

Dipl.-Ing. Stefan Abrecht, Dr. Christiane Kettner und Dr. Rolf Meißner*)

Kollektorvergleiche – Wo sich Spreu und Weizen trennen

Bei höheren Betriebstemperaturen heben sich die Ergebnisse von Sonnenkollektoren mit Vakuumisolationen von solchen mit konventioneller Wärmedämmung bzw. Röhrenkollektoren von Flachkollektoren deutlich ab. Unter durchschnittlichen Strahlungsverhältnissen (z. B. $450 \text{ W/m}^2\text{a}$ in Würzburg) werden selbst die besten Flachkollektoren bei Temperaturunterschieden zur Umgebung ab ca. 25 K aufwärts von Röhrenkollektoren in den Schatten gestellt. Bei Temperaturunterschieden ab ca. 40 K lassen selbst die einfachsten Röhrenkollektoren jeden Flachkollektor im direkten Leistungsvergleich hinter sich. 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 bereits viele Anlagen, darunter mit 1330 m^2 Bruttokollektorfläche bei der FESTO AG & Co. KG in Esslingen-Berkheim bei Stuttgart auch die größte VRK-Solaranlage der Welt (im Bild), welche im Sommer die ebenfalls weltgrößte Adsorptionskältemaschine zur Kühlung von über 27.000 m^2 Bürofläche unterstützt und im Winter zur Heizung beiträgt. Es wird gezeigt, dass für Prozesswärmeanwendungen wie diese nur Hochleistungs-Vakuumröhrenkollektoren geeignet sind.

Rückblick

Gegen Ende der 90er Jahre kam die konventionelle Technik für thermische Solaranlagen in eine Sackgasse. Man hatte gelernt, dass sich gewöhnliche Kollektoren für viele Heizsysteme

und Prozesswärmeanwendungen nicht eignen und brauchte Kollektoren mit geringeren Wärmeverlusten. Es wurde aber auch damals bereits immer klarer, dass höhere Betriebstemperaturen und konventionelle Frostschutzmittel miteinander unver-



einbar sind, wenn man nicht mit allen Mitteln die thermische Stagnation verhindert. Seitdem wurden verschiedene Entwicklungen zu stabileren Wärmeträgern gestartet, die Speicherung der Solarwärme in gigantischen, siesicheren Aquifer- oder Saisonspeichern erhielt große Förderung und die Kombispeichertechnik führte zu einer unüberschaubaren Vielfalt, wobei Speicherauslegungen zunehmend immer größer ausfielen. Auch Flachkollektoren versuchte man im Labor immer weiter zu verbessern, obwohl diese als Serienprodukte infolge des Preiskampfes heute im Durchschnitt eher schlechter sind als damals. Alle diese Wege wurden gut mit Forschungs- und Fördermitteln unterstützt und fanden als Stand der Technik ihren Niederschlag im Marktanzreizprogramm.

Paradigma beschritt seit 1997 einen ganz anderen Weg und wandte sich der Dewar-Vakuumröhrentechnik zu, besser bekannt als „Thermoskannenröhre“. Die Röhren wurden wesentlich verbessert, in Kollektoren aus eigener Produktion eingebaut und mit hochpräzisen, selbst hergestellten CPC-Spiegeln ergänzt. Mit diesem Vakuumröhrensystem wurde ein Minimum an Wärmeverlusten erreicht, aber auch ein Höchstmaß an komfortablem Umgang mit der Technik auf der Baustelle. Seit 2003 setzt Paradigma im sog. AquaSystem konsequent nur noch Wasser als Wärmeträger ein und schützt die Anlagen vor Frost mit Niedertemperaturwärme aus den Speichern oder aus dem Wärmenetz. Aufgrund der geringen Wärmeverluste des Kollektorsystems ist hierfür in Deutschland nur ein kleiner



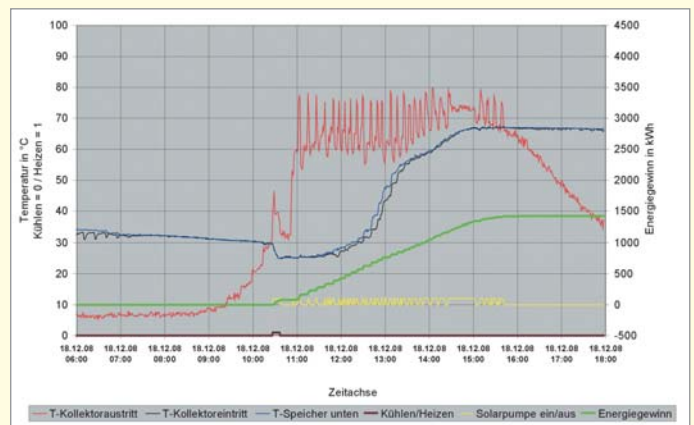
*) Stefan Abrecht ist Maschinenbauer und entwickelte im Verlauf von 20 Jahren sämtliche Flach- und CPC-Vakuumröhrenkollektoren von Paradigma sowie die zugehörigen Systemlösungen.



*) Christiane Kettner befasste sich als theoretische Physikerin in der Quantenfeldtheorie eingehend mit der mathematischen Simulation komplexer Systeme. Seit 8 Jahren nutzt sie diese Spezialkenntnisse, um bei Paradigma die Solar- und Heizungssysteme zu optimieren und Regelungen zu entwickeln, die den Wirkungsgrad des Gesamtsystems optimieren.



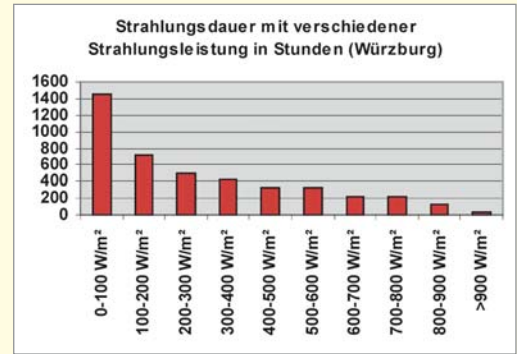
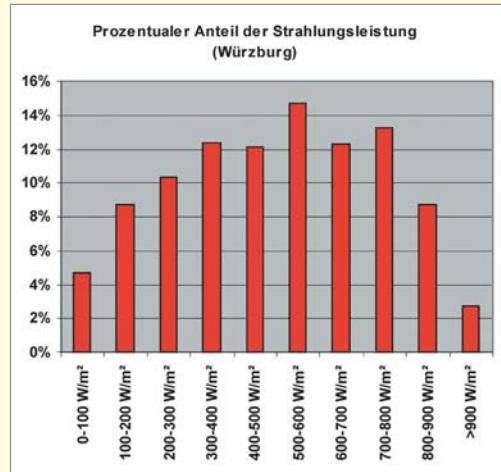
*) Rolf Meißner ist Experimentalphysiker und befasst sich seit über 20 Jahren mit Energiespeicherung. Seit 1990 ist er bei Paradigma u. a. Produktmanager und Entwickler von Solarkomponenten wie Regelungen und Speicher. Gegen Ende 2006 gründete er den Bereich „Solarthermische Großanlagen und Prozesswärme“.



Erste Betriebsergebnisse der Solaranlage FESTO:
Zunächst folgt eine Aufzeichnung vom 18. Dez. 2007. Obwohl es den ganzen Tag über frostig unter -5 °C war, wurde mühelos ständig ein Sollwert von 70 °C erreicht und eine Wärmeenergie von knapp $1,5 \text{ MWh}$ in den Speicher gebracht. Für den nahezu kürzesten und kältesten Tag des Jahres ist das ein sehr gutes Ergebnis, zumal im Winter eine beachtliche Verschattung herrscht, wie auf dem ersten Bild zu sehen ist.

Energiebetrag von 2 bis 4% des solaren Jahresenergieertrages notwendig, der durch die Vorteile des Wassers und durch den exergetischen Mehrwert hoher Arbeitstemperaturen mehr als nur kompensiert wird. Dieses Prinzip hat sich inzwischen an etwa 30.000 Anlagen bewährt. Gegenüber herkömmlichen Solaranlagen bietet es einige Vorteile:

- Die Solaranlage arbeitet wie ein Zusatzkessel mit beliebig wählbarer Temperatur.
- Solarwärmetauscher und Frostschutzmittel werden überflüssig. Das senkt enorm die Kosten.
- Es gibt kein Überhitzungsproblem mehr und Prozesswärmegewinnung bis 130°C wird damit möglich. Die Anlage darf bedenkenlos ohne Wärmeabnahme im Stillstand stehen. Damit ist der Einsatz kleiner effizienter Speicher möglich.
- Eine hervorragende thermische Schichtung im Speicher sowie ein minimaler Speicherbedarf sorgen für eine extrem schnelle Verfügbarkeit der Solarwärme.
- Übers Jahr wird gegenüber einer konventionellen Betriebsweise ca. 50 % an elektrischer Pumpenlaufzeit- und Pumpenergie gespart.
- Die umfangreiche Funktionskontrolle des Reglers



entdeckt und meldet Fehler sofort und sichert dadurch einen optimalen Betrieb.

Kollektorkennlinien

Zunächst muss ein in den Medien, vor allem im Internet und auf Herstellerprospekten oft verbreiteter Irrtum über die Ertragsverhältnisse in Deutschland klargelegt werden. Das Problem liegt in der beliebten Präsentation von Kollektorkennlinien bei exotischen Strahlungsbedingungen, z. B. bei 800 W/m². Das gilt am Referenzstandort Würzburg bei einem Süddach mit 45 Grad Neigung aber nur für 11 % der energetischen Strahlungsbilanz bzw. nur 159 Stunden im Jahr. Davon verbringt eine gut dimensionierte Anlage aber viele in der thermischen Stagnation. Dagegen kommen mehr als 13 % der Sonnenstrahlung

mit weniger als 200 W/m² vom Himmel. Das Jahresmittel der Strahlungsleistung liegt in Würzburg bei 397 W/m². Der Anteil unter 100 W/m² wurde hier 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.

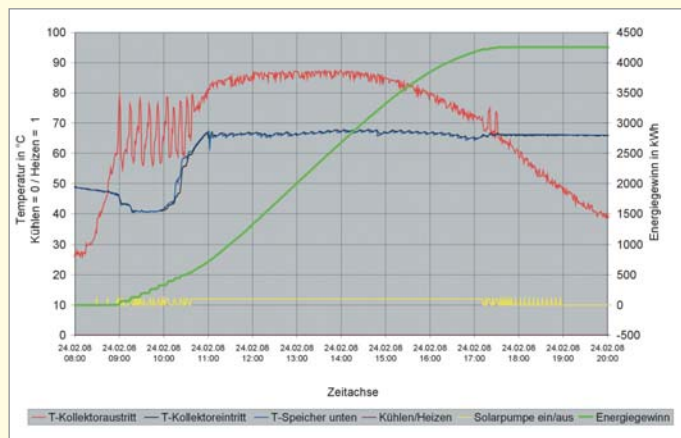
Um sicherzustellen, dass die Kollektorparameter auf derselben Messgrundlage beruhen und somit vergleichbar sind, wurden nur Testergebnisse aus dem Solar Keymark verwendet. Es wurden folgende Kollektoren verglichen (siehe Tabelle 1).

Die Solar-Keymark-Daten beziehen sich auf die Aperturfläche. Die Kennlinien im folgenden Diagramm sind jedoch auf die Bruttokollektorfläche umgerechnet, denn nur diese wird bezahlt, gefördert und verglichen und nach dieser allein ist die Dachfläche zu planen.

Die Kennlinien wurden bei einer Einstrahlung von 450 W/m² gerechnet und zeigen, dass unter anspruchsvolleren Betriebs-

bedingungen jeder der drei Röhrenkollektoren die Flachkollektoren bei spätestens 40K Temperaturdifferenz zwischen Kollektor- und Umgebungstemperatur noch in den Schatten stellt. Gegen den CPC-Vakuumröhrenkollektor verlieren durchschnittliche Flachkollektoren bereits bei Temperaturdifferenzen von 15 K und die besten ab 25K. Dabei zählen diese Flachkollektoren durchaus zu repräsentativen Vertretern ihrer „Gattung“. Der Kollektor mit Nr. 5 ist zweifellos einer von den allerbesten und soll die momentane Leistungsgrenze der Flachkollektortechnik repräsentieren. Man hätte an dieser Stelle Solarteuren gern weitere gut vertraute Kollektoren präsentiert, musste aber feststellen, dass sehr viele Hersteller wegen der Förderung zwar Solar-Keymark-Tests durchführen lassen, ihre Testergebnisse aber oft nicht öffentlich machen.

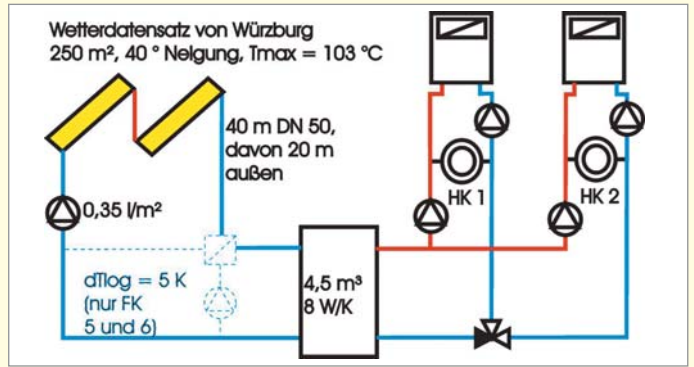
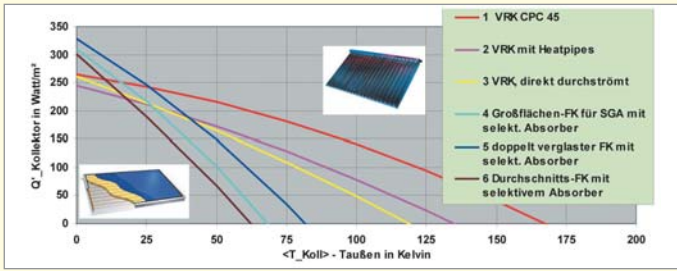
Es muss auch kritisch bedacht werden, dass die Leistungsermittlung nach DIN EN 12975 zwar bei allen Kollektoren mit Wasser durchgeführt und die mit Wasser erzielten Ergebnisse sozusagen „amtlich“ ohne Abschlag anerkannt werden, dass aber derzeit nahezu alle Hersteller die Kollektoren in der Realität mit einem Wärme-



Am 24. Februar lagen bereits einfachere Bedingungen vor. Mit Temperaturen von weit über 80°C wurden insgesamt knapp 4,3 MWh in den Speicher eingespeist. Das sind immerhin 3,2 kWh pro Quadratmeter Bruttokollektorfläche – für einen Februartag auch ein ausgezeichnetes Ergebnis. Es ist fraglich, ob es einen Flachkollektor gibt, der wenigstens an einem schönen Augusttag das gleiche Ergebnis erbringen würde.

Nr.	Kollektor	η_0	a_1 W/m²K	a_2 W/m²K²	Apertur-/Bruttofl.
1	CPC-VRK, indirekt 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 selekt. Absorber	0,745	3,260	0,0185	0,9271
5	doppelt verglaste FK mit selekt. Absorber	0,793	2,920	0,131	0,9183
5	Durchschnitts-FK mit selektivem Absorber	0,722	4,170	0,0107	0,9283

Tabelle 1



träger füllen, der z. B. bei 40°C eine 12 % geringere Wärmekapazität, die 3,8-fache Zähigkeit (Viskosität), eine 38 % geringere Wärmeleitfähigkeit, nur ein Viertel der Reynoldszahl (weshalb diese Kollektoren überwiegend bei ungünstigerer, laminarer Strömung arbeiten müssen), einen 25 % geringeren Wärmeübertragungskoeffizienten und einen um 42 % (bei turbulenter Strömung) bis 385 % (bei laminarer Strömung) höheren Druckverlust als Wasser besitzt. Zu tieferen Temperaturen hin werden die Verhältnisse immer ungünstiger. Solange nur wenige Hersteller mit Wasser arbeiten, müssen diese die Schlechterstellung einfach schlucken. Werden das aber einmal mehr, wird man sich fragen müssen, was die Zahlen der Leistungstests ohne Frostschutzmittelkorrektur eigentlich wert sind. Dann wird selbst Stiftung Warentest nicht länger abwiegeln schreiben wollen: „Wir... sind zu der Überzeugung gekommen, dass die Unterschiede unwesentlich sind...“. Jeder kann sich selbst ganz schnell davon überzeugen, wie wesentlich die Unterschiede jedoch tatsächlich sind. Wenn man einmal einen beliebigen Plattenwärmetauscher mit den Auslegungsprogrammen der Hersteller (z. B. SWEPE, Alfa Lavall, Gea WTT usw.) ehrlich ausrechnet, wobei einmal Wasser gegen Wasser und zum Vergleich Wasser gegen Frostschutzmittel zu tauschen ist, stellt man fest, dass im Übergangsbereich zwischen laminarer und turbulenter Strömung mit Frostschutzmittel etwa die 3-fache Plattenanzahl notwendig ist, um das gleiche Wärmetauschergebnis zu erzielen. Genau diese Strömungsverhältnisse herrschen aber auch in den Kollektoren. Mit Frostschutzmittel werden Kollektoren überwiegend laminar durchströmt, mit Wasser ist die Strömung überwiegend turbulent. Nahezu alle

Solarertrags-Simulationsprogramme ignorieren die physikalische Abbildung dieser Zusammenhänge durch Anwendung einfacherer Modelle vollständig. Das geradezu regelmäßige Verfehlen der vorhergesagten Jahreserträge bei Solaranlagen mit Frostschutzmitteln, was man in der Literatur über Großanlagen am besten verfolgen kann, hat vermutlich hier eine systematische Ursache. Das Rechenergebnis ganz ohne Plattenwärmetauscher, wie bei Wassersystemen, sollte nicht mehr zu übertreffen sein. Tatsächlich kann man in den bekanntesten Simulationsprogrammen die Wärmetauscher überhaupt nicht entfernen.

Dynamischer Jahresvergleich

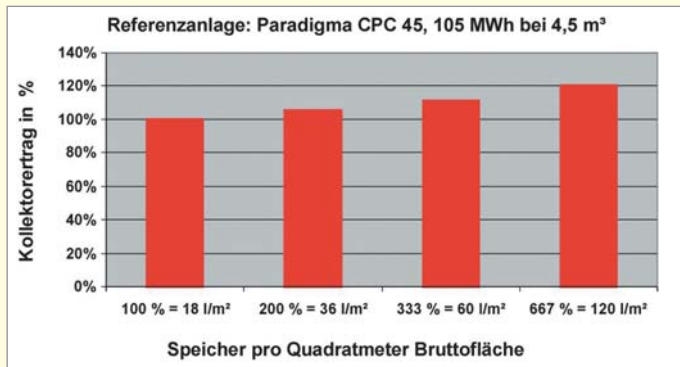
Im Folgenden soll gezeigt werden, dass die Zukunft der solaren Prozesswärmetechnik in der Röhrentechnologie liegt. Dazu wurde untersucht, wie sich die 3 eben kurz vorgestellten Röhrenkollektoren und die 3 Flachkollektoren in einer ähnlichen Anwendung wie beim Projekt FESTO verhalten würden. Es gibt zwei Lastkreise, davon eine Prozesswärmeanwendung mit einem Sollwert von 90°C, sowie

eine Raumheizung mit variablem Sollwert zwischen ca. 45°C und 70°C während der Heizperiode. Es werden 250 m² Bruttofläche mit Südausrichtung und 40° Neigung sowie ein Jahreswärmebedarf von 310 MWh angenommen. Der Speicher hat nur 4,5 m³ und spezifische Verluste von 8 W/K. Die Solarfläche besteht aus zwölf Strängen mit je 20,8 m² in Serie. Die Stränge zweigen alle nach links und rechts von einem mittleren Hauptstrang ab. Die Hauptzuleitung DN 50 liegt 20 m im Freien und 20 m im Innenbereich. Das Kollektorfeld wurde für alle Kollektoren als gleich angenommen, obwohl es für die Vergleichskollektoren meist deutlich komplizierter und mit mehr Rohraufwand im Außenbereich aufgebaut sein müsste, da z. B. keine Rückführrohre vorhanden sind und bei manchen gar nicht so viel Fläche in Serie angeordnet werden kann. Der Heatpipe-Kollektor lässt z. B. nur 6 m² Bruttofläche in Serie zu. Betriebsdruck und statische Höhe gestatten eine Beladung des Speichers bis 103°C. Aus Vergleichsgründen

werden alle Kollektoren mit dem Paradigma-Anschlussset mit integriertem Fühler ausgestattet. Alle Vakuum-Röhrenkollektoren werden mit Wasser und der Regelung SystaSolar Aqua betrieben, die Flachkollektoren dagegen mit Glykol und der Regelung SystaSolar (mit Drehzahlregelung). Bei den Flachkollektoren befindet sich ein externer Wärmetauscher zwischen Solaranlage und Speicher, wobei sich ein Delta T von 5 K einstellt. Der Kollektordurchsatz beträgt einheitlich 0,35 l/m² bezogen auf die Aperturfläche. Obwohl die meisten Systeme einen deutlich größeren Druckabfall haben und daher stärkere Pumpen bräuchten, wird der Einfachheit halber nicht der Pumpenstromverbrauch, sondern nur die reine Pumpenlaufzeit verglichen.

Lastkreis 1:
Die Vorlauftemperatur beträgt mindestens 90°C, d.h., der Solarspeicher wird erst entladen, wenn am oberen Speicherfühler T1 mindestens 90°C herrschen. Die Rücklauftemperatur beträgt 70°C. Gezapft wird nur montags bis freitags von 8:00 Uhr bis

		Vakuumröhrenkollektoren (VRK)			Flachkollektoren (FK)		
		1	2	3	4	5	6
		CPC-Vakuumröhrenkollektor direkt durchströmt mit Edelstahlregister	VRK mit Heatpipes	VRK, direkt durchströmt	Großflächen FK für SGA mit selekt. Absorber	doppelt verglaste FK mit selekt. Absorber	Durchschnitts FK mit selekt. Absorber
1	Kollektor-ertrag	104,6 MWh bzw. 100 %	85 %	81 %	53 %	55 %	37 %
4	Speicher-eintrag	98,9 MWh bzw. 100 %	84 %	81 %	39 %	52 %	33 %
7	Speicherent-nahme 90/70	58,3 MWh bzw. 100 %	78 %	75 %	28 %	45 %	22 %
8	Speicherent-nahme gesamt	89,7 MWh bzw. 100 %	80 %	76 %	40 %	46 %	34 %
9	Stillstands-tage	39 bzw. 100 %	92 %	87 %	36 %	49 %	28 %
10	Pumpen-laufzeit	768 h bzw. 100 %	184 %	178 %	209 %	266 %	248 %



17:00 Uhr mit einem maximalen Massenstrom von 10.000 kg pro Stunde. Der Jahresenergiebedarf beträgt 145 MWh.

Lastkreis 2:

Bei der 70/50-Raumheizung wird die Solaranlage zur Vorwärmung des Rücklaufs verwendet, d. h., der Solarspeicher wird entladen, sobald am oberen Speicherfühler mindestens Heizkreis-Rücklauftemperatur + 5 K herrschen. Es gibt keine Speichernachheizung, der Jahresenergiebedarf beträgt 165 MWh. Beim AquaSystem schaltet die Pumpe des Lastkreises 2 kurz ein, wenn unten im Speicher 10°C unterschritten werden und aus, wenn 15°C überschritten werden. Nur beim Referenzkollektor wird die Einspeisezeit nach dem „Eimerprinzip“ zur Begrenzung der Pumpenlaufzeit zeitlich beschränkt. **Die Wetterdaten sind von Würzburg mit einer Einstrahlung in die Kollektorebene von 1214 kWh pro Jahr.**

Das seit langem bewährte Rechenmodell wurde im Programm COLSIM aufgestellt. Gerechnet wurde im Messabstand von 5 Sekunden. Da aus DIN CERTCO Solar Keymark von den Wettbewerbs-Kollektortypen nur die Parameter für das 1xn-Knoten-Modell bekannt sind, wurden alle Berech-

nungen in diesem Modell durchgeführt. In der Jahressumme sind die Unterschiede zum 2xn-Knoten-Modell, auf denen Ertragsprognosen von Paradigma AquaSystem-SGAs sonst basieren, eher gering. Der CPC-Vakuümrohrkollektor CPC 45 Azuro wird als Referenz verwendet, die mit ihm zu erwartenden Werte werden als 100% definiert.

Es zeigt sich, dass Flachkollektoren bei einer solchen Anwendung besser nicht zum Einsatz gebracht werden sollten, weil selbst die besten unter ihnen trotz der ergänzenden Niedertemperaturanwendung im Winter kaum 50% des Kollektorertrages des CPC-Vakuümrohrkollektors schaffen könnten. Durchschnittliche Flachkollektoren kämen nur auf ein Drittel des Referenzertrages trotz der 2,5-fachen Laufzeit der Solarpumpen.

Mehr Speicher oder mehr Kollektor – was ist effektiver?

Zur Speicherung der Solarwärme dient bei der FESTO-Anlage neben einem sehr kleinen Speicher mit 17 m³ (dies entspricht wenig mehr als 10 Liter Speicher pro Quadratmeter Kollektorfläche) vor allem das Hausnetz.

Bei der Referenzanlage 1 wurde die Speichergröße von 4,5 m³ bis auf 30 m³ bzw. von 18 l/m² bis auf 120 l/m² vari-

iert. Das Ergebnis dieser Simulation steht stellvertretend annähernd auch für die FESTO-Anlage, wenn dort der Speicher von 17 m³ auf 34 m³, 57 m³ bzw. auf 114 m³ vergrößert würde. Bei Prozesswärmeanlagen bringt eine Vergrößerung des Speichers nicht viel. Da der Speicher durch die hohen Rücklaufftemperaturen (hier 70°C) im Sommer nicht richtig entleert wird, bräuhete man absurd große Speicher, um Tage ohne Last (hier das Wochenende) komplett zu überbrücken. Viel wichtiger ist es, den Bedarf schnell decken zu können, wenn er da ist.

Diese Ergebnisse sind nicht ganz neu. Bereits 2004 wurde vom ITW Stuttgart zum 14. solarthermischen Symposium in Staffelstein anhand von simulierten Betriebsergebnissen für verschiedene Speichergrößen und Kollektorflächen gezeigt, dass auch bei der klassischen Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung Vakuümrohrkollektoranlagen sowohl mit deutlich kleineren Speichern als auch mit deutlich kleineren Kollektorflächen zum selben Solargewinn f_{sav} kommen wie Flachkollektoranlagen. Die Simulationsstudie basiert auf folgenden Annahmen: EFH nach EnEV in Würzburg mit 128 m² Wohnfläche, Südausrichtung, Dachneigung 45°, Heizwärmebedarf 71 kWh/(m²a) bzw. 9090 kWh/a, witterungsgeführte Heizungsregelung mit 50/30°C, WW täglich 200 Liter bei 45°C, Kesselnutzungsgrad 85% sowie Jahresenergiebedarf von ca. 14.900 kWh. Der Parameter f_{sav} gibt an, wieviel Energie durch die Solaranlage im Vergleich zu einer konventionellen, nichtsolaren Wärmeversorgungsanlage eingespart werden kann. So leisten im Zusammenhang mit 1 m³ Speicher 35 m² Vakuümrohrkollektorfläche das Gleiche wie 100 m² Flachkollektoren. Oder 30 m³ Speicher mit 100 m² Vakuümrohrkollektorfläche leisten mehr als 100 m³ Speicher mit derselben Fläche Flachkollektoren.

Abschließende Anmerkungen zum MAP

Weil es sich bei dem oben angeführten Prozesswärmebeispiel um eine Heizungsunterstützung han-

delt, müsste der Speicher einen Inhalt von 100 l/m² Kollektorfläche bzw. von 25 m³ Inhalt haben, damit die ganze Anlage als „innovativ“ gelten könnte und nach der jüngsten Fassung des Marktanreizprogrammes (MAP) eine Förderung bekäme. Der Kollektorertrag würde um ca. 15% steigen, die Systemkosten dagegen schätzungsweise mindestens um ein Drittel, ganz abgesehen davon, dass für solche überdimensionalen Speicher in der Regel gar kein Platz vorhanden ist. Das ist ein sehr schlechtes, aber typisches Beispiel, wie der Gesetzgeber in guter Absicht überreguliert und dabei energiesparendere und volkswirtschaftlich sinnvollere Lösungen verhindert.

Noch schwerer nachvollziehbar ist die Förderung von Kollektoren nach ihrer Brutto-Kollektorfläche. Wie die Kennlinien und die Simulation zeigen, wären für Prozesswärmeanwendungen wie bei der Kollektoranlage FESTO mit leistungsschwächeren Röhrenkollektoren als CPC-Vakuümrohren für den gleichen Ertrag bis zur doppelten Bruttofläche erforderlich, bei Flachkollektoren wäre es sogar ein Vielfaches dieser Fläche. Mit dem MAP würde der Mehrbedarf an Kollektorfläche infolge geringerer Kollektorleistung durch die staatliche Zuwendung großzügig kompensiert. Kurz gesagt: Je schlechter ein Sonnenkollektor ist, umso mehr Förderung erhält er bezogen auf seine Leistung. Das ist eine sehr kurzsichtige und innovationsfeindliche Politik, zumal sie das Effizienzkriterium vermissen lässt, das nach EU-Vorgaben für eine Förderung eigentlich notwendig ist. Dass aufgrund dieses Gesetzes inzwischen bereits Billigstkollektoren zum Preis unterhalb der Förderhöhe auf den Markt drücken, ist daher nur folgerichtig und man muss es in der Marktwirtschaft gelassen sehen. Man kann es aber auch für eine hausgemachte Verschwendung von Steuergeldern halten, mit der zusätzlich das verfügbare Solarenergiepotenzial sträflich vergeudet wird. Wie man heute die Diskussion um Anbauflächen für Biosprit führt, wird man morgen auf unseren Dächern um jeden noch verfügbaren Quadratmeter Kollektorfläche feilschen müssen. ■

Typ	Speichervolumen m³	Kollektorfläche m²	Speicher pro K.-Fläche in l/m²	fsav %	Wärmepreis 2004 /kWh
FK	1	100	10	50	0,69
VRK	1	35	29	50	0,38
FK	10	35	286	50	1,27
VRK	10	22	455	50	1,33
FK	30	28	1071	50	1,12
VRK	30	18	1667	50	1,13
FK	100	100	1000	93	1,32
VRK	30	100	300	94	1,05