

# **Vergleich verschiedener Maßnahmen zur Ertragssteigerung von solarthermischen Kombianlagen**

K. Zaß, C. Wilhelms, K. Vajen, U. Jordan

Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik, D-34109 Kassel  
Tel.: 0561 / 804-3890, Fax: -3993, [www.solar.uni-kassel.de](http://www.solar.uni-kassel.de), [solar@uni-kassel.de](mailto:solar@uni-kassel.de)

W. Kramer

Wagner & Co. Solartechnik GmbH, Zimmermannstr. 12, D-35091 Cölbe  
Tel.: 06421 / 8007-0, Fax: -22, [www.wagner-solar.com](http://www.wagner-solar.com), [info@wagner-solar.com](mailto:info@wagner-solar.com)

## **Einleitung**

Ein wachsender Anteil der in Deutschland und Europa verkauften solarthermischen Anlagen sind Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung (TWW) und Raumheizungsunterstützung (RH). Gleichzeitig steigt auch die Nachfrage nach größeren Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern mit anteiligen Energieeinsparungen von mehr als 30 %. Um diese Erträge zu erreichen, sind Kollektorflächen von mehr als 15 m<sup>2</sup> und spezifische Speichervolumina von mehr als 50 l Sp/m<sup>2</sup>Koll notwendig. Weitere Ertragssteigerungen sind durch eine verbesserte Ausstattung der Komponenten (z.B. stärkere Wärmedämmung des Speichers, Schichtbeladeeinrichtungen) sowie durch besser an die Solaranlage angepasste Verbrauchscharakteristika möglich (z.B. Anpassung der Auslegungstemperaturen für die Raumheizung, eingeschränkter Zirkulationsbetrieb).

In der vorgestellten Arbeit wird mit Hilfe dynamischer Systemsimulationen (TRNSYS 16, [2]) der Einfluss dieser unterschiedlichen Maßnahmen auf den jährlichen Ertrag einer größeren solarthermischen Kombianlage untersucht. Anhand der Ergebnisse kann schließlich abgeleitet werden, welche Kombination von Maßnahmen – aus energetischer Sicht – den größten Nutzen bringt.

## **Untersuchte Kombianlage**

Es wird eine Anlage mit einer Kollektorfläche von 20 m<sup>2</sup> und einem Speichervolumen von 3 m<sup>3</sup> untersucht. Ein Einfamilienhaus mit einem jährlichen Heizwärmebedarf von 8.440 kWh und einem Trinkwarmwasserbedarf von 3.040 kWh wird abgebildet nach IEA –SHC Task 26 und 32 [1,3]. Als Nachheizung dient ein Gasbrennwertkessel mit einer Nennleistung von 10 kW. Sowohl für die Übertragung der Solarenergie in den Speicher als auch zur Trinkwarmwasserbereitung kommen externe Wärmeübertrager zum Einsatz (vgl. Abb. 1). Der obere Speicherbereich von 0.3 m<sup>3</sup> wird als

Bereitschaftsvolumen genutzt. Das Regelungsverhalten ist größtenteils idealisiert bzw. vereinfacht dargestellt. Die Referenzbedingungen für die untersuchte Kombianlage sind in Tab. 1 und Tab. 2 zusammengefasst.

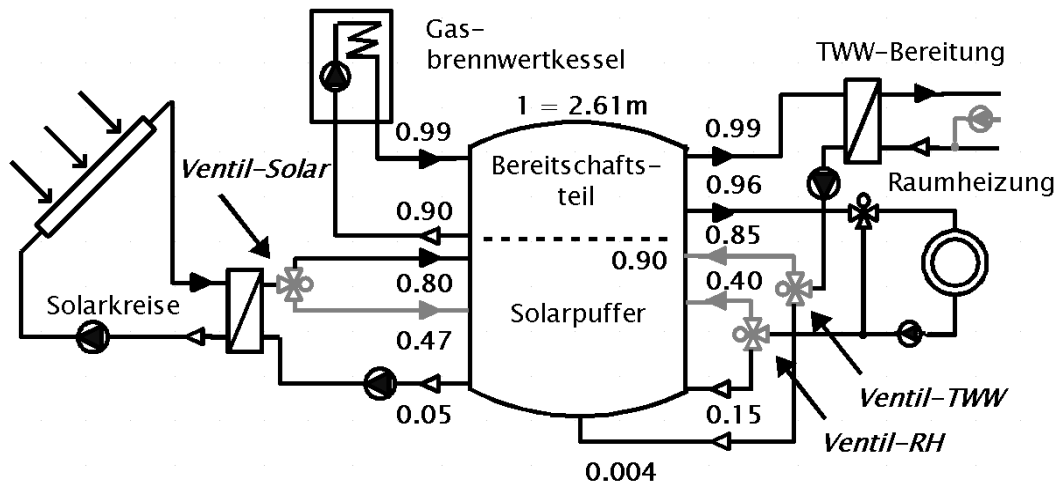


Abb. 1: Hydraulikschema der untersuchten Anlage mit jeweils einem Umschaltventil im Solarkreisvorlauf (Ventil Solar), im Heizkreisrücklauf (Ventil RH) sowie im Primärkreisrücklauf des Frischwasserwärmeübertragers (Ventil TWW). Die Zahlen zeigen die Höhe der Anschlüsse am Speicher relativ zur absoluten Höhe des Speichers von 2.61 m.

Tab. 1: Randbedingungen für die Referenzanlage

<b>Kollektorfläche:</b>	20 m <sup>2</sup>	<b>Auslegungstemp. für Raumheizung:</b>	40°C/ 35°C
<b>Bereitschaftsvol.:</b>	0.3 m <sup>3</sup>	<b>Standort:</b>	Zürich
<b>Speichervol. gesamt:</b>	3 m <sup>3</sup>	<b>Kollektorausrichtung:</b>	Süd
<b>UA-Wert am Speicher:</b>	5.6 W/K	<b>Neigungswinkel:</b>	45°
<b>TWW-Verbrauch:</b>	200 l/Tag (3.040 kWh/a)	<b>Nachheizung:</b>	Gasbrennwertkessel mit 10 kW
<b>Raumheizbedarf:</b>	8.440 kWh/a	<b>Solltemp. TWW/Kessel:</b>	45°C/ 63°C

### Definition der anteiligen Energieeinsparung

Für die Bewertung der Ergebnisse wurde die sogenannte „erweiterte anteilige Energieeinsparung“ benutzt. Hierbei wird der „Primärenergiebedarf bei Einsatz einer Solaranlage“ ( $E_{total}$ ) verglichen mit dem „Primärenergiebedarf ohne solare Unterstützung“ ( $E_{total,ref}$ ).

$$f_{sav,ext} = 1 - (E_{total} / E_{total,ref})$$

Diese Größe wurde im Rahmen des IEA-SHC Task 26 [3] definiert. Sie berücksichtigt nicht nur den Nachheizbedarf des Systems, sondern auch den elektrischen Hilfsenergiebedarf von Pumpen und Reglern.

## Betrachtete Maßnahmen

Im Rahmen dieser Studie wurden die in Tab. 2 aufgelisteten Parameter variiert, um deren Einfluss auf die anteilige Energieeinsparung zu ermitteln.

**Tab. 2: Variierte Parameter**

Parameter	Referenz	Varierte Werte
Auslegungstemperaturen für RH in °C:	45/35	55/45
Spez. Volumenstrom in Solarkreisen in l/m <sup>2</sup> h:	15	35
Solltemp. Warmwasser/Kessel in °C:	45/63	60/70
Laufzeit der Zirkulationspumpe in h/Tag:	0	8
Wärmeverluste am Speicher in W/K:	5.6	8.3

Die Zirkulationsleitung hat hierbei eine einfache Länge von 15 m. Die Wärmeverluste am Speicher setzen sich aus Anschlusswärmeverlusten, Wärmeverlusten des Speichers und einem Aufschlag von 10 % für nicht perfekt gedämmte Stellen zusammen (siehe auch [4]). Des Weiteren wird der Einfluss unterschiedlicher Be- und Entladestrategien zur Verbesserung der thermischen Schichtung im Speicher untersucht. Um möglichst unabhängig vom Speicher zu sein, wird diese Schichtbeladung mit Hilfe von drei verschiedenen Umschaltventilen realisiert. An welcher Stelle im System diese Ventile zum Einsatz kommen, ist in Abb. 1 dargestellt. Die relativen Höhen der Anschlüsse am Speicher sind zum Teil vom IEA-SHC Task 32 übernommen, für die Anschlusshöhen bei Einsatz der Umschaltventile wurden eigene Optimierungsrechnungen durchgeführt. Hierbei ist zu beachten, dass bei Änderung der Randbedingungen die optimalen Höhen nicht neu bestimmt wurden.

Die im Folgenden aufgelisteten Strategien werden miteinander verglichen:

- Strategie **Ohne Ventile**: Es ist nur eine feste Einlasshöhe für jeden Kreis vorhanden.
- Strategie **Ventil Solar**: Das im Kollektorkreis erhitzte Medium wird in zwei verschiedenen Höhen in den Speicher eingespeist. Das Ventil schaltet zwischen den beiden Höhen um abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen dem Solarvorlauf und dem unteren Teil des Speichers.
- Strategie **Ventil RH**: Der Rücklauf des Raumheizkreises wird in zwei verschiedene Höhen eingespeist. Die Umschaltung geschieht ebenfalls in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz im Rücklauf und im unteren Teil des Speichers.

- Strategie **Ventil TWW**: Der Rücklauf vom Primärkreis des Frischwasserwärmeübertragers wird in zwei verschiedenen Höhen eingespeist. Eine Umschaltung zwischen den beiden Höhen geschieht abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen dem Rücklauf und der Temperatur in Höhe des oberen Speicheranschlusses.
- Strategie **alle Ventile**: Der Einsatz aller Ventile gleichzeitig wird getestet.
- Strategie **Ideale Schichtung**: Hier wird angenommen, dass alle relevanten Einlässe in den Speicher als ideale Schichtbeladeeinrichtungen funktionieren.

## Simulationsergebnisse

Die Jahressimulationen mit den beschriebenen Bedingungen für den Referenzfall und mit der Strategie „ohne Ventile“ ergeben eine anteilige Energieeinsparung  $f_{\text{sav,ext(ref,0)}}$  von 37,8 %. Alle Simulationsergebnisse, die im Folgenden beschrieben sind, werden in Relation zu diesem Referenzwert betrachtet.

Abb. 2 und 3 zeigen die Differenz  $\Delta f_{\text{sav,ext}}$  zwischen den unterschiedlichen Ergebnissen für  $f_{\text{sav,ext}}$  und dem Referenzwert,  $\Delta f_{\text{sav,ext}} = f_{\text{sav,ext}} - f_{\text{sav,ext(ref,0)}}$ .

Die Kurven in Abb. 2 zeigen die Simulationsergebnisse

**A**: mit Referenzbedingungen,

**B**: mit erhöhten Auslegungstemperaturen für die Raumheizung,

**C**: mit einem erhöhten Volumenstrom in den Solarkreisen (High-Flow),

**D**: mit höheren Wärmeverlusten am Speicher (Ergebnisse nur für „ohne Ventile“ und „ideale Schichtung“),

**E**: bei erhöhter Solltemperatur für Warmwasser und Kessel,

**F**: bei Einsatz einer Zirkulationsleitung,

**G**: mit Änderungen B, C, E und F umgesetzt.

### • Einfluss der Be- und Entladestrategien

Bei den Varianten A bis E haben die Umschaltventile nur einen geringen Einfluss auf  $f_{\text{sav,ext}}$ . Variante D wurde ausschließlich „ohne Ventile“ und mit „idealer Schichtung“ gerechnet, da die Wärmeverluste am Speicher keinen nennenswerten Einfluss auf die thermische Schichtung im Speicher haben.

Die Strategie „Ventil Solar“ führt hier zu Verbesserungen von nur 0.1 bis 0.3 %-Punkten, das entspricht einer Reduktion von  $E_{\text{total}}$  von 15 bis 45 kWh/a (bei Variante A, Referenzbedingungen). Ähnliche Werte ergeben sich für den Einsatz des „Ventil RH“, hier kann nur bei Variante B mit erhöhten Auslegungstemperaturen für die Raumheizung durch das Ventil eine sichtbare Verbesserung um 0.3 %-Punkte erreicht werden. Allein das „Ventil TWW“ ergibt unter bestimmten Bedingungen eine

deutliche Steigerung von  $f_{sav,ext}$ . Bei Variante F, wo eine Zirkulationsleitung in Betrieb ist, erreicht man durch Einsatz des „Ventils TWW“ eine Steigerung von  $f_{sav,ext}$  im Vergleich zum Referenzfall von 0.4 %-Punkten. Bei Variante G ist zusätzlich die Solltemperatur für Trinkwarmwasserbereitung von 45°C auf 60°C erhöht. Durch die hohen Volumenströme in allen Kreisen und die hohen Temperaturen insbesondere im Primärkreisrücklauf des Frischwasserwärmeübertragers wird der untere Teil des Speichers hier stark durchmischt. Das führt zu einem deutlich schlechteren Wert für  $f_{sav,ext}$  (-9.1 %-Punkte). Dies kann teilweise durch den Einsatz des „Ventil TWW“ kompensiert werden. Im Vergleich zum Referenzfall sinkt der Wert für  $f_{sav,ext}$  dann nur noch um 7.5 %-Punkte.

Auch bei Annahme einer theoretisch „idealen Schichtung“ sind bei den Varianten A bis E im Vergleich zu den Ergebnissen „ohne Ventil“ keine großen Ertragssteigerungen zu erkennen (0.9 bis 1.5 %-Punkte). Jedoch ist zu beobachten, dass bei ungünstigeren Randbedingungen wie erhöhten Auslegungstemperaturen für die Raumheizung (Variante B) und Betrieb einer Zirkulationsleitung (Variante F), die zu einer größeren Durchmischung des Speichers führen, eine ideale Schichtbelastung mehr bringt als bei günstigen Randbedingungen (Variante A, Referenzbedingungen). Dies bestätigt auch das Ergebnis für Variante F (Einsatz einer Zirkulationsleitung) wo die Randbedingungen für eine gute Schichtung im Speicher am ungünstigsten sind. Eine ideale Schichtung führt hier zu einer großen Steigerung von  $f_{sav,ext}$  von 2.7 %-Punkten.

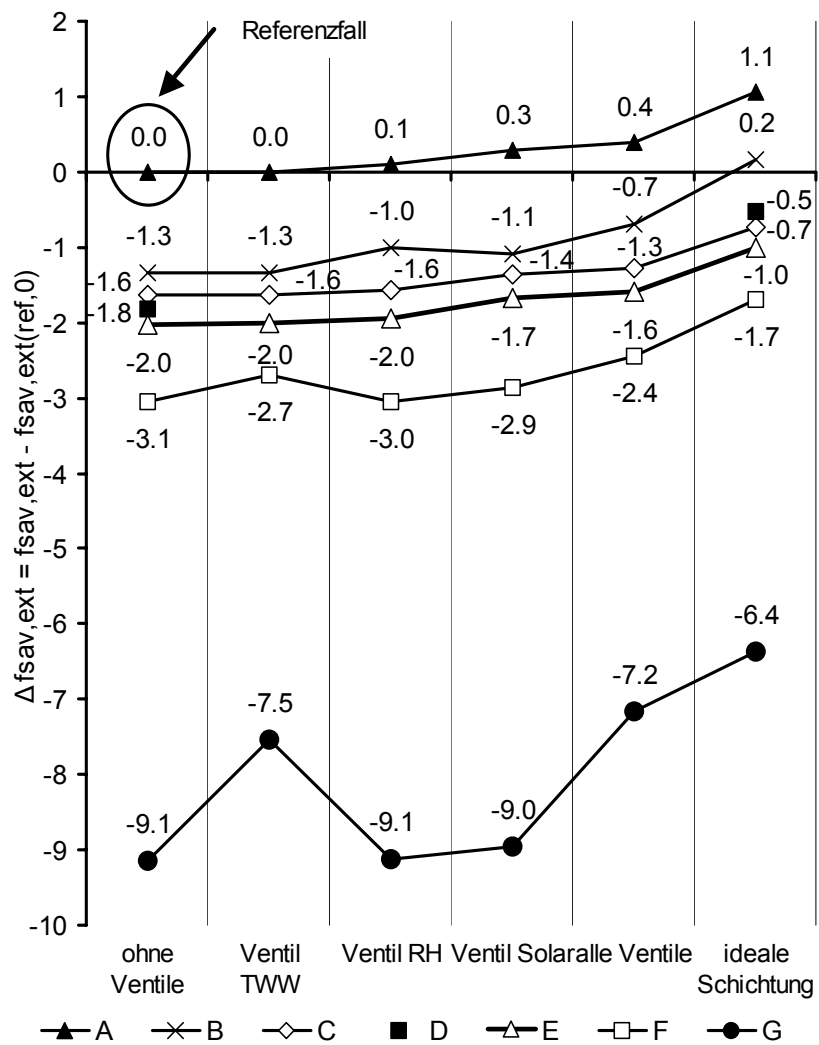


Abb. 2: Änderung von  $f_{sav,ext}$  bei unterschiedlichen Be- und Entladestrategien und geänderten Randbedingungen.

- **Einfluss der variierten Parameter**

Betrachtet man den Einfluss der in Tab. 2 aufgelisteten Parameter (siehe Abb. 2, erste Spalte) so wird deutlich, dass diese einen erheblich größeren Einfluss auf  $f_{sav,ext}$  haben als die eingesetzte Be- und Entladestrategie. Bei diesen, für die Solaranlage ungünstigeren Randbedingungen sind Einbußen von 1.3 bis 9.1 %-Punkten im Vergleich zur optimierten Referenzanlage zu erwarten. Dabei summieren sich die Verluste bei Variante G, wo alle Änderungen B, C, E und F umgesetzt wurden, mehr als auf.

## **Zusammenfassung der Ergebnisse**

Die Simulationsrechnungen zeigen, dass der Einfluss der untersuchten Be- und Entladestrategien auf  $f_{sav,ext}$  bei günstigen Randbedingungen selbst bei Einsatz aller Ventile unter 0.7 %-Punkten liegt. Sind die äußeren Randbedingungen, insbesondere der Zirkulationsbetrieb und die Solltemperatur für die Trinkwarmwasserbereitung, nicht an die Solaranlage angepasst, kann der negative Einfluss auf die Speicherschichtung nur teilweise durch Einsatz von Umschaltventilen abgemildert werden. Den größten positiven Einfluss hat hier das Umschaltventil im Primärkreisrücklauf des Frischwasserwärmeübertragers. Es führte zu einer Erhöhung von  $f_{sav,ext}$  von 2.7 %-Punkten im Vergleich zur Strategie „ohne Ventile“ (Variante G).

Randbedingungen wie der Volumenstrom in Solarkreisen, Auslegungstemperaturen für Raumheizung, Solltemperaturen für Warmwasser, Einsatz einer Zirkulationsleitung sowie geänderte Wärmeverluste am Speicher haben einen erheblich größeren Einfluss auf den Solarertrag. So liegen bei der Strategie „ohne Ventile“ die Werte für  $f_{sav,ext}$  um 1.3 bis 9.1 %-Punkte unter dem Referenzwert.

## **Literatur**

- (1) J.-C. Hadorn, „Thermal Energy Storage for Solar and Low Energy Buildings“, 2005.
- (2) S.A. Klein et al., „TRNSYS 16 – A Transient System Simulation Program“, Solar Energy Laboratory, University of Madison, USA 2005.
- (3) W. Weiss et al., „Solar Heating Systems for Houses, a Design Handbook for Solar Combisystems“, James & James Ltd, London, UK 2003.
- (4) C. Wilhelms et al., „Serienschaltung von Solarspeichern – eine sinnvolle Technik?, 18. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 2008.

Die Durchführung der vorgestellten Forschungsarbeiten wird unterstützt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, FKZ 0327390B.