

Systemvergleich thermischer Solarkollektoren mit CPC-Vakuumröhrenkollektortechnik und Wasser als Wärmeträger

von Rolf Meißner

1. Zusammenfassung

Die Ergebnisse von fast 20-jähriger Forschung, Entwicklung und Marktpraxis bei Paradigma legen es nahe und die praktischen Erfahrungen mit über 30.000 bereits realisierten thermischen Solaranlagen nach dem AquaSystem beweisen es hinreichend: Die CPC-Röhrentechnologie mit Heizungswasser als Wärmeträgermedium ist der einzige vielversprechende Weg zur Umsetzung solarthermischer Großanlagen und zum Bau anspruchsvoller thermischer Solaranlagen jeder Größe überhaupt. Die grundsätzliche Überlegenheit von CPC-Vakuumröhrenkollektoren außerhalb des Hochsommers und zur Erzeugung höherer Kollektortemperaturen und Erträge wächst immer weiter, je stärker bei der Himmelsausrichtung der Solaranlage Kompromisse eingegangen werden müssen.

2. Einige Praxisbeispiele

Seit 2006 baut Paradigma solarthermische Großanlagen mit CPC-Vakuumröhrenkollektoren, die wie konventionelle Kessel mit Wasser funktionieren und wie solche auch einfach verschaltet werden. Bis heute entstanden so etwa 50 Anlagen, darunter mit 1330 m² Bruttokollektorfläche auch die größte Röhrenkollektoranlage der Welt, welche im Sommer etwa 27.000 m² Bürofläche kühlt und im Winter heizt (Bilder 1, 2, 3). Zur Speicherung der Solarwärme dient neben einem sehr kleinen Speicher mit 17 m³ vor allem das Hausnetz (1).

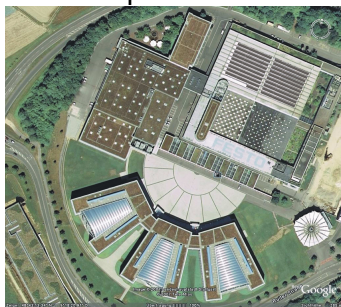


Bild 1, 2 Esslingen, 1.330 m² Bruttokollektorfläche zur Kühlung und Heizung

Solarenergienutzung

Solare Kühlung im Sommer mit 75-95 °C

Solare Heizung im Winter mit 50-70 °C

Kollektorfläche

1330 m² Bruttofläche

Volumenstrom

30 m³/h

Wärmespeicher

17 m³

Spitzenleistung

1,2 MW

maximale Dauerleistung

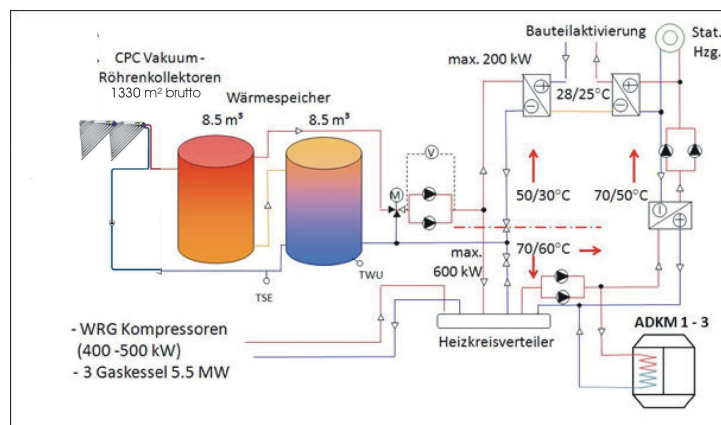
0,65 MW

garantierter Ertrag

500 MWh pro Jahr

Elektroenergiebedarf

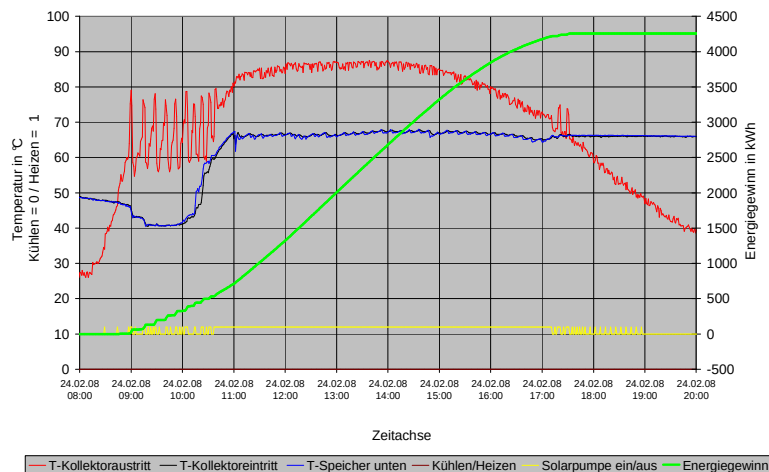
2,5 MWh pro Jahr



Nach den bisherigen Messergebnissen wird es sich um die erste solarthermische Großanlage handeln, die deutlich mehr Solarertrag erbringt, als dem Nutzer versprochen wurde, und dies gleich ab der Inbetriebnahme.

Bild 3

FESTO, Aufbauschema (Quelle: HfT Stuttgart, FESTO AG & Co KG)



An sonnigen Wintertagen wie dem 24. Februar 2008 wurden insgesamt knapp 4,3 MWh bzw. 3,2 kWh pro Quadratmeter Bruttokollektorfläche in den Speicher eingespeist (Bild 4). Mit Flachkollektoren wäre eine solche Tagesleistung unter diesen Temperaturverhältnissen nicht einmal unter Strahlungsverhältnissen wie im Sommer möglich.

Bild 4 FESTO, Temperaturen und

Solarerträge am 24.02.08 (rot: Kollektortemperatur, blau: Speichertemperatur unten, grün: Wärmegewinn, gelb: Schaltzustand der Solarpumpe)

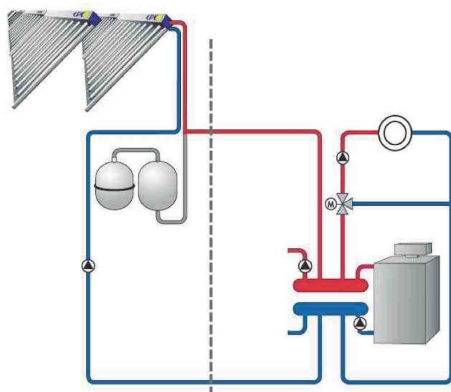
Bei anderen solaren Großanlagen und Prozesswärmeanwendungen verzichtete Paradigma ganz auf Speicher. Dies ist das Beste, wenn die vorhandene Anlage die tägliche Solarwärme weitgehend absorbieren kann, bei großen Fabriken und Wärmenetzen ein häufiger Fall. Als Prototyp wurde dazu ein großes Saunabad mit eigenem Wärmenetz mit einer Solaranlage ausgestattet, die einfach wie ein zusätzlicher Kessel angeschlossen wurde (Bilder 5, 6, 7).



Bilder 5, 6 Graftschaft, Panoramasauna, 98 m² Kollektorfläche, solare Wärmenetz-Direkteinspeisung ohne Solarspeicher

Solarenergienutzung
Kollektorfläche
Wärmespeicher
garantierter Ertrag
Elektroenergiebedarf

ganzjährige Einspeisung in das Wärmenetz mit mindestens 65 °C
98 m² Bruttofläche
kein Solarspeicher
ca. 50 MWh bzw. 500 kWh/m² pro Jahr
ca. 380 kWh pro Jahr



Mit dem Funktionsbeweis dieser Prototypanlage ist der Anwendung in beliebig großen Nah- und Fernwärmenetzen der Weg geebnet. Die Perspektiven und das Potenzial dafür sind sehr viel versprechend.

Bild 7 Direkteinspeisung in vorhandene Wärmenetze

Erwähnt werden müssen auch zahlreiche weniger spektakuläre Anwendungen zur WW-Bereitung und Heizung wie in Mehrfamilienhäusern, Wohnheimen, Krankenhäusern, Küchen, Hotels, Ge-

fängnissen usw., die alle das Heizungswasser direkt als Kollektorwärmeträger nutzen und dadurch hydraulisch verblüffend einfach sind (Bild 8).



Bild 8 Große thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Raumheizung

Eine Besonderheit aller von Paradigma dimensionierten Kollektorfelder besteht darin, dass im Freien keine Entlüfter oder andere Armaturen wie Drosseln, Ventile usw. vorkommen. Ob 30 m² oder 3000 m², alle Solaranlagen befüllen und entlüften sich selbständig, die gesamte Inbetriebnahme kann in kurzer Zeit von einer einzigen Fachkraft vorgenommen werden.

3. Geschichte

Gegen Ende der 90er Jahre kam die konventionelle Technik für thermische Solaranlagen in eine Sackgasse. Man hatte gelernt, dass gewöhnliche Kollektoren für viele Heizsysteme und Prozesswärmeanwendungen nicht taugen und brauchte Kollektoren mit flacheren Wirkungsgradkennlinien. Es wurde aber auch bald immer klarer, dass höhere Betriebstemperaturen und konventionelle Frostschutzmittel wie Propylenglykol miteinander unvereinbar sind, wenn man nicht mit allen Mitteln die thermische Stagnation verhindert, z. B. mit überdimensionierten Speichern.

Paradigma entwickelt seit 1988 thermische Solarkollektoren und brachte über viele Jahre jeweils auch die innovativsten und leistungsstärksten Flachkollektoren auf den Markt. Seit 1997 beschritt Paradigma einen eigenen Weg und wandte sich der Dewar-Vakuumröhrentechnik zu, verbesserte die Röhren wesentlich und kombinierte sie in eigener Produktion mit CPC-Spiegeln. Mit diesem Vakuumröhrensystem wurden ein Minimum an Wärmeverlusten und damit eine besonders flache Wirkungsgradkennlinie erreicht, aber auch ein Höchstmaß an komfortablem Umgang mit der Technik auf der Baustelle.

4. Wasser als Wärmeträgerflüssigkeit

Seit 2003 setzt Paradigma im sog. AquaSystem konsequent nur noch Wasser ein und schützt die Anlagen vor Frost mit Niedertemperaturwärme aus dem Speicher oder aus dem Netz. Aufgrund der geringen Wärmeverluste des Kollektorsystems ist hierfür in Deutschland nur ein kleiner Energiebetrag von 2 bis 4 % des solaren Jahresenergieertrages notwendig, der durch die Vorteile des Wassers und permanent hohe Arbeitstemperaturen mehrfach kompensiert wird. Der Betrieb mit Wasser

- ermöglicht die einfache, direkte Anbindung an das hauseigene Wärmenetz,
- spart teure Aggregate wie Wärmetauscher, Entlüfter, Ventile, Pumpen sowie Misch- und Regeltechnik,
- ist die Voraussetzung für den Einsatz eines ertragsoptimierten und dadurch kleinen Speichers,
- erspart die hohen einmaligen und laufenden Kosten, die mit jedem Frostschutzmittel verbunden wären,
- senkt extrem Kosten und Dauer von Inbetriebnahme und Reparaturarbeiten,
- sichert eine lange Lebensdauer bei nahezu gleichbleibender Leistung,
- beseitigt alle Risiken, die mit der thermischen Stagnation verbunden sind und
- minimiert die laufenden Wartungs- und Verbrauchskosten.

CPC-Vakuumröhrenkollektortechnik mit Wasser als Wärmeträger garantiert heute das Ertragsmaximum an gewinnbarer Solarenergie, hat die längste Betriebszeiterwartung und arbeitet so gut wie wartungsfrei.

Es ist unverständlich, weshalb die Leistungsparameter nach DIN EN 12975 (siehe Abschnitt 7) immer nur mit Wasser ermittelt werden, während doch fast alle Kollektoren in Wirklichkeit mit Frostschutzmittel gefüllt werden. Propylenglykol hat bei 40 °C gegenüber Wasser nur 88 % der Wärmekapazität, 62 % der Wärmeleitfähigkeit, ein Viertel der Reynoldszahl (weshalb glykolgefüllte Solaranlagen überwiegend unter ungünstigen laminaren Strömungsverhältnissen arbeiten), 75 % des Wärmeübertragungsvermögens und bis zu 3,85-mal höhere Druckverluste, was entsprechend mehr Elektroenergiebedarf für die Pumpe bedeutet. Und mit sinkender Temperatur werden diese Parameter für Glykol immer schlechter. Ein Wasser-Glykol-Wärmeübergang benötigt bis zur 3fachen Wärmetauscherfläche, damit dasselbe Wärmetauschergebnis (NTU, Number of Thermal Units) möglich wird. Nahezu sämtliche Simulationsprogramme ignorieren dies. In der Solarliteratur wird zwar oft darüber gerätselt, warum Glykolanlagen nicht den sorgfältig im Voraus simulierten Ertrag erbringen, bisher wurde aber noch niemals zugegeben, dass dies am falschen Wärmeträger liegt, für den für Glykol ganz andere Leistungsparameter α_1 , α_2 und η_0 einzusetzen wären, als den Herstellern anzugeben gestattet wird.

5. Funktionskontrolle

Konventionelle Solaranlagen haben neben vielen anderen auch den Nachteil, dass keiner merkt, wenn sie schlecht oder gar nicht arbeiten und erst recht nicht, wenn sich eine Störung für die nahe Zukunft ankündigt. Es wird vermutet, dass (in Deutschland) mindestens $\frac{1}{4}$ aller Solaranlagen praktisch außer Betrieb sind oder sogar mehr Wärmeverluste als -gewinne aufweisen.

Solaranlagen ohne Frostschutzmittel müssen zu nahezu 100 % fehlerfrei arbeiten. Andernfalls ist ihr Hersteller in Kürze ruiniert. Deshalb ist eine umfassende, intelligente und zuverlässige Diagnosesoftware und Funktionskontrolle des Solarreglers unerlässlich. Der Solarregler des Paradigma AquaSystems enthält diese Funktionen bereits seit 2003 und arbeitet vom Einfamilienhaus bis zur beliebig großen Industrieanlage praktisch mit derselben Software.

Es ist bedenklich aber charakteristisch für den deutschen Solarmarkt, dass erst die technische Notwendigkeit diese Werkzeuge (eher nebenbei) hervorbrachte, während sich sowohl die Fördermittelgeber als auch die Hersteller konventioneller Solaranlagen mit der hohen Fehlerquote jahrzehntelang abfanden und immer noch abfinden.

6. Wärmespeicherung

Dem Paradigma-Speicherkonzept liegt zugrunde, dass es nicht nur betriebswirtschaftlich, sondern auch energetisch günstiger ist, durch Minimierung der Speicher unter „zu guten“ Strahlungsverhältnissen die Solaranlage lieber auszuschalten, als jede Kilowattstunde speichern zu wollen, auch wenn sie überhaupt nicht genutzt werden kann. Dafür ist die Effizienz maximal, wenn unter schlechten Strahlungsverhältnissen von der Solarwärme nicht noch ein großer Speicher passiert werden muss, der dann allenfalls noch für eine Vorwärmung zu gebrauchen ist.

Der thermische Stillstand ist für Wassersysteme völlig unproblematisch. Ebenso normal wird zukünftig die Wiederinbetriebsetzung eines Wassersystems aus dem thermischen Stillstand sein, sobald wieder Wärme gebraucht wird. Dabei wird eine Speicherkapazität von ca. 0,5 kWh pro Quadratmeter Kollektorfläche aufs Dach verlagert und kann am Speichertank gespart werden. Das sind immerhin jedes Mal ca. 0,15 % oder mehr des gesamten solaren Jahresertrages. Es ist einleuchtend, dass eine Solaranlage, die jederzeit aus dem Stillstand wieder in Betrieb gehen kann, potentiell einen viel höheren Jahresgewinn verspricht, als Solaranlagen, die nur durch Abkühlung über natürliche Wärmeverluste die Stagnation wieder verlassen können.

Mit diesen Positionen distanziert sich Paradigma klar von den auf herkömmlicher Flachkollektortechnik basierenden Verbandsempfehlungen und aktuellen Förderrichtlinien.

Es ist seit längerem bekannt, dass eine Vergrößerung des Solarspeichers über ein knappes, vernünftiges Maß hinaus den solaren Jahresertrag nicht nennenswert erhöht (2). Alle Saisonspeicherkonzepte und Förderauflagen verfolgen in erster Linie lediglich das Ziel, den Zustand der thermischen Stagnation zu vermeiden und sind als technisch veraltet und wegen der hohen Kosten und Wärmeverluste als kontraproduktiv zu bezeichnen, wenn die Stagnation überhaupt keine Rolle mehr spielt.

7. Kollektorleistung

Der Kollektorwirkungsgrad lässt sich anhand standardisierter Parameter, z. B. aus den Solar-Keymark-Tests, für jeden Kollektor an jedem Betriebspunkt einfach berechnen (3). Die Kennlinien im folgenden Diagramm (Bild 9, Tabelle 1) sind auf die Bruttokollektorfläche umgerechnet, denn nur diese ist wirklich relevant, weil nur nach ihr bezahlt, gefördert, verglichen und geplant wird.

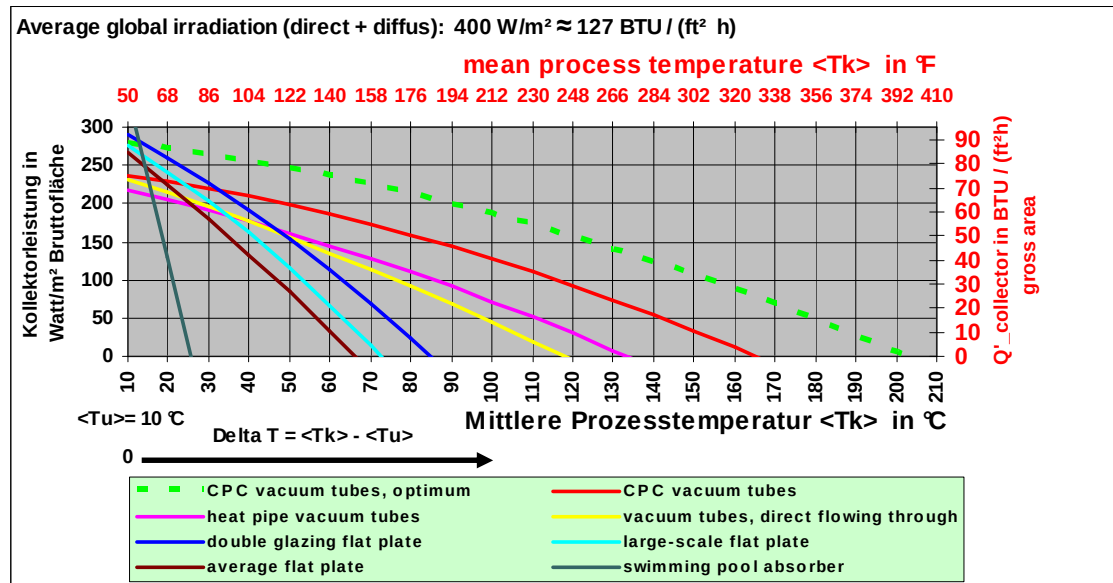


Bild 9 Thermische Leistung (η_{G_s}) verschiedener Kollektoren bei $G_s = 400 \text{ W/m}^2$ Einstrahlung

Nr.	Kollektor	η_0	a_1 $\text{W/m}^2\text{K}$	a_2 $\text{W/m}^2\text{K}^2$	Apertur-/ Bruttofl.
1	CPC-VRK, direkt durchströmt, Edelstahlregister	0,644	0,749	0,0050	0,9165
2	VRK mit Heatpipes	0,730	1,260	0,0041	0,7477
3	VRK, direkt durchströmt	0,775	1,740	0,0038	0,7477
4	Großflächen-FK für SGA mit selektivem Absorber	0,745	3,260	0,0185	0,9271
5	doppelt verglaster FK mit selektivem Absorber	0,793	2,920	0,0131	0,9183
6	Durchschnitts-FK mit selektivem Absorber	0,722	4,170	0,0107	0,9283
7	Schwimmbadabsorber (T*SOL Standard)	0,850	20,000	0,1000	1,0000

Tabelle 1 Leistungsdaten verschiedener Kollektortypen nach EN12975

Die Temperaturskala beginnt mit dem aufgerundeten Jahresmittel der Umgebungstemperatur $\langle T_u \rangle = 10^{\circ}\text{C}$ ($\langle T_u \rangle$ von Würzburg = $9,4^{\circ}\text{C}$). Das Diagramm m zeigt, dass bei Prozessstemperaturen zwischen 35°C und 50°C alle Flachkollektoren unter 150 W/m^2 fallen, während dies für sämtliche Röhrenkollektoren erst zwischen 60°C und 140°C zu trifft. Dabei repräsentiert die grün gestrichelte Kennlinie einen „theoretischen“ CPC-Vakuumröhrenkollektor, der nach heutigem Stand der Technik bereits herstellbar wäre.

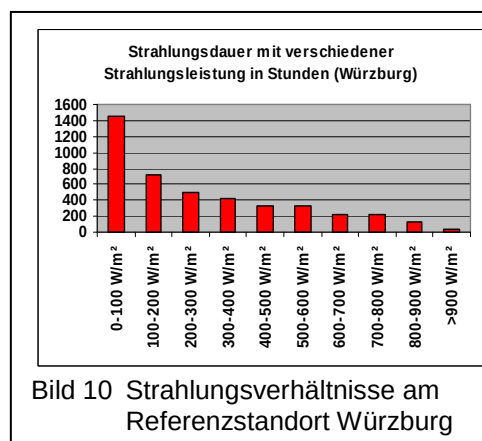


Bild 10 Strahlungsverhältnisse am Referenzstandort Würzburg

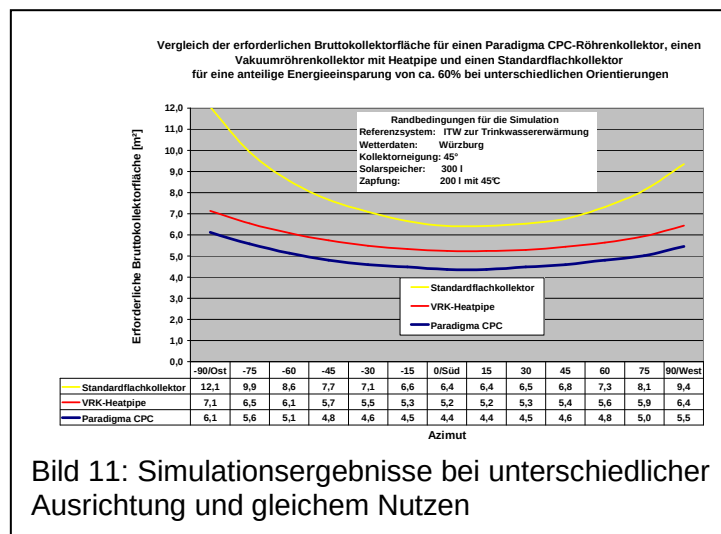
Wenn keine Temperaturdifferenz ΔT besteht, hat jeder Kollektor seinen individuellen maximalen Wirkungsgrad η_0 . Je größer ΔT jedoch ist, je heißer also der Kollektor wird und je kälter die Außentemperatur ist, umso kleiner wird der Wirkungsgrad. Je größer seine Wärmeverluste sind, umso eher ist der Wirkungsgrad mit wachsender Kollektortemperatur bei Null angekommen. Allerdings sinkt der Wirkungsgrad bei kleiner Einstrahlung G_s schneller als bei großer. Deshalb versuchen Kollektorverkäufer den Wirkungsgrad bei möglichst großer Einstrahlung zu präsentieren, z. B. bei 700 W/m^2 , 800 W/m^2 oder manchmal sogar bei 1000 W/m^2 . Doch das ist in Mitteleuropa unrealistisch. Würzburg bekommt seine Sonneneinstrahlung nur zu 11 % mit 800 W/m^2 oder mehr, dafür aber zu über 13 %

mit weniger als 200 W/m^2 (Bild 10). Beim Jahresmittel der Strahlungsleistung von 397 W/m^2 wur-

de der Anteil unter 100 W/m^2 bereits weggelassen, weil dieser für Flachkollektoren völlig bedeutungslos ist und auch bei Röhrenkollektoren nur noch mit maximal 5 % in der Jahresbilanz zu Buche schlagen kann. Ohne diese Vernachlässigung läge das Mittel noch tiefer. Fortan wird großzügig mit 400 W/m^2 gerechnet. Mittlere Einstrahlungen bis 600 W/m^2 sind im Mittelmeerraum, bis 650 W/m^2 in Kalifornien, bis 700 W/m^2 in Australien und Indien und sogar bis 750 W/m^2 im Nahen Osten möglich.

8. Der Kollektorsertrag und die Himmelsausrichtung

Die optimale Ausrichtung eines Kollektors (z. B. Süden, um die Höhe des Breitengrades geneigt) kann man sich meistens nicht aussuchen. Um den lokalen Verhältnissen (Dachneigung, Dachausrichtung, Grundstücksorientierung) Rechnung zu tragen, müssen oft Kompromisse eingegangen werden. Auch hierbei erweisen sich CPC-Vakuurröhrenkollektoren als äußerst vorteilhaft, weil sie bei nicht idealer Ausrichtung den geringsten Mehrbedarf an Kollektorfläche erfordern, um die ungünstigere Ausrichtung zu kompensieren (Bild 11).



Im Extremfall muss bei Orientierung nach Osten beim Flachkollektor 90% mehr Fläche aufgewendet werden. Bei den Vakuurröhrenkollektoren sind in diesem Fall nur knapp 40% mehr Fläche erforderlich. Dafür sind nicht nur die besseren Einfallswinkel-Korrekturfaktoren (IAM, Incidence Angle Modifier) verantwortlich, sondern der Mehrnutzen ergibt sich auch im Zusammenspiel mit den hohen Wirkungsgraden der Vakuurröhrentechnologie bei schwachen Einstrahlungen, wie sie bei ungünstigen Dachausrichtungen sowie morgens und abends regelmäßig vorkommen.

9. Vorteile hoher Temperaturen

9.1. Allgemeine Feststellung

Generell lässt sich Solarwärme auf höherem Temperaturniveau besser nutzen. Denn selbst wenn die Solarwärme ausnahmsweise bereits bei niedrigen Temperaturen genutzt werden kann, wie z. B. zur Schwimmbaderwärmung, bei der Warmwasserbereitung bzw. deren Vorwärmung, bei der Vorwärmung zur Heizungsunterstützung oder der Rücklauftemperaturenanhebung, könnten auch diese Prozesse mit höheren Kollektortemperaturen viel effizienter stattfinden. Dies soll im Folgenden erläutert werden.

9.2. Hohe Kollektortemperaturen steigern den Anlagenwirkungsgrad:

- Nur wenn die Solarvorlauftemperatur permanent wesentlich höher ist als die jeweilige Solltemperatur, kann die konventionelle Nachheizung effizient dauerhaft vermieden werden. Da besonders außerhalb der Heizperiode die Kessel- und Anlagenwirkungsgrade schlecht sind, wird bei jedem durch Solarwärme vermiedenen Einschalten des Kessels ein Vielfaches der Energie eingespart, welche die Solaranlage in den Speicher einbringt. Wenn z. B. ein Ölkessel mit einem feuerungstechnischen Wirkungsgrad von 90 % und einem internen Wasservolumen von 60 l dieses erst von 20°C auf 70°C erwärmen muss, bevor er 150 l Warmwasser im Speicher um 5 K erwärmen kann, werden nur 16 % der verbrauchten fossilen Energie zur Warmwassererwärmung eingesetzt. Hat die Solaranlage den Warmwasserspeicher aber ausreichend erwärmt, so dass der Kessel nicht anspringen muss, dann spart sie demnach pro solarer Kilowattstunde 6,25 Kilowattstunden an fossiler Energie ein.

Neben ihrem solaren Jahresertrag leistet die Solaranlage also einen Zusatzbeitrag zur Energiebedarfsvermeidung durch die Einsparung von Kessel- und Anlagenverlusten, der größer sein kann als der reine Solarertrag. Diesen synergetischen Effekt könnten Niedertemperaturkollektoren nur unter optimalen Bedingungen im Hochsommer leisten, er kommt dann aber aufgrund des

solaren Überangebotes gar nicht zum Tragen und wird durch die üblichen, dem Niedertemperaturcharakter Rechnung tragenden Delta-T-Regelungen verhindert.

- Permanent hohe Kollektortemperaturen sind mit hohen Temperaturspreizungen und damit einer erhöhten spezifischen Wärmeleistung verbunden, was den Volumenstrombedarf senkt. Dadurch werden elektrische Pumpenleistung und Pumpenlaufzeit gespart.

9.3. Hohe Kollektortemperaturen erhöhen die Speicherkapazität:

- Erst wenn die Kollektortemperaturen über den Verbrauchs-Solltemperaturen liegen, beginnen Solarspeicher ihre Speicherkapazität zu entfalten. Je höher die Speicher-Übertemperatur ist, umso größer ist die Speicherkapazität. Die Heizungstemperatur sei z. B. auf 60 °C eingestellt, der Heizungsrücklauf sei bei 50 °C. Ein Hochtemperaturkollektor mit niedrigem Volumenstrom belädt einen Pufferspeicher (Anfangstemperatur 60 °C) mit starker Spreizung komplett auf 90 °C. Für jeden Liter mit 90 °C können nun 4 Liter mit 60 °C der Heizung zugeführt werden. Ein Niedertemperaturkollektor braucht die dreifache Speichergröße, um dieselbe Wärmeenergie bei 70 °C einzubringen zu können. Wird die Wärme aus dem Pufferspeicher über einen Wärmetauscher genutzt, dann ist die verfügbare Wassermenge noch viel geringer und der kühlere Puffer noch viel wertloser, weil durch den Wärmetausch zusätzlich umso mehr nutzbare Wärme verloren geht, je kälter der Speicher ist.

- Da Speicher von Hochtemperaturkollektoren eine effektiv größere Speicherkapazität besitzen, können diese kleiner ausgelegt werden, was Platz und Investitionskosten spart.

9.4. Hohe Kollektortemperaturen erlauben eine ganzjährige Planungssicherheit und Nutzung:

- Es muss im Interesse eines jeden Planers und Nutzers liegen, dass Solaranlagen ganzjährig effektiv genutzt werden. Die Leistung von Niedertemperaturkollektoren fällt mit sinkender Außentemperatur jedoch so stark ab, dass sie im Winter oder bei nicht optimalem Wetter nie viel mehr als eine Vorwärmung leisten können.

- Wenn Wärme gleichzeitig auf unterschiedlichen Temperaturniveaus benötigt wird, z. B. zur Heizung und zur Warmwasserbereitung, ist es am einfachsten, sie von vornherein auf dem höchsten Niveau, also mit der höchsten Exergie, zur Verfügung zu stellen bzw. zu speichern. Mit Niedertemperaturkollektoren ist das nicht möglich, was zu einem erhöhten Planungsaufwand und komplizierteren Systemhydrauliken führt.

- Das Verfehlen des vorausgesagten Ertrages der meisten Großanlagenprojekte mit Niedertemperaturkollektoren wurde regelmäßig damit begründet, dass die Rücklauftemperaturen höher seien als geplant war. Tatsächlich sind niemals die Rücklauftemperaturen das Problem, sondern immer die Kollektoren selbst, weil sie eben unter realistischen Betriebsbedingungen extrem an Leistung verlieren.

9.5. Vorwärm-Schaltungen verringern den Systemwirkungsgrad:

- Jede Art der Vorwärmung wirkt sich negativ auf den Gesamt-Kesselwirkungsgrad bzw. den Kraftwerkswirkungsgrad aus. Sehr deutlich wird das bei Brennwerttechnik, weil „solar angeho-bene“ Rücklauftemperaturen die Brennwertnutzung mindern oder verhindern. Aber auch bei jeder anderen Nachheizung wird durch Vorwärmprozesse der Gesamtwirkungsgrad gesenkt. Die Ursachen dafür sind z. B. höhere Stand- und Betriebsverluste sowie ein größerer Pumpenenergie- und Speicherbedarf.

10. Kurze Rentabilitätsbetrachtung

Basierend auf der Förderstatistik des Marktanreizprogrammes des BMU (MAP) für das erste Halbjahr 2008 wurden die mittleren Investitionskosten für eine Solaranlage in Deutschland ermittelt. Sie betragen etwa 1.000,- € pro m² Bruttokollektorfläche. Unter der Annahme, dass etwa 400 kWh Solarwärme pro Quadratmeter Kollektorfläche und Jahr gewonnen werden*, ergibt sich bereits heute in Deutschland ein solarer Wärmepreis von etwa 0,14 € pro kWh. Bei solaren Großanlagen mit CPC-Vakuumröhrenkollektoren können sogar schon solare Wärmepreise von ca. 0,05 € pro kWh erzielt werden. Der Ölpreis bewegt sich dazu im Vergleich aktuell bei etwa 0,09 € pro kWh.

Die Amortisationszeit für solare Großanlagen ohne zusätzlichen Speicher nach dem Prinzip der Panoramasauna (siehe Abschnitt 2) liegt zwischen ca. 3 und 6 Jahren (4). Sie ist umso kürzer, je größer und einfacher die Solaranlage ist. Aufgrund der höheren Kollektoreffizienz und der ganzjährigen Nutzbarkeit ist der Jahresertrag wesentlich höher als bei den besten Flachkollektoren,

sobald ständig höhere Temperaturen als ca. 45 °C zu erzielen sind. Auch unter sehr anspruchsvollen Bedingungen wie solare Kühlung kombiniert mit Winterheizung erzielen Röhrenkollektoranlagen noch Systemerträge von bis zu 0,4 MWh/m²a. Davon würden durchschnittliche Flachkollektoren, wie sie für Großanlagen zum Einsatz kommen, höchstens ein Viertel erreichen und die besten und teuersten Flachkollektoren maximal die Hälfte.

Das MAP versucht, auf innovationsfeindliche und einseitige Weise den Systemnachteil und die geringere Leistung von Flachkollektoren und Glykolanlagen durch die Förderung des Mehrbedarfs an Kollektorfläche und Speicher auszugleichen, was für einige Röhrenkollektoranlagen die Investitionskosten pro Kilowattstunde noch teurer macht. Unter Berücksichtigung des Gesamtertrages über die Lebensdauer, der Wartungsfreiheit einer Wasseranlage (unter Berücksichtigung, dass Glykol alle 3 Jahre gewechselt und die Anlage u. U. öfters gespült werden muss), des Wegfalls des Solarwärmetauschers und einer Sekundärkreispumpe, der extrem geringeren Anzahl von Kleinarmaturen (ein großes Flachkollektorfeld von 500 m² hat z. B. bis zu hundert Entlüfter und Ventile wo ein CPC-Röhrenkollektorfeld keine einzige Armatur hat), des wesentlich geringeren Elektroenergiebedarfs, der geringeren Wärmeverluste, des geringeren oder völlig fehlenden Platz- und Wartungsbedarfs für Speicher, des geringeren Flächenbedarfs für die Kollektoren und der Langzeitstabilität eines Wassersystems ist ein CPC-Vakuümrohrensyste in der Gesamtbilanz jedoch immer ökonomischer, und vor allem auch fortschrittlicher.

* weitere Annahmen:

Betriebszeit	20 Jahre	jährliche Betriebskosten	2 %
Mittlere Förderung durch MAP	105 €/m²	jährlicher Kapitalzins	4 %
jährliche Alterung der Kollektoren	0,2 %	jährliche Inflation	3 %
jährliche Energiepreissteigerung	12 %		

11. Schlussfolgerungen

Röhrenkollektoren im Allgemeinen und CPC-Vakuümrohrenkollektortechnik mit Wasser als Wärmeübertragungsmittel im Besonderen besitzen ein so großes Potential zur Vereinfachung und Verbesserung thermischer Solaranlagen (und haben dies seit 10 Jahren auch bereits ausreichend unter Beweis gestellt), dass die Flachkollektortechnik heute bereits als technisch überholt bezeichnet werden kann. In folgenden Fällen gibt es zu CPC-VRK praktisch überhaupt keine vernünftige Alternative:

- ganzjährige Erzeugung von Prozesstemperaturen über ca. 60 °C,
- Vermeidung von Wärmeverlusten von überdimensionierten Speichertanks ohne Inkaufnahme von Stagnation,
- genereller Ausschluss von Anlagenschädigungen infolge ungewollter thermischer Stagnation
- Heißstart der Solaranlage aus der thermischen Stagnation zur Ausnutzung der Kollektoren als Speicher und zur Gewährleistung einer permanenten Verfügbarkeit
- Verzicht auf Frostschutzmittel,
- Abweichung der Kollektoren von der idealen Himmelsausrichtung.

Grundsätzlich gilt, dass Solarwärme umso günstiger, einfacher, universeller und professioneller genutzt werden kann, je höher die ganzjährig verfügbaren Kollektortemperaturen sind.

12. Quellen

- (1) R. Meißner, SHT 4/2008 (S. 54), Einfach ist besser, die größte Vakuümrohrenkollektoranlage steht in Deutschland
- (2) H. Drück, ITW Stuttgart, Tagungsband 14. solarthermisches Symposium in Staffelstein
- (3) S. Abrecht, C. Kettner, R. Meißner, Heizungsjournal 6/2008, 7-8/2008 (S. 38), 9/2008, Wo sich Spreu und Weizen trennen, Teil 1-3
- (4) R. Meißner, Heizungsjournal 4-5/2008 (S. 28), Geld verdienen mit Solarwärme