarts“ aushält, wobei es aus der Stagnation zurück in den Normalbetrieb geholt wird. Dies erfolgt jedoch nicht ganz geräuschlos und ist nur möglich, wenn die Anlage wieder genug

▲ Bild 4 • Kollektorkennlinien von CPC-Vakuumröhrenkollektoren mit Plasma-Beschichtung und Abhängigkeit der Strahlungsnutzung vom Einfallswinkel für CPC-Röhren- und Flachkollektoren



▲ Bild 5 • Jährliche Kollektorerträge mit CPC ETC Plasma pro Quadratmeter Bruttofläche und in Prozent der Einstrahlung bei Süd- ausrichtung und 30 Grad Neigung, berechnet mit dem SKOC

▼ Bild 6 • Jahresertrag von CPC-VRK ohne diffuse Strahlung (fiktiv) und Zusatz-Jahresertrag, wenn diffuse Strahlung mit genutzt wird, berechnet mit SKOC

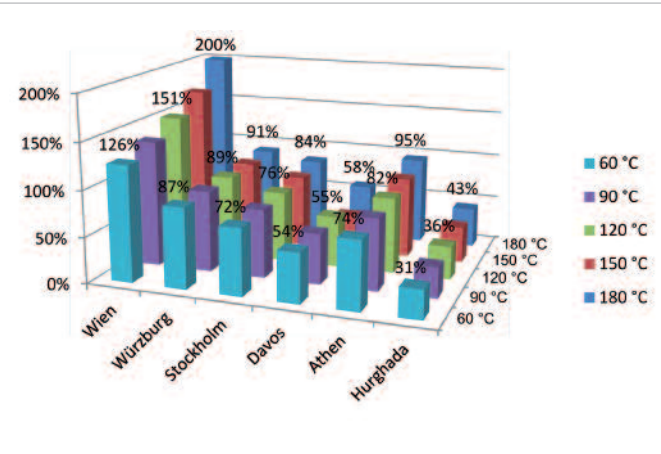
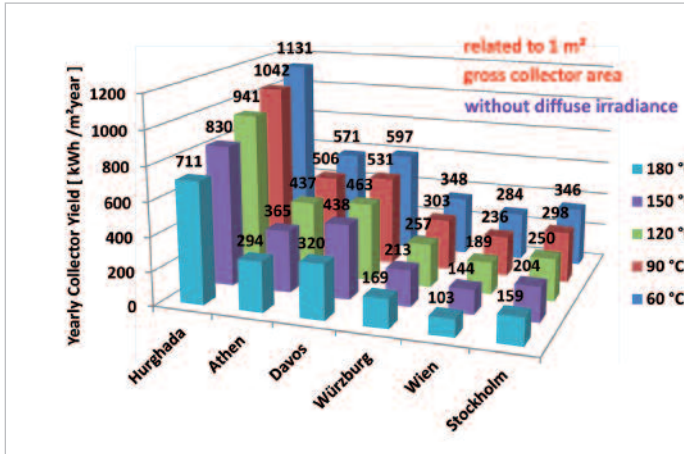


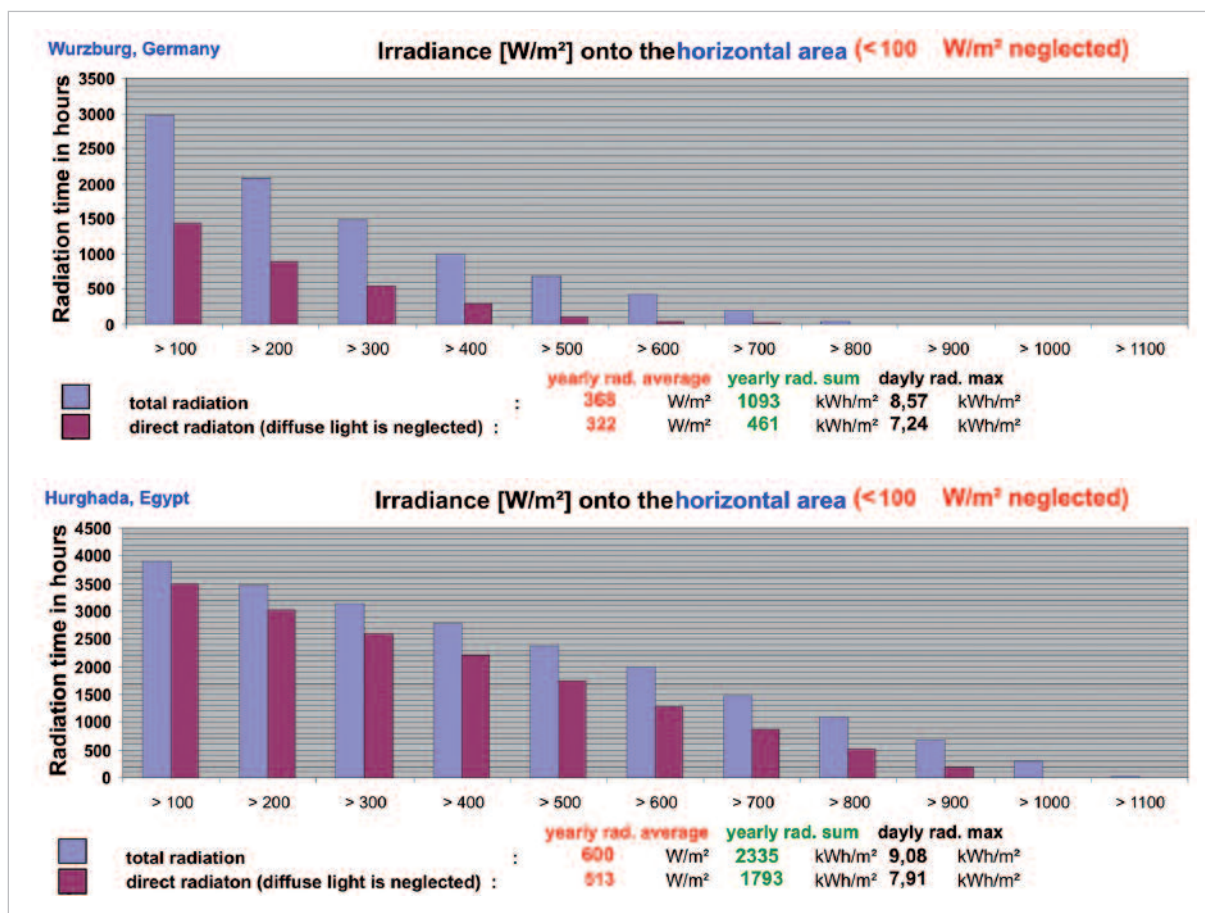
Bild 8 • Beispielanlagen für Fernwärme, Kühlung und Prozesswärme.

a) 1330 m² Festo (Deutschland 2007) Kühlung und Heizung

b) 1033 m² Metro Istanbul (Türkei 2009) Kühlung

c) 3388 m² Messe Wels (Österreich 2011) Fernwärme

d) 458 m² Julius Blum (Österreich 2011) Galvanik



▲ Bild 7 • METEONORM 4.0-Daten zur Gesamtstrahlung und zur direkten Strahlung in Würzburg und Hurghada

- e) 221 m<sup>2</sup> Hustert Galvanik (Deutschland 2011) Galvanik
- f) 394 m<sup>2</sup> Zehnder (Schweiz 2012) Lackierbäder
- g) 164 m<sup>2</sup> New York tube (USA 2010) Waggon-Waschanlage
- h) 527 m<sup>2</sup> Elk (Polen 2009) Betonwerk
- i) 417 m<sup>2</sup> Parris Island (USA 2011) Kühlung
- j) 550 m<sup>2</sup> Kral (Österreich 2011) Kühlung



Wärme braucht, denn dabei erzeugen die Kollektoren etwa die fünffache Nennleistung. Heißstarts waren Voraussetzung zum Einstieg in die kontrollierte Dampferzeugung.

## 2 CPC-VRK mit AquaSystem für Mitteltemperaturen bis 160 °C

Es ist weithin unbekannt, dass nicht konzentrierende CPC-VRK bis ca. 160 °C einsetzbar und ertragreich sind. Dies liegt einerseits an den bisher noch fehlenden Referenzen, andererseits waren Anwendungen für überhitztes Wasser, Dampf oder Thermoöle auch nicht das Ziel der Entwicklung von CPC-VRK. Vielmehr standen Warmwasser- und Heizungsanwendungen im Focus, bei denen auch unter widrigen Wetter- und Klimabedingungen nahezu immer 95 °C erreicht werden sollen. CPC-VRK-Anwendungen mit Temperaturen über 100 °C drängen sich angesichts der Wirkungsgrad-Kennlinien von selbst auf. Ein großer Vorteil ist dabei, dass auch nahezu die gesamte diffuse Strahlung genutzt wird. Bild 6 zeigte die jährlichen Kollektorerträge für CPC-VRK an verschiedenen Standorten bei verschiedenen Prozesstemperaturen ohne diffuse Strahlung und den entsprechenden Zusatz-Jahresertrag, wenn der diffuse Strahlungsanteil mit genutzt wird (Bild 6). Stark konzentrierende Kollektorsysteme können an den meisten Standorten der Welt das Fehlen des diffusen Strahlungsanteils auch nicht mit einer ein- oder zweiachsigen Nachführung kompensieren, solange die Betriebstemperaturen nicht

deutlich höher als 160 °C sind (Bild 7). Der Anteil der diffusen Strahlung beträgt weltweit fast überall weit über 50 %, nur an lebensfeindlichen Orten mit extremer Trockenheit kann der Anteil der diffusen Strahlung bis auf ca. 25 % sinken. Das Spektrum der direkten Strahlung erreicht kaum Spitzenwerte. Ohne die ergänzende diffuse Strahlung sind Einstrahlungen über 900 W/m<sup>2</sup> so gut wie ausgeschlossen. Das Jahresmittel der Gesamtstrahlung erreicht kaum irgendwo mehr als 600 W/m<sup>2</sup> und das der direkten Strahlung kaum 500 W/m<sup>2</sup>. Dabei wird bereits alle Strahlung unter 100 W/m<sup>2</sup> vernachlässigt, sonst würden die Jahresmittel noch deutlich niedriger ausfallen.

## 3 Anwendungsbeispiele für Prozess- und Netzwärme sowie Kühlung

Mit CPC-VRK und Wasser unter Überdruck bis ca. 8 bar wurden bisher ca. 250 Großanlagen verwirklicht, davon 34 für Prozesswärme, Kühlung oder Fernwärme und 19 mit mehr als 100 Quadratmeter Bruttokollektorfläche, die alle ganzjährig Prozesstemperaturen von 70...95 °C liefern. Es wurde bis 2012 erst eine CPC-VRK-Anlage für Temperaturen von 160...180 °C gebaut. Diese arbeitet allerdings mit Silikonöl statt mit Wasser und versorgt einen Stirlingmotor. An Testanlagen wurde bereits kontinuierlich Dampf erzeugt. Derzeit entsteht in Karlsruhe eine Anlage mit 400 m<sup>2</sup> zur Erzeugung von Wasser-Trockendampf für eine Dampfstrahl-Kältemaschine bei Temperaturen von ca. 160...180 °C (Bild 8).

## 4 Zusammenfassung

Die CPC-VRK mit reinem Wasser als Wärmeträger bilden ein sehr effizientes solarthermisches System für alle Jahreszeiten, das bereits millionenfach erprobt ist. Damit eignen sie sich besonders zum solaren Heizen im Winter. Anhand der Leistungskennlinien der Kollektoren wird deutlich, dass sie spätestens seit Anwendung der Plasmatechnologie auch für Mitteltemperaturesysteme bis 180 °C einsetzbar sind. Beim Einsatz von Wasser ist man vorläufig auf Arbeitstemperaturen von 160...170 °C beschränkt, weil der Druck beim Sieden den derzeit zulässigen Kollektor-Maximaldruck von 10 bar nicht überschreiten soll. Das hydraulische System dazu hat sich für Arbeitstemperaturen bis 95 °C bereits fast ein Jahrzehnt bewährt, obwohl man die Kollektoren nicht einfach aus der Sonne drehen kann. Es ist eigensicher bei thermischer Stagnation, indem es sich bei Dampfbildung beliebig oft selbständig und reversibel entleert und nach Abkühlung wieder füllt. Für höhere Temperaturen müssten andere als die in der Kollektortechnik bisher üblichen Pumpen, Ventile, Verbindungselemente, Speicher und Isolierungen eingesetzt werden. Der Entwicklungs- und Testaufwand hierfür ist vergleichsweise gering, weil der Kollektor und das hydraulische System bereits existieren. Je nach Standort ist damit für Betriebstemperaturen von 160 °C eine Ausnutzung der gesamten solaren Jahresstrahlung von ca. 20...40 % möglich.