



Sonnenscheinbläschen, Feuervögel und fliegende Wasserfälle

Alternative Solartechnik in China (Teil 1)

DR. RER. NAT. ROLF MEISSNER

China baut völlig andere Solaranlagen als Europa und ist, wenn man das Wachstum betrachtet, erfolgreicher damit. Während das Wohl des Solarmarktes in Europa stark von ideologischen und ästhetischen Diskussionen, von Subventionen, Prestigeüberlegungen, dem Wohlwollen des Gesetzgebers und einem unaufhaltsam dichter werdenden Raster von Normen, Verordnungen und Zertifizierungszwängen abhängt, zählt in China vorrangig die Ökonomie. Mit geringst möglichem Aufwand wird die verfügbare Solarwärme genutzt. Kapital ist knapp, Zuschüsse vergibt niemand, die Arbeit, auch qualifizierte, ist billig und die Energiepreise steigen inflationär. Diese Randbedingungen führen zu äußerst pragmatischen Solarlösungen und sichern kurze Amortisationszeiten für diese Anlagen.

Nach europäischen Vorstellungen stehen bei chinesischen Solaranlagen oft „heilige Grundsätze“ auf dem Kopf und man sieht erst auf den zweiten Blick, dass diese Andersartigkeit nicht nur technische Nachteile gegenüber dem Gewohnten hat, sondern auf überzeugende Weise auch völlig anderen Lebensumständen Rechnung trägt. Die große Verschiedenartigkeit der technischen Konzepte konnte den Austausch zwischen beiden Märkten noch bremsen, so dass chinesische Hersteller bisher kaum Solartechnik exportieren und europäische Solarlösungen in China kaum Fuß fassen konnten. Einige der Besonderheiten chinesischer Solartechnik sollen hier vorgestellt werden, zunächst für Kleinstsolaranlagen mit Thermosiphonspeichern, später für beliebig große Solaranlagen mit Thermosiphonkollektoren. Am Ende soll gezeigt werden, warum der beeindruckende Vormarsch chinesischer So-

Bild 1 • Wohnanlage in Dalian

lartechnik untrennbar mit dem Erfolg der Dewar-Vakuumpöhrrentechnik verbunden ist.

Einleitung

Schaut man einmal mit Interesse für Solarthermie nach China, dann stellt man dort Erstaunliches fest. Hier wurde nahezu die dreifache Kollektorfläche installiert wie in der gesamten restlichen Welt. Allein im letzten Jahr 2004 wuchs die installierte Kollektorfläche um 12 Mio. Quadratmeter, während Deutschland noch immer um die magische 1 Million Quadratmeter pro Jahr kämpft. Das jährliche Wachstum liegt seit 1991 konstant bei 27 bis 30 Prozent. Dabei gibt es in China keine staatliche Förderung, keine Subventionierung gegenüber den Energieträgern Strom oder Gas. Doch die Rahmenbedingungen legen die Erwartung nahe, dass dieses Wachstum so weitergeht. Der innere Wachstumsmotor ist dabei ein enormer innerchinesischer Wettbewerb, der zu einer ständigen Leistungs- und Qualitätsverbesserung bei niedrig bleibenden Preisen führt. Um diesen noch stark lokal geprägten Markt kämpfen nahezu 3000 chinesische Solaranbieter, deren größter bislang nur 7 % hält und deren neun größte nur 20 % ausmachen. Die äußeren Faktoren, welche dieses Wachstum weiter forcieren werden, sind die stetig steigenden Energiepreise, ein ständig wachsender Hunger einer immer wohlhabenderen Bevölkerung nach mehr Komfort, speziell nach warmem Wasser, ein ungebremseter Boom im Wohnungsbau sowie ein allmählich entstehendes Umweltbewusstsein bei der Bevölkerung. Dazu wird ab 2006 die Gültigkeit eines chinesischen Gesetzes für erneuerbare Energien mit handfesten Auflagen für jeden Neubau kommen.

Das Wachstumspotential ist noch riesig, denn in der Kollektorfläche pro Haushalt ist China mit derzeit 0,176 m² noch lange nicht Weltmeister, da führen noch Israel, Griechenland, Österreich und einige andere Länder. Der Export spielte bei diesem chinesischen Wachstum bisher überhaupt noch keine Rolle, 2004 exportierte ganz China Solartechnik im Wert von gerade einmal 13 Mio. US \$. Doch es ist unwahrscheinlich, dass dies so bleiben wird. Vielmehr werden die erfolgreichsten Hersteller danach streben, dass der Export mit dem chinesischen Binnenmarkt irgendwann gleichzieht,

zumindest, was die Wachstumskennziffern anbelangt /1/.

Auf dem riesigen chinesischen Markt sind Flachkollektoren mit 11 % Anteil und weiterhin negativem Trend nur eine marginale Randerscheinung. Jedoch 88 % der chinesischen Kollektorfläche besteht aus Dewar-Vakuumpöhrn, bekannt auch unter den Namen Thermoskannen- oder Sydney-Röhr. Sie sind aus zwei koaxial angeordneten Röhrn aufgebaut, deren Zwischenraum luftleer ist. Die Solarwärme gewinnen sie mit einer auf die innere Röhr im Vakuum aufgedampften nanometerdünnen Absorberschicht. Von diesen Röhrn arbeitet in China nur ein kleiner Anteil mit einer hydraulischen Trennung zwischen der Röhr und der Kollektorflüssigkeit, zum Beispiel über in die Röhr ragende wärmetauschende Metallrohre oder nach dem Heat-Pipe-Prinzip. Überwiegend sind die Kollektorröhrn selbst mit Kollektorflüssigkeit gefüllt, und diese Kollektorflüssigkeit ist in China fast immer – Wasser. Nun ist China gewiss kein tropisches Land. Vielmehr gibt es nicht einmal im subtropischen Süden eine Garantie für das ganzjährige Ausbleiben von Frost. Um verstehen zu können, wie dies gut gehen kann, muss man sich solche chinesischen Solaranlagen etwas genauer anschauen.

Thermosiphonspeicher

Man trifft Thermosiphonspeicher überall auf der Welt, wo die Energie im Verhältnis zum Einkommen der dort lebenden Menschen teuer und wo das Städtebild nicht allzu stark reglementiert ist, denn ästhetisch schön wirken diese Anlagen ebenso wenig wie frei liegendes Kabelgewirr oder Verkehrsblechlawinen. Doch besonders von den Dächern des gesamten vorderasiatischen und des Mittelmeerraumes sind sie nicht mehr wegzudenken. Sie werden oft kurz als SWH (von solar water heater) bezeichnet. Allerdings bestehen Thermosiphonspeicher außerhalb Chinas, Japans und Koreas fast ausschließlich aus einem separaten Kollektor und einem Speicherbehälter. Mehr als 80 % aller chinesischen Solaranlagen sind Thermosiphonspeicher, ausgelegt für je einen Haushalt. Man sieht sie massenhaft auf Balkonen, an Fassaden montiert und dicht an dicht auf den Dächern. Ihre Funktion beruht auf einem sehr einfachen Prinzip. Liegende, drucklose, thermisch isolierte Speicherbehälter sind unten in einer Linie regelmäßig perforiert. Durch diese mit Dich-



Bild 2 • Chinesische Dächerlandschaft

Bild 3 • SWH in der Türkei mit Flachkollektor

Bild 4 • SHW auf einem Teststand in Jinan

Bild 5 • CPC-Spiegel bei diffuser Strahlung

Bild 6 • CPC-Spiegel bei direkter Strahlung

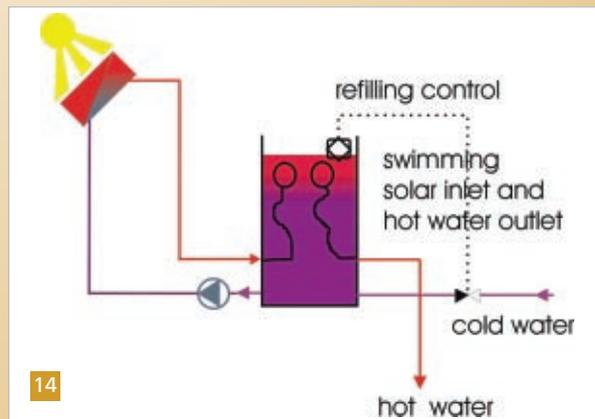
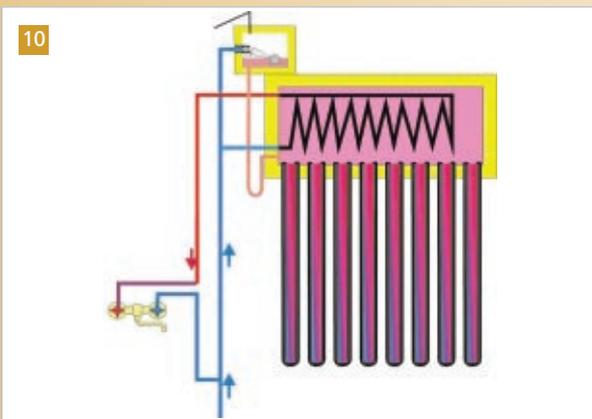
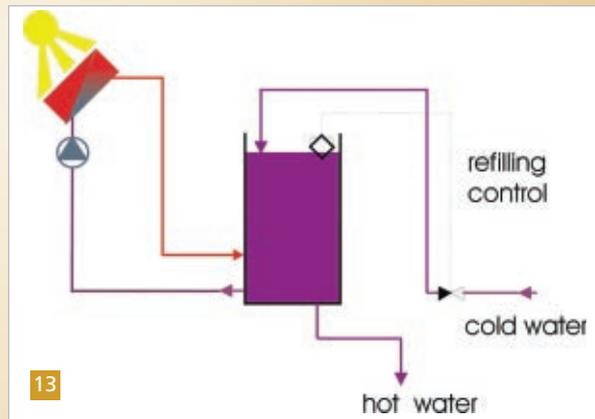
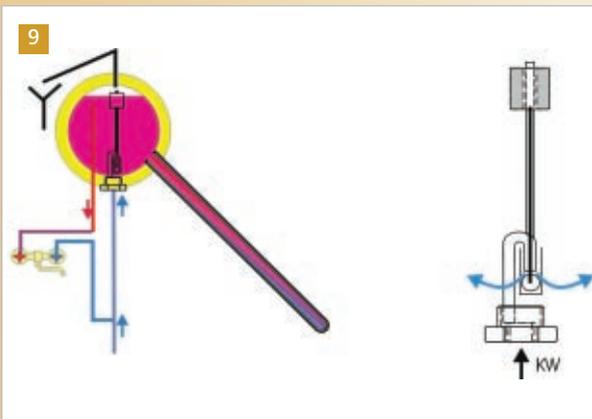
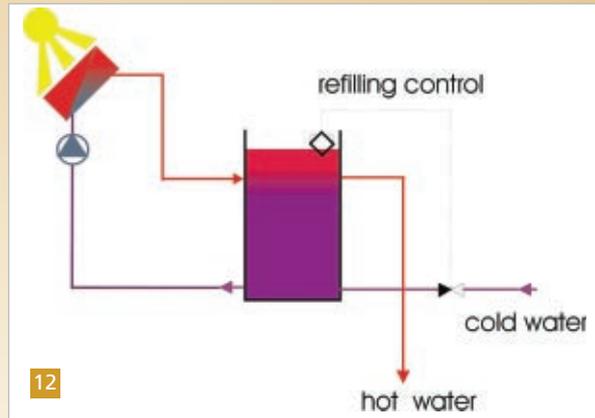
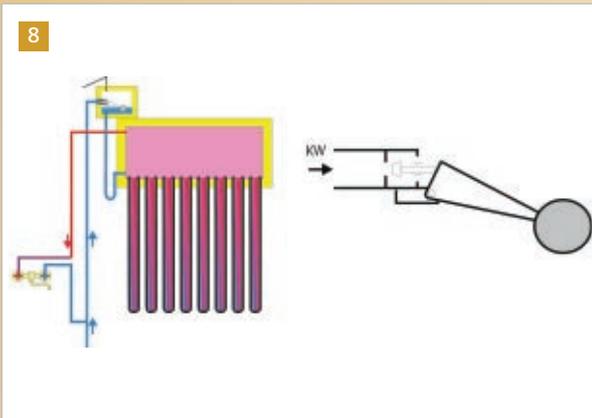
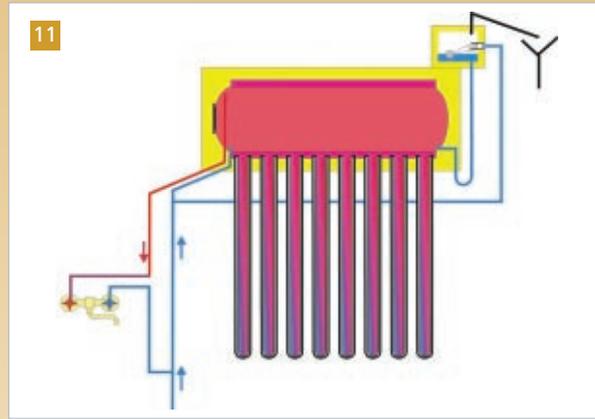
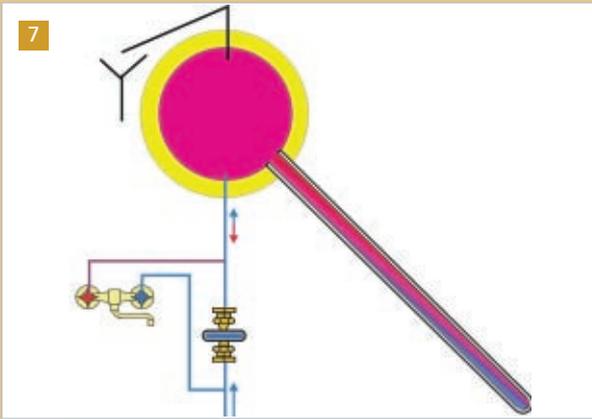


Bild 7 • Chinesischer SHW, Standard

Bild 11 • SHW mit Druck-Innentank

Bild 8 • SHW mit externem Schwimmventil

Bild 12 • Plausible Anschlüsse

Bild 9 • SHW mit internem Schwimmventil

Bild 13 • Anschlussstandard in China

Bild 10 • SHW mit Wärmetauscher

Bild 14 • Schwimmende Anschlüsse

tungen ausgestatteten, eng beieinander liegenden Öffnungen ragen mit ihrem offenen Ende die Dewar-Vakuumröhren in den Behälter hinein. Wenn der Behälter mit Wasser gefüllt wird, füllen sich zuerst die Röhren. Scheint nun die Sonne auf die Röhren, dann erwärmen diese den Behälter von unten. Dies geschieht sehr effizient, weil außer denen des Behälters so gut wie keine Wärmeverluste auftreten.

Standardausführung

In der am häufigsten anzutreffenden, einfachsten Variante gibt es nur eine einzige Wasserleitung zwischen dem Behälter und der Stelle, wo das warme Wasser gebraucht wird. Wenn der Behälter leer ist, füllt ihn der Nutzer durch diese Leitung, maximal bis er überläuft. Wenn dann der Speicher warm genug ist, leert er ihn durch dieselbe Leitung, um ihn danach wieder zu füllen, usw. Dies ist die ultimative Minimallösung: exergetisch hoch effizient, ohne Sicherheitsventil, Ausdehnungsgefäß, Regelung, unabhängig von Elektrizität und sicher gegen kurz währende leichte Fröste, weil wegen der außergewöhnlichen Eigenschaft des Wassers, bei +4 °C seinen dichtesten Zustand zu erreichen und bei tieferen Temperaturen wieder leichter zu werden, die Röhren immer zuallerletzt einfrieren würden. Gegen strengen Frost werden diese Systeme entweder durch zirkulierende Wärme aus dem Haus geschützt oder einfach durch Ablassen des Wassers. Diese einfachen Solaranlagen passen speziell deshalb in den chinesischen Alltag, weil sie auch bei allfälligen Strom- und Wasserausfällen noch warmes Wasser liefern, zumindest bis der Behälter leer ist. Die Nachteile, welche der Europäer im mangelhaften Bedienkomfort (Handbetrieb, fehlende Füllstands- und Überlaufkontrolle), im Fehlen von thermischer Schichtung sowie bei geringer statischer Höhe im u. U. niedrigen Leitungsdruck sehen würde, werden zwar wahrgenommen, aber bereitwillig akzeptiert. Weiterhin wird akzeptiert, dass der Komfort auch vom Wetter und vom Nutzungsprofil abhängig ist. Anstatt massenweise Nachheizungen vorzusehen, die teuer sind und zwangsläufig immer den Solargewinn beschränken, verzichten die meisten Chinesen lieber hin und wieder auf warmes Wasser. Eine ganze Reihe von Modifikationen verfolgen das Ziel, diese Nachteile zu überwinden, ohne das Wirkprinzip der Standardausführung in Frage zu stellen.



Bild 15 • Heat-Pipe-Einsatz für Dewar-Thermosiphonröhre

CPC-Spiegel

Mit Spiegeln hinter den Röhren, welche das Licht aus jeder beliebigen Richtung immer auf einen Absorber werfen (sie tragen irreführenderweise die englischsprachigen Attribute compound parabolic concentrator, obwohl sie gar nicht parabolisch geformt sind), kann der Röhrenabstand vergrößert und die Aperturfläche trotzdem stark erhöht werden. Auf die für den Nutzer einzig relevante Bruttofläche bezogen kann so der Energieertrag für Röhrenkollektoren maximiert werden. Es wird in China zwar mancherorts versucht, qualitativ hochwertige CPC-Spiegel zu bauen, doch der Schlüssel zu dieser Technologie liegt noch in Europa.

Schwimmerventil

Um das Nachfüllen des Thermosiphonspeichers ähnlich wie bei einer Toiletten-spülung zu automatisieren, gibt es auf dem chinesischen Markt zahlreiche Variationen von Schwimmerventilen. Obwohl diese Ergänzung einen hohen Komfort verspricht, wird sie eher zurückhaltend genutzt, weil die Angst vor ihrem Versagen mit nachfolgend hoher Wasserrechnung groß ist.

WW-Wärmetauscher

Um zum Zapfen nicht auf eine gewisse Höhe des Speichers angewiesen zu sein, kann man den Thermosiphonspeicher nach europäischem Vorbild mit einem Wärmetauscher aus Kupfer oder Edelstahl versehen, an den die Kaltwasserdruckleitung angeschlossen wird. Das ist zwar bequemer für den Nutzer, aber auch teurer und wesentlich wärmeverlustreicher als die Standardausführung. Diese Modifikation ist in China nicht verbreitet, für den Export werden solche Thermosiphonspeicher aber gebaut.

Niederdruckspeicher

Ein Reduzierventil beschränkt den Druck im Thermosiphonspeicher auf einen Druck knapp über dem Luftdruck. Ein Niederdruck-Sicherheitsventil sorgt für den Druckausgleich beim Erwärmen. Der Komfort ist hoch, solange die Aggregate einwandfrei arbeiten. Die Befestigung und Dichtigkeit der Röhren setzt diesem Verfahren jedoch Grenzen.

Druckspeicher mit Heat-Pipe

Die Ergänzung der Dewar-Vakuumröhre mit einem metallischen oder gläsernen Zusatzgefäß, in welchem eine Flüssigkeit in der Röhre verdampft und an ihrem Ende im Thermosiphonspeicher unter Abgabe der Verdampfungswärme wieder kondensiert, ist eher ein Versuch, in fremde Märkte einzudringen, von denen man weiß, dass die Akzeptanz für drucklose Speicher einfach fehlt. Auf dem chinesischen Markt spielen Heat-Pipe-Thermosiphons oder Heat-Pipe-Kollektoren nur eine unwesentliche Rolle. In der Erfahrung waren sie bisher zu feinmechanisch, zu aufwändig, zu störanfällig und wegen des zusätzlichen Wärmeübergangs auf hohem Temperaturniveau auch zu wärmeertragsarm, so dass sie früher oder später fast alle wieder vom Markt genommen wurden.

Tank-in-Tank- Druckspeicher

Auch dieses System ist eine Konzession an Märkte, auf denen ein Druckspeicher ein Muss ist. Sie kosten in der Herstellung mehr als das Anderthalbfache üblicher chinesischer Thermosiphonspeicher, was jedoch für den Export ein weniger relevantes Hindernis darstellt. Poetisch klingen Namen wie „Sonnenscheinbläschen“ oder „fliegender Wasserfall“, welche für verschiedene Thermosiphonspeicher stehen. Doch sowohl Namen und Zahlen als auch Gesten und der Wohlklang der Worte sind in China sehr wichtig für das Gelingen, für das Identifizieren der Mitarbeiter mit einer Sache, mit einem Produkt.



16



17



18

Thermosiphonkollektoren

In größeren Anlagen, die über die Versorgung eines Haushaltes hinauszielen, trifft man in China im Wesentlichen vier Kollektortypen. Thermosiphonkollektoren mit Dewar-Vakuurröhren, Druckkollektoren mit Dewar-Vakuurröhren, Heat-Pipe-Kollektoren mit Dewar-Vakuurröhren und Flachkollektoren. Die letzten zwei der genannten Kollektoren findet man selten. Druckkollektoren, wie sie in Deutschland mit Dewar-Vakuurröhren, CPC-Spiegel, Wärmeleitblechen und in die Röhren ragenden Wärmesammelregistern gebaut werden, sind zwar langsam im Kommen, aber auch relativ teuer. Vorherrschend sind Niederdruck-Thermosiphonkollektoren. Bei diesen münden die Dewar-Vakuurröhren mit ihrem offenen Ende von unten in ein Sammelrohr, welches thermisch isoliert ist. „Von unten“ kann hier auch fast horizontal mit bis unter 5° Neigung heißen. Das Sammelrohr ist Teil des Solarkreises, so dass das erwärmte Wasser entweder per Schwerkraft nach oben zum Speicher fließen oder weggepumpt werden kann. Größere Anlagen mit mehr als einem Kollektor arbeiten immer mit Pumpen. Der Druckverlust dieser Kollektoren ist extrem niedrig, so dass man Kollektorflächen von 100 m² und mehr an einem Strang in Reihe schalten kann. Die verwendeten Pumpen sind stets viel zu groß, weil sie außer beim Befüllen kaum Arbeit verrichten müssen. Es gibt praktisch keine Entlüftungsprobleme, das Befüllen kommt eher einem Fluten gleich. Wenn die Kollektoranlage ausläuft, z. B. bei Wasserausfall, wird sie anschließend von der Solarpumpe oder vom Leitungsnetzwasserdruck wieder mühelos befüllt und entlüftet selbständig. Die hydraulische Planung ist dadurch sehr einfach. Die Anlagen sind „nachsichtiger“ gegenüber kleinen Planungsfehlern als unsere europäischen.

Bild 16 • Thermosiphonkollektoren „Feuervogel“, Röhren zu beiden Seiten des Sammlers

Bild 17 • Zwei Ortstanks auf einem Hochhaus in Jinan

Bild 18 • Offener Warmwasserspeicher mit offener Solaranlage

Warmwasser heißt nicht Trinkwasser!

Neben Deutschland leisten sich nur wenige Länder den Luxus, dass für jedes Leitungswasser ein höherer Qualitätsanspruch verordnet wird als an das Mineralwasser in Supermärkten. Dieses „Reinstwasser“ muss dann zwangsläufig u. a. auch zum Waschen, Toilette spülen, zum Putzen, Duschen, Baden, Bewässern usw. vergeudet werden. Selbst die Industrie und die Landwirtschaft sind oft auf solches „normales“

Leitungswasser angewiesen. In China wie in den meisten anderen Ländern der Welt wird Leitungswasser nicht oder nur abgekocht getrunken. Das schafft einen viel größeren technischen Spielraum für Speicherkonzepte. Kalt- und Warmwasserspeicher werden vorzugsweise offen ausgeführt. Das spart teure Drucktanks und vereinfacht sowohl die Erstinstallation als auch irgendwann notwendige Reparaturen. Außerdem ist das Spektrum der verfügbaren Materialien viel größer, weil auch Beton, Kunststoffe, nicht oder nur wenig veredelter Stahl sowie diverse Schutzanstriche oder –beschichtungen in Frage kommen, während Trinkwasser-Drucktanks praktisch ausschließlich aus Edelstählen oder innen emaillierten Oberflächen bestehen. Solche Speicher werden oft auch als Ortstanks konzipiert, d. h., sie werden erst auf der Baustelle individuell angefertigt und thermisch isoliert.

Offene Speicher

Für offene Speicher gelten andere Regeln als für geschlossene Drucktanks. Sie können nicht einfach durch den Überdruck auf der Kaltwasserleitung entleert werden. Vielmehr müssen sie vor diesem Überdruck sogar geschützt werden, damit sie nicht überlaufen oder mechanisch Schaden nehmen. Sie werden oberhalb aller Zapfstellen, meistens auf oder unter dem Dach installiert, und können nur über den statischen Druck, der sich aus der Höhe über der Zapfstelle ergibt, entleert werden. Das Befüllen geschieht ähnlich wie bei den Thermosiphonspeichern durch Schwimmerventile zwischen der Kaltwasserdruckleitung und dem offenen Speicher oder durch Nachfüllpumpen oder –ventile, welche auf Füllstandssensoren ansprechen. Damit drucklose, offene Speicher auch bei Wasserausfall geleert werden können, womit stets, wenn auch nur vorübergehend gerechnet werden muss, befindet sich ihr Warmwasseranschluss unten. Das erscheint zunächst sehr ungewöhnlich, zumal ein Wärmespeicher meistens eine Temperaturschichtung mit von oben nach unten sinkender Temperatur aufweist. Es gibt in China zwei Lösungen für dieses Dilemma. Einige drucklose, offene Speicher besitzen schwimmende Anschlüsse. Das sind an ihrem Ende mit Schwimmkörpern versehene flexible Kunststoffschläuche, durch welche stets die oberste, wärmste Wasserschicht den Speicher verlässt. Konsequenterweise ist der Solarvorlauf dann auch als schwim-

mender Anschluss ausgeführt, wodurch diese Speicher eine gute Temperaturschichtfähigkeit aufweisen. Die zweite „Lösung“ ist eigentlich gar keine, sondern eher die pragmatische Regel. Es wird bewusst jede Temperaturschichtung unterdrückt. Dazu wird der Kaltwasserzulauf oben angeordnet und der Solarvorlauf unten. Damit befindet sich nach europäischem Verständnis so ziemlich jeder Anschluss an der falschen Stelle, aber die Anlagen können trotzdem ganz gut funktionieren. Am besten funktionieren sie, wenn das Nutzerprofil bekannt ist und der Speicher ohne großen Verbrauch Zeit hat, einen Mindestladezustand zu erreichen, wenn auf eine konventionelle Nachheizung verzichtet wird oder wenn solche offenen Speicher ohne jede Temperaturschichtung nur zur Vorerwärmung dienen. Doch selbst dann, wenn eine konventionelle Heizung für eine Mindesttemperatur im Speicher sorgt, können Thermosiphonkollektoren den Speicher ohne nennenswerte Wirkungsgradeinbußen auf einem dann eben höherem Temperaturniveau bis max. 90 °C überladen. Einen wichtigen Vorteil haben offene Speicher auch noch: Frieren sie bei Stromausfall oder wegen anderer Defekte doch einmal ein, dann nehmen sie dabei im Allgemeinen keinen bleibenden Schaden. Oft findet man zur Speichervergrößerung mehrere offene Speicher nebeneinander vor. Diese sind dann in zwei Höhen miteinander hydraulisch verbunden und tauschen ihre Wärme miteinander durch Schwerkraftzirkulation aus.

((wird fortgesetzt))

Literatur

/1/ Li Jungfeng, Hu Runqing (2005), Overview and Perspectives of Chinese Solar Thermal Market, Tagungsband estec 2005, S. 22

Zum Autor

Dr. rer. nat. Rolf Meißner ist Physiker und seit 1990 als Produktmanager und Entwickler bei PARADIGMA beschäftigt. Seit zwei Jahren berät er zeitweise die technische Entwicklung des deutsch-chinesischen Joint-Venture-Unternehmens in Jinan.

Schützen Sie jetzt Ihre Heizung mit GENO®-safe A für Heizungsanlagen bis 100 kW



Service-Set 2 bestehend aus 3 Kartuschen GENO®-safe A mit Pistole sowie Prüfeinrichtung für pH-Wert und Anschlussarmatur im Kunststoffkoffer

Service-Set 2 mit GENO®-safe A

- einfach praktisch
- unkomplizierte pH-Wert-Kontrolle durch Prüfeinrichtung
- leichte Handhabung mit Kartuschenpistole
- eine Kartusche reicht für 60 Liter Heizungswasser bei Neubefüllung



WICHTIG: VDI-RICHTLINIE 2035

Die VDI-Richtlinie 2035 fordert gem. Blatt 2 „Vermeidung von Schäden...“ bereits den Schutz von Anlagen kleiner 100 kW, also auch bei Heizungsanlagen in Einfamilienhäusern!

grünbeck
WASSERAUFBEREITUNG

Grünbeck Wasseraufbereitung GmbH
Industriestraße 1 · 89420 Höchstädt/Do.
Telefon 09074 41-0 · Fax 09074 41-100
www.gruenbeck.de · info@gruenbeck.de

Sonnenscheinbläschen, Feuervögel und fliegende Wasserfälle

Alternative Solartechnik in China (Teil 2)

DR. RER. NAT. ROLF MEISSNER

China baut völlig andere Solaranlagen als Europa und ist, wenn man das Wachstum betrachtet, erfolgreicher damit. Während das Wohl des Solarmarktes in Europa stark von ideologischen und ästhetischen Diskussionen, von Subventionen, Prestigeüberlegungen, dem Wohlwollen des Gesetzgebers und einem unaufhaltsam dichter werdenden Raster von Normen, Verordnungen und Zertifizierungszwängen abhängt, zählt in China vorrangig die Ökonomie. Mit geringst möglichem Aufwand wird die verfügbare Solarwärme genutzt. Kapital ist knapp, Zuschüsse vergibt niemand, die Arbeit, auch qualifizierte, ist billig und die Energiepreise steigen inflationär. Diese Randbedingungen führen zu äußerst pragmatischen Solarlösungen und sichern kurze Amortisationszeiten für diese Anlagen.

Offene, drucklose Solaranlagen Wann immer es möglich ist, verzichten chinesische Planer auf Wärmetauscher, speziell auch zwischen dem Solarspeicher und der Solaranlage. Physiologische Bedenken spielen dabei keine Rolle, weil das Wasser ungekocht nicht trinkbar sein muss. Wegen des Frostschutzes ist in der Regel auch keine hydraulische Trennung erforderlich, weil gar kein Frostschutzmittel eingesetzt wird. Nur wenn Betriebsrisiken aufgrund der Wasserbeschaffenheit bestehen (z. B. Verkalkung, Lochfraß durch Chloridionen, Verschmutzung usw.), kommt ein Solarwärmetauscher überhaupt in Frage. Doch bei Thermosiphonkollektoren wird auch bei sehr kalkhaltigem Wasser in der Regel auf einen Wärmetauscher verzichtet, weil der Wärmetauscher viel schneller bzw. öfter verkalken würde als die Kollektoren.

Wenn Kollektoren direkt an offene, drucklose Speicher angeschlossen werden, müssen sie selbst drucklos arbeiten. Der Siedepunkt des Wassers sinkt dadurch auf 100 °C, wenn sich die Kollektorfläche oberhalb des offenen Speichers

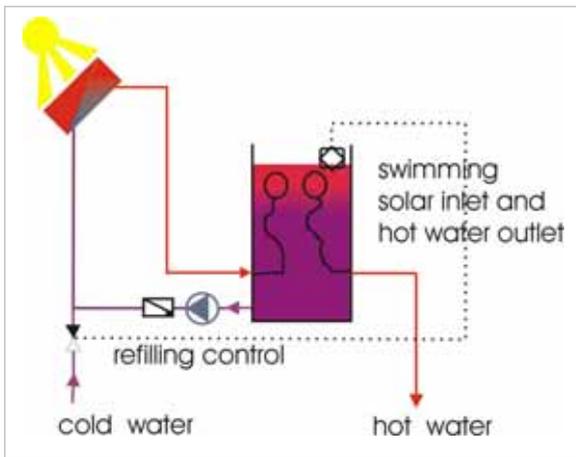
befindet, sogar darunter. Thermosiphonanlagen sind konstruktionsbedingt nur für geringe Überdrücke tauglich und dafür prädestiniert, auch ohne Überdruck zuverlässig zu arbeiten. Größere Druckunterschiede innerhalb des Kollektorfeldes werden durch die extrem niedrigen Reibungsdruckverluste verhindert. Offene Solaranlagen an offenen Speichern werden in der Regel nicht zusammen mit dem Speicher entleert. Deshalb befindet sich der Solarvorlauf auch unterhalb des Tiefstpegels, auf den der Speicher entleert werden kann.

Befüllende Solarpumpen

Trotzdem müssen offene Solaranlagen an offenen Speichern leicht nachfüllbar sein, falls sie doch einmal leer laufen, durch Unterdruck Luft ziehen oder beim Sieden zu viel Wasser verlieren. Die Solarpumpen von offenen Solaranlagen an offenen Speichern sind hinsichtlich ihres Maximaldruckes so ausgelegt, dass sie die leere Solaranlage stets vollständig

▼ Offene Solaranlage mit offener Speicherkaskade





kommt. Dann arbeiten chinesische Großanlagen mit aktivem Frostschutz, was heißt, dass sie mit gespeicherter Solar- oder konventionell erzeugter Wärme am Einfrieren gehindert werden. Dies geschieht auf einfachste Weise, z. B. manuell durch den Benutzer selbst oder durch einen Hausmeister. Üblich sind aber auch einfache elektronische Regelungen, welche die Anlagentemperaturen überwachen und bei Bedarf die Solarpumpe und ggf. sogar eine konventionelle Nachheizung einschalten. Meistens erfolgt der aktive Frostschutz in China unausgewogen. Wird er erst einmal aktiviert, dann kommt es auf die Energieverluste kaum noch an. Es gilt für diese wenigen Tage im Jahr nur noch, das Einfrieren um jeden Preis zu verhindern. Die geringen Wärmeverluste von Dewar-Vakuumböden begrenzen den

Energiebedarf für aktiven Frostschutz jedoch auf natürliche Weise. Die Entwicklungs- und Vertriebsfirma für Solartechnik PARADIGMA aus Karlsbad, welche bereits seit 1996 CPC-Kollektoren mit Dewar-Vakuumböden auf dem deutschen Markt anbietet, verbesserte das aktive Frostschutzkonzept in jahrelanger Forschungsarbeit wesentlich. Mit elektronischen Mitteln und hydraulischen Tricks wurde erreicht, dass sogar Kleinanlagen mit nur 3 m² Kollektorfläche und mit bis 15 m doppelter Solarleitung bei deutschem Durchschnittswetter, wie es in Würzburg herrscht, für den aktiven Frostschutz weniger konventionelle Energie benötigen als passiver Frostschutz durch den Einsatz von Frostschutzmitteln z. B. durch höhere Rohrleitungsverluste und höhere Kollektorobertemperaturen erfordern würde.

fluten können. Die großen Dimensionen von Thermosiphonkollektoren haben den Vorteil, selbständig entlüftend beliebig oft wieder befüllt werden zu können. Kleine Luftblasen in der Anlage spielen dabei überhaupt keine Rolle und verschwinden allmählich. Witzig sind auch chinesische Hydraulikschaltungen, bei denen nicht die Solarpumpe, sondern der Kaltwasserdruck die Solaranlage jederzeit neu befüllen kann, z. B., wenn zuvor nach einem Wasserausfall der offene Speicher und die Solaranlage leer gelaufen waren.

▲ Kaltwassernachlauf über die Solaranlage

▼ Treiberpumpe

Aktiver Frostschutz

Wie bereits die Thermosiphonspeicher, die mit über 80 % den weitaus größten Anteil des chinesischen Solarmarktes ausmachen, werden auch größere Solaranlagen wie für Appartementshäuser, Hotels, Sportstätten oder Schwimmbäder so gut wie immer nur mit Wasser gefüllt. Das gilt sowieso für Thermosiphonkollektoren, bei denen wegen des großen Inhaltes jede andere Betriebsweise sehr unvorteilhaft wäre. Aber auch Druckkollektoren oder Heat-Pipe-Kollektoren werden überwiegend nur mit Wasser gefüllt. Genauso wie Thermosiphonspeicher frieren auch Thermosiphonkollektoren schwer ein. Wenn sich die Kollektoren unterhalb des Speichers befinden und offen mit dem Speicher verbunden sind, wie es Standard ist in China, muss erst der ganze Speicher durchfrieren, bevor die Solaranlage in Vereisungsgefahr gerät. Dem offenen Speicher schadet die Eisbildung nicht und der tiefliegende Solarvorlauf sorgt für eine lang anhaltende umgekehrte Zirkulation, die sich bei Temperaturen unterhalb von 4 °C automatisch einstellt. Doch dieser konstruktionsbedingte natürliche Frostschutz reicht in den langen kalten chinesischen Wintern nicht aus, wenn zur Kälte auch noch strahlungsarmes Wetter hinzu-



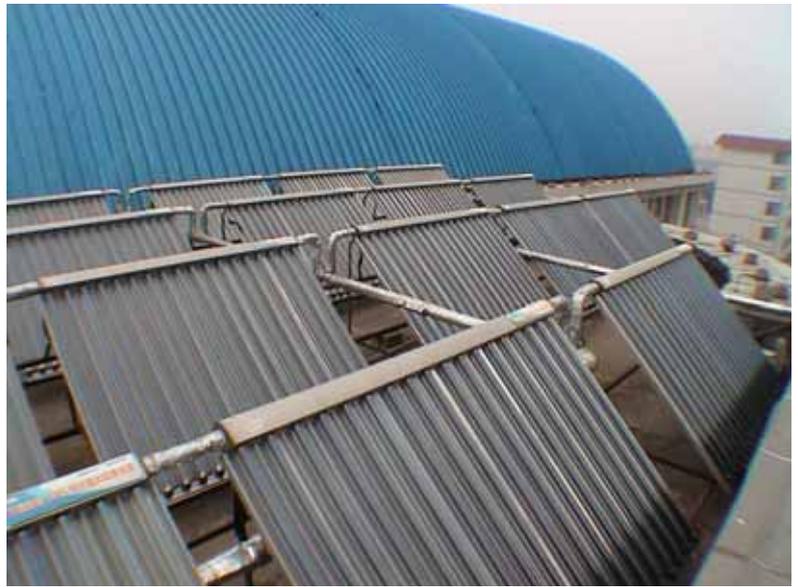
► Speicher auf Hochhaus



Zirkulations- und Treiberpumpen
 Wenn offene drucklose Speicher nicht hoch genug über den Zapfstellen, auf gleicher Höhe oder sogar darunter stehen, verwendet man in China Zirkulationspumpen. Diese funktionieren auf den ersten Blick wie übliche Warmwasserzirkulationen mit einem gepumpten Bypass zurück zum Speicher. Während sich aber bei in Europa bekannten Warmwasserzirkulationen eine sehr kleine Pumpe in der Zirkulationsleitung befindet und nur gerade so viel Warmwasser fördert, dass das Leitungsnetz nicht abkühlt, findet man in China auch Pumpen mit sehr hoher Förderleistung. Diese befinden sich in der Warmwasserhauptleitung unmittelbar am Speicher und verstärken in erster Linie wie eine Treiberpumpe in einer Nahversorgungsleitung den Druck im Leitungsnetz. Nebenher temperieren sie noch das Leitungsnetz durch einen kleinen Bypass vom Ende des Warmwassernetzes zurück zum Speicher. Für diese Art der Druckerhöhung wird ziemlich viel Elektroenergie benötigt. Sie findet auch nur auf Anforderung und zu bestimmten Spitzenlastzeiten statt. In chinesischen Hochhäusern bzw. in Solaranlagen, bei denen aufgrund des Lastprofils oder einer ausreichenden statischen Höhe des Speichers über den Zapfstellen keine Treiberpumpe gebraucht wird, findet man auch ganz vertraute Warmwasser-Zirkulationssysteme mit entsprechend schwachen Pumpen in der Zirkulationsrückleitung.

Statischer Druckausgleich

Der statische Druck unter einem offenen Speicher wächst mit jedem Meter abwärts um etwa 1/10 bar. Der Kaltwasserdruck aus der Druckleitung nimmt dagegen mit der Höhe immer weiter ab. Je



▲ Schwimmbad-Solaranlage mit CPC-Druckkollektoren

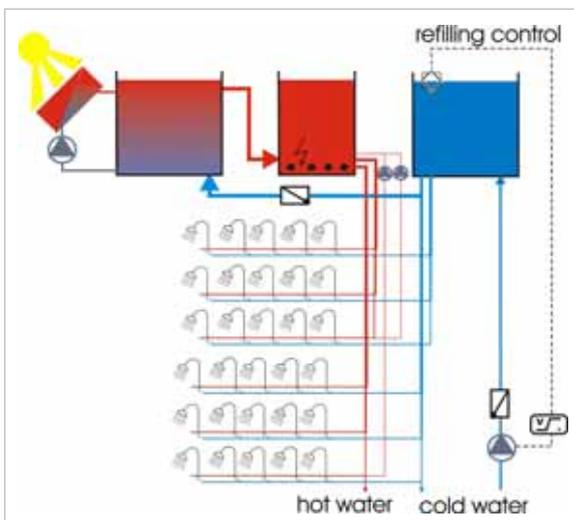
der Verbrauch erzeugt zusätzlich dynamische Druckschwankungen. Ohne mitunter mehrfache Druckverstärkung können Hochhäuser ab einer gewissen Höhe nicht mehr komfortabel versorgt werden. In großen Gebäuden wie Hotels mit mehr als 30 Metern Höhe ist es dann kaum noch möglich, mit Mischarmaturen einigermaßen konstante Temperaturen zu erzielen, weil in jedem Stockwerk ein anderes und dazu noch schwankendes Druckverhältnis zwischen der Warm- und der Kaltwasserversorgung herrscht. Deshalb ist folgende Anordnung verbreitet: Auf dem Dach von Hochhäusern steht ein Kaltwassertank. Dieser versorgt das Hochhaus von oben und wird bei Verbrauch über Füllstandssensoren automatisch mit Druckpumpen von unten nachgefüllt. Aus demselben Tank wird auch der Warmwassertank nachgefüllt, der von der Solaranlage erwärmt wird. In einem dritten Warmwassertank befindet sich eine konventionelle (meistens elektrische) Nachheizung, welche nur gebraucht wird, wenn die Vorwärmung durch die Solaranlage nicht ausgereicht hat. Sowohl die Warmwasser- als auch die Kaltwasserversorgung erfolgt also von oben. Die Versorgungsleitungen umfassen jeweils etwa 8 Stockwerke und verzweigen den Querschnitt alle zwei Stockwerke. Die nächsten 8 Stockwerke haben ihre eigenen Versorgungsleitungen usw. Vom untersten Stockwerk eines solchen Blockes führt von der Warmwasserleitung eine Zirkulationsleitung mit einer Zirkulationspumpe nach oben zum Speicher zurück.

Flachkollektoren ohne Chance?

Nun stellt sich abschließend die Frage, warum in China Flachkollektoren kaum eine Chance haben. Es soll hier versucht werden, dies zu beantworten:

- In einem Dewar-Röhrenkollektor steckt ein Minimum an einfachen, leicht verfügbaren Materialien: Glas, Aluminium, Kupfer, manchmal Edelstahl, Dämmstoff für das Sammlerrohr, Stahl für die Aufstellung und Befestigung. Das führt automatisch zu minimalen Materialgrenzkosten, zu einer niedrigen Gestehtungsenergie und zu einem niedrigen Transportgewicht.
- Die Röhrenherstellung einschließlich der des Absorbers und der Getters ist zwar Hochtechnologie, sie wird aber in China bei einem Ausstoß von mittlerweile ca. 120 Mio Röhren im Jahr preiswert und fast ohne Ausschuss routinemäßig beherrscht.
- Alle Materialien sind auch ideal wieder trennbar. Das ist nicht nur theoretisch wichtig, z. B. für irgendein Zertifikat, sondern in China essentiell, weil hier so ziemlich alles kostbar ist und nach seiner Verwendung sofort wieder recycelt wird.
- Ein Hochvakuum ist eine unübertreffliche Wärmedämmung, sie macht ca. 90 % der verlustrelevanten Fläche eines Röhrenkollektors aus. Diese Superdämmung kann auch nicht durch Kondens- oder Regenwasser nass oder Opfer von Tierfraß werden, verrotten oder durch Überhitzung und UV-Strahlung in sich zusammenfallen.
- Diese geringen Wärmeverluste sind auch eine Grundvoraussetzung für aktiven Frostschutz. Nur wenn die gesamte, alle anderen Flächen dominierende Kollektorfläche nur geringfügig gegen

▼ Offene Speicheranlage mit statischem Druckausgleich



das Einfrieren geschützt werden muss, hat das Verfahren überhaupt einen Sinn.

- Die geringen Verluste ermöglichen hohe Betriebstemperaturen von weit über 100 °C, auch wenn Frost herrscht und starker Wind weht. Dies trägt den Witterungsverhältnissen in großen Teilen Chinas ausgezeichnet Rechnung.
- Alle genannten Materialien sind bekanntermaßen alterungs- und wetterbeständig. Der Dewar-Vakuurmöhrnkollektor kann deshalb seine physikalischen Parameter über viele Jahre halten.
- Die selektive Absorberschicht ist mit wenigen Nanometern äußerst dünn und damit äußerst sparsam im Material- und Energieeinsatz. Sie erreicht Absorptionsgrade von 96 % im relevanten Strahlungseinfallspektrum. Durch die äußere Röhre gehen nur knapp 9 % durch Reflexion und Absorption verloren. Die Strahlungsverluste der inneren Röhre wiederum sind minimal aufgrund von Emissionsgraden von nur knapp über 4 % im Temperaturspektrum der Röhre.
- In den Thermosiphonspeichern und -kollektoren erfolgt der Wärmeübergang vom Absorber auf den Wärmeträger großflächig und bis auf eine dünne, zu durchdringende Glaswand fast direkt. Das sichert einen hohen thermischen Wirkungsgrad. Die relativ große thermische Kapazität der mit Wasser gefüllten Röhren ist allerdings ein geringer Nachteil, vor allem bei strahlungsarmem und wechselhaftem Wetter, der bis zu 15 % Ertrag gegenüber kapazitätsarmen Druckkollektoren mit Dewar-Vakuurmöhrnen, Wärmeleitblechen und Wärmesammelregistern aus Kupfer kosten kann. Diese Druckkollektoren sind allerdings weit mehr als nur 15 % teurer als Thermosiphonkollektoren und deshalb in China unterrepräsentiert.
- In Deutschland hingegen konnte Paradigma mit CPC-Dewar-Vakuurmöhrnen-Druckkollektoren in wenigen Jahren ca. 50 % des gesamten deutschen Röhrenmarktes erobern. Dieser erscheint jedoch insgesamt genauso marginal wie in China der Flachkollektorenmarkt. Die Ursachen dafür sind die bisher hohen Verkaufspreise, Benachteiligungen bei der öffentlichen Förderung sowie Qualitätsmängel und Imageverluste durch jahrelange und anhaltend schlechte Erfahrungen mit diversen anderen Röhrentypen.



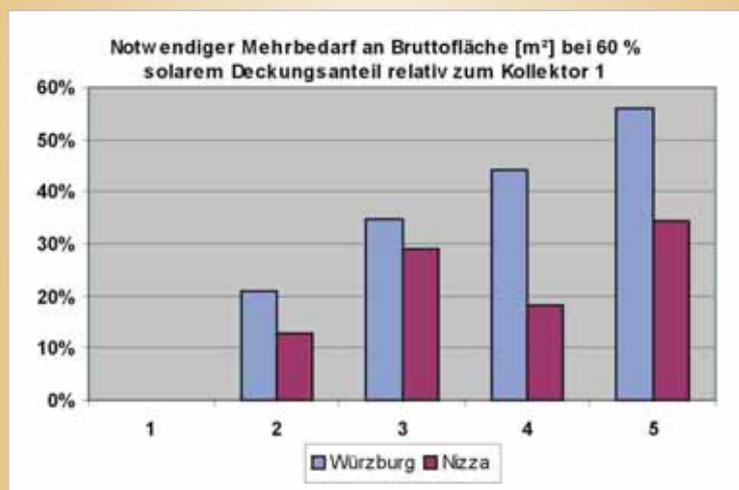
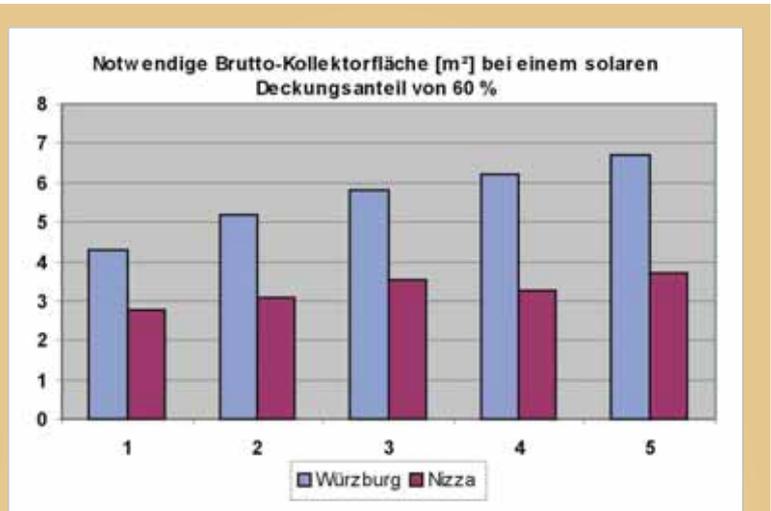
▲ Saisonale Wärmespeicherung, teilweise für Prozesswärme in Cheju-Insel, Korea

- Der größte praktische Vorteil der Thermosiphonkollektoren neben dem günstigen Preis wurde bereits genannt: Ihr extrem niedriger Druckverlust ermöglicht die Reihenschaltung vieler Kollektorfelder. Wenn 100 m² Kollektorfläche oder mehr seriell in einen einzigen Strang münden können, reduziert sich

der Verrohrungsaufwand gegenüber herkömmlichen Druckkollektoren enorm, weil eben nicht wegen der Kollektordruckverluste nach maximal ca. 15...20 m² Kollektorfläche auf eine Parallelverzweigung übergegangen werden muss.

- Ein grundsätzlicher Vorteil der Dewar-Vakuummöhrnkollektoren gegenüber Flachkollektoren zeigt sich in allen Solaranlagen, bei denen Kollektoren in Reihe geschaltet sind und im so genannten Low-flow-Prinzip mit Temperaturspreizungen von 15 bis 30 Kelvin arbeiten, also in allen größeren Kollektorfeldern. Dann arbeitet nämlich jeder einzelne Kollektor, genauer sogar jeder einzelne Bereich eines jeden Kollektors und bei Dewar-Vakuurmöhrnen-Thermosiphonkollektoren sogar jede einzelne Röhre, bei einer anderen Temperatur. Am Anfang der Reihenschaltung

► Vergleich Kollektorbautypen mit Dewar-Vakuurmöhrnen 1500 mm x Ø 47 mm



- 1 Deutscher Druckkollektor mit 21 Röhren und CPC-Spiegel
- 2 Thermosiphonkollektor mit 18 Röhren und CPC-Spiegel
- 3 Chinesischer Druckkollektor mit 30 Röhren ohne CPC-Spiegel
- 4 Europäischer Flachkollektor mit hohem Leistungs- und Qualitätsstandard
- 5 Thermosiphonkollektor mit 30 Röhren ohne CPC-Spiegel

herrscht die Kollektoreintrittstemperatur, bis zum Ende wächst die Temperatur bis zur Kollektoraustrittstemperatur an. Bei Flachkollektoren bzw. bei Kollektoren mit großen eigenen Wärmeverlusten wächst die Temperatur zum Ende der Kollektorreihe hin immer weniger an, weil mit wachsender Kollektortemperatur auch die Verluste deutlich wachsen. Bei Dewar-Vakuumkollektoren wachsen die Wärmeverluste mit der Temperatur dagegen kaum, so dass die Temperatur über die ganze Reihenschaltung stetig wächst. Das bedeutet nichts anderes, als dass die gesamte Kollektorfläche nahezu gleichmäßig mit voller Effizienz genutzt wird, während bei Flachkollektoren die Effizienz vom Anfang bis zum Ende der Reihenschaltung ständig abnimmt.

- In China hat man sich bisher kaum auf Glykologemische als passiven Frostschutz eingelassen. Dazu hat die hier herrschende Infrastruktur sowie die Wirtschaftlichkeit von Wasser und Wassersystemen bei der Beschaffung, im Handling, im Reparaturfall und bei der Entsorgung von selbst geführt. Erfahrungen mit Frostschutzmitteln im Kollektorstillstand oder bei Minustemperaturen wurden deshalb hier gar nicht groß gemacht. Die günstigeren Materialeigenschaften von Wasser (z. B. bei 40 °C) gegenüber dem üblichen Frostschutzmittel Propylenglycol bei der Wärmekapazität (+ 14 %), der Viskosität (-73 %), der Wärmeleitfähigkeit (+ 47 %), der Reynoldszahl (+ 260 %) der Prandtl-Zahl (- 80 %), dem Wärmeübertragungskoeffizienten k_A (+ 12 %), den Druckverlusten (ca. 40 %), der elektrischen Hilfsenergie für Pumpen, der notwendigen Rohrdimensionierung und Isolierung und der chemischen Stabilität weiß man deshalb in China vielleicht gar nicht richtig zu schätzen.



◀ Zehn Thermosiphonkollektoren in Reihe

Abschließend ein kurzer Vergleich verschiedener Kollektorbautypen auf der Grundlage von Dewar-Vakuumröhren: Es wurde mit dem Programm T*SOL für die Standorte Würzburg und Nizza die notwendige Kollektor-Bruttofläche, welche für den Bauherrn neben dem Preis die einzig relevante Größe darstellt, ermittelt, die notwendig ist, um einen solaren Deckungsanteil von 60 % zu erzielen. Das zweite Diagramm zeigt prozentual den notwendigen Flächen-Mehraufwand gegenüber dem in dieser Vergleichsreihe leistungsstärksten deutschen Kollektor. Es zeigen sich Leistungsunterschiede von immerhin bis zu 50 Prozent. Auf einen Vergleich der Herstellungskosten soll hier verzichtet werden.

Ausblick

Die große Verschiedenartigkeit der technischen Konzepte konnte den Austausch zwischen dem chinesischen Markt und den übrigen Märkten bisher noch bremsen, so dass chinesische Hersteller außer Dewar-Vakuumröhren kaum Solartechnik exportieren und europäische Solartechnik in China noch kaum Fuß gefasst hat. Es ist kurzfristig unwahrscheinlich, dass die einfachen chinesischen Thermosiphonlösungen im EU-Kerneuropa zum Einsatz kommen. Fraglich wäre schon, ob sie nicht bereits im Genehmigungs-Hindernislauf stecken bleiben würden.

Doch für Solarlösungen am südlichen Rand von Europa sowie für die meisten Plätze der gesamten restlichen Welt zwischen den 45. Breitengraden haben die chinesischen Solarkonzepte nach Einschätzung des Autors die besseren Entwicklungschancen als die europäischen, vor allem außerhalb von Subventionsgebieten. Es ist deshalb eine lohnenswerte Aufgabe, neue Synthesen und Synergien herzustellen mit dem Ziel, europäisches Know-how und chinesischen Pragmatismus zum Vorteil der gesamten Solartechnologie in Einklang zu bringen und sich die Vorteile beider Konzepte auf den Weltmärkten zunutze zu machen.

Literatur

/1/ Li Jungfeng, Hu Runqing (2005), Overview and Perspectives of Chinese Solar Thermal Market, Tagungsband estec 2005, S. 22

Zum Autor

Dr. rer. nat. Rolf Meißner ist Physiker und seit 1990 als Produktmanager und Entwickler bei PARADIGMA beschäftigt. Seit zwei Jahren berät er zeitweise die technische Entwicklung des deutsch-chinesischen Joint-Venture-Unternehmens in Jinan.