

*Dr. Sonne**

Obwohl in den vergangenen Jahren Vakuumkollektoren als High-Tech-Komponenten mit deutlich höheren Preisen als Flachkollektoren angeboten wurden, konnten sie sich einen zweistelligen Marktanteil sichern. Wie Markt und Preissituation heute aussehen, welche Produktkonzepte es gibt und worauf beim Praxiseinsatz von Vakuumröhrenkollektoren zu achten ist, erläutert der folgende Beitrag.



Tendenzen, Entwicklungen und Montageanforderungen

Die Vakuumröhre wird attraktiver

Handwerker, die einmal der Faszination der hohen Temperaturen auch bei niedrigen Einstrahlungen erlegen sind, boten in der Vergangenheit nur noch Röhrenkollektoren an. Ein Mehrpreis pro m² effektive Absorberfläche in Höhe des zwei- bis vierfachen im Vergleich zu Flachkollektoren waren keine Seltenheit. In einer Marktstudie der RWE Energie AG in deren Versorgungsgebiet in den Jahren 1996 bis 1998 erzielten Vakuumröhren einen Marktanteil von 11,6 % und Niederdruckflachkollektoren von 0,6 %.

Vorteile der Vakuumröhren

Zur Verringerung der Verluste durch Konvektion und Wärmeleitung werden Vakuumröhren ähnlich wie Thermoskannen evakuiert. Je nach Qualität des Vakuums findet in ihm nahezu keine Konvektion bzw.

Wärmeleitung statt. Aufgrund der Wärmeleitung durch das Vakuum erreichen Kollektorfelder mit Vakuumröhren abhängig vom Temperaturniveau des Anlagenbetriebes höhere Energieerträge als gleich große Flachkollektorfelder. Die generellen Vorteile der Vakuumröhren im Vergleich zu den Flachkollektoren sind zum einen die höheren, erreichbaren Betriebstemperaturen, was für die Erzeugung von Prozeßwärme von Nutzen sein kann. Im Rahmen der Anwendung zur Raumheizung (sunterstützung) führt diese Eigenschaft zu einem höher nutzbaren Temperaturniveau an Tagen mit geringer Einstrahlung oder niedriger Außentemperatur. Außerdem bieten Vakuumröhren einen höheren Energieertrag bei gleicher effektiver Absorberfläche, was bei kleinen Dachflächen Vorteile bietet. Zusätzlich besitzen direktdurchströmte Vakuumröhren den Vorteil, daß sie sich sogar flach auf Dächern montieren lassen, wodurch die Kosten für Unterkonstruktionen z. B. auf Flachdächern minimiert werden. Zudem sind sie gerade bei der Montage auf Flachdächern optisch unauffällig (dies gilt auch für die Kollektoren nach dem Sydney-Prinzip).

Zur überschlägigen Bestimmung der Größenverhältnisse von Vakuumröhren und Flachkollektoren wurden in einer Reihe von

T*SOL Simulationen die folgenden Anhaltswerte ermittelt :

- bei 25 % Deckung : 7,3 m² Vakuumröhre entsprechen 10 m² Flachkollektor
 - bei 50 % Deckung : 6,6 m² Vakuumröhre entsprechen 10 m² Flachkollektor
- Bei Änderung des Standortes und der Anlagenkonfiguration kann es deutliche Abweichungen von diesen Werten geben, wobei die Grundaussage jedoch erhalten bleibt.

Konzepte der Vakuumkollektoren

Nachfolgend werden aktuelle sowie neue bzw. geplante Konzepte der Vakuumkollektoren vorgestellt.

☀ Vakuumröhre „Sydney“/CPC

Um mögliche Vakuumverluste durch die Metall/Glasverbindung anderer Röhrenkollektorkonstruktionen zu vermeiden, wurde die „Sydney“-Röhre als reine Glasröhre ent-

* Solarexperte Dipl.-Ing. Karl-Heinz Remmers, alias Dr. Sonne, ist Geschäftsführer der Solarpraxis Supernova AG, 10115 Berlin, Telefon (0 30) 28 38 75 11, Telefax (0 30) 28 38 75 40, Internet: www.solarpraxis.de

wickelt. Im Gegensatz zu anderen Vakuumröhren befindet sich bei der „Sydney“-Röhre der Absorber direkt auf dem inneren Glasrohr (Bild 1). Durch den runden Absorber wird zur Nutzung der von der Sonne abgewandten Absorberfläche ein Reflektor notwendig, um auch die „Rückseite“ zu nutzen. Die erforderlichen Reflektoren werden häufig als Konzentratoren eingesetzt und die gesamte Kollektoreinheit als sogenannter CPC-Kollektor vertrieben. Die Wirkung der Reflektoren außerhalb einer Abdeckung kann im Laufe der Zeit durch die Witterungseinflüsse nachlassen, weshalb die Reflektoren bei den ohnehin erforderlichen Wartungsarbeiten überprüft oder gereinigt werden sollten. Die Röhren dieser Bauformen werden meist aus Belgien, Japan oder China importiert.

☀ **Konzept von Schott**

Die Firma Schott Rohrglas entwickelt derzeit einen neuen Röhrenkollektortyp, bei dem der CPC-Reflektor auf die Innenseite des äußeren Glasrohres aufgedampft ist. Eine Reduzierung der Reflexion dieses Spiegels im Laufe der Lebensdauer ist ausgeschlossen. Zusätzlich wird die Strömung mittels ei-

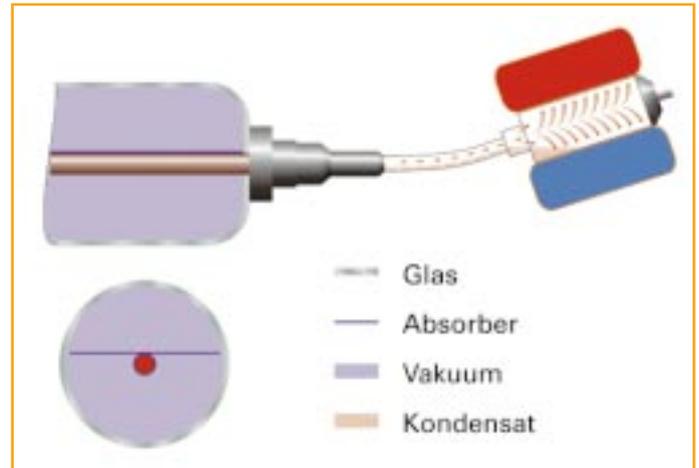


Bild 3 Prinzipbild der Heat-Pipe-Röhre

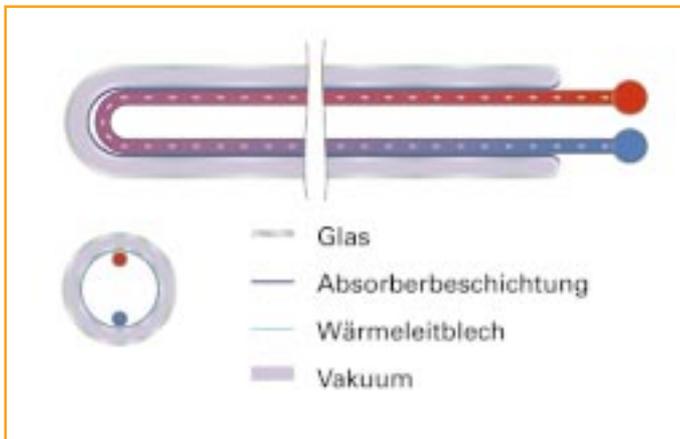


Bild 1 Röhren nach dem Sydney-Prinzip

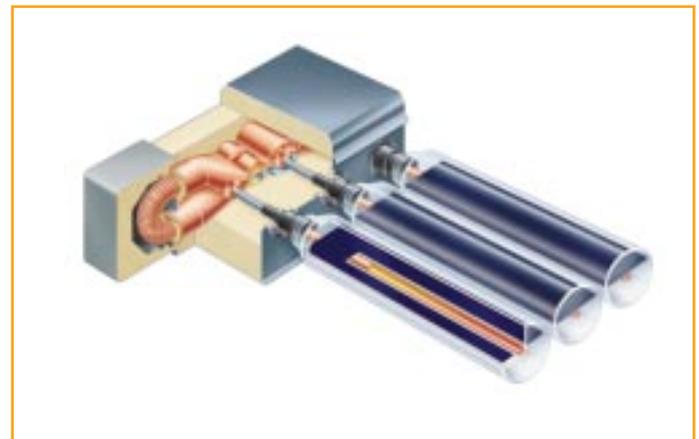


Bild 4 Der Austausch der Solarwärme geschieht bei diesem Heat-Pipe-Kollektor im Doppelrohrwärmetauscher

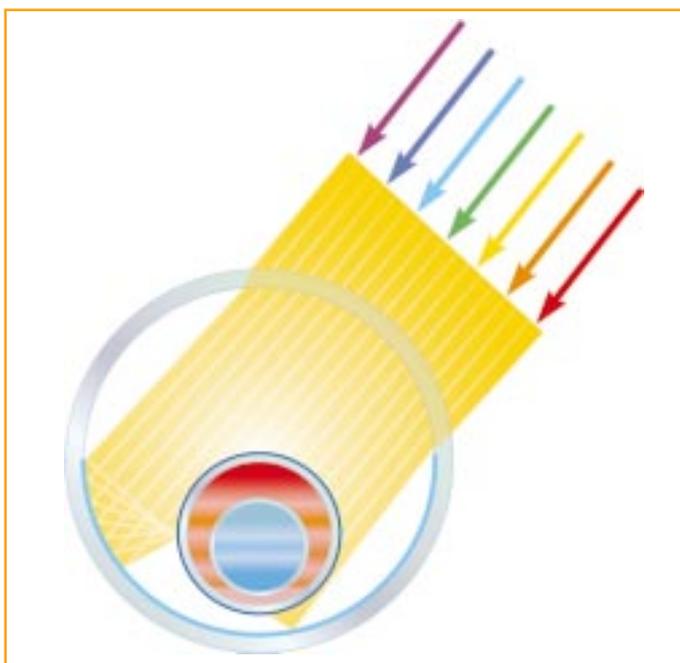


Bild 2 Röhren nach dem Schott-Prinzip

nes Rohr-im-Rohrprinzips (aus Glas) direkt durch die Röhre geführt. Als Anschlußsystem ist ein sehr kompaktes Bauteil aus temperatur- und glykolbeständigem Kunststoff mit allen notwendigen Komponenten vorgesehen (Bild 2).

☀ **Heat-Pipe-Prinzip**

Das Heat-Pipe-Prinzip wurde von dem irischen Hersteller Thermomax über verschiedene Vertriebswege durch einige namhafte Hersteller im deutschsprachigen Raum eingeführt. Bei Vakuumröhren nach dem Heat-Pipe-Prinzip wird im Absorberrohr eine sehr geringe Wassermenge bei Unterdruck verdampft und im Kondensator wieder kondensiert. Der Kondensator gibt die Wärme an das Wärmeträgermedium des Kollektorkreises ab. Bei älteren Modellen dieses Typs wurden Alkohole als Wärmeträgermedium eingesetzt, was wiederholt zu Störungen führte (Bild 3 und 4).

☀ **Direkt durchströmte Röhre**

Im Unterschied zu den Vakuumröhren nach dem Heat-Pipe-Prinzip wird hier der Absorber vom Wärmeträgermedium direkt durchströmt. Durch den direkten Wärme-

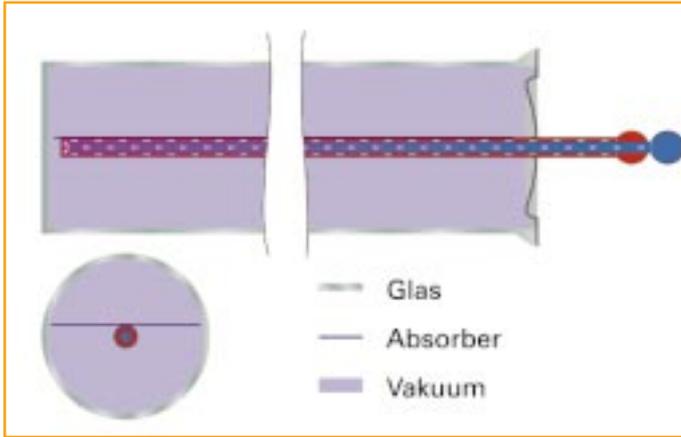


Bild 5 Direkt durchströmte Röhre

übergang wird eine höhere Leistungsfähigkeit als bei Heat-Pipe-Röhren erreicht. Der Absorber kann bei der Installation in der Röhre entsprechend der Ausrichtung des Kollektors eingestellt werden (Bild 5).

☀ **Strategie zur k-Wert-Verringerung**

Um die zur Beschreibung der Vakuumverluste verwendeten k -Werte zu verringern, wird neben der Evakuierung der Kollektoren wie beschrieben Edelgas eingesetzt. Die Tiefe des Vakuums bzw. die Art der Füllung des Luftraums ist von entscheidender Bedeutung für die Unterbrechung der Wärmetransportmechanismen Konvektion und Wärmeleitung. Wie Bild 6 zeigt, muß der Druck innerhalb des Kollektors erheblich unter den Atmosphärendruck gesenkt werden, um eine Verringerung des k -Wertes im Kollektor zu erreichen. Wie bei den Flachkollektoren mit Edelgasfüllung wird daher bei der Schottröhre eine Variante mit dem Edelgas Xenon befüllt, um bereits bei einem geringen Unterdruck eine signifikante Senkung des k -Wertes zu erreichen. Geringere Unterdrücke ermöglichen erhebliche Einsparungen beim Material und in der Fertigung.

☀ **Niederdruckflachkollektoren**

Um die Vorteile der Vakuumröhren und der Flachkollektoren zu kombinieren, wurden bereits in den siebziger Jahren Flachkollektoren zur Minimierung der Wärmeverluste durch Konvektion mit Edelgas gefüllt. Auf-

grund unzureichender Materialeigenschaften und hoher Kosten wurde die Technik dann zunächst wieder verworfen. Es folgte ein Niederdruckflachkollektor, der am Markt auch als Vakuumflachkollektor bezeichnet wird. Bei diesem Typ wird im Kollektor auf eine Wärmedämmung zugunsten eines Niederdrucks im Gehäuse verzichtet. Der Niederdruckflachkollektor benötigt daher eine ganze Reihe von Abstützungen zwischen der Glasscheibe und dem Gehäuse aus tiefgezogenen Aluminium, um ein Zusammenfallen beim Evakuieren zu verhindern. Nach anfänglichen Markterfolgen verlor diese Technik aufgrund hoher Kosten und der immer kleiner werdenden Differenz zur Leistungsfähigkeit moderner Flachkollektoren (bei sinkenden Preisen) an Bedeutung. Der Marktanteil des Niederdruckflachkollektors liegt bei ca. 1 %. 1997 wurde die Technik der Edelgasfüllung des Raums zwischen Absorber und Glasscheibe wieder aufgegriffen. Entstanden ist dabei eine Serie leistungsstarker Flachkollektoren. Die weitere Entwicklung dieser Tech-

nologie wird erneut vom Markt bestimmt werden.

Besondere Anforderungen sind zu beachten

Die im Vergleich zu Flachkollektoren erheblich höheren Temperaturen führen bei den Vakuumröhrenkollektoren zu hohen Belastungen bei Wärmedämmung, Temperaturfühler, Regelung und Wärmeträger. So muß die Wärmedämmung in der Nähe von Röhrenkollektoren dauerhaft Temperaturen über 150 °C widerstehen. Nur ausdrücklich für den Betrieb mit Röhrenkollektoren zugelassene Wärmeträger dürfen in Anlagen mit direkt durchströmten Vakuumröhren verwendet werden. Hierzu sind die Hersteller zu befragen.

☀ **Typische Störungen**

Immer wieder traten in Vakuumröhrenkollektoren Vakuumverluste, Auflösungen von Wärmeträgern in den Heat-Pipe-Röhren und Verstopfungen des Kollektorkreises durch zerstörtes Glykol auf. Vakuumverluste waren auf undichte Glas/Metallverbindungen aufgrund fertigungstechnischer Mängel zu verzeichnen. Das Problem des Vakuumverlustes ist seit 1995 offenbar behoben. Meldungen über diese Art von Störungen liegen von den ab diesem Zeitpunkt ausgelieferten Kollektoren nicht vor. Meldungen über eine mangelnde Leistungsfähigkeit tauchen jedoch immer wieder auf. Sind diese auf (ältere) Vorschädigungen zurückzuführen, sollte mit dem Hersteller der Röhren Kontakt aufgenommen werden. Auch die Zersetzung des Wärmeträgers in den Heat-Pipe-Röhren ist durch den Wechsel auf Wasser im Unterdruck als Wärmeträger seit einigen Jahren behoben.

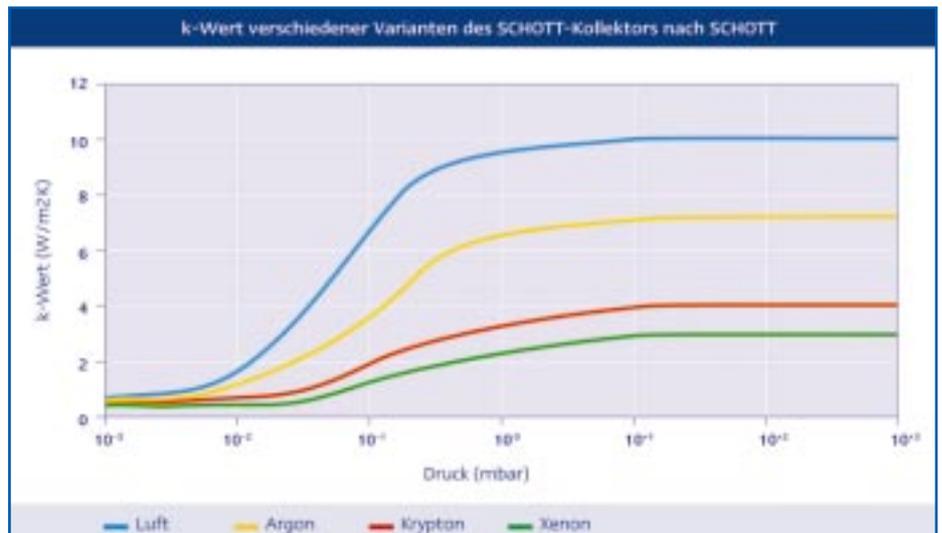


Bild 6 Strategie zur k-Wert-Verringerung

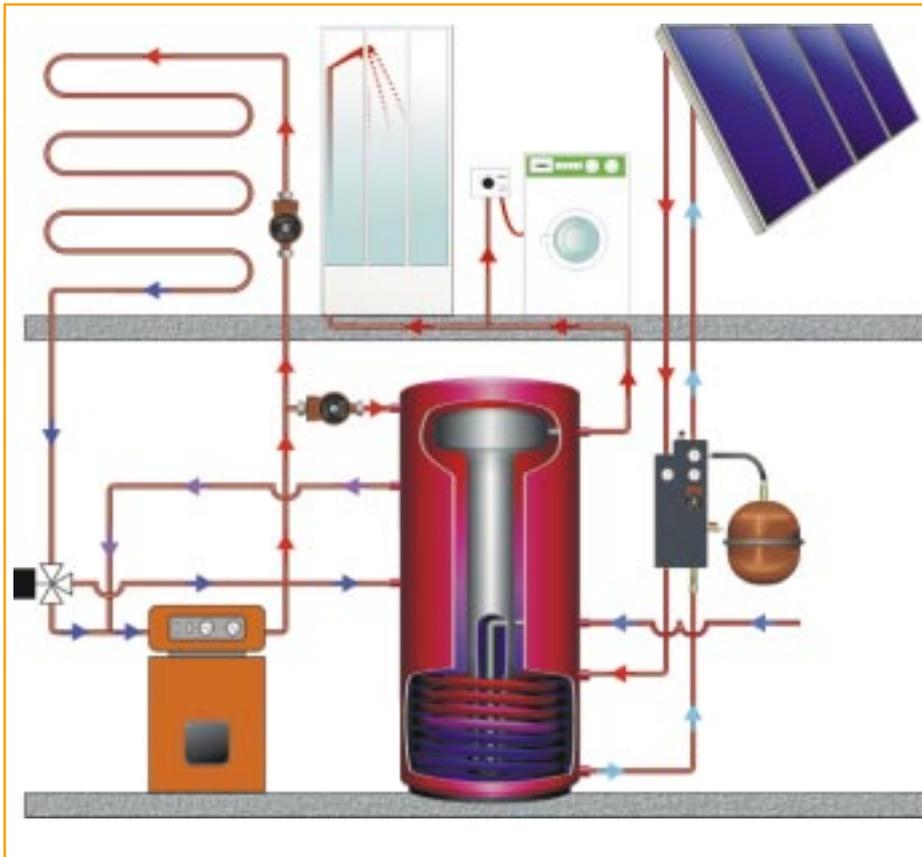


Bild 7 Kollektorkreis mit AD-Gefäß und Vorschaltgerät

☀ **Verbindungstechnik und Verdampfung**

Die Verbindungstechnik für Rohrleitungen muß den Temperaturen im Kollektorkreis (bis 160 °C) angepaßt sein. Weichlöten scheidet daher als Verbindungstechnik aus. Es ist zudem zu beachten, daß vor allem bei geringen Drücken in der Anlage bei diesen Temperaturen eine großräumige Verdampfung des Wärmeträgers auch in den Rohrleitungen des Kollektorkreises stattfinden kann. Die Dampfbildung bei Vakuumröhrenkollektoren ist in deren Anschlußleitungen erheblich stärker ausgeprägt als bei Flachkollektoren. In den Anschlußleitungen kommt es zu konvektiven Wärmetransportprozessen in der Flüssig-/Dampfphase. Daher können viele Meter der Anschlußrohrleitungen in den Dampfzustand geraten, obwohl eine Berechnung aufgrund der Wärmeleitung dies nicht erwarten läßt.

☀ **Auslegung des Ausdehnungsgefäßes**

Aus den genannten Gründen sollten Ausdehnungsgefäße keinesfalls in die Nähe der Röhrenkollektoren gebaut werden. Auch ist bei der Dimensionierung der Ausdehnungsgefäße für thermisch hoch belastete Vakuumröhrenanlagen (Heizungsunterstützung) unbedingt ein Zuschlag für verdrängten Inhalt der Anschlußleitungen für mehrere Meter Rohrleitung zu berücksichtigen. Die Ausdehnungsgefäße sind im Zweifel immer mit einem Vorschaltgerät zu montieren, um eine zu hohe thermische Belastung zu vermeiden. Das Sicherheitsventil ist so anzuordnen, daß ein möglicher Dampfaustritt zu keiner Gefährdung von umstehenden Personen führen kann.

☀ **Wärmeträger im Kollektorkreis**

Besonders bei thermisch hoch belasteten Anlagen, wie z. B. bei groß dimensionierten Anlagen oder langen Stillstandszeiten, waren Ausfälle zu verzeichnen. Moderne Wasser-Glykol-Gemische sind temperaturbeständiger und neigen auch im Zerfallsfall bei Temperaturen die lange Zeit deutlich über 180 °C liegen nicht mehr zu Verstopfungen im Kollektorkreis. Jedoch sollten hohe Betriebsdrücke aufgrund des deutlich späteren Phasenübergangs von der

Flüssig- in die Dampfphase vermieden werden. Wird durch den höheren Betriebsdruck die Dampfbildung dadurch auf höhere Temperaturniveaus verschoben, können erheblich größere Mengen des Wasser-Glykol-Gemisches durch die hohen Temperaturen im Kollektorinneren geschädigt werden als dies bei einer Verdampfung und somit Verdrängung des Mediums der Fall ist. Bei den Heat-Pipe-Röhren wird zudem die thermische Belastung des Wasser-Glykol-Gemisches im Anschlußkasten durch eine Begrenzung der Röhrentemperatur an dieser Stelle auf 150 °C (Realbetrieb) deutlich verringert. Bei der Befüllung des Kollektorkreises ist ein sorgfältiges Spülen von großer Bedeutung, da Lötreste, Zunder und Schmutz offenbar auch bei höher thermisch belastbaren Wärmeträgern auf Glykolbasis eine schnellere Alterung verursachen.

☀ **Temperaturmessung**

Die in Vakuumröhrenkollektoren eingesetzten Temperaturfühler müssen mindestens ein Pt1000/Pt100-Element und eine temperaturbeständige Anschlußleitung aufweisen. Für die Anforderungen geeignet scheinen in begrenztem Umfang Silikon-Kabel oder mit Teflon ummantelte Kabel mit entsprechenden Verbindungen und geeigneten Loten. PVC-Kabel und Kty-Fühler sind bereits nach wenigen Stillstandtagen defekt.

☀ **Unerwünschte Schwerkraftzirkulation**

Innerhalb von als Dachheizzentrale ausgeführten Anlagen kann es unter Umständen u. a. aufgrund der hohen Temperaturen und der meist geringen Druckverluste in den wenigen Metern des Kollektorkreises zu deutlich meßbaren Schwerkraftzirkulationen kommen. Diese sind in der Lage auch bei ausgeschalteter Kollektorpumpe den Kollektorkreis umzuwälzen und dabei Wärme aus den Kollektoren in den Speicher zu fördern. Bei im Verhältnis zum Solarspeicher sehr großzügig dimensionierten Kollektorfeldern kann es so zu einer unerwünschten Beladung des Speichers auf Temperaturniveaus oberhalb von 95 °C kommen. Dies ist unbedingt zu beachten, um ein Sicherheitsrisiko durch eine Dampfbildung im Speicher zu verhindern.

Was ist die Absorberfläche?

Die (effektive) Absorberfläche ist die Fläche, auf der im Absorber die Strahlungsleistung der Sonne in Wärme umgewandelt wird. Sie ist in der Regel kleiner als die Aperturfläche. Bei Kollektoren mit Stegen zur Befestigung von Glasscheiben, die die Absorberfläche überqueren, kann sie allerdings auch größer sein. Auch bei stark gewellten oder profilierten Absorbern kann die Absorberfläche größer als die Aperturfläche sein. Unabhängig von der Größe der Absorberfläche kann jedoch nur die durch die Aperturfläche einfallende Leistung der Sonne in Wärmeleistung des Absorbers umgewandelt werden. Vergrößerungen der Absorberfläche bewirken daher keine Steigerung der möglichen Leistungsfähigkeit des Kollektors, da durch die Scheibe nicht mehr reinkommen kann als die Aperturfläche zulässt.

Durch die in großer Zahl von meist aus China importierten Vakuumröhren sind zunächst die Preise für Vakuumröhrenkollektoren nach dem Sydney- bzw. CPC- Prinzip deutlich gefallen. Kostete ein m² dieses Typs lange Zeit über 1600 DM, sind diese jetzt schon unter 1000 DM (inkl. MwSt., empfohlener VK) zu haben. Auch die in Deutschland bzw. Irland gefertigten Röhrenkollektoren sind erheblich günstiger geworden. Größere Mengen und neue Fertigungsverfahren haben ihren Teil zur Kostenreduktion beigetragen. Kostete ein m² direkt durchströmte Röhren vor einem Jahr noch 2500 DM, liegt der Preis heute bei etwa 1300 DM (inkl. MwSt., empfohlener VK). Aufgrund der höheren Leistungsfähigkeit der Röhrenkollektoren ist durch diese Preissenkungen der Unterschied im Preis-/Leistungs-Verhältnis zwischen beiden Kollektortypen deutlich kleiner geworden, was sicher zu einem deutlichen Wachstum des Röhrenkollektormarktes führen wird.

Literatur:

- [1] DK1 Infodruck i160, Die fachgerechte Installation von thermischen Solaranlagen, 1999, kostenlos zu beziehen vom Deutschen Kupfer Institut, Düsseldorf, Tel. (02 11) 4 79 63 00, Internet: www.kupfer.de
- [2] Langzeiterfahrungen mit thermischen Solaranlagen, F.A. Peuser, R. Croy, ZfS Rationelle Energietechnik GmbH 1997, Hilden, Tel. (0 21 03) 24 44 14
- [3] Buch „Große Solaranlagen“, K.-H. Remmers, Solarpraxis, Berlin 1/99, Tel. (0 30) 28 38 75 11, Internet: www.solarpraxis.de
- [4] Marktübersicht aus mehr als 3000 geförderten solarthermischen Kleinanlagen, VDI Berichte Nr. 1406, 1998, VDI Verlag, Düsseldorf