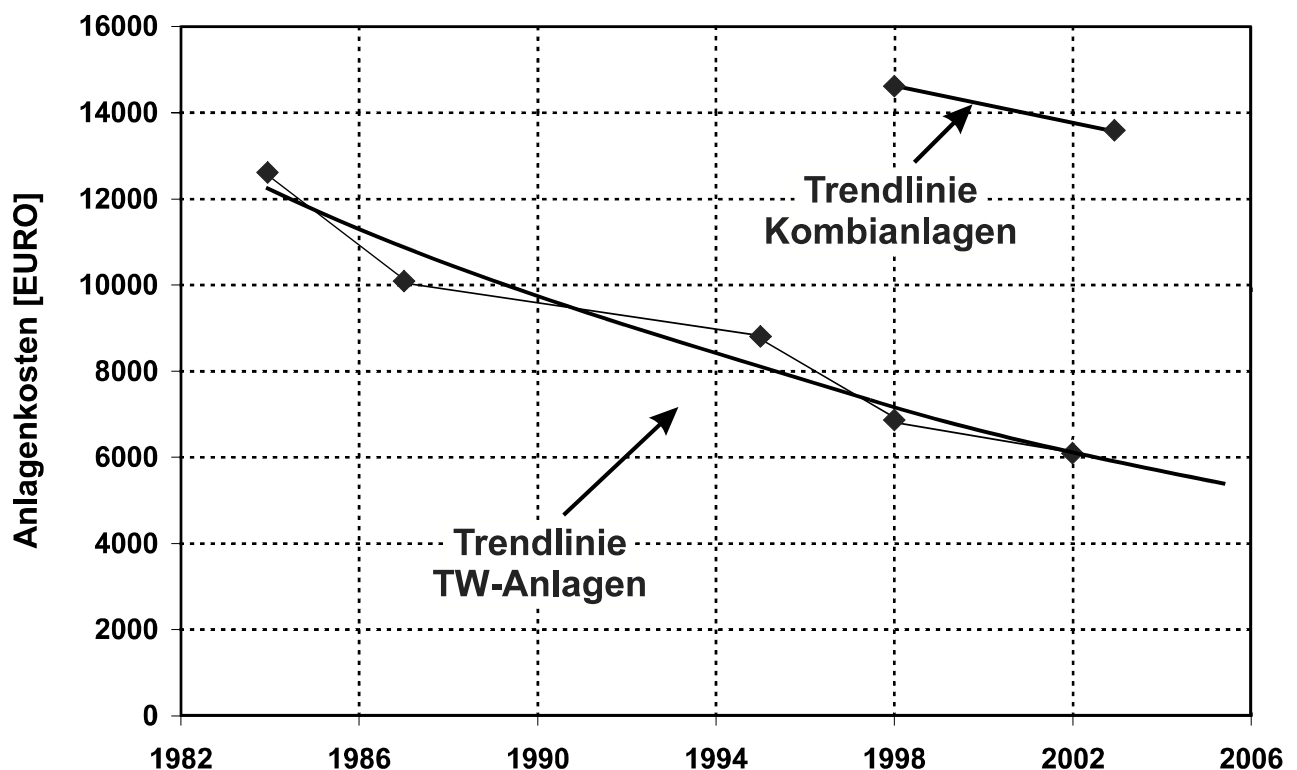


# POTENZIALE INNOVATIVER SPEICHERTECHNOLOGIEN FÜR SOLARE KOMBIANLAGEN

Harald Drück, Hans Müller-Steinhagen  
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart  
Tel.: +49 (0)711/685-3553, Fax: -3503  
E-Mail: drueck@itw.uni-stuttgart.de

## 1 Einleitung

Die Nutzung thermischer Solarenergie erfreut sich in der breiten Bevölkerung zunehmender Beliebtheit. In den vergangenen Jahren stieg die in Deutschland installierte Kollektorfläche jährlich durchschnittlich um ca. 20- 30 % auf etwa 0,9 Mio. m<sup>2</sup> im Jahr 2003. Der größte Anteil dieser Kollektoren wird auf Ein- und Zweifamilienhäusern installiert. Bisher dienen etwa zwei Drittel der installierten Solaranlagen ausschließlich zur Trinkwassererwärmung. Die meisten dieser Anlagen besitzen prinzipiell den gleichen Aufbau und werden heute bereits von einer Vielzahl von Herstellern angeboten. Bei den eingesetzten Komponenten (z. B. Pumpen, Regler, Speicher, Kollektor) 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).



**Bild 1:** Entwicklung der durchschnittlichen Kosten (incl. MwSt. und Installation) für thermische Solaranlagen in Deutschland (Quelle: Veröffentlichungen der Stiftung Warentest (StiWa))

Dies führt zu Wärmekosten, die in günstigen Fällen bei Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung ohne Förderung bei ca. 0,12 bis 0,13 €/kWh liegen. Wird hier noch die gegenwärtige in Deutschland gewährte Bundesförderung von 110 €/m<sup>2</sup> Kollektorfläche berücksichtigt, so ergeben sich Wärmekosten die mit ca. 0,10 €/kWh bei den gegenwärtigen Energiepreisen schon sehr nahe an die Wärmekosten individueller Öl- bzw. Gasheizkessel heranreichen.

Solaranlagen zur kombinierten Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung, sogenannte 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 - 20 m<sup>2</sup> und Speichervolumina im Bereich von 0,7 - 1,5 m<sup>3</sup>. Hiermit kann für ein 'übliches' Einfamilienhaus eine Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser von 20 - 30 % erreicht werden. Der Marktanteil solcher Anlagen liegt in Deutschland zwischen etwa 50 % im Süden (Bayern) und 20 % -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.

## **2 Möglichkeiten für zukünftige Anlagentechnologien**

Die oben beschriebene Entwicklung ist prinzipiell zu begrüßen - allerdings sollte auch 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 naheliegend 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 gleichbleibenden solaren Wärmekosten sein. Es muss also der Schritt von der sogenannten "solaren Heizungsunterstützung" hin zu einer "fossil unterstützten Solarheizung" erfolgen.

Für die Entwicklung dieser nächsten Generation von solaren Kombianlagen, den sogenannten 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 (siehe Kapitel 3) 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. Sorptionsspeicher) denkbar.

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

### 3 Randbedingungen

Die Simulationsstudie basiert auf einem Einfamilienhaus am Standort Würzburg mit einer Wohnfläche von 128 m<sup>2</sup>. 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) entspricht, beträgt 71 kWh/(m<sup>2</sup>a) 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/(m<sup>2</sup>a) bzw. 3590 kWh/a. Der Gesamtwärmebedarf für die Trinkwassererwärmung und Raumheizung ergibt sich somit zu 12680 kWh/a. Beim Einsatz eines Öl- oder Gasheizkessels mit einem Nutzungsgrad von 85 % beträgt der insgesamt jährlich benötigte Energiebedarf ca. 14900 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.

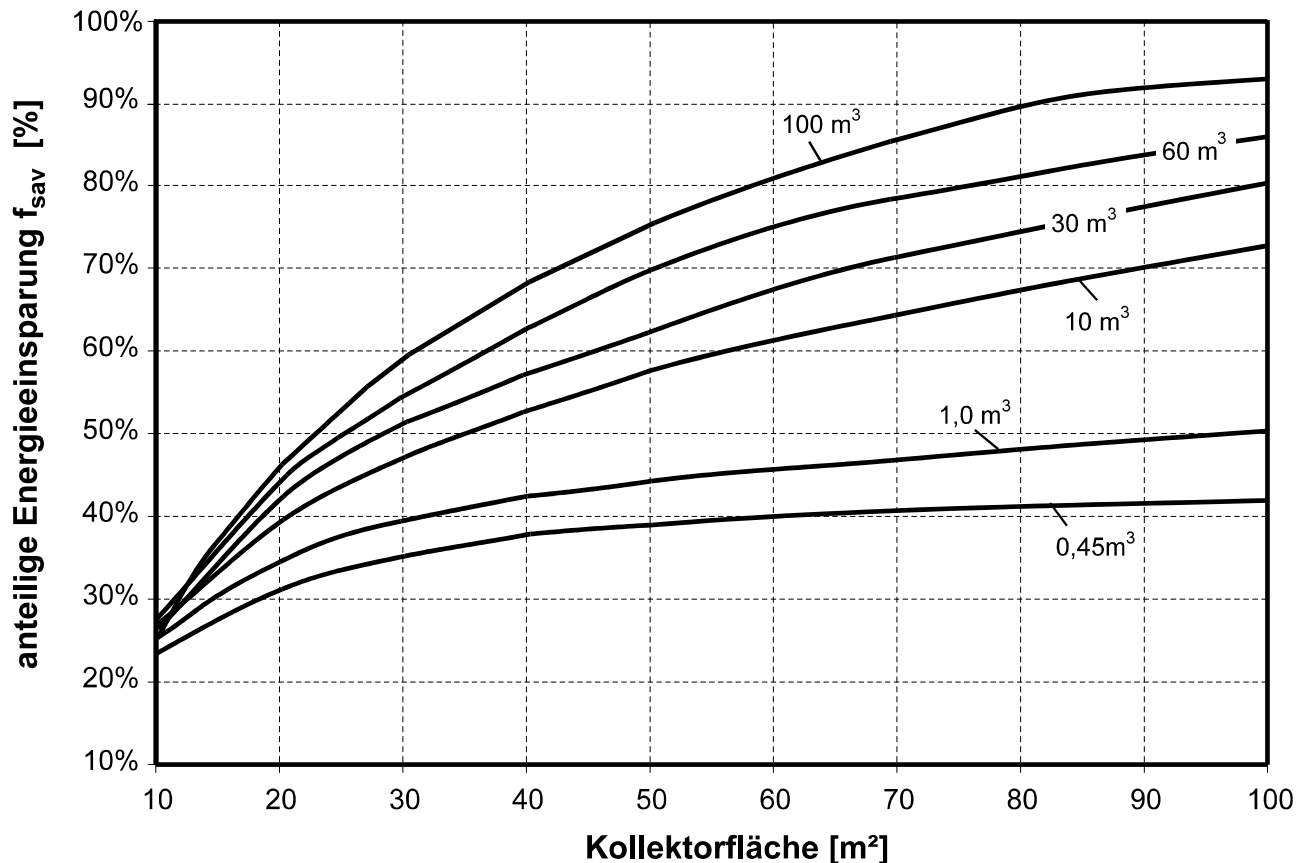
### 4 Ergebnisse beim Einsatz konventioneller Speichertechnologien

Zunächst wurde untersucht, welche Energieeinsparungen sich durch die in Kapitel 2 unter Punkt 1 und 2 beschriebenen Maßnahmen erreichen lassen. Diese auf dem Einsatz konventioneller Speichertechnologien basierenden Varianten weisen im Gegensatz zu den unter Punkt 3 angeführten Entwicklungen 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.

In Bild 2 ist die erzielbare anteilige Energieeinsparung in Abhängigkeit von der Kollektorfläche und vom Speichervolumen eines mit Wasser gefüllten Pufferspeichers dargestellt. Für den Kollektor wurden hierbei die Kennwerte eines „guten“ Flachkollektors<sup>1)</sup> (FK) angenommen.

---

<sup>1)</sup> Jahresenergieertrag 485 kWh/(m<sup>2</sup>a) nach ITW-Randbedingungen bei  $A_c = 5 \text{ m}^2$  am Standort Würzburg



**Bild 2:** Einfluss der Kollektorfläche (Flachkollektor) und des Pufferspeichervolumens auf die anteilige Energieeinsparung (Volumen Trinkwasserspeicher 300 Liter).

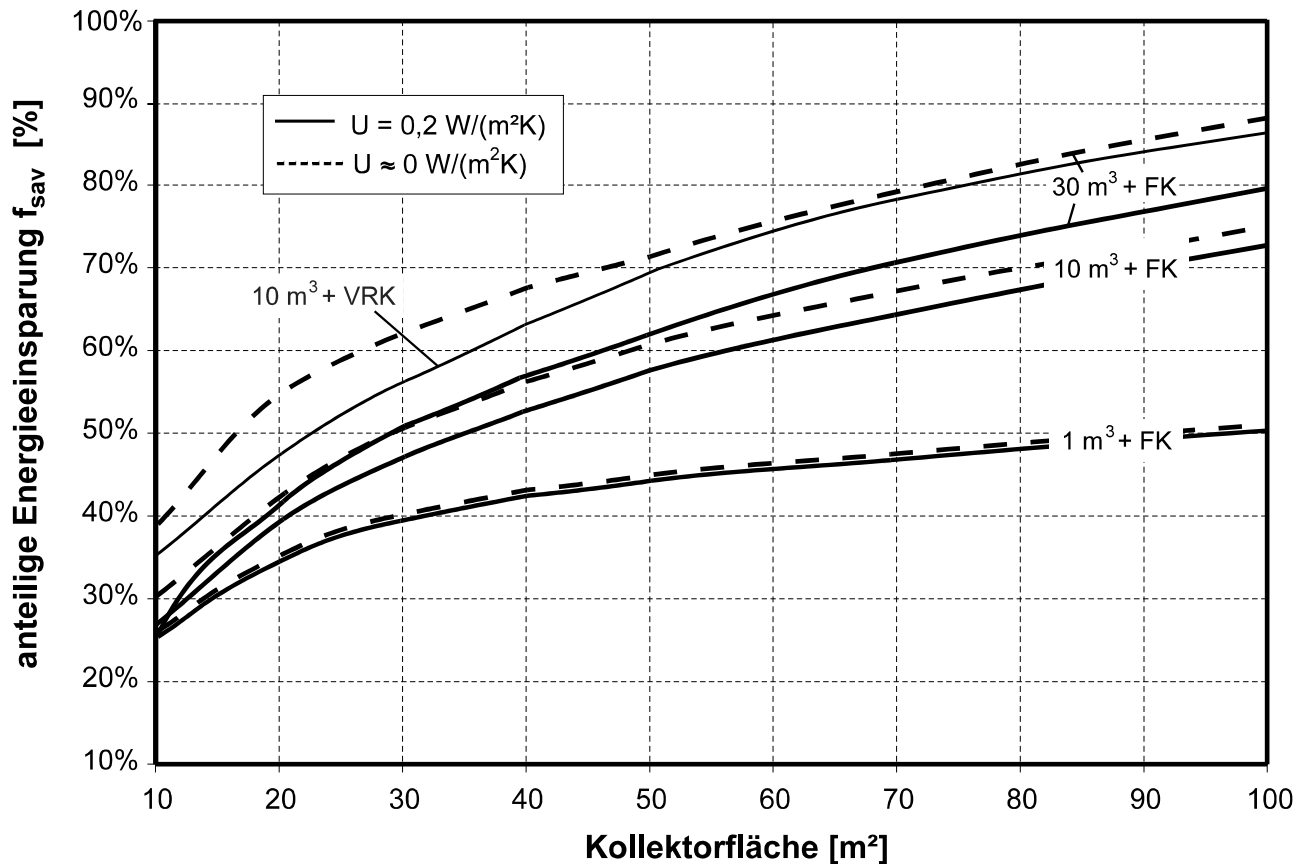
Aus Bild 2 ist ersichtlich, dass bereits bei einem Speichervolumen von  $1 \text{ m}^3$  in Verbindung mit sehr großen Kollektorflächen relativ große anteilige Energieeinsparungen erzielt werden können. Ein signifikanter Einfluss der Kollektorfläche ergibt sich allerdings erst in Kombination mit größeren Speichervolumina.

In Bild 3 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  $U \approx 0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) und zum Anderen für einen „guten“ Vakuumröhrenkollektor<sup>2)</sup> aufgetragen.

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.  $25 \text{ m}^2$  Vakuumröhrenkollektoren oder mit ca.  $35 \text{ m}^2$  Flachkollektoren in Kombination mit  $10 \text{ m}^3$  Speichervolumen, gelingt eine anteilige Energieeinsparung von über 50 % zu erreichen – die Sonne wird damit zum Hauptenergielieferant und der „konventionellen“ Wärmequelle kommt nur noch eine additive Bedeutung zu.

<sup>2)</sup> Jahresenergieertrag  $588 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  nach ITW-Randbedingungen bei  $A_c = 5 \text{ m}^2$  am Standort Würzburg

Bild 3 zeigt auch, dass die Unterschiede zwischen Vakuumröhrenkollektoren und Flachkollektoren mit größer werdender anteiliger Energieeinsparung zunehmen.



**Bild 3:** Einfluss des Pufferspeichervolumens und der Kollektorfläche (Flachkollektor) auf die anteilige Energieeinsparung (Volumen Trinkwasserspeicher 300 Liter).

## 5 Ergebnisse beim Einsatz innovativer Speichertechnologien

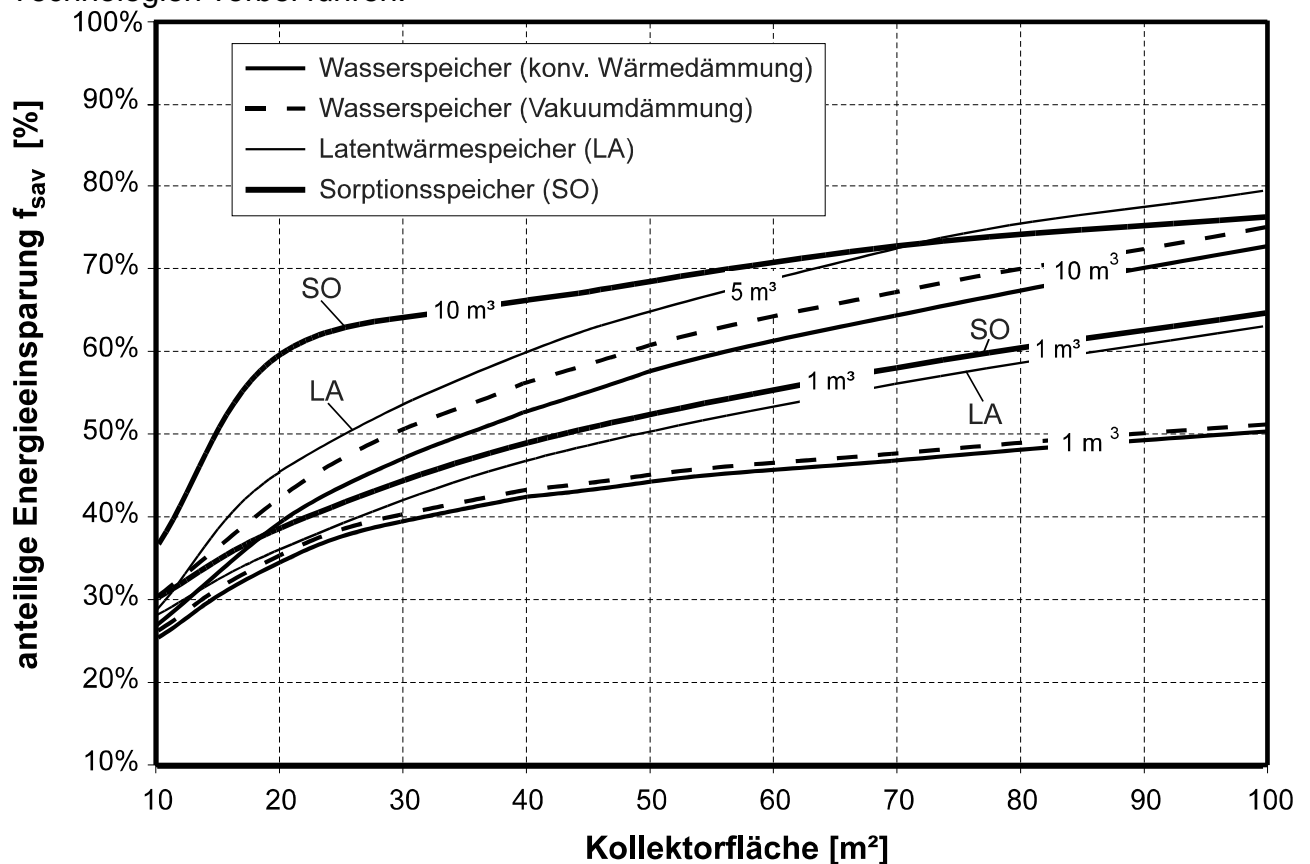
Auf der Basis der Simulationsstudie wurden ebenfalls die Potenziale sogenannter innovativen Speichertechnologien untersucht. Die hierfür ermittelten Ergebnisse sind in Bild 4 zusammengestellt. Als Referenz sind in Bild 4 zusätzlich zwei Kurven für einen Warmwasserspeicher mit konventioneller Wärmedämmung eingezeichnet (vgl. Kapitel 4).

Aus Bild 4 ist ersichtlich, dass es beim Einsatz von Latentwärme- oder Sorptionsspeichern bereits mit einem wirksamen Speichervolumen von ca. 1 m<sup>3</sup> (zzgl. 750 Litern für einen „konventionellen“ Kombispeicher) und Kollektorflächen im Bereich von etwa 45 m<sup>2</sup> bis 50 m<sup>2</sup> (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<sup>3</sup> eine Kollektorfläche von 35 m<sup>2</sup> erforderlich.

Bei den in Bild 4 für die Latent- und Sorptionsspeicher angegebenen Speichervolumina ist allerdings zu berücksichtigen, dass es sich aufgrund der hier idealisiert getroffenen Annahmen um die effektiv wirksamen Speichervolumina handelt und die tatsächlich benötigten Volumina aufgrund 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.



**Bild 4:** Anteilige Energieeinsparung für unterschiedliche Speichertechnologien und Speichervolumina (zzgl. 750 Liter Volumen des „konventionellen“ Kombispeichers) in Abhängigkeit von der Kollektorfläche (Flachkollektor)

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 zusätzliche Optimierungsmaßnahmen, wie z. B. einer Vakuumdämmung, ist es ebenfalls noch möglich ihre Leistungsfähigkeit weiter zu verbessern (siehe hierzu auch Kapitel 4).

## 6 Solare Wärmekosten

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 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 Wärmekosten für unterschiedliche Kollektorflächen und Kollektortypen sowie für verschieden große Speichervolumina zusammengestellt. Hierbei ist jeweils ein durchschnittlicher und ein günstiger Wert angegeben. Die durchschnittlichen Wärmekosten wurden ohne Förderung und ohne Eigenleistungen (z. B. Installation) ermittelt. Bei der Ermittlung der günstigen Wärmekosten wurden diese Einsparmöglichkeiten berücksichtigt. Zusätzlich wurden hier für die Komponenten Preise kostengünstiger Anbieter zugrunde gelegt.

Speicher- volumen [m <sup>3</sup> ]	Kollektor- fläche [m <sup>2</sup> ]	f <sub>sav</sub> [%]	solare Wärmekosten	
			durchschnittlich [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 Wärmekosten (incl. MwSt) für verschiedene Anlagengrößen mit Flachkollektor (FK) und Vakuumröhrenkollektor (VRK) Berechnet nach Annuitätenmethode: Zinssatz 4 %, Lebensdauer 20 Jahre

## 7 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 wurde. 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

Speicher- Volumen [m <sup>3</sup> ]	Kollektor- fläche [m <sup>2</sup> ]	f <sub>sav</sub> [%]	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)

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 aufgrund einer lückenhaften Datenbasis auf die Angabe der energetischen Amortisationszeit gänzlich verzichtet. Für einige ausgewählte Anlagengrößen sind die energetischen Amortisationszeiten in Tabelle 2 zusammengestellt.

## **8 Zusammenfassung**

Werden z. B. diejenigen Anlagen betrachtet, die eine anteilige Energieeinsparung von 50 % erzielen, so fallen für die Referenzanlage mit 1 m<sup>3</sup> Speichervolumen und 35 m<sup>2</sup> Vakuumröhrenkollektor die solaren Wärmekosten mit 0,18 bzw. 0,38 EURO/kWh am Günstigsten aus. Teilweise deutlich teurer sind bei gleichem solaren 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 sind zwei Aspekte: Zum Einen wird die bei der Ermittlung der günstigen Wärmekosten berücksichtigte deutsche Bundesförderung 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 Wärmekosten haben die vorgestellten Ergebnisse gezeigt, dass es bereits heute zu durchaus moderaten Kosten möglich ist, etwa 50 % des benötigten Wärmebedarfs durch Solarenergie zu decken. Je nach gewählter Kombination von Speichervolumen und Kollektorfläche bzw. -typ ergeben sich Wärmekosten, wie sie bereits heute für die am Markt angebotenen typischen Kombianlagen üblich sind - allerdings bei einer anteiligen Energieeinsparung die mit ca. 20 – 30 % nur etwa halb so groß ist. Der Schritt von der solaren Heizungsunterstützung hin zur fossil oder mit 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 aufgrund der Siedlungsstruktur und des zur Modernisierung anstehenden Gebäudebestandes zur Verfügung stehende Marktpotenzial gilt dies insbesondere für sogenannte solarthermische „Kleinanlagen“.

Aus diesem Grunde wurde von der IEA (Internationale Energieagentur) 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.