

Auf einfachem Weg zum Klimaziel 2050 Heute schon bis zu 50 % Brennstoff und CO₂ einsparen

von Dr. rer. nat. Rolf Meißner

Zusammenfassung

Speicher sind teuer und brauchen noch dazu teuren Platz, den die meisten EFH nicht erübrigen können. Solarspeicher verlieren fast 9000 Stunden im Jahr Wärme, können in Deutschland aber nur höchstens 1000 Stunden Solarwärme effektiv einsammeln. Je größer Speicher sind, umso mehr Wärme verlieren sie. Dabei kann der Speicher leider nicht zwischen Solarwärme und Kesselwärme unterscheiden, so dass er u. U. übers Jahr sogar noch mehr als die gesamte Solarwärme verlieren kann [1]. Das Konzept zum Paradigma XL-Solarhaus minimiert deshalb die Speichergröße und legt die Solarflächen sehr großzügig aus. Es kommen nur die nach Stand der Technik hochwertigsten Komponenten zum Einsatz: Hochleistungs-CPC-Vakuumröhrenkollektoren und der Kombispeicher Aqua Espresso, der 2009 mit einem Award der bedeutendsten Solarmesse Intersolar für seine außergewöhnliche Energieeffizienz und zahlreichen Innovationen ausgezeichnet wurde. Den Weg zum Paradigma XL-Solarhaus ebnete aber erst das AquaSystem, bei dem anstelle von Frostschutzmittel Heizungswasser durch die Kollektoren fließt und das sich inzwischen mehr als 40.000-fach in der Praxis bewährt hat. Ab Sommer 2010 wird das Paradigma XL-Solarhaus kommerziell verfügbar gemacht.

Die Solarthermie wird damit noch um eine weitere wegweisende Innovation reicher: Im Paradigma XL-Solarhaus mit dem Kombispeicher Aqua Espresso wird der „Heißstart“ freigegeben, d. h., diese Solaranlagen schalten auch ein, wenn sich das Kollektorfeld im thermischen Stillstand befindet. Sie sind somit ständig betriebsbereit und nutzen das Kollektorfeld zusätzlich als Hochtemperaturspeicher.



Einfamilienhaus (2007): 1 m³ Puffer-
+ WW-Speicher + 44 m² Kollektorfläche



Wohnhaus mit Bürofläche (2005):
1,5 m³ Puffer + 26 m² Kollektorfläche



Passiv-Einfamilienhaus (2009): 0,8 m³
Aqua Espresso + 26 m² Kollektorfläche



Passiv-Einfamilienhaus (2000): 2,2 m³
Optima Power Isoplus + 27 m² Kollektorfläche

Bild 1 Vier Beispiele für Paradigma XL-Solarhäuser

Die theoretische Begründung für das Paradigma XL-Solarhaus wurde bereits 2003 veröffentlicht /2, 3/, aber eine technische Lösung zur unschädlichen und möglichst kostenlosen Abfuhr von Überschusswärme erschien damals noch wie eine Fata Morgana.

Energieeinsparung

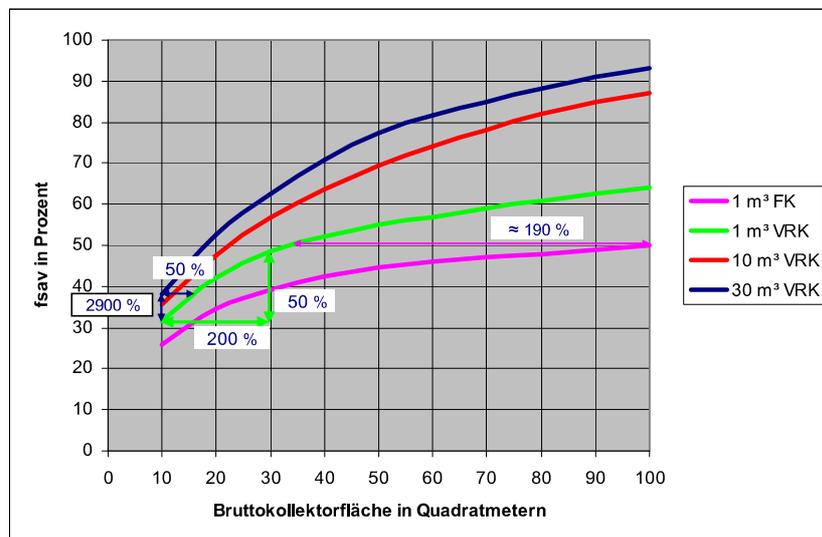


Bild 2
Anteilige Energieeinsparung f_{sav} für verschiedene Speichergößen mit Flachkollektoren (FK) und Vakuumröhrenkollektoren (VRK) in Abhängigkeit von der Kollektorfläche /2/

Zahlengrundlage ist ein Einfamilienhaus am Standort Würzburg mit 128 m² Wohnfläche, 45° Dachneigung nach Süden, 9090 kWh Heizwärmebedarf pro Jahr nach der Energieeinsparverordnung (EnEV, Stand 2003) und 3590 kWh pro Jahr Warmwasserwärmebedarf /3/. Beim Einsatz eines Öl- oder Gasheizkessels mit einem Nutzungsgrad von 85 % beträgt der insgesamt jährlich benötigte Energiebedarf knapp 15000 kWh, was etwa 1500 Litern Öl bzw. Kubikmetern Gas entspricht.

Erkenntnisse:

- ↔ Um z. B. 50 Prozent Energie sparen zu können, würde gegenüber Vakuumröhrenkollektoren fast die 3-fache Kollektorfläche Flachkollektoren gebraucht.
- ↔ Bei 10 m² Kollektorfläche und 1 m³ Speicher würden nur 5 m² mehr Kollektorfläche (50%) die gleiche Energieeinsparung bringen wie eine Verdreifachung (2900 %) des Speichervolumens.
- ↔ Eine Verdreifachung der Kollektorfläche auf 30 m² vergrößert bei gleicher Speichergöße von nur 1 m³ die Energieeinsparung auf das Anderthalbfache.

In Bild 2 berücksichtigt f_{sav} die Pufferspeicherverluste mit der pauschalen Annahme von 2 W/m²K nicht ausreichend und ignoriert ganz, dass die meisten Speicherverluste ausschließlich der Solaranlage zuzuschreiben sind, weil sich der Speicher ohne Solaranlage auf die Warmwasserbereitschaftsvorhaltung reduzieren würde. Deshalb sind alle Kurven im Nullpunkt vereint, was nur stimmen könnte, wenn alle Solaranlagen schon vom ersten Quadratmeter Kollektorfläche an Energie sparen würden. Zur Berücksichtigung der Solarspeicherverluste sollen die folgenden sehr vorsichtigen Annahmen gelten:

Speicherdämmung: 1 m³: 15 cm mit 0,04 W/mK (z. B. EPS); 10 m³: 25 cm mit 0,06 W/mK (z. B. PU-Weichschaum); 30 m³: 35 cm mit 0,07 W/mK (z. B. Steinwolle). Es wird im Jahresmittel mit 30 Kelvin Temperaturdifferenz für die Speicherverluste gerechnet. Diese Differenz wird im Durchschnitt ständig durch die Rücklauftemperaturen der Warmwasserbereitung, der Heizkreise und evtl. weiterer Prozesse (wie z. B. Kühlung) aufrechterhalten. Unter diesen Annahmen verschieben sich die Kurven aus Bild 2 unterschiedlich weit nach rechts, siehe Bild 3.

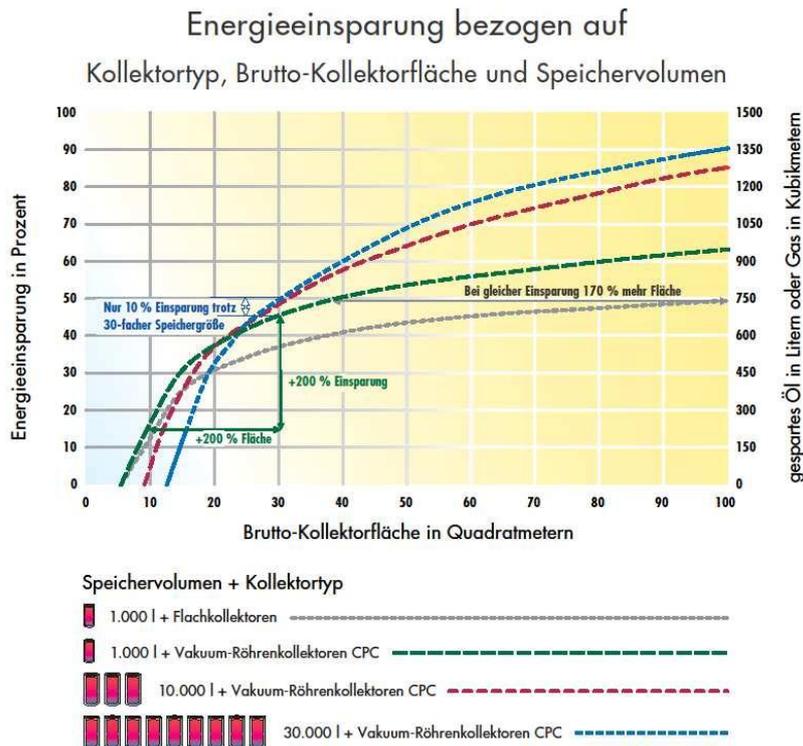


Bild 3 Anteilige Energieeinsparung und absolute Öl-/Gas-Ersparnis für verschiedene Speichergrößen in Abhängigkeit von der Kollektorfläche, abgeleitet aus Bild 2 unter Berücksichtigung der Speicherverluste

Erkenntnisse:

↔ Eine Verdreifachung der Kollektorfläche von ca. 10 m² auf ca. 30 m² bringt jetzt sogar eine Verdreifachung der Energieeinsparung von 15 % auf 45 %, während die Investitionskosten für den Speicher, die Regelung, die gedämmten Rohre und Armaturen nahezu gleich bleiben.

↔ Bei 30 m² Kollektorfläche und 1 m³ Speicher bringt eine Verdreißigfachung der Speichergröße nur eine weitere Energieeinsparung von weniger als 10 %. Bei nur 10 m² Kollektorfläche verliert ein Speicher mit 10 m³ oder größer mehr Wärme als von der Solaranlage erbracht bzw. genutzt werden kann.

Mit 9090 kWh Heizwärmebedarf pro Jahr (bzw. 71 kWh pro m² Wohnfläche und Jahr) und 3590 kWh für Warmwasserwärmebedarf setzt das Musterhaus von 2003 (vgl. Bild 2 und 3) für den Neubau heute (2010) keinen Maßstab mehr. Für eine erfolgreiche Altbausanierung passen die Zahlen jedoch gut. Mit ca. 30 m² Kollektorfläche sind in dem Beispiel etwa 45 % Einsparung an Öl und Gas möglich. Mit dem Paradigma XL-Solarhaus kommt man so den bis 2030 gesteckten Zielen einer 50%igen solaren Versorgung im Altbau mit realistisch verfügbaren Dach- und Speichervolumina bereits heute sehr nahe. Im Neubau nach Niedrigenergie- oder sogar Passivbauweise kann vor allem der Heizwärmebedarf noch deutlich sinken. Dann sind mit der gleichen Solaranlage Einsparungen von mehr als 60 % möglich. Dabei ist auch zu bedenken, dass moderne Kombispeicher wie der Aqua Espresso der in Bild 2 und 3 unterstellten Speichertechnik gemäß dem Stand der Technik von 2003 in jeder Hinsicht überlegen ist /3, 4/.

Zusatznutzen der Heißstartfunktion

Solange es thermische Solaranlagen gibt, wird es als großer Mangel empfunden, dass diese nur starten können, solange der Wärmeträger flüssig ist. Wechselt sie irgendwann im Laufe des Tages einmal in den thermischen Stillstand, dann füllen sich die Kollektoren mit Wärmeträgerdampf und an ein Wiedereinschalten der Solarpumpe wagt niemand mehr zu denken. Wenn der Wärmeträger ein Glykol-Wasser-Gemisch ist, würde er dabei sofort zerstört und die Solaranlage u. U. ebenfalls. Der Test „schneller innerer Temperaturwechsel“ gemäß EN 12975-2, der sog. Thermoschocktest, kann daher auch nur dem Zwecke der thermischen Belastung des Kollektors, nicht aber des Wärmeträgers dienen und wird deshalb mit Wasser und nicht mit Frostschutzmittel durchgeführt. Würde ein solcher Vorgang in

der Praxis unbeabsichtigt oder fahrlässig stattfinden, z. B. bei der Inbetriebnahme einer Solaranlage, führte dies regelmäßig zum Verstopfen und damit zum Totalausfall des Kollektorfeldes. Mit dem Wärmeträger Wasser ist ein Heißstart zwar auch kein Kinderspiel, wird aber technisch beherrschbar. Seine Vorteile liegen auf der Hand:



Bild 4:
Heißstart-Testanlage (2007): 2 m³ Pufferspeicher + 196 m² Kollektorfläche

- Wenn die Solaranlage jederzeit wieder zu starten vermag, darf sie auch gern abschalten, wenn der Speicher voll ist, ohne dass viel Solarwärme verloren gehen muss. Dies ermöglicht den Einsatz kleinerer Speicher.
 - Nach dem Abschalten der Solarpumpe wird erst mal ca. eine Stunde lang das Kollektorfeld wie ein Zusatzspeicher geladen. Wenn in den Vakuumröhren schließlich maximal ca. 300 °C herrschen, ist pro Quadratmeter ca. eine halbe Kilowattstunde gespeichert. Beim Heißstart können diese in nur ca. 15 Minuten wieder abgerufen werden. In dieser Zeit bringt die Solaranlage das 3-5-fache ihrer Durchschnittsleistung, kann also z. B. eine Warmwasserbereitung sehr schnell wieder herstellen.
- Nach erfolgtem Heißstart wechselt die Solaranlage wieder in den normalen Solarbetrieb.

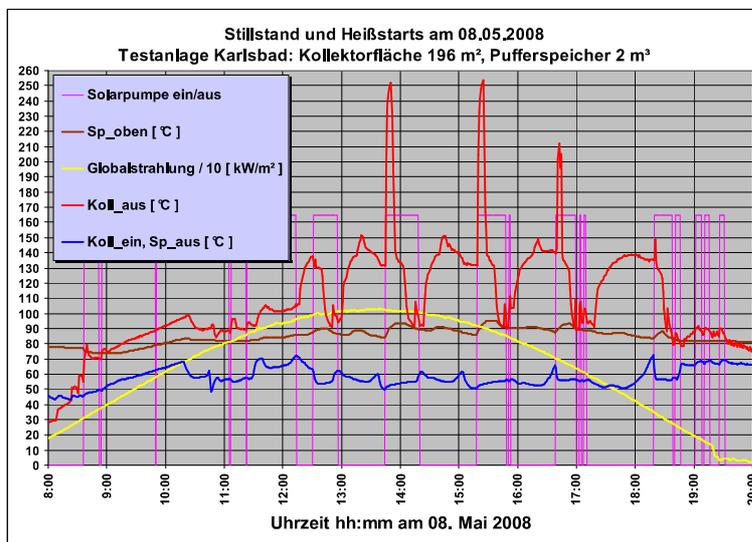


Bild 5
Heißstart-Aufzeichnungen vom Mai 2008 an einer Solaranlage mit 196 m² Kollektorfläche und 2 m³ Speicherinhalt. Die Heißstarts wurden nicht automatisch ausgelöst, sondern manuell provoziert. Die Kollektortemperatur erreichte vor dem Heißstart Temperaturen von über 250 °C.

Kosten-/Nutzen-Verhältnis

Sowohl die Kosten für die gesamte Solaranlage als auch die Energieentstehungskosten sind im wirtschaftlich interessanten Bereich umso niedriger, je kleiner der Speicher ist. Die Ergebnisse beruhen auf den folgenden vereinfachenden Annahmen:

Grundpreis Kombispeicher 1m ³ , Armaturen, Rohre, Isolierung	7000 Euro
Mehrpreis für jeden weiteren Kubikmeter Speicher	900 Euro
Solarkollektoranlage komplett pro Quadratmeter (montiert)	670 Euro

Tatsächlich sinkt z. B. der Kollektor-Quadratmeterpreis mit zunehmender Fläche, weil der Armatur-, Rohr- und Isolieraufwand nahezu gleich bleibt, wodurch der Solarenergiepreis nach dem Minimum tatsächlich langsamer wächst als hier dargestellt. Es wurde auch nicht der aufgrund des Speichers erlittene Verlust an Wohn- oder Nutzfläche berücksichtigt, z. B. als ständige Betriebskosten. Wenn im Passiv- oder Niedrigenergiehaus im Sommer sogar gekühlt wird, um die ständigen Verluste eines heißen Großspeichers zu ertragen, steigen die Kosten ins völlig Unwirtschaftliche.

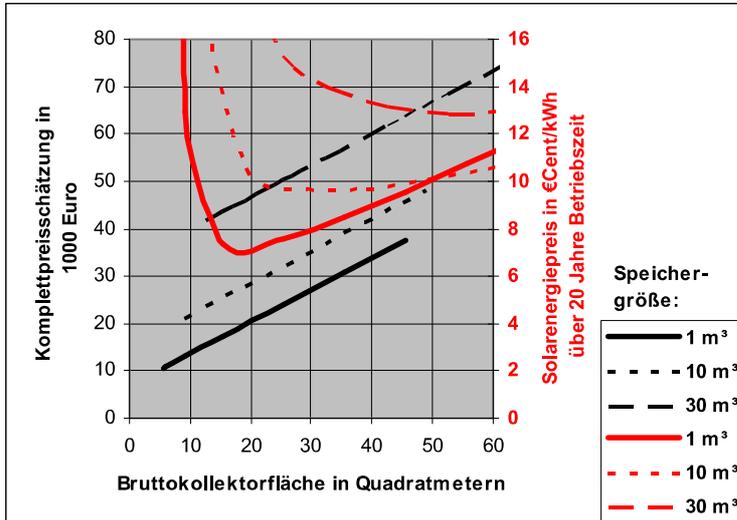


Bild 6 Die Komplettkosten der Solar- und Kombispeicheranlage (schwarze Linien) und solare Energieentstehungskosten (rote Linien) in Abhängigkeit von der Kollektorfläche für verschiedene Speichergößen

Zusätzliche Synergieeffekte großer Kollektorflächen

Eine wesentliche, oft unterschätzte Nebenfunktion von thermischen Solaranlagen besteht in der Vermeidung von Bereitschaftsverlusten, besonders im Sommer, wenn der Kesselwirkungsgrad am schlechtesten ist. Sobald der Kessel jedoch auch nur kurz nachheizen muss, ist diese Chance vertan. Diese Aufgabe können die Solaranlagen am besten leisten, welche jederzeit den höchsten Temperatursollwert des Kessels übertrumpfen und deren Wärme sofort zur Verfügung steht. Beides zusammen trifft optimal auf das AquaSystem zu. Folgendes Beispiel soll dies illustrieren: Ein Industriebetrieb in Dietlingen hat für ca. 200 Mitarbeiter einen 500-Liter-Trinkwasserspeicher. Dieser wird von der Heizanlage mit 2 Öl-Heizkesseln mit je 400 kW Leistung versorgt. Bis 2006 verbrauchte die Anlage zwischen Mai und September stets ca. 4000 Liter Heizöl, wovon ca. 90 % als Bereitschaftsverluste verloren gingen. Seit 2007 werden die Kessel bei der Trinkwassererwärmung von einem AquaSystem mit 20 m² Kollektorfläche unterstützt und der jährliche Heizölverbrauch sank auf unter 500 Liter, obwohl die Solaranlage an Sonnentagen bereits im Laufe des Vormittags in den Stillstand geht. Rein rechnerisch bringt diese Solaranlage allein in den Sommermonaten 1750 kWh/m² (= 35000 kWh/20 m²). Dies einfach als Solarertrag zu bezeichnen, wäre physikalischer Unsinn - tatsächlich handelt es sich um den Synergieeffekt vermiedener Bereitschaftsverluste.

Kesselanlage



Speicher



2007 nachgerüstete Solaranlage



Bild 7 Industriebetrieb (2007): 500 Liter WW-Peicher + 20 m² Kollektorfläche

Die Nachheizung im Paradigma XL-Solarhaus

Hinsichtlich der nichtsolaren Nachheizung ist das Paradigma XL-Solarhaus völlig flexibel. Die Wahl der Nachheizung ist deshalb keine Frage des Machbaren, sondern eine der Vernunft. Ein kleiner Gas- oder Ölkessel von wenigen Kilowatt ist immer möglich und vielleicht am komfortabelsten, jedoch oft nur sinnvoll, wenn die Infrastruktur (Hausanschluss, Tank, ...) bereits vorhanden ist. Ein kleiner Pelletkessel mit ca. 10 kW ist sehr preis- und umwelteffizient, benötigt aber einen Kombispeicherinhalt von mindestens ca. 800 Liter, denn er soll einerseits stets nur den Warmwasser-Bereitschaftsteil nachheizen, gibt aber andererseits bei jedem Start aufgrund der Systemträgheit eine Wärmemindestmenge von etwa 7 kWh ab, erwärmt also jedes Mal z. B. mindestens 200 Liter um 30 Kelvin.

Bei einem so kleinen Nachheizbedarf von 4 - 8 MWh/Jahr kann auch ein Elektroheizstab als die denkbar einfachste Lösung im Kombispeicher Aqua Expresso sinnvoll sein. Die passive, intelligente Schichteinrichtung sorgt beim Aqua Expresso dafür, dass je nach Positionierung des Fühlers die Menge an bereitzustellender Trinkwasserkapazität beliebig wählbar ist und dass die elektrisch erzeugte Wärme sofort auch in kleinsten Portionen wieder zur Warmwasserbereitung genutzt werden kann. Damit können auch kleinste Bereitschaftsvolumina wie für einen Ein- oder Zweipersonenhaushalt komfortabel dosiert werden. In der Heizperiode müsste ein zweiter Fühler dafür sorgen, dass der Heizstab dann das gesamte Bereitschaftsvolumen erwärmt.

Fragen und Antworten zum Detail

Ist das Solarfeld nicht irgendwann zu groß?

Vom technischen Standpunkt kann die Solaranlage beliebig groß sein. Für „normales Wohnen“ mit Warmwasserbereitung und Heizung sind aus wirtschaftlicher Sicht jedoch mindestens 30 Liter Speicherinhalt pro Quadratmeter Kollektorfläche zu empfehlen. Sonst wachsen mit zunehmender Fläche die Kosten viel schneller als der Energiegewinn.

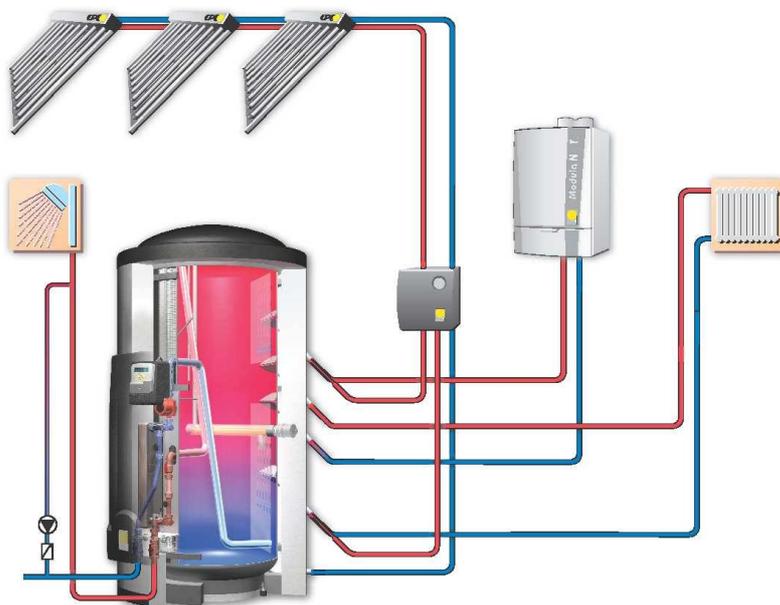


Bild 8
Solaranlage mit Kombispeicher Aqua Expresso

Würde das auch mit anderen Kollektoren funktionieren?

Es funktioniert nur, wenn das ganze Solarsystem den thermischen Stillstand verträgt. Dies schließt Glykolsysteme aus.

Wie groß darf der Speicher sein?

Wenn genügend Platz vorhanden ist und dieser nicht gebraucht wird, sind größere Speicher willkommen. Um die Wärme jedoch über mehr als 2-3 Tage zu speichern, bedarf es exzellenter Speichersysteme und viel freien Platzes. Weil relativ kleine Speicher bis ca. 1500 Liter in dieser Zeit oft die Hälfte ihrer gespeicherten Energie verlieren, sind der Speichereffizienz und -dauer Grenzen gesetzt. Mehr als 150 Liter Speicherinhalt pro Quadratmeter Kollektor-

fläche sind im EFH nicht zu empfehlen. Im typischen EFH ist eine Vergrößerung der Kollektorfläche effektvoller als eine Vergrößerung des Speichers.

Allerdings werden ein sehr großer Speicher oder oberflächenintensive Speicherkaskaden besonders in einem Passiv- oder Niedrigenergiehaus im Sommer zum Problem, weil deren Abwärme im Sommer für Unbehaglichkeit sorgt. Im schlimmsten Fall muss gegen diesen Effekt das Haus sogar extra gekühlt werden. Spätestens dann wird der Versuch der Langzeitspeicherung ad absurdum geführt.

Was passiert, wenn der Speicher voll ist?

Die Solaranlage schaltet rechtzeitig ab, bevor der Speicher ganz voll ist. Dann fängt das Wasser im Kollektorfeld an zu sieden und fördert noch etwas Wärme in den Speicher. Am Ende ist der Speicher ganz voll und die Solaranlage steht ruhig da, gefüllt mit Dampf.

Wie schnell ist die Solarwärme nutzbar?

Das hängt allein vom Speichersystem ab. Beim Frischwasserspeicher Aqua EXPRESSO kann die Solarwärme nach wenigen Minuten Sonnenschein mit hoher Temperatur genutzt werden, während dies bei einigen konventionellen Speichern bis zu einem halben Tag dauern kann.

Muss es der Frischwasserspeicher Aqua EXPRESSO sein?



Bild 9
Der Frischwasser-Kombispeicher
Aqua Expresso

Nein, das Konzept hängt nicht von einem bestimmten Speicher ab. Aber der Aqua EXPRESSO ist für das Paradigma XL-Solarhaus die optimale Ergänzung und vorerst auch als einziges für den Heißstart tauglich. Für seine einzigartigen Innovationen wurde er mit dem Intersolar Award 2009 ausgezeichnet.

Hört man das Sieden des Kollektors?

Das Sieden der Kollektoren ist kaum zu hören. Wenn Dampf in den Rohren oder im Speicher mit Wasser zusammentrifft, kommt es zeitweilig zu Dampfgeräuschen. Durch optimale Rohrdimensionierung und –verlegung sowie durch verschiedene hydraulische Tricks kann die Dampfgeräuschbildung stark unterdrückt und teilweise ganz beseitigt werden. Die Geräuschanalyse und -minimierung ist ein Hauptziel der Begleitforschung zum Feldtest mit dem Paradigma XL-Solarhaus.

Was passiert, wenn wieder Platz im Speicher ist und die Sonne noch scheint?

Dann schalten die Solarpumpen wieder ein und fördern Wasser in die überhitzten Kollektoren. Dabei bildet sich Dampf, der im Speicher sofort wieder kondensiert und dabei sehr rasch sehr viel Wärme abgibt. Dampf-Diffusoren verhindern Dampfschläge und erzeugen ein kontinuierliches Blubbern. Nach einigen Minuten verschwindet der Dampf wieder und die Solaranlage geht in den Normalbetrieb über.

Ist der Umgang mit Dampf gefährlich?

Der Dampf tritt lokal begrenzt im Solarkreis, einem geschlossenen System auf. Die außerhalb dieser Anordnung auftretenden Wassertemperaturen für die Heizung oder das Trinkwarmwasser sind stets deutlich unter der Siedetemperatur. Der Speicher überschreitet zu keiner Zeit seine zulässige Temperatur von 95 °C. In jeder solarthermischen Anlage können Zustände vorkommen, bei denen Dampf entsteht, wenn die Solarpumpe nicht läuft und die

Sonne scheint. Jede abschaltende konventionelle Solaranlage kann Wärme über Wasser- bzw. Glykoldampf in den Speicher fördern, z. B. in der Dachheizzentrale bzw. wenn sich der Speicher nahe am Kollektor oder sogar oberhalb von diesem befindet. Das Neue beim AquaSystem mit Heißstart liegt darin, dass diese Effekte nun aktiv und kontrolliert ausgenutzt werden.

Haben Stagnationssicherheit und Heißstart auch einen Sinn, wenn sie gar nicht gebraucht werden, z. B. bei stark überdimensionierten Speichern?

Das ist wie mit zwei Flugzeugen. Das eine kann nur von A nach B fliegen und zurück. Dazwischen kann es nur abstürzen. Das andere kann dagegen überall starten und landen, egal über welchem Gelände. Wer die Wahl hätte, würde gewiss das zweite vorziehen, auch wenn er zwischen A und B gar nicht landen wollte.

Literatur

- /1/ R. Meißner: Wie groß dürfen Solarspeicher eigentlich sein?, Sanitär- und Heizungstechnik 6 (2009)
- /2/ H. Drück, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: Potenziale innovativer Speichertechnologien für solare Kombianlagen, Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (2004)
- /3/ H. Drück, H. Müller-Steinhagen: Innovative Speicherkonzepte für Kombianlagen mit hohen solaren Deckungsanteilen, Tagungsband Solarthermisches Symposium Staffelstein 2003
- /4/ Bram Lernout, Rolf Meißner: Aqua Espresso: Neues Frischwassersystem - ein Meilenstein in Energieeffizienz und Warmwasserkomfort, Heizungsjournal 10 (2009)

Autor



Rolf Meißner ist Physiker und befasst sich als Produktmanager und Entwickler seit 1990 bei Ritter Energie- und Umwelttechnik mit der Speicherung von Solarwärme. Gegen Ende 2006 gründete er den Bereich Paradigma XL Solar mit der Zuständigkeit für solarthermische Groß- und Prozesswärmeanlagen.