

Heizen mit der Sonne

Sicherheit gegen thermischen Stillstand sorgt für Effizienz



DR. ROLF MEISSNER*

CPC-Vakuümrohrenkollektoren (VRK) mit Wasser als Wärmeträger liefern nahezu unabhängig von Witterung und Jahreszeiten Temperaturen von 80 - 160 °C und sind völlig eigensicher gegen thermischen Stillstand, auch bei Stromausfall. Deshalb kann bei dieser Technologie der Speicher frei nach Platzbedarf, Lastprofil und Rentabilität optimiert und bei schönem Wetter auch im tiefsten Winter wieder vollgeladen werden. Dies prädestiniert sie für solares Heizen mit simpler Technik und hohen Deckungsanteilen.

* Rolf Meißner ist Physiker und befasst sich als Produktmanager und Entwickler seit 1990 bei Ritter Energie- und Umwelttechnik mit der Systemtechnik und Speicherung von Solarwärme. Gegen Ende 2006 gründete er den Bereich Paradigma XL Solar und ist seit 2010 Geschäftsführer der Ritter XL Solar GmbH. E-Mail: r.meissner@ritter-xl-solar.com

1. CPC-Vakuümrohrenkollektoren

Grundlage dieser Technik sind sog. Dewar- oder Sydney-Röhren. Dies sind evakuierte doppelwandige Glasgefäße, so einfach aufgebaut wie eine Vakuum-Thermoskanne (Bild 1). Entsprechend der langjährigen Erfahrung mit gläsernen Thermoskannen seit 1874 beträgt ihre Haltbarkeit 20 bis 50 Jahre. Auf der Innenröhre befindet sich im Vakuum eine hochselektive Absorberschicht, die bei guten irdischen Strahlungsverhältnissen im Stillstand bis zu 350 °C heiß wird. Wenn der Kollektor nicht im Stillstand ist, wird die Wärme über dünne, wasserführende Metallrohrregister aus Kupfer, Stahl oder Edelstahl abgeführt. Der CPC-Spiegel (Compound Parabolic Concentrator) gewährleistet, dass pro Fläche möglichst wenig Röhren gebraucht werden und trotzdem die Bruttokollektorfläche zu über 90 % optisch ausgenutzt wird. Er spart also vor allem Material, vergrößert den Ertrag und senkt die Wärmeverluste. Aufgrund seiner speziellen Geometrie wird nahezu alles direkte und diffuse Licht ausgenutzt (Bild 2).

Die Kollektorkennlinie (Bild 3) zeigt, dass für Temperaturdifferenzen zwischen Kollektor und Umgebung von 100 Kelvin der CPC-VRK mit Plasmabeschichtung bei 800 Watt/m² Einstrahlung noch 60 % Wirkungsgrad hat und selbst bei 400 W/m² noch knapp 50 %. Um Temperaturdifferenzen bis 75 Kelvin mit mindestens 40 % Wirkungsgrad zu erreichen, genügen bereits 250 W/m² Einstrahlung, dazu muss nicht einmal die Sonne scheinen. Unter einer 5 cm starken Schneedecke erhöht sich die Kollektortemperatur bei Sonnenschein noch um bis zu 50 K. Bei Betriebsdrücken von 7 bar kann Wasser mit CPC-VRK bis auf ca. 160 °C überhitzt und für Prozesswärme genutzt werden. Auch die Erzeugung von Dampf ist kein Problem und bereits in praktischer Erprobung /1/. Ein besonderer Vorteil zylindrischer Absorber ist die weitreichende Unabhängigkeit der Einstrahlungsnutzung vom radialen Einfallswinkel. Praktisch heißt dies, dass während eines Tages über viele Stunden

eine hohe Leistung erzielt werden kann. Mit dem Solar Keymark Output Calculator (SKOC) erhält man Jahressimulationen für konstante mittlere Kollektortemperaturen (Bild 4). Der SKOC geht davon aus, dass die Solarwärme vollständig genutzt wird. Verluste, außer denen des Kollektors, bleiben vom SKOC unberücksichtigt, ebenso kapazitive Effekte bzw. thermische Trägheiten. Wenn vor allem in der Heizzeit der Speicher tagsüber immer bis auf 95 °C geladen werden soll, sind 80 °C als mittlere Kollektortemperatur realistisch. Die Simulationen mit dem SKOC zeigen, dass die maximalen Jahreserträge in Deutschland sehr verschieden sind. Sie zeigen auch, dass sich die Verbesserung der CPC-VRK durch die Plasmabeschichtung auf das Jahresergebnis noch stärker auswirkt als auf die Kennlinie. Es wird deutlich, dass die 2 - 3-fache Fläche guter Flachkollektoren nötig ist, um das Ergebnis der CPC-VRK zu erreichen. Einfache bzw. „günstige“ Flachkollektoren sind zum solaren Heizen offenbar nicht geeignet. Interessant ist, dass bei 80 °C gute Flachkollektoren nicht einmal mehr den doppelten Jahres-Wärmeertrag versprechen als mit Photovoltaik gewonnene Elektroenergie /2/. CPC-VRK mit Plasma-Beschichtung schaffen gegenüber PV immerhin noch den 4-fachen Ertrag.

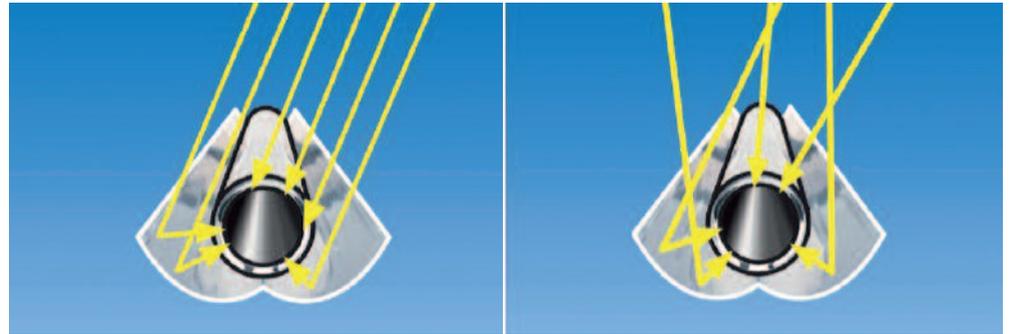
2. Heizungswasser im Sonnenkollektor

Zum Heizen mit der Sonne braucht man wintertaugliche Kollektoren. Das sind nach Stand der Technik Vakuumkollektoren. CPC-Vakuümrohrenkollektoren sind dabei die ertragreichsten, am weitesten verbreiteten und mit 15 Jahren Felderfahrung weltweit die bewährtesten. Aber auch die Kennlinien von Vakuum-Flachkollektoren versprechen hervorragende Ergebnisse im Winter. Eine hohe Leistung im Winter allein genügt jedoch nicht. Eine Solaranlage zur Winterheizung muss vor allem robust und stagnationssicher sein, denn im Sommer erzeugt sie viel Wärme im Überfluss. Stagnations-Eigensicherheit, also auch bei Strom- oder Pumpenausfall ist mit Frost-



▲ Bild 1 • Dewar-Röhre, CPC-Spiegel, Wärmeleitblech und Rohrregister

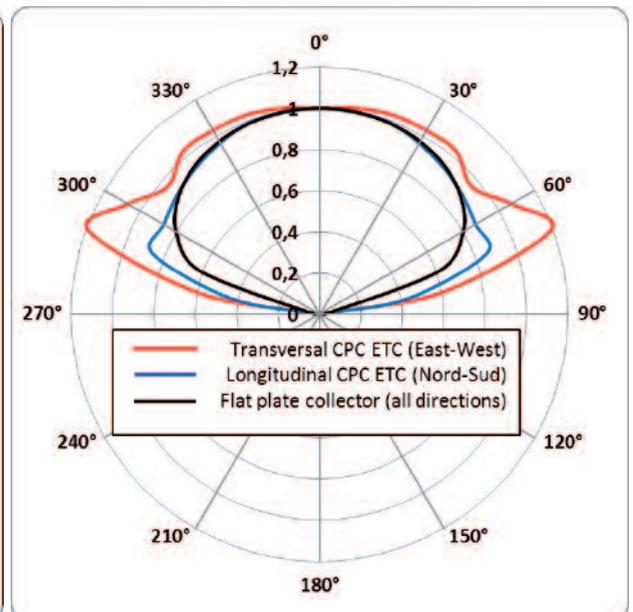
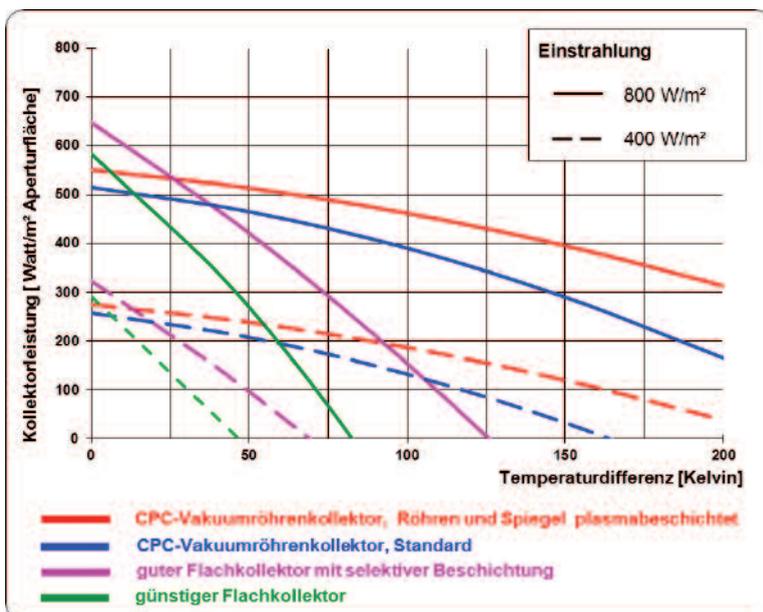
schutzmittel für Hochleistungskollektoren bisher nicht möglich. Deshalb sollte Wasser in den Kollektoren fließen. Seit 2004 gibt es wasser-basierte stagnationseigensichere Solarsysteme am Markt, die sich bis heute weit über 50.000-mal bewährten, darunter auch in einigen Großanlagen mit bis zu mehreren Tausend Quadratmetern. Im Winter werden vor allem nachts kleine Wärmemengen zum Frostschutz benötigt. Nach Zertifikaten über Klimakammertests bei -25 °C von 2003 ist dabei für Kleinanlagen mit 2 - 4 % des Jahressolarertrages zu rechnen. Die seit 2007 gut vermessene Großanlage Festo in Stuttgart/Esslingen mit 1300 m^2 benötigte weniger als 2 % und die derzeit größte Anlage in Wels/Österreich benötigte in ihrem ersten Winter nur 1,0 % Fremdwärme für Frostschutz. Heizungswasser in den Kollektoren ist nicht nur der leistungsstärkste, anlagenschonendste und langlebigste Wärmeträger, es gestattet



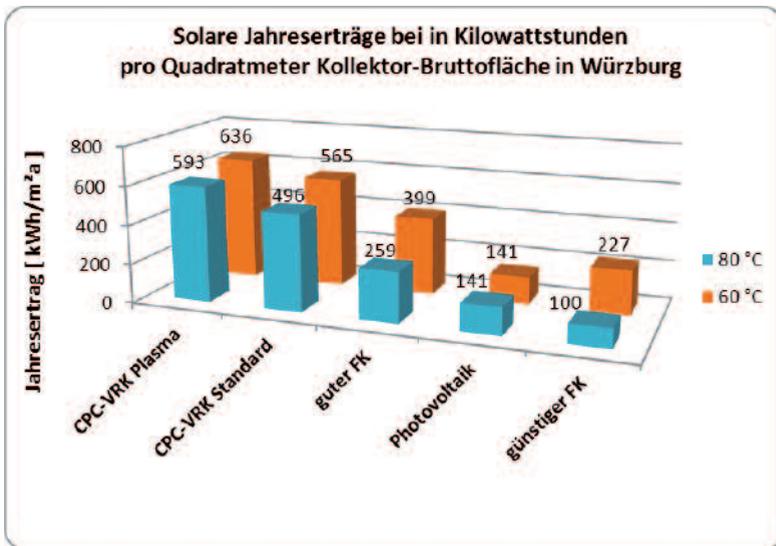
▲ Bild 2 • Strahlengang bei direkter und diffuser Einstrahlung

vor allem den Verzicht auf Solarwärmetauscher, Frostschutzmittelauffang- und -befüllvorrichtungen sowie auf Entlüfter. Die immer hohen Temperaturen der Kollektoren gestatten den Verzicht auf Umlenkventile, Mischer, Vorwärmerschaltungen, weitere Wärmetauscher auf verschiedenen Speicherhöhen – vor allem aber auf große Speicher. Denn wenn ein Speicher auch im Winter richtig heiß geladen werden kann, benötigt er viel weniger Platz. Für eine Fußbodenheizung müsste ein Speicher mit 50 °C 4 - 5-mal so groß sein wie ein am Tage mit 95 °C beladener, ganz abgesehen einmal davon, dass

Warmwasser bei 50 °C Puffertemperatur gar nicht mehr hygienisch einwandfrei bereitet werden kann. Solaranlagen mit CPC-VRK und Wasser sind annähernd so einfach zu ergänzen und zu handhaben wie ein Zusatzkessel. Die in Bild 5 skizzierte Standardanlage mit einem stagnationssicheren Solarsystem, zu dem neben CPC-VRK auch ein spezieller High-Tech-Kombispeicher [3/] gehört, wurde bereits tausendfach erprobt. Die Art der Heizkreise kann beliebig sein, doch selbstverständlich ist der Speicher umso wirkungsvoller, je niedriger die Heizkreistemperaturen sind. Die Nach-



▲ Bild 3 • Kollektorkennlinien und die Abhängigkeit der Strahlungsnutzung vom Einfallswinkel für CPC-Röhren- und für Flachkollektoren



◀ Bild 4 • Jährliche Kollektorerträge pro Quadratmeter Bruttofläche in Würzburg bei Südausrichtung und 30 Grad Neigung für mittlere Kollektortemperaturen von 60 °C und für 80 °C für CPC-VRK und Flachkollektoren, berechnet mit dem SKOC, sowie für PV, berechnet mit einem Internet-Rechner von IBC Solar.

lare DB von 60 % erreichen, bei Standardhäusern ($U=0,5$) immerhin noch deutlich über 25 %. Bei dieser relativ kleinen Kollektorfläche lässt sich mit größeren Speichern praktisch überhaupt kein Mehrertrag erzielen. Erst mit wachsenden Kollektorflächen bringen größere Speicher auch größere Jahreserträge. Dabei wächst der solare Deckungsgrad prozentual viel schneller mit der Kollektorfläche als mit der Speichergröße. Eine Vervierfachung der Fläche bringt beim Passivhaus zwischen 33 % (1100 Liter) und 50 % (8800 Liter) an Mehrertrag, ein Verachtfachen des Speichers dagegen nur zwischen 2 % (10 m²) und 15 % (40 m²). Aber bereits mit 20 m² Kollektorfläche sind solare Deckungsgrade von 50 % auch bei Niedrigenergiehäusern erreichbar und mit 30 m³ sogar bei Standardhäusern ab ca. 4000 Liter Speichergröße. Die Ergebnisse hängen auch stark vom Standort ab (Bild 7).

heizung erfolgt am besten mit einem umweltfreundlichen Pellet- oder Scheitholzkessel. Ein kleiner Gas- oder Ölkessel ist vielleicht am komfortabelsten, wenn die Infrastruktur (Hausanschluss, Tank, ...) bereits vorhanden ist. Auch Wärmepumpen sind als Nachheizung möglich, bilden aber keine optimale Ergänzung für Solaranlagen. Sie erreichen oft nicht die gewünschten Temperaturen und vermischen den Speicher, was sich mindernd auf die solare Speicherkapazität und den solaren Deckungsgrad auswirkt. Außerdem belasten sie das Stromnetz mit zusätzlichen Spitzenlasten und haben eine entschieden schlechtere CO₂-Bilanz als jeder andere Wärmeerzeuger.

der Heizungstyp, die Kollektorfläche und die Speichergröße. Die Standardanlage nach Bild 5 wurde im Simulations- und Auslegungsprogramm POLYSUN möglichst genau abgebildet (Bild 6). Damit wurden ein Passivhaus, ein Niedrigenergiehaus und ein älteres Standardhaus und je 4 verschiedene Speichergrößen in Abhängigkeit von der Kollektorfläche mit 60 °C Neigung nach Süden für ein Einfamilienhaus in Pforzheim mit 160 m² Wohnfläche gerechnet. Als Standort wurde Pforzheim gewählt, weil dort ganz in der Nähe auch das praktische Anlagenbeispiel steht, das im nächsten Kapitel vorgestellt wird. Bereits mit 10 m² Hochleistungskollektorfläche und 1100 Liter Kombispeicher lassen sich bei Passivhäusern so-

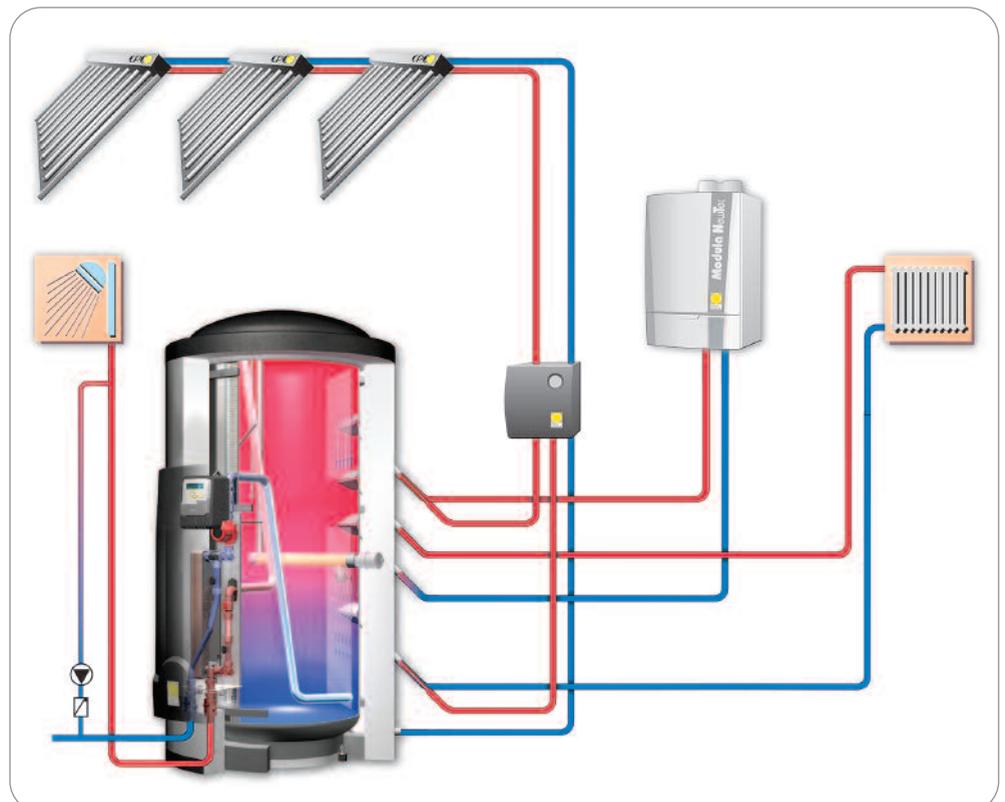
3. Die Primärenergieeinsparung

Wenn an zwei frostigen, sonnigen Januartagen die Nachheizung für einen Tag komplett ausbleibt, erreicht dieses System in Deutschland eine Primärenergieeinsparung für Heizung und Warmwasser von mindestens 50 %. Es leuchtet ein, dass dazu höchstens ein Eintages- und mindestens ein Halbtagspeicher nötig sind. Diese einfache Formel soll an den Anfang gestellt werden, um zu zeigen, dass hinter aller Komplexität alles wieder recht einfach und vorstellbar wird. Tatsächlich hängen der Energieverbrauch und das Einsparpotential von sehr vielen Faktoren ab. Die wichtigsten sind der Gebäudetyp, das Nutzungsprofil, der geografische Standort,

4. Hinweise zur Auslegung

Eine Vergrößerung der Kollektorfläche ist wesentlich effektiver als eine Vergrößerung des Speichers, wie Abb. 6 zeigt. Wenn mit Biomasse nachgeheizt wird, darf der Speicher auch viel größer sein, mindestens 50 Liter zusätzlich pro Kilowatt Kesselleistung oder noch mehr, wenn man im Jahr komfortabel möglichst selten heizen möchte. Um die Wärme jedoch über mehr als 2 - 3 Tage zu speichern, bedarf es exzellenter und damit tendenziell teurer Speichersysteme

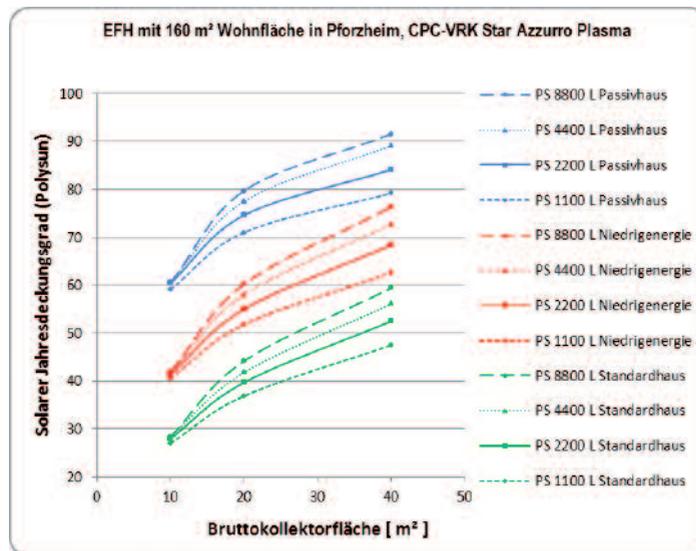
► Bild 5 • Solaranlage mit Kombispeicher Aqua EXPRESO zur Warmwasserbereitung und Raumheizung als typischer Standard für Ein- und Zweifamilienhäuser.



und viel freien Platzes. Weil relativ kleine Speicher in dieser Zeit aber sehr viel ihrer gespeicherten Energie wieder verlieren, sind der Speichereffizienz und -dauer Grenzen gesetzt. Mehr als 150 Liter Solarspeicherinhalt pro Quadratmeter Kollektorfläche sind nicht ratsam. Mit Glykol gefüllte Heizsysteme brauchen grundsätzlich viel größere Speicher, denn dort arbeiten die Speicher im Sommer als Überhitzungsschutz, sind oft zusätzlich mit elektrisch betriebenen Notkühlern ausgestattet oder müssen monatelang Tag und Nacht mit Vollast die Solarpumpe laufen lassen. Die Solaranlage kann vom technischen Standpunkt aus beliebig groß sein. Für „normales Wohnen“ mit Warmwasserbereitung und Heizung sind aus wirtschaftlicher Sicht jedoch mindestens 30 Liter Speicherinhalt pro Quadratmeter Kollektorfläche zu empfehlen, denn sonst wachsen mit zunehmender Fläche die Kosten viel schneller als der Energiegewinn. Wenn genügend Platz vorhanden ist, sind größere Speicher willkommen. Zum Heizen in der Übergangszeit und im Winter sind 60 - 75 Grad Kollektorneigung und Südausrichtung optimal aber nicht Bedingung, denn das System ist tolerant. Zwischen 40 und 90 Grad Neigung bei Südost- bis Südwestausrichtung ist alles möglich. In schneereichere Gegend sind mindestens 60 Grad Neigung und Freiheit für abrutschenden Schnee notwendig. Auch reine Fassadenanwendungen mit 90 Grad Neigung sind sehr vernünftige Lösungen für hohe solare Deckungsgrade. Beim Frischwasserspeicher Aqua EXPRESSO kann die Solarwärme auch bei kaltem Speicher bereits nach wenigen Minuten Sonnenschein mit hoher Temperatur wieder genutzt werden, was bei manch anderen Kombispeichern sonst viele Stunden dauern kann.

5 Ein nicht alltägliches Beispiel

Das Haus in Bild 8 in Dietlingen bei Pforzheim ist kein neues, aber ein futuristisches mit langer Betriebserfahrung. Bereits 1994 gewann es den Europäischen Solarpreis. Das Gesamtkonzept beruht auf der Minimierung der Gebäudeoberfläche bei gleichzeitiger Optimierung der Solarapertur und Größe. Dies wird durch einen kreissegmentförmigen Grundriss mit 212° erreicht, dessen Bogen nach Süden weist, während die gerade fensterlose Nordseite noch etwa zur Hälfte in der Erde verschwindet. Durch spezielle 3-Scheiben-Holz-Aluminium-

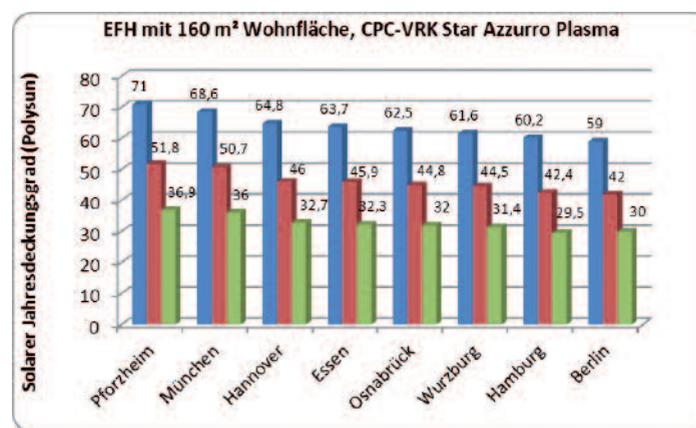


$U_{\text{Gebäude}} = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $Q_{\text{Heiz p.a.}} = 15 \text{ kWh/m}^2$
 $Q'_{\text{Heiz max}} = 30 \text{ W/m}^2$

$U_{\text{Gebäude}} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $Q_{\text{Heiz p.a.}} = 30 \text{ kWh/m}^2$
 $Q'_{\text{Heiz max}} = 55 \text{ W/m}^2$

$U_{\text{Gebäude}} = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $Q_{\text{Heiz p.a.}} = 80 \text{ kWh/m}^2$
 $Q'_{\text{Heiz max}} = 150 \text{ W/m}^2$

▲ Bild 6 • Solarer Deckungsgrad (oder Primärenergieeinsparung) für ein Passivhaus, ein Niedrigenergiehaus und ein älteres Standardhaus für 4 verschiedene Speichergrößen in Abhängigkeit von der CPC-VRK-Kollektorfläche



$U_{\text{Gebäude}} = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $Q_{\text{Heiz p.a.}} = 15 \text{ kWh/m}^2$
 $Q'_{\text{Heiz max}} = 30 \text{ W/m}^2$

$U_{\text{Gebäude}} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $Q_{\text{Heiz p.a.}} = 30 \text{ kWh/m}^2$
 $Q'_{\text{Heiz max}} = 55 \text{ W/m}^2$

$U_{\text{Gebäude}} = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $Q_{\text{Heiz p.a.}} = 80 \text{ kWh/m}^2$
 $Q'_{\text{Heiz max}} = 150 \text{ W/m}^2$

▲ Bild 7 • Solarer Deckungsgrad (oder Primärenergieeinsparung) für ein Passivhaus mit 1100 Liter Kombispeicher Aqua EXPRESSO und 20 m² CPC-VRK-Bruttokollektorfläche für verschiedene Standorte

Verbundfenster mit integrierter Jalousie (U-Wert 1,1 W/m²K) kann der Lichteinfall stufenlos geregelt und die Atmosphäre von introvertiert bis extrovertiert verändert werden. Die opaken, gedämmten Flächen besitzen einen U-Wert von ca. 0,2 W/m²K. 90 m² transparente Wärmedämmung (TWD) bildet die Hauptheizung. Über eine kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung (Rückwärmzahl über 80 %) sowie einige wenige Heizkörper kann den Wohnräumen eine Wärmeleistung von max. 20 W/m² zugeführt werden. Die Wärme für diese Zusatzheizung wird von 24 m² CPC-VRK und von einem 10-kW-Brennwertkessel zur Verfügung gestellt.

Den 24 m² CPC-VRK steht nur ein 840-Liter-Aqua-EXPRESSO-Speicher zur Verfügung. Die 2011 gemessenen 5500

kWh/a Solarertrag entsprechen bei nur 35 Litern Speicher pro m² Kollektorfläche immerhin noch 250 kWh pro m² Apertur, obwohl die Anlage im Beobachtungsjahr 772 Stunden in thermischer Stagnation war.

Das Bild 9 zeigt deutlich, dass der Dezember und der Januar ohne Gas (grün) einfach nicht auskommen, dass aber auch nur diese beiden Monate ohne thermischen Stillstand (rot) sind. Ansonsten liefert die Solaranlage (gelb) nahezu die gesamte Wärme. Eine deutliche Vergrößerung des Speichers könnte noch den geringen Gasverbrauch im März und im November eliminieren, am Dezember- und Januarergebnis änderte das aber wenig.

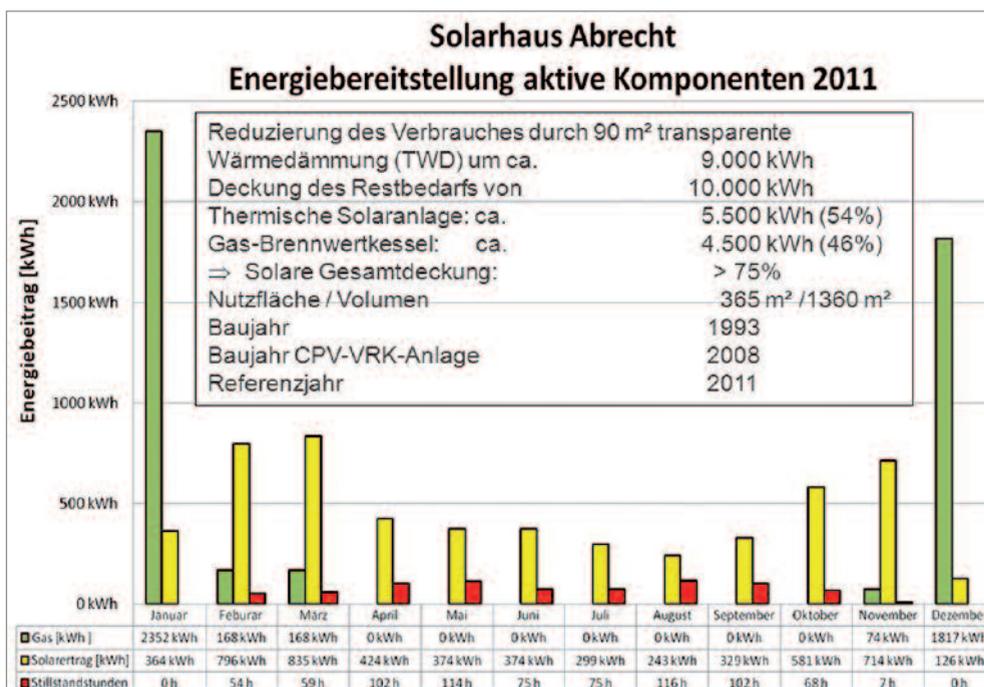
6. Zusammenfassung

Seit 2010 wurden über 750 EFH ähnlich



◀ Bild 8 • Solarhaus Abrecht mit 356 m² Nutzfläche, 24 m² CPC-VRK mit 840-l-Kombispeicher erzielen trotz 772 Stunden in Stagnation 5500 kWh/Jahr bzw. 55 % solaren Deckungsbeitrag.

Wasser als Wärmeträger am einfachsten, ertragreichsten, ökologischsten und günstigsten möglich ist. Was ist an diesem System nun besser? Nur die Kollektoren? Sie bringen bei dieser „Niedertemperatur“-Anwendung „nur“ zwischen 10 und 20 % mehr solaren Deckungsbeitrag als gute Flachkollektoren. Das klingt nicht spektakulär. Man kann es aber auch anders formulieren: Um mit anderen Kollektoren zu den gleichen Deckungsbeitrag zu kommen, braucht man bei den gleichen, kleinen Speichergrößen die doppelte bis vierfache Kollektorfläche /4/. Oder ist vor allem der Minimalismus ein Vorteil - kleine Speicher, keine Solar-WT, kein Glykol, ...? Auch das ist nicht entscheidend. Der Schlüssel-Systemvorteil ist die Stagnationssicherheit. Denn nur in völlig stagnationssicheren Solaranlagen sind nahezu beliebig kleine Speicher und nahezu beliebig große Kollektorflächen überhaupt möglich. Und zusätzlich muss betont werden, dass das System auch noch bei Stromausfall völlig stagnationssicher ist. Man darf sich getrost fragen, worauf die deutschen Fördergrenzen (BAFA bis 40 m²: 50 Liter Speicher pro m² Kollektorfläche, BAFA-Effizienzbonus ab 40 m²: 100 L/m² und BAFA-Speicherbonus ab 40 m² und 10 m³: 250 L/m²) eigentlich abzielen, sollte sich bei der Auslegung einer ertragsorientierten Solaranlage aber nicht davon beirren lassen.



▲ Bild 9 • Gasverbrauch, Solarertrag und thermische Stagnation der Solaranlage für das Solarhaus Abrecht im Messjahr 2011

ausgestattet wie das Solarhaus Abrecht. Niemand kann sagen, bei wie vielen die Sonne die Hälfte oder noch viel mehr beisteuert, aber mehr als 25 % tragen wohl alle diese Anlagen zur Primärenergieeinsparung bei. Doch jede achte davon blieb wegen zu kleiner Speicher vermutlich ohne BAFA-Förderung. Was fürs EFH gut ist, funktioniert umso besser beim MFH, in Hotels, Wohnheimen usw. Dabei kommen immer wieder die

selben Komponenten, Verfahren und Prinzipien zum Einsatz: CPC-VRK, neuerdings mit Plasma-Beschichtung, der Wärmeträger Wasser und spezielle Kombispeicher Aqua EXPRESSO, die auch die Stagnationswärme der Solaranlage nutzen, manchmal auch mit Heizungspuffern zur Speicherkaskade ergänzt. Simulationen und Praxiserfahrungen zeigen, dass effizientes solares Heizen mit Vakuumkollektoren und

Literatur

- /1/ R. Meißner, CPC-Vakuumröhren-Kollektoranlagen für Prozesswärme bis 160°C, Erneuerbare Energien Austria, 4-2012, S.16
- /2/ Internetseite <http://www.ibc-solar.de/?id=1771>
- /3/ B. Lernout, R. Meißner, Aqua EXPRESSO: Neues Frischwassersystem – ein Meilenstein in Energieeffizienz und Warmwasserkomfort, FEE Heizingjournal Spezial, 10/2009
- /4/ H. Drück, H. Müller-Steinhagen: Innovative Speicherkonzepte für Kombianlagen mit hohen solaren Deckungsanteilen, Tagungsband Solarthermisches Symposium Staffelstein 2003