

Innovative Speichertechnologien für solare Kombianlagen

Auf dem Weg zur fossil unterstützten Solarheizung

Solaranlagen zur kombinierten Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung gewinnen zunehmend an Bedeutung. Nachfolgend werden zunächst am Beispiel eines typischen Einfamilienhauses der Einfluss der Kollektorfläche und des Speichervolumens auf die erzielbare Energieeinsparung dargestellt. Ausgehend hiervon wird untersucht, welche Ertragssteigerungen sich durch innovative Speicherkonzepte erzielen lassen.



Bild: BSI

Solaranlagen zur kombinierten Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung sind seit einigen Jahren am Markt etabliert und gewinnen zunehmend an Relevanz. Heute besitzen diese Kombianlagen typischerweise eine Kollektorfläche von etwa 10 bis 20 m² und Speichervolumina im Bereich von 0,7 bis 1,5 m³. Beim Einsatz in einem „üblichen“ Einfamilienhaus kann mit diesen Anlagen eine Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser von ca. 20 bis 30 % erreicht werden. Soll ein deutlich größerer Anteil der benötigten Energie von der Sonne geliefert werden, so sind größere Kollektorflächen und/oder Speicherkapazitäten erforderlich. In diesem Beitrag werden zunächst am Beispiel eines typischen Einfamilienhauses der Einfluss der Kollektorfläche und des Speichervolumens auf die erzielbare Energieeinsparung dargestellt. Ausgehend hiervon wird objektiv untersucht, welche Ertragssteigerungen sich durch innovative Speicherkonzepte erzielen lassen. Hierzu wird insbesondere der Einsatz von

- Warmwasserspeichern mit optimierter Wärmedämmung (z. B. Vakuumdämmung),

- Speichern mit Phasenwechsel-Materialien (Latentwärmespeicher) und
 - thermochemischen Energiespeichern (Sorptionspeicher)
- auf der Basis von Simulationsrechnungen diskutiert.

Zusätzlich zur erzielbaren Energieeinsparung wird in dem Beitrag auch auf die sich für die unterschiedlichen Speichertechnologien und Anlagenkonzepte ergebenden solaren Wärmepreise und energetischen Amortisationszeiten eingegangen.

Anlagentypen im Überblick

Die Nutzung thermischer Solarenergie erfreut sich in der breiten Bevölkerung zunehmender Beliebtheit. Der größte Anteil der Kollektoren wird auf Ein- und Zweifamilienhäusern installiert. Bisher dienen etwa 75 % der installierten Solaranlagen ausschließlich zur Trinkwassererwärmung.

Anlagen zur Trinkwassererwärmung

Die meisten dieser Anlagen besitzen prinzipiell den gleichen Aufbau und werden heute bereits von einer Vielzahl von Her-

stellern angeboten. Bei den eingesetzten Komponenten (z. B. Pumpen, Regler, Speicher, Kollektoren) handelt es sich überwiegend um standardisierte Komponenten, die heute bereits in einer großen Stückzahl hergestellt werden. Hieraus, sowie aus dem am Markt herrschenden Wettbewerb resultiert eine deutliche Verringerung der Anlagenkosten (siehe Bild 1). Dies führt zu Wärmepreisen, die in günstigen Fällen bei Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung ohne Förderung bei ca. 0,12 bis 0,13 Euro/kWh liegen. Wird hier noch die gegenwärtige Bundesförderung von 110 Euro/m² Kollektorfläche berücksichtigt, so ergeben sich Wärmepreise die mit ca. 0,10 Euro/kWh bei den gegenwärtigen Energiepreisen schon sehr nahe an die Wärmepreise individueller Öl- bzw. Gasheizkessel heranreichen.

Solare Kombianlagen

Solaranlagen zur kombinierten Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung, so genannte Kombianlagen, sind ebenfalls bereits seit einigen Jahren am Markt etabliert und gewinnen zunehmend an Relevanz. Diese Kombianlagen besitzen gegenwärtig

typischerweise eine Kollektorfläche von etwa 10 bis 20 m² und Speichervolumina im Bereich von 0,7–1,5 m³. Hiermit kann für ein „übliches“ Einfamilienhaus eine Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser von 20 bis 30 % erreicht werden. Der Marktanteil solcher Anlagen liegt in Deutschland zwischen etwa 50 % im Süden (Bayern) und 20 bis 30 % im Norden. Für die nächsten Jahre kann erwartet werden, dass der Marktanteil von Kombianlagen bundesweit deutlich ansteigen wird. Es kann davon ausgegangen werden, dass als eine Konsequenz dieser Entwicklung eine ähnliche Preisreduktion eintreten wird, wie sie bei den Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung bereits seit vielen Jahren stattfindet. Deutliche Ansätze für eine derartige Preisreduktion sind am Markt ebenfalls bereits zu beobachten (siehe Bild 1). So wie heute bereits bei Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung wird also vermutlich in ein paar Jahren der kostengünstige Einsatz von Kombianlagen eine Selbstverständlichkeit sein.

Künftige Anlagentechnologien

Die oben beschriebene Entwicklung ist prinzipiell zu begrüßen. Allerdings sollte nicht vergessen werden, dass die erzielbare Energieeinsparung bei solchen kleinen Kombianlagen bei maximal etwa 30 % liegt. Der Hauptanteil der benötigten Wärme muss also immer noch von anderen, meist fossilen Energiequellen geliefert werden. Es ist daher nahe liegend, sich nicht auf dem bisher Erreichten auszuruhen, sondern an einer weiteren Entwicklung der Kombianlagentechnologie zu arbeiten. Das zentrale Ziel dieser Entwicklungen sollte eine deutliche Steigerung des solaren Deckungsanteils bei etwa gleich bleibenden solaren Wärmepreisen sein. Es muss also der Schritt von der so genannten „solaren Heizungsunterstützung“ hin zu einer „fossil unterstützten Solarheizung“ erfolgen.

Für die Entwicklung dieser nächsten Generation von solaren Kombianlagen, den so genannten Advanced Solar Combisystems, sind folgende Lösungsansätze denkbar:

1. Die einfachste Möglichkeit zur Erhöhung des solaren Deckungsanteils ist eine Vergrößerung der bisher bereits eingesetzten Anlagentechnik. Der Einsatz größerer Kollektorflächen und größerer Speichervolumina hat den Vorteil, dass die einzelnen Komponenten bereits von den kleinen Kombianlagen bekannt sind. Allerdings ist es offensichtlich, dass bei dieser Maßnahme die Überhitzungsprobleme im Sommer deutlich zunehmen. Um dieses

Problem zu verringern, könnten Kollektoren eingesetzt werden, deren Ertrag an den Bedarf angepasst ist. Dies ist z. B. durch die Verwendung spezieller Reflektoren möglich.

2. Es ist offensichtlich, dass höhere solare Deckungsanteile größere Speicherkapazitäten erfordern. Wird als Speichermedium weiterhin Wasser eingesetzt, so ist es denkbar, durch den Einsatz neuer Technologien für den Behälter eine deutliche Kostenreduktion zu erreichen. Möglichkeiten hierzu sind z. B. die Standardisierung großer, druckloser Kunststoffspeicher. Simulationsrechnungen haben allerdings gezeigt, dass größere Warmwasserspeicher nur dann sinnvoll sind, wenn sie über eine sehr gute Wärmedämmung verfügen.

3. Weiterhin ist der Einsatz von anderen Speichermedien (z. B. Latentwärmespeicher) oder anderen Speichertechnologien (z. B. thermochemische Speicher bzw. Sorptionspeicher) denkbar.

Um zu untersuchen, welche Energieeinsparungen sich durch diese Lösungsansätze erreichen lassen, wurde eine umfangreiche Simulationsstudie durchgeführt.

Randbedingungen der Simulation

Die Simulationsstudie basiert auf einem Einfamilienhaus am Standort Würzburg mit einer Wohnfläche von 128 m². Die Dachfläche, auf welcher die Kollektoren montiert sind, ist nach Süden ausgerichtet und weist eine Dachneigung von 45° auf. Der Heizwärmebedarf des Gebäudes, das der Energieeinsparverordnung (EnEV) ent-

spricht, beträgt 71 kWh/(m²a) bzw. 9090 kWh/a. Die Heizungsregelung wurde witterungsgeführt mit maximalen Vor-/Rücklauftemperaturen von 50/30 °C gewählt. Der Warmwasserwärmebedarf für eine tägliche Entnahme von 200 Litern bei 45 °C beträgt 28 kWh/(m²a) bzw. 3590 kWh/a. Der Gesamtwärmebedarf für die Trinkwassererwärmung und Raumheizung ergibt sich somit zu 12 680 kWh/a. Beim Einsatz eines Öl- oder Gasheizkessels mit einem Nutzungsgrad von 85 % beträgt der insgesamt jährlich benötigte Energiebedarf ca. 14 900 kWh. Als Bewertungsgröße für die Solaranlage dient die jährliche anteilige Energieeinsparung f_{sav} . Diese Größe gibt an, wie viel Energie durch die Solaranlage im Vergleich zu einer konventionellen, nicht solaren Wärmeversorgungsanlage eingespart werden kann.

Einsatz konventioneller Speichertechnologien

Zunächst wurde untersucht, welche Energieeinsparungen sich durch die im Abschnitt „Künftige Anlagentechnologien“ unter Punkt 1 und 2 beschriebenen Maßnahmen erreichen lassen. Diese auf dem Einsatz konventioneller Speichertechnologien basierenden Varianten weisen im Gegensatz zu der unter Punkt 3 angeführten Entwicklung neuer bzw. innovativer Speichertechnologien den Vorteil auf, dass sie zu großen Teilen auf eine bereits bekannte Technologie zurückgreifen und daher in einem kürzeren Zeitrahmen realisierbar sind.

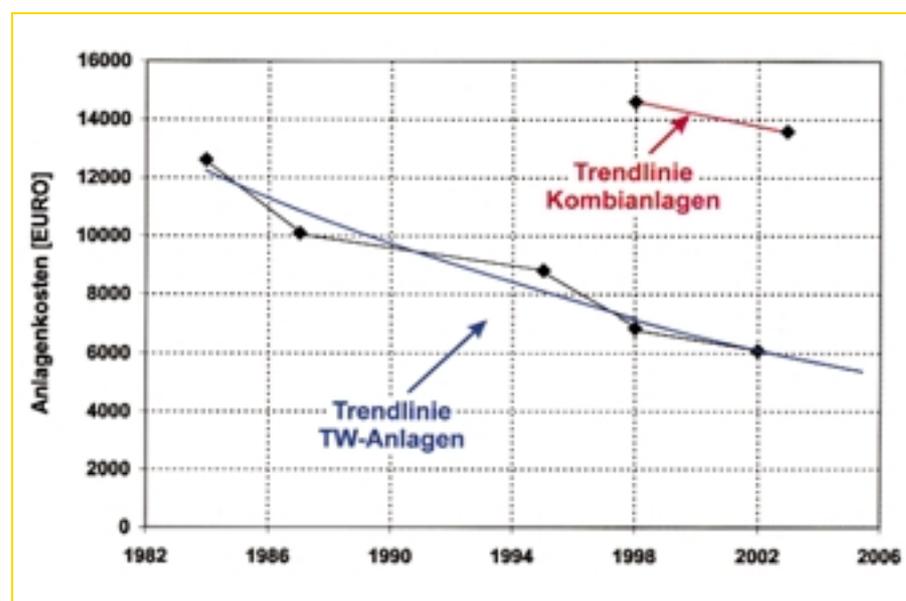


Bild 1 Entwicklung der durchschnittlichen Anlagenkosten (inkl. MwSt. und Installation) für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung (Quelle: Veröffentlichungen der Stiftung Warentest)

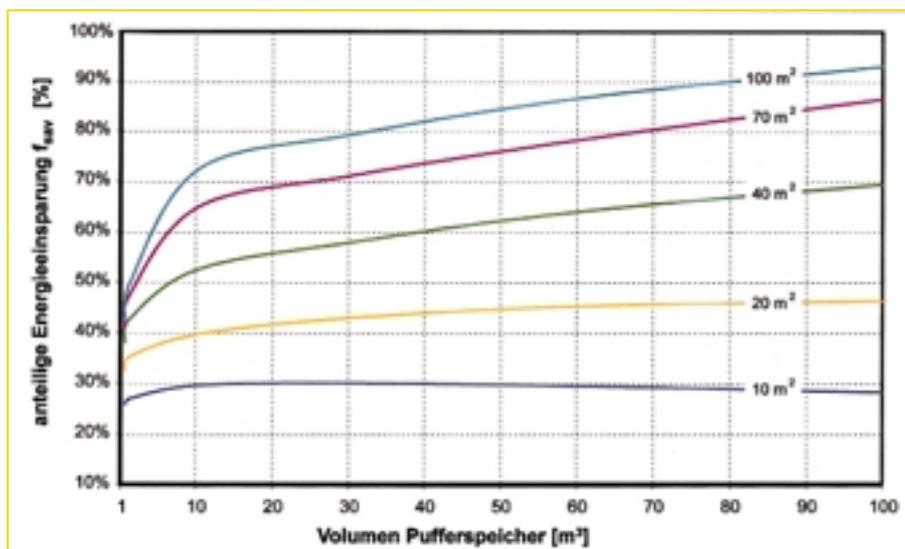


Bild 2 Einfluss des Pufferspeichervolumens und der Kollektorfläche (Flachkollektor) auf die anteilige Energieeinsparung (Trinkwasserspeicher: 300 l)

Erzielbare anteilige Energieeinsparung

- Bild 2 stellt die erzielbare anteilige Energieeinsparung in Abhängigkeit vom Speichervolumen eines mit Wasser gefüllten Pufferspeichers und von der Kollektorfläche dar. Für den Kollektor wurden hierbei die Kennwerte eines „guten“ Flachkollektors (FK) angenommen (Jahresenergieertrag $485 \text{ kWh}/(m^2a)$ nach ITW-Randbedingungen bei $A_c = 5 \text{ m}^2$ am Standort Würzburg). Aus Bild 2 ist ersichtlich, dass der Einfluss relativ kleiner Speichervolumina auf die anteilige Energieeinsparung gering ist und sich zu große Speichervolumen in Kombination mit zu kleinen Kollektorflächen sogar negativ auswirken können.

- Bild 3 zeigt prinzipiell den selben Zusammenhang wie er in Bild 2 bereits dargestellt ist. Allerdings ist hier die anteilige Energieeinsparung in Abhängigkeit von der Kollektorfläche dargestellt und als Parameter wurde das Speichervolumen gewählt. Aus Bild 3 ist ersichtlich, dass bereits bei einem Speichervolumen von 1 m^3 in Verbindung mit sehr großen Kollektorflächen relativ große anteilige Energieeinsparungen erzielt werden können. Ein signifikanter Einfluss der Kollektorfläche ergibt sich allerdings erst in Kombination mit größeren Speichervolumina.

- In Bild 4 ist ebenfalls nochmals der Einfluss der Kollektorfläche und des Volumens des Pufferspeichers auf die anteilige Energieeinsparung dargestellt. Zusätzlich ist allerdings aufgezeigt, welches Potenzial sich durch mögliche Optimierungsmaßnahmen realisieren lässt. Daher sind zum einen in dem Diagramm Kurven für einen verlustfreien Speicher (Wärmedurchgangskoeffizient

ent $U \approx 0 \text{ W}/(m^2K)$) und zum anderen für einen „guten“ Vakuumröhrenkollektor aufgetragen (Jahresenergieertrag $588 \text{ kWh}/(m^2a)$ nach ITW-Randbedingungen bei $A_c = 5 \text{ m}^2$ am Standort Würzburg). Es ist ersichtlich, dass es sowohl durch eine bessere Wärmedämmung des Speichers als auch durch den Einsatz leistungsfähigerer Kollektoren (Vakuumröhrenkollektoren) bereits mit einer relativ moderaten Anlagengröße von ca. 25 m^2 Vakuumröhrenkollektoren oder mit ca. 35 m^2 Flachkollektoren in Kombination mit 10 m^3 Speichervolumen gelingt, eine anteilige Energieeinsparung von über 50 % zu erreichen. Die Sonne

wird damit zum Hauptenergielieferant und der fossilen Wärmequelle kommt nur noch eine additive Bedeutung zu.

Bild 4 zeigt auch, dass die Unterschiede zwischen Vakuumröhrenkollektoren und Flachkollektoren mit größer werdender anteiliger Energieeinsparung zunehmen.

Stagnation im Sommer

Spätestens beim Einsatz hoch effizienter Vakuumröhrenkollektoren wird sich die Frage stellen, ob bei derartig „überdimensionierten“ Anlagen im Sommer nicht lange Stagnationszeiten sowie die damit verbundenen Probleme auftreten? Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass Stagnation z. B. durch große Speichervolumina oder durch optimierte Reflektorgeometrien reduziert werden kann. Bild 5 zeigt am Beispiel einer Anlage mit einer Kollektorfläche von 35 m^2 den Vergleich der Stagnationszeiten die bei einem Vakuumröhrenkollektor mit herkömmlichem Reflektordesign (A) auftreten (1550 h/a) zum gleichen Kollektor mit angepasster Reflektorgeometrie (B) und Stagnationszeiten von 295 h/a . Auf die anteilige Energieeinsparung f_{sav} hat der modifizierte Reflektor nur einen sehr geringen Einfluss; diese ändert sich geringfügig von 41 % (Variante A) auf 38 % (Variante B).

Einsatz innovativer Speichertechnologien

Auf der Basis der Simulationsstudie wurden ebenfalls die Potenziale so genannter innovativer Speichertechnologien untersucht. Die hierfür ermittelten Ergebnisse sind in

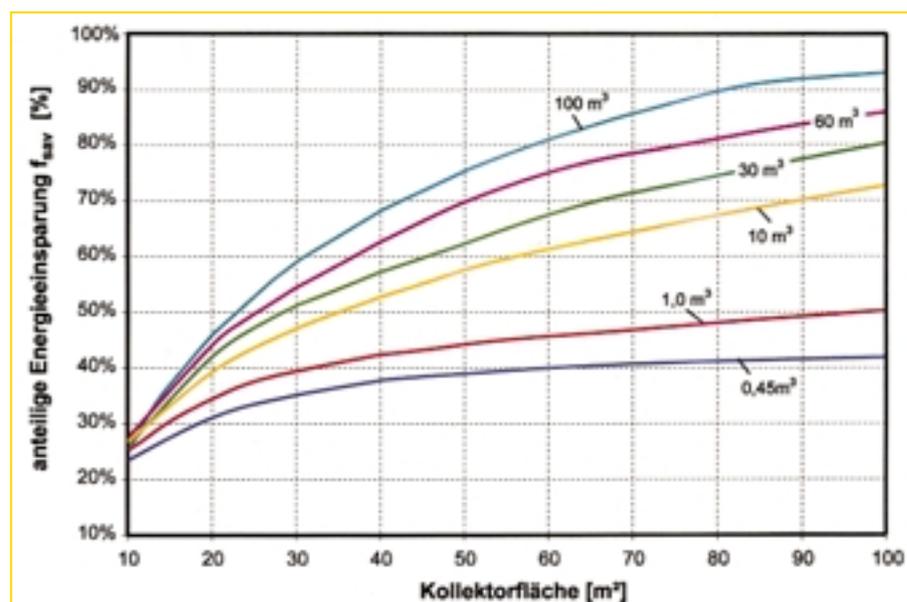


Bild 3 Einfluss der Kollektorfläche (Flachkollektor) und des Pufferspeichervolumens auf die anteilige Energieeinsparung (Trinkwasserspeicher: 300 l)

Bild 6 zusammengestellt. Als Referenz sind in Bild 6 zusätzlich zwei Kurven für einen Warmwasserspeicher mit konventioneller Wärmedämmung eingezeichnet. Aus Bild 6 ist ersichtlich, dass es beim Einsatz von Latentwärme- oder Sorptionsspeichern bereits mit einem wirksamen Speichervolumen von ca. 1 m^3 (zzgl. 750 Litern für einen „konventionellen“ Kombispeicher) und Kollektorflächen im Bereich von etwa 45 m^2 bis 50 m^2 (Flachkollektor) möglich ist, mehr als die Hälfte des Wärmebedarfs durch Solarenergie zu decken. Bei Einsatz eines konventionellen Wasserspeichers wäre hierfür bei einem Volumen von 10 m^3 eine Kollektorfläche von 35 m^2 erforderlich. Bei den in Bild 6 für die Latent- und Sorptionsspeicher angegebenen Speichervolumina ist allerdings zu berücksichtigen, dass es sich aufgrund der hier idealisiert getroffenen Annahmen um die effektiv wirksamen Speichervolumen handelt und die tatsächlich benötigten Volumina auf Grund der notwendigen Wärmeübertrager bzw. Kondensatbehälter durchaus um den Faktor zwei größer sein können. Gegenwärtig befindet sich sowohl die Latentwärme- als auch die Sorptionsspeichertechnologie für den hier zugrunde gelegten Anwendungsfall noch in der wissenschaftlichen und industriellen Entwicklungsphase. Entsprechende Speicher werden bisher nur von einigen wenigen Firmen angeboten. Langfristig sollte jedoch kein Weg an diesen Technologien vorbei führen. Im Vergleich zu Latentwärme- und Sorptionsspeichern werden beim Einsatz von Warmwasserspeichern größere Volumina benötigt. Der Vorteil von Warmwasserspeichern ist jedoch, dass es sich um eine bekannte Technologie handelt, die prinzipiell bereits auf dem Markt etabliert ist. Sie besitzen daher gegenwärtig auch das größte Kostensenkungspotenzial. Durch weitere Verbesserungen, wie z. B. einer Vakuumdämmung, ist es ebenfalls noch möglich, ihre Leistungsfähigkeit weiter zu verbessern.

Solare Wärmepreise

Eine Bewertung von Solaranlagen nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten durchzuführen ist sehr schwierig, da die Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen sehr stark von der Entwicklung der Preise für fossile Energieträger abhängt. Ein weiterer Aspekt, der die Kostenbetrachtung erschwert ist, dass die als alternative Speichertechnologien untersuchten Konzepte heute noch keine Marktrelevanz erreicht haben. Erst wenn sich eine Technologie am Markt etabliert

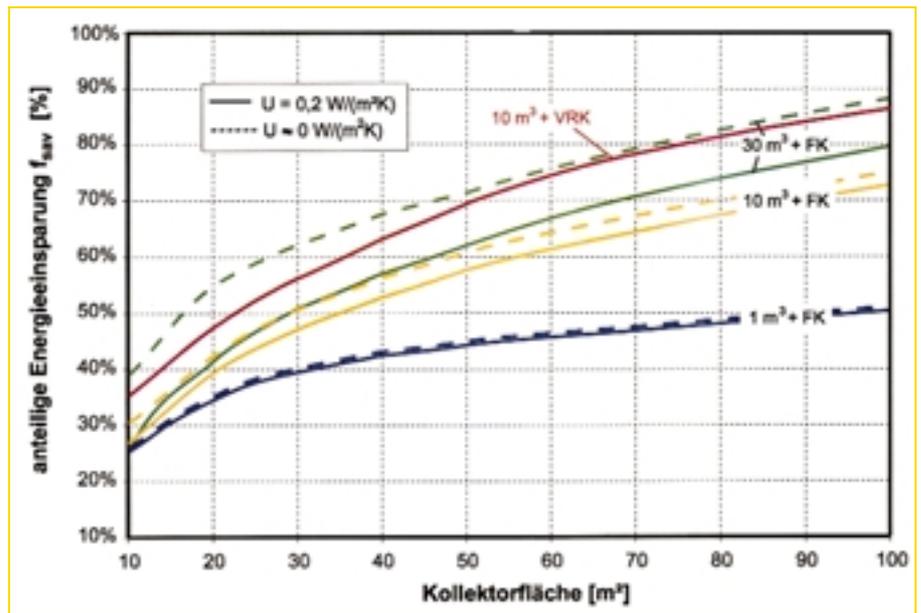


Bild 4 Einfluss des Pufferspeichervolumens und der Kollektorfläche auf die anteilige Energieeinsparung (FK = Flachkollektor; VRK = Vakuumröhrenkollektor; Trinkwasserspeicher: 300 l)

hat und in großen Stückzahlen gefertigt wird, sind die Ergebnisse einer Wirtschaftlichkeitsberechnung wirklich belastbar. Die folgende Kostenbetrachtung beschränkt sich daher auf die mit der heute bereits verfügbaren Anlagentechnologie realisierbaren Anlagenkonzepte, bei denen als Wärmespeicher ein Warmwasserspeicher eingesetzt wird.

In Tabelle 1 sind die solaren Wärmepreise für unterschiedliche Kollektorflächen und Kollektortypen sowie für verschieden große Speichervolumina zusammengestellt. Hierbei ist jeweils ein durchschnittlicher und ein günstiger Wert angegeben. Der durch-

schnittliche Wärmepreis wurde ohne Förderung und ohne Eigenleistungen (z. B. Installation) ermittelt. Bei der Ermittlung des günstigen Wärmepreises wurden diese Einsparmöglichkeiten berücksichtigt. Zusätzlich wurden hier für die Komponenten Preise kostengünstiger Anbieter zugrunde gelegt.

Energetische Amortisationszeit

Die energetische Amortisationszeit ist die Zeit, die die Anlagen benötigen, bis durch sie soviel Energie eingespart wurde, wie zu ihrer Herstellung, ihrem Transport, ihrem Betrieb und ihrer Installation benötigt wur-

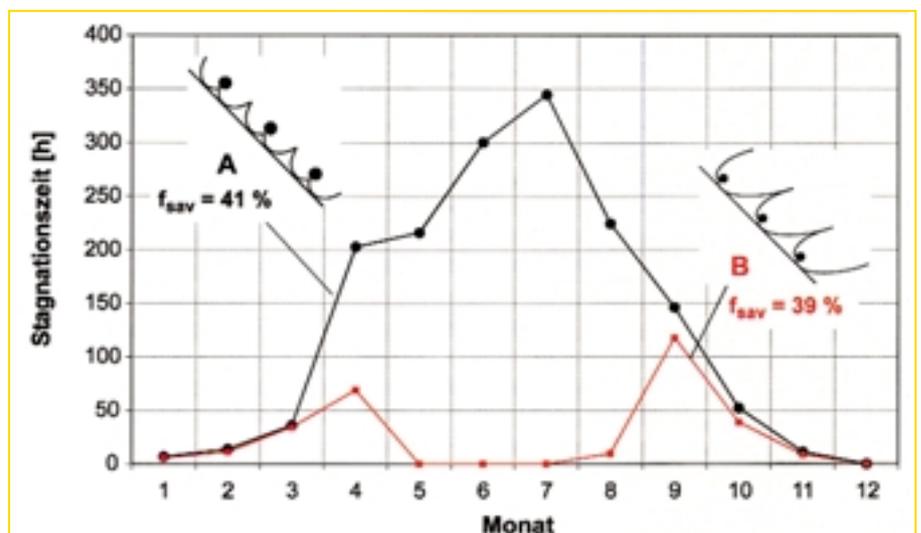


Bild 5 Monatliche Stagnationszeiten bei verschiedenen Reflektorgeometrien eines Vakuumröhrenkollektors

de. Erst wenn eine Anlage über die energetische Amortisationszeit hinaus in Betrieb ist, leistet sie bei einer ganzheitlichen Betrachtung einen wirklichen Beitrag zur Schonung unserer Ressourcen. Bei der Ermittlung der energetischen Amortisationszeit gilt prinzipiell das Gleiche wie bei der im vorangegangenen Abschnitt durchgeführten Kostenbetrachtung: Es handelt sich für die Anlagen mit Wasserspeicher nur um eine grobe Abschätzung. Für die Anlagen mit alternativen Speichertechnologien wurde auf Grund einer lückenhaften Datenbasis auf die Angabe der energetischen Amortisationszeit gänzlich verzichtet. Für einige ausgewählte Anlagengrößen sind die energetischen Amortisationszeiten in Tabelle 2 zusammengestellt.

Größerer Kollektor statt größerer Speicher

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

- Werden z. B. diejenigen Anlagen betrachtet, die eine anteilige Energieeinsparung von 50 % erzielen, so fällt für die Referenzanlage der solare Wärmepreis mit 1 m³ Speichervolumen und 35 m² Vakuumröhrenkollektor mit 0,18 bzw. 0,38 Euro/kWh am günstigsten aus. Teilweise deutlich teurer sind bei gleichem solarem Ertrag die Varianten mit größerem Speicher und kleinerer Kollektorfläche.
- So wie sich die Situation gegenwärtig darstellt, ist es kostengünstiger, den Kollektor zu vergrößern statt einen größeren Speicher einzusetzen. Ursächlich hierfür

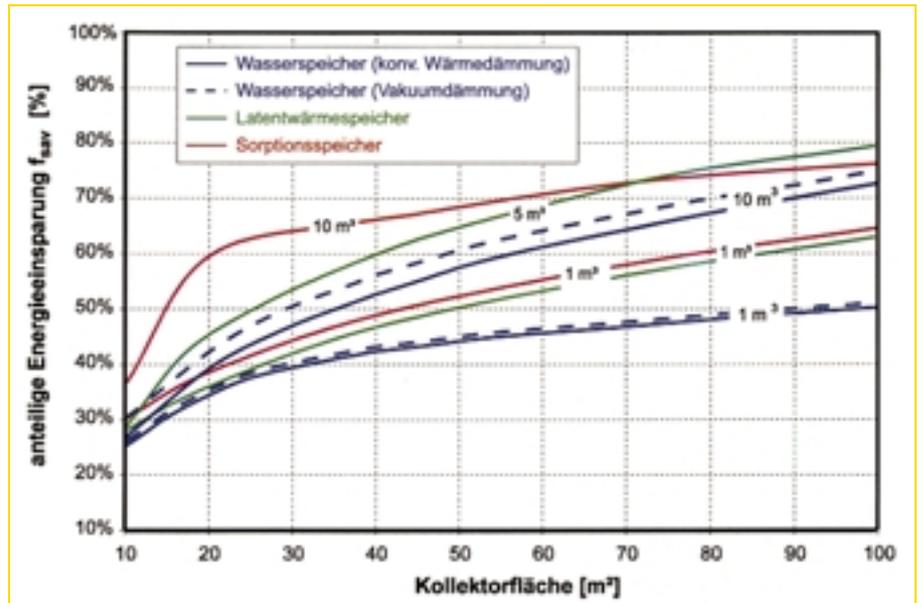


Bild 6 Anteilige Energieeinsparung von Speichertechnologien und -volumina (zzgl. 750 l Volumen des „konventionellen“ Kombispeichers) in Abhängigkeit von der (Flach-)Kollektorfläche

sind zwei Aspekte: Zum einen wird die bei der Ermittlung des günstigsten Wärmepreises berücksichtigte Bundes-Förderung auf Basis der Größe der Kollektorfläche und nicht des Speichervolumens gewährt. Zum anderen werden Kollektoren bereits heute in großen Stückzahlen produziert und daher relativ günstig am Markt angeboten. Völlig anders stellt sich jedoch die Situation bei großen Heizungsspeichern dar, da diese nur in sehr kleinen Stückzahlen oder teilweise sogar als Unikate gefertigt werden. Insbesondere durch den Einsatz größerer,

standardisierter Speicher kann hier noch ein deutliches Kostensenkungspotenzial erschlossen werden.

- Im Hinblick auf die solaren Wärmepreise haben die vorgestellten Ergebnisse gezeigt, dass es bereits heute zu durchaus moderaten Kosten schon möglich ist, etwa 50 % des benötigten Wärmebedarfs durch Solarenergie zu decken. Je nach gewählter Kombination von Speichervolumen und Kollektorfläche bzw. -typ ergeben sich Wärmepreise wie sie bereits heute für die am Markt angebotenen typischen Kombianlagen üblich sind – allerdings bei einer anteiligen Energieeinsparung die mit ca. 20 bis 30 % nur etwa halb so groß ist. Der Schritt von der solaren Heizungsunterstützung hin zur fossil oder Biomasse unterstützten Solarheizung ist also in greifbare Nähe gerückt. Dass durch diesen Ansatz auch ein ganzheitlicher Beitrag zur Schonung unserer Ressourcen geleistet werden kann, zeigen die ermittelten energetischen Amortisationszeiten, die in sämtlichen Fällen deutlich unter der zu erwartenden Lebensdauer der Anlage liegen.

- Die kostengünstige, effiziente und umweltfreundliche Speicherung von Wärme ist eine der Schlüsseltechnologien für die weitere Entwicklung der Solartechnik. Im Hinblick auf das sich aufgrund der Siedlungsstruktur und des zur Modernisierung anstehenden Gebäudebestandes zur Verfügung stehende Marktpotenzial, gilt dies insbesondere für so genannte solarthermische „Kleinanlagen“. Aus diesem Grunde wurde, unter maßgeblicher Mitarbeit des ITW, von der IEA (Internationale Ener-

Speichervolumen [m ³]	Kollektorfläche [m ²]	f _{sav} [%]	solarer Wärmepreis	
			durchschnittl. [Euro/kWh]	Günstig [Euro/kWh]
0,45	10 (FK)	25	0,19	0,06
0,45	20 (FK)	32	0,27	0,09
1	10 (VRK)	32	0,25	0,09
1	100 (FK)	50	0,69	0,24
	35 (VRK)	50	0,38	0,18
10	35 (FK)	50	1,27	0,38
	22 (VRK)	50	1,33	0,41
30	28 (FK)	50	1,12	0,35
	18 (VRK)	50	1,13	0,38
30	100 (VRK)	94	1,05	0,41
100	100 (FK)	93	1,32	0,53

Tabelle 1 Solare Wärmepreise (inkl. MwSt.) für Anlagen mit Flach-(FK) und Vakuumröhren-Kollektor (VRK) berechnet nach der Annuitätenmethode: Zinssatz 4 %, Lebensdauer 20 Jahre

gieagentur) im Solar Heating and Cooling Program eine entsprechende Arbeitsgruppe (Task 32) etabliert. Die Task 32 hat die Bezeichnung „Advanced Storage Concepts for Solar Buildings“. In ihr werden sich in den nächsten vier Jahren europäische Firmen und Forschungsinstitute gemeinsam darum bemühen, die Speichertechnologie und damit auch die Solartechnologie einen entscheidenden Schritt voran zu bringen.

Unser Autor **Dipl.-Ing. Harald Drück** ist Leiter des Forschungs- und Testzentrums für Solaranlagen (TZS) am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart. **Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Müller-Steinhagen** ist der Direktor dieses Instituts (E-Mail: drueck@itw.uni-stuttgart.de).

Speicher-Volumen [m ³]	Kollektor-fläche [m ²]	f _{sav} [%]	energetische Amortisationszeit [Jahre]
0,45	10 (FK)	25	2,0
1	100 (FK)	50	5,2
10	35 (FK)	50	4,2
30	28 (FK)	50	6,5
100	100 (FK)	93	8,4

Tabelle 2 Energetische Amortisationszeiten für verschiedene Anlagengrößen mit Wasserspeicher und Flachkollektor (FK)