

Der Speicher – das Herz der Kombianlage

Kombispeicher für Ein- und Zweifamilienhäuser

H. Drück

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)

Prof. Dr.-Ing. E. Hahne

Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart

Tel.: 0711/685-3536, Fax: 0711/685-3503, email: drueck@itw.uni-stuttgart.de

Einleitung

Bald nachdem von den Menschen die ersten massiven Behausungen gebaut wurden, erwachte der Wunsch diese während den kühleren Tages- und Jahreszeiten zu beheizen. Bereits seit der Antike wurde hierzu durch entsprechende architektonische Maßnahmen die Sonnenenergie genutzt. Im Gegensatz zu dieser sogenannten passiven Solarenergienutzung gewinnt in den letzten Jahren die aktive Nutzung der Solarenergie zur Heizungsunterstützung zunehmend an Bedeutung. Hierbei wird die Energie der Sonne durch Sonnenkollektoren 'eingefangen' und in einem Warmwasserspeicher gespeichert, der die Energie bedarfsgerecht der Zentralheizung zur Verfügung stellt.

In einer Solaranlage stellt der Speicher als Zentrum für die Sammlung, Speicherung und Verteilung der Energie, neben dem Kollektor, die wichtigste Komponente dar - er kann deshalb auch als *Herz der Anlage* betrachtet werden.

In diesem Beitrag werden vier Anlagenkonzepte für Solaranlagen zur kombinierten Brauchwassererwärmung und Raumheizung vorgestellt. Hierbei werden insbesondere die unterschiedlichen Anforderungen an die Speicher diskutiert. Auf der Basis einer Simulationsstudie wird der Einfluß wichtiger Speicherkenngrößen auf die mit einer Kombianlage erzielbare Energieeinsparung untersucht.

Anlagenkonzepte

Durch den Einsatz von Kombianlagen mit einer Kollektorfläche von 10 m² (Flachkollektoren) und einem Speichervolumen von etwa 750 Litern kann der Energieverbrauch für die Brauchwassererwärmung und Raumheizung eines 'typischen' Einfamilienhauses um ca. 20 % reduziert werden. Geeignete Anlagen werden in Deutschland bereits von fast allen Herstellern in einer Vielzahl unterschiedlicher Varianten angeboten. Einige Anlagen werden in den Zeitschriften 'test' der Stiftung Warentest /1,2/ vorgestellt und verglichen.

Kombianlagen können aufgrund ihres Anlagenkonzeptes grob nach folgenden Gesichtspunkten charakterisiert werden

- **Anzahl der Speicher:** Hier wird zwischen Ein- und Zweispeicheranlagen unterschieden.
- **Pufferfunktion des Kombispeichers für den Heizkessel:** Hier wird zwischen Kombianlagen mit und ohne Pufferfunktion für den Heizkessel unterschieden. Letztere werden als sogenannte **Anlagen mit Rücklaufanhebung** (Vorwärm-anlagen) bezeichnet. Bei diesen wird das Wasser des Heizungsrücklaufs solar vorgewärmt (Rücklaufanhebung) bevor es im Heizkessel auf Vorlauftemperatur erhitzt wird.
- **Kombispeicher mit eingebauter Wärmequelle:** Bei diesen Anlagen ist der Heizkessel und der Speicher für die Brauchwassererwärmung durch einen großen Speicher ersetzt, in den als Wärmequelle ein Gas- oder Ölbrenner eingebaut ist.

Im Folgenden werden diese charakteristischen Anlagenkonzepte exemplarisch kurz vorgestellt. Auf anlagenspezifische Details wie z. B. besondere Regelstrategien kann im Rahmen diese Beitrags jedoch nicht eingegangen werden. Ein guter Überblick über die wichtigsten Anlagenvarianten wird in der Zeitschrift 'test 3/97' /1/ der Stiftung Warentest gegeben.

2.1 Zweispeicheranlage

Der prinzipielle Aufbau einer Zweispeicheranlage ist in Bild 1 dargestellt. Diesem Anlagenkonzept ist seine historische Abstammung eindeutig anzusehen - es wurde einfach die Solaranlage zur Brauchwassererwärmung um einen weiteren Speicher für die Heizung ergänzt.

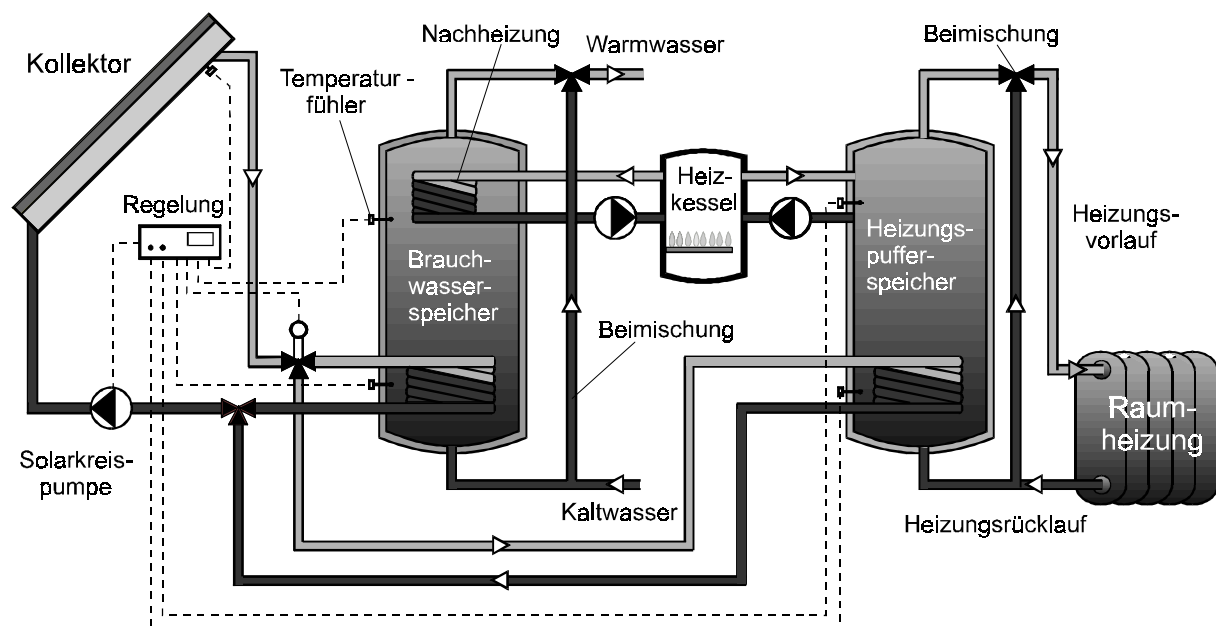


Bild 1: Zweispeicheranlage

Das Konzept der Zweispeicheranlage zeichnet sich insbesondere durch die Möglichkeit aus, relativ einfache Speicher einsetzen zu können. Ein weiterer Vorteil ist, daß die geringen Temperaturen des in den Brauchwasserspeicher einströmenden Kaltwassers dem Kollektor fast direkt zur Verfügung stehen. Da ein Sonnenkollektor um so effektiver arbeitet, je niedriger das Temperaturniveau ist, wirkt sich dies positiv auf den Wirkungsgrad des Kollektors aus.

Nachteilig bei der Zweispeicheranlage sind die größeren Wärmeverluste aufgrund der zwei Speicher. Würde sich das gesamte Volumen der beiden einzelnen Speicher in einem großen Speicher befinden, so hätte dieser - eine gleicher Wärmedämmung vorausgesetzt - theoretisch um ca. 30 % geringere Wärmeverluste.

Anlage mit Kombispeicher als Puffer für den Heizkessel

Die Weiterentwicklung der Zweispeicheranlage ist die Einspeicheranlage. Hier wird ein zentraler Speicher, der sogenannte Kombispeicher, sowohl als Wärmespeicher für die Solaranlage als auch zur Erwärmung des Brauchwassers und ggf. auch als Pufferspeicher für den Heizkessel genutzt (siehe Bild 2). Es ist offensichtlich, daß bei diesem Anlagenkonzept an den Speicher hohe Anforderungen gestellt werden, da er eine Vielzahl von Funktionen auszuführen hat. Einspeicheranlagen sind aufgrund ihrer kompakten Bauweise auf dem Markt dominant.

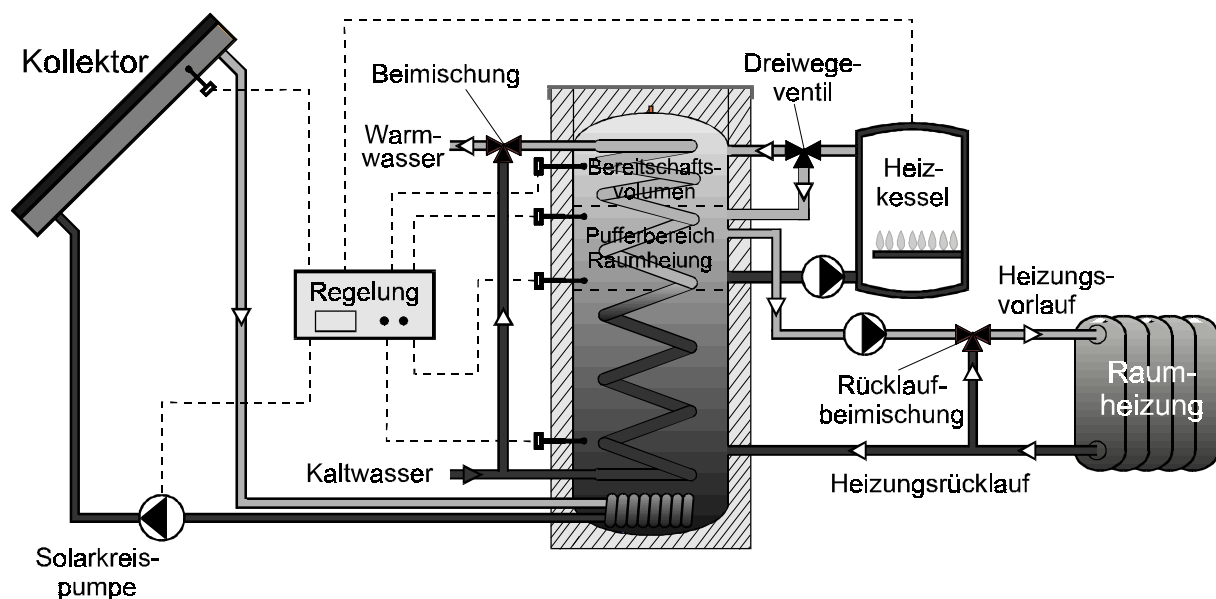


Bild 2: Kombianlage mit Speicher, der zusätzlich als Pufferspeicher für den Heizkessel dient

In Bild 2 ist exemplarisch eine Kombianlage mit einem Speicher dargestellt, der zusätzlich als Puffer für den Heizkessel genutzt wird. Die vom Heizkessel abgegebene Wärme wird grundsätzlich dem Speicher zugeführt. Im oberen Bereich des Speichers befindet sich das Puffervolumen (Bereitschaftsvolumen) für die Brauchwassererwärmung und im mittleren Bereich das Puffervolumen für die

Raumheizung. Wenn dem Heizkessel ein Puffervolumen zur Verfügung steht hat dies den Vorteil, daß häufiges Ein- und Ausschalten (Takten) des Kessels und daraus resultierende höhere Emissionen vermieden werden. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn nur eine geringe Leistung für die Gebäudeheizung benötigt wird und diese Leistung unter der minimal möglichen Leistungsabgabe des Heizkessels liegt. Beim Einsatz von Holzheizkesseln ist ein Puffervolumen zwingend notwendig.

Die Brauchwassererwärmung erfolgt bei dieser Anlage mittels eines eingebauten Wärmeübertragers, in dem das Brauchwasser beim Durchströmen aufgewärmt wird.

Anlage mit Rücklaufanhebung

Bei einer Solaranlage zur Brauchwassererwärmung und Raumheizung die nach dem Prinzip der Rücklaufanhebung arbeitet (siehe Bild 3), ist im Speicher nur ein Puffervolumen bzw. ein Bereitschaftsvolumen für die Brauchwassererwärmung vorhanden. Vom Heizkessel kann die für die Raumheizung benötigte Wärme nur direkt in den Heizkreislauf des Gebäudes geliefert werden. Ist die Temperatur im unteren Bereich des Speichers höher als die Rücklauftemperatur des Raumheizungskreises, so wird der Rücklauf durch den Speicher geleitet und diesem Wärme entnommen. Diese Wärme hebt das Temperaturniveau des Wassers im Rücklauf an, bevor es im Heizkessel auf Vorlauftemperatur erwärmt wird.

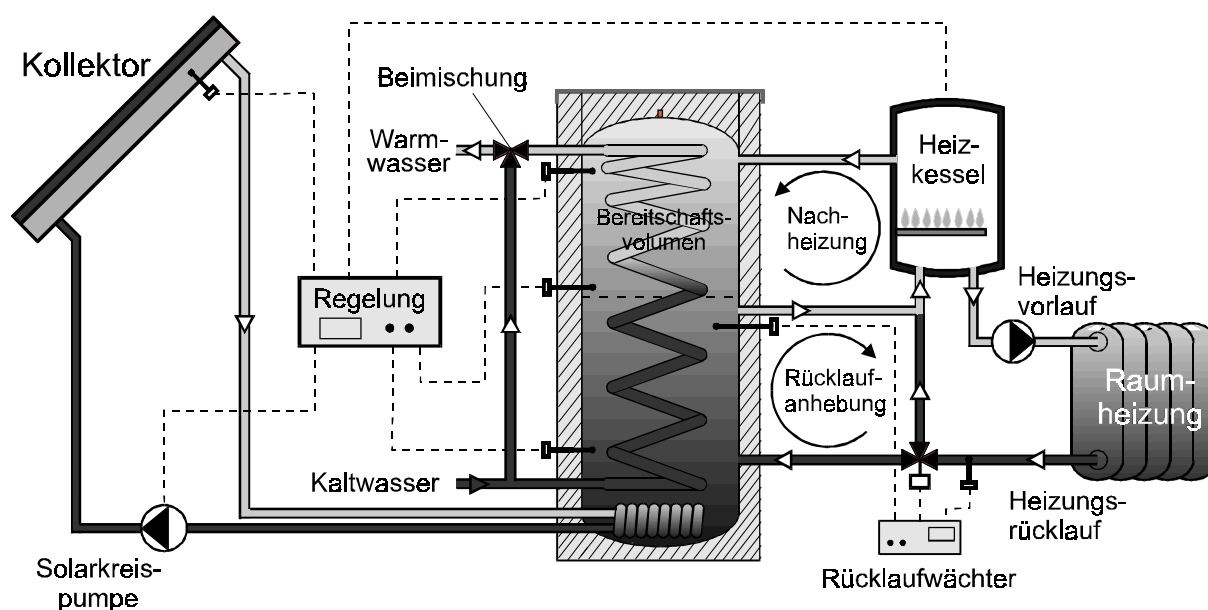


Bild 3: Kombianlage mit Rücklaufanhebung

Anlagen mit Rücklaufanhebung können im Hinblick auf ihre thermische Leistungsfähigkeit nicht direkt mit Anlagen verglichen werden, bei welchen der Speicher teilweise als Puffer für den Heizkessel zur Verfügung steht. Da der Speicher nur zur Rücklaufanhebung genutzt wird, herrscht bei diesen Anlagen während der Heizperiode ein niedrigeres Temperaturniveau im Speicher. Dies führt zu geringeren Wärmeverlusten woraus eine höhere Energieeinsparung resultiert.

Nachteilig ist bei diesen Anlagen das häufigere Ein- und Ausschalten (Takten) und die damit verbundenen Emissionen sowie der daraus resultierende geringere Nutzungsgrad des Heizkessels. In Verbindung mit Heizkesseln bei denen die abgegebene Leistung nicht oder nur in einem geringen Bereich variiert werden kann, ist dies besonders problematisch.

Kombispeicher mit eingebautem Gasbrenner

Anlagen diese Typs sind auf dem deutschen Markt erst seit wenigen Jahren erhältlich und unterscheiden sich von den bisher vorgestellten Anlagenvarianten darin, daß der Heizkessel bzw. die Wärmequelle direkt in den Kombispeicher eingebaut ist (siehe Bild 4).

Die wichtigsten Vorteile sind geringere Montage- und Installationskosten da das Gerät bereits als betriebsfertige Einheit angeliefert wird und nur noch mit dem Heizungs- und Warmwassernetz des Gebäudes sowie mit der Gas- und Elektrizitätsversorgung verbunden werden muß. Zusätzlich ist aufgrund der kompakten Bauweise der Platzbedarf für einen Kombispeicher mit eingebautem Gasbrenner deutlich geringer als beim Einsatz eines separaten Speichers in Kombination mit einem Heizkessel.

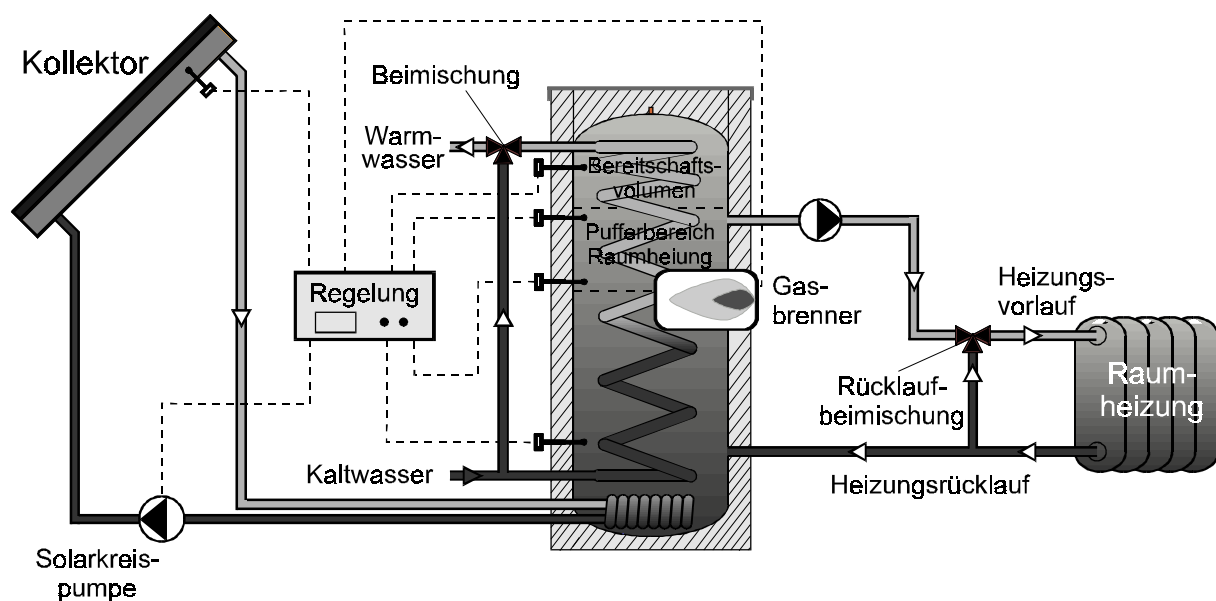


Bild 4: Kombianlage mit eingebautem Gasbrenner

Welches Anlagenkonzept ist das Beste?

Die Bewertung der thermischen Leistungsfähigkeit von Kombianlagen kann mittels der jährlichen anteiligen Energieeinsparung (f_{sav}) erfolgen. Diese gibt an, welche prozentuale Energieeinsparung durch die Kombianlage im Vergleich zu einer konventionellen Wärmeversorgung (Brauchwassererwärmung und Raumheizung) erzielt werden kann.

Im vorangegangenen Abschnitt wurden vier Anlagenkonzepte vorgestellt. Wie Simulationsrechnungen zeigen, ergeben sich für diese Anlagenkonzepte unter gleichen Randbedingungen (einschließlich Kollektorkennwerten) jährliche anteilige Energieeinsparungen von etwa 20 %, wobei die Unterschiede maximal 0,5 % betragen. Es wäre jedoch falsch, diese Unterschiede als ein Maß für die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Anlagenkonzepte heranzuziehen. Vielmehr müssen für die Auswahl eines geeigneten Anlagenkonzeptes eine Reihe weiterer Randbedingungen berücksichtigt werden. Einige wichtige Aspekte sind im Folgenden aufgeführt:

- charakteristische Kenngrößen des Heizkessels (maximale bzw. minimale Leistung, Taktverhalten etc.)
- Puffervolumen, das für den Heizkessel zur Verfügung steht
- Wärmequelle für Zusatzheizung (Gas, Heizöl, Holz)
- Versorgungssicherheit mit Warmwasser: Solltemperatur Bereitschaftsvolumen
- Betriebsstrategie des Kollektorkreises: Low-flow, high-flow

Was zeichnet einen guten Speicher aus?

Der Einfluß unterschiedlicher Speicher auf die mit einer 'Standard-Kombianlage' erzielbare jährliche anteilige Energieeinsparung (f_{sav}) ist bereits an anderer Stelle untersucht worden /3/. Hierbei hat sich gezeigt, daß sich für gleiche Randbedingungen (Volumen und Wärmeverluste des Speichers) durch unterschiedliche Speicherkonzepte und Vorrichtungen zur geschichteten Be- und Entladung anteilige Energieeinsparungen zwischen 19,7 % und 21,0 % ergeben können. Dies entspricht bei der jährlichen Energieeinsparung einem Unterschied von ca. 240 kWh bzw. einer relativen Veränderung um ca. 6,5 %.

Zusätzlich zu diesen konzeptionell bedingten Unterschieden von maximal 1,3 % haben aber auch die elementaren Speicherkennwerte wie die Wärmeverluste und das Wärmeübertragungsvermögen des Solarkreis-Wärmeübertragers sowie das Nutzerverhalten (Solltemperatur des Warmwasser-Bereitschaftsvolumens) einen signifikanten Einfluß auf die Leistungsfähigkeit der gesamten Kombianlage.

Im Folgenden wird daher der Einfluß dieser Größen auf die mit einer Kombianlage erzielbare Energieeinsparung aufgezeigt.

Standard-Kombianlage

Als Basis für die Simulationsstudie wurde die gleiche 'Standard-Kombianlage' wie in /3/, in Verbindung mit einem als Referenzfall gewählten Einfamilienhaus in Würzburg verwendet. Dieses Haus ist mit einer Wärmedämmung versehen, die der Wärmeschutzverordnung von 1995 entspricht. Es hat eine beheizte Wohnfläche von 128 m² womit sich ein jährlicher Heizwärmebedarf von 93 kWh/m² ergibt. Die Heizung ist auf eine maximale Vorlauftemperatur von 70 °C und eine maximale Rücklauftemperatur von 40 °C ausgelegt (Heizungsauslegung 70/40). Das Haus wird von einer vierköpfigen Familie bewohnt, die täglich 200 Liter warmes Wasser mit

einer Temperatur von 45 °C verbraucht. Bei einem Nutzungsgrad des Heizkessels von 85 % beträgt der Energiebedarf (ohne Solaranlage) für die Brauchwassererwärmung und Raumheizung ca. 18200 kWh im Jahr.

Die gewählte 'Standard-Kombianlage' hat eine Kollektorfläche von 10 m². Für die Kollektorkennwerte wurden die Daten eines 'guten' Flachkollektors verwendet. Die Kombianlage arbeitet nach dem Prinzip der Rücklaufanhebung. Der Speicher ist als 'Tank-im-Tank' Speicher ausgeführt und hat eine Wärmeverlustrate von 2,5 W/K.

Bei einem 'Tank-im-Tank' Speicher befindet sich in dem mit Heizungswasser gefüllten Speicher ein zweiter, kleinerer Speicher für das Brauchwasser. Das Volumen des gesamten Speichers beträgt 750 Liter, wovon der Brauchwassertank ein Volumen von ca. 230 Litern einnimmt.

Die Nachheizung für das Brauchwasser erfolgt mit einem Massenstrom von 450 kg/h und einer Eintrittstemperatur, die um 5 K über der Brauchwassersolltemperatur $T_{BW,soll}$ liegt. Diese Solltemperatur wurde für die in den folgenden beiden Abschnitten beschriebenen Untersuchungen so gewählt, daß die Brauchwasserlast gerade gedeckt werden konnte. Hierbei ergab sich für $T_{BW,soll}$ ein Wert von 43 °C.

Für die Modellierung des Wärmeübertragungsvermögens des Solarkreis-Wärmeübertragers wurde die Abhängigkeit von der Temperatur berücksichtigt. Für eine mittlere lokale Temperatur von 40 °C wurde für den Referenzfall ein Wärmeübertragungsvermögen von 700 W/K angenommen.

Mit den hier angegebenen Speicherkennwerten ergibt sich für den Referenzfall eine anteilige Energieeinsparung von $f_{sav} = 20,84 \%$.

Wärmeverlustrate

Die Wärmeverlustrate gibt an, welcher Wärmestrom je Kelvin Temperaturdifferenz (zwischen Speicher und Umgebung) an die Umgebung übertragen wird. Bei einem Vergleich der Wärmeverlusten von Speichern ist es wichtig das Speichervolumen mit zu berücksichtigen, da bei gleicher Qualität der Wärmedämmung die Wärmeverlustrate bei Speichern mit größerem Volumen aufgrund der größeren Oberfläche höher ist.

In Bild 5 ist der Einfluß der Wärmeverlustrate auf die anteilige Energieeinsparung dargestellt. Die für den Referenzfall gewählte Wärmeverlustrate von 2,5 W/K stellt bereits einen sehr guten Wert dar, der in der Realität bisher nur von sehr wenigen Speichern erreicht wird. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß durch eine weitere Verbesserung der Wärmedämmung eine Reduzierung der Wärmeverlustrate auf 2,0 W/K möglich ist, was zu einer Steigerung von f_{sav} um 0,4 % führen würde.

In der Praxis tritt bei den hier betrachteten Speichern mit einem Volumen von etwa 750 Litern oft eine deutlich größere Wärmeverlustrate auf, die sich im Bereich von 4 bis 5 W/K bewegen kann. Die Ursachen hierfür sind meist nicht unbedingt eine geringere Dicke oder größere Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung, sondern Wärmebrücken im Bereich von Anschlüssen, Flanschen und Temperaturfühlern die auf eine unsaubere Verarbeitung bzw. ungünstige Konstruktion zurückzuführen sind.

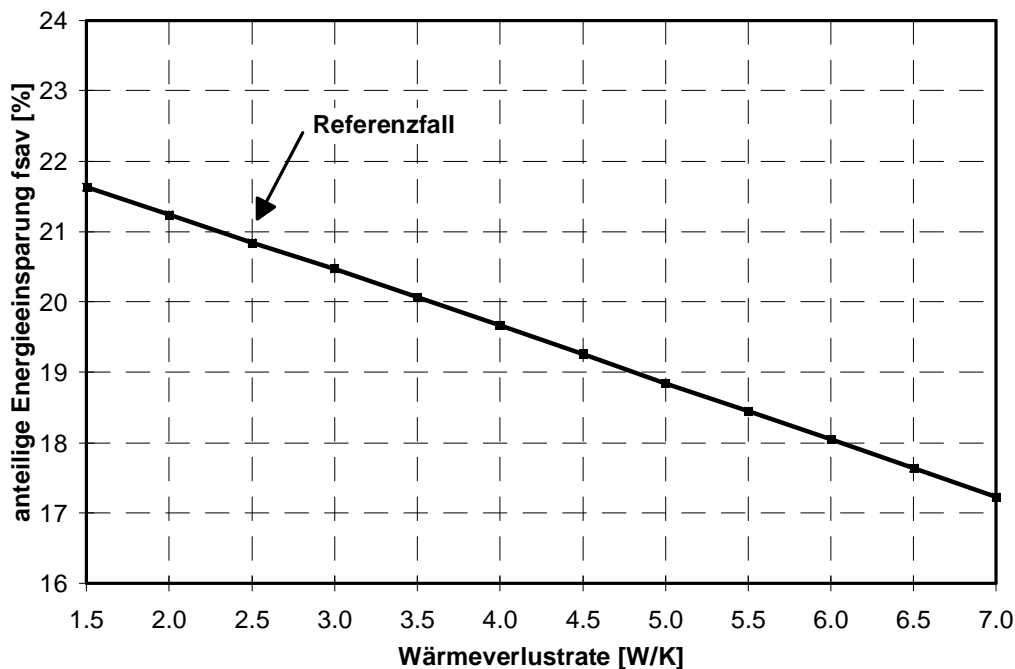


Bild 5: Einfluß der Wärmeverlustrate auf f_{sav}

Wärmeübertragungsvermögen des Solarkreis-Wärmeübertragers

Das Wärmeübertragungsvermögen des Solarkreis-Wärmeübertragers gibt an, welcher Wärmestrom je Kelvin mittlerer logarithmischer Temperaturdifferenz (zwischen Wärmeträgerfluid und Speicherwasser) und pro Fläche des Kollektors übertragen werden kann. Es ist ungewöhnlich, das Wärmeübertragungsvermögen des Solarkreis-Wärmeübertragers auf die Kollektorfläche zu beziehen - da aber der zu übertragende Wärmestrom unter anderem von der Kollektorfläche abhängt, ist es durchaus sinnvoll.

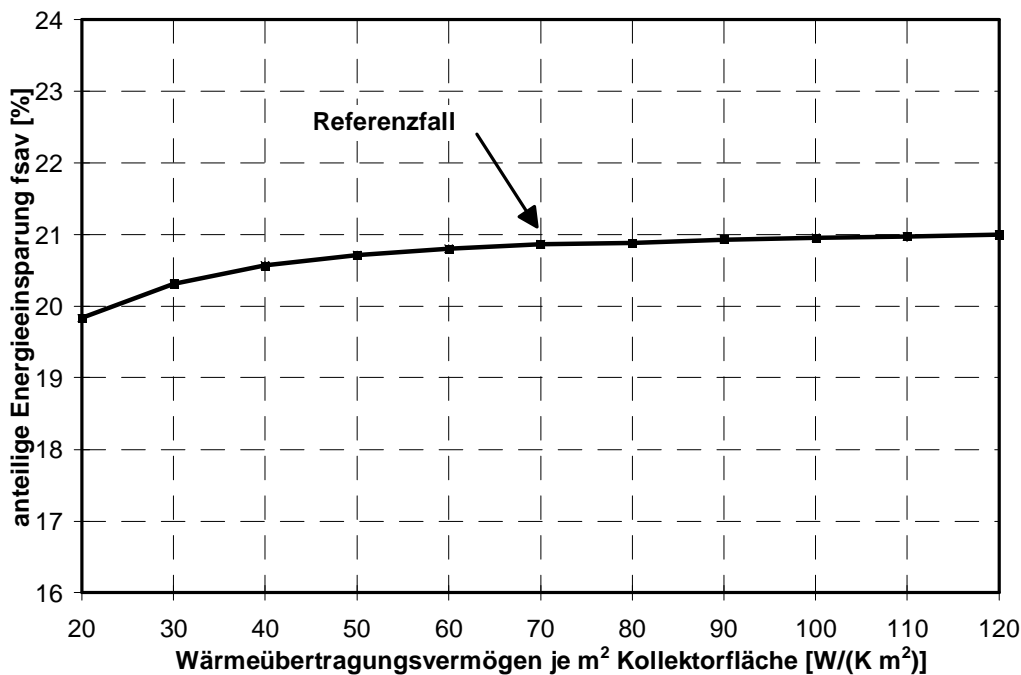


Bild 6: Einfluß der Wärmeübertragungsvermögens des Solarkreis-WT auf f_{sav}

Wie aus Bild 6 ersichtlich ist, hat das Wärmeübertragungsvermögen des Solarkreis-Wärmeübertragers nur noch einen sehr geringen Einfluß auf f_{sav} , wenn es größer als etwa 80 W/K je Quadratmeter Kollektorfläche ist.

Solltemperatur des Bereitschaftsvolumens

Das nutzbare Volumen des Bereitschaftsteils (Bereitschaftsvolumen) ist durch die geometrischen Größen des Speichers (z. B. Volumen, Position der Anschlüsse und Temperaturfühler) vorgegeben. Zusätzlich zu diesen Größen ist die Warmwassermenge, die dem Speicher bei einer Zapfung entnommen werden kann, noch von der Solltemperatur des Bereitschaftsvolumens abhängig. Neben der Versorgungssicherheit hat die Solltemperatur jedoch auch einen ausgeprägten Einfluß auf die anteilige Energieeinsparung (vgl. Bild 7).

Bei dem in Bild 7 dargestellten Zusammenhang muß berücksichtigt werden, daß für Temperaturen unterhalb von 43 °C die Brauchwasserlast nicht mehr vollständig gedeckt werden kann. Ein Vergleich der für diese Temperaturen berechneten Energieeinsparung ist daher nicht sinnvoll.

Da die Brauchwasserlast bereits ab einer Solltemperatur von 43 °C vollständig gedeckt wird, bringen höhere Werte für die Solltemperatur im vorliegenden Fall keinen weiteren Vorteil - im Gegenteil: mit zunehmender Solltemperatur des Bereitschaftsvolumens verringert sich die anteilige Energieeinsparung signifikant.

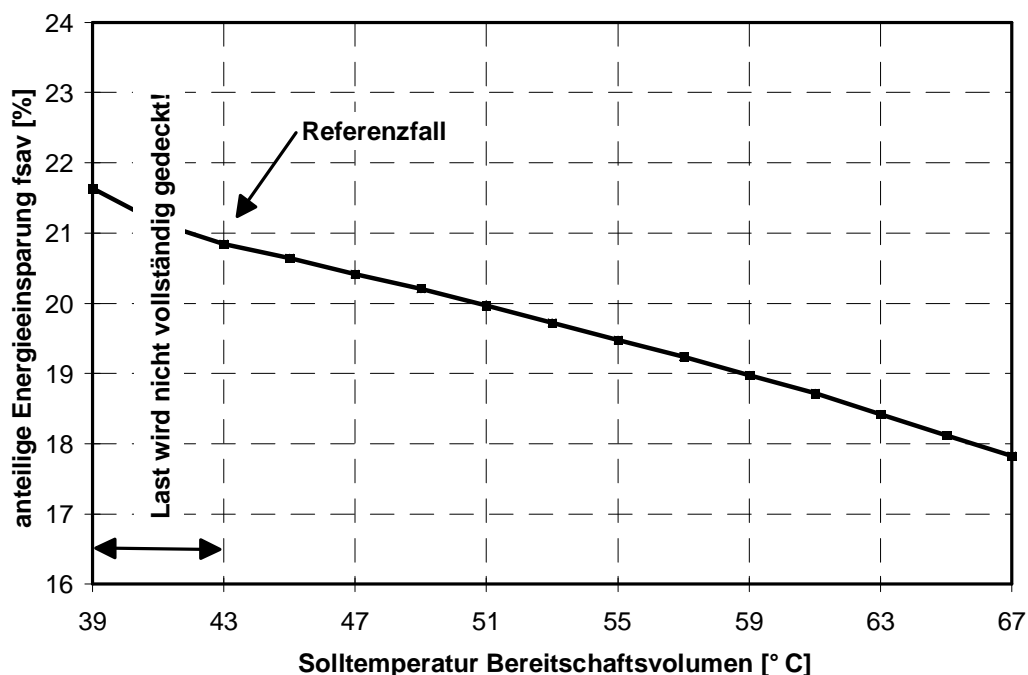


Bild 7: Einfluß der Solltemperatur des Bereitschaftsvolumens auf f_{sav}

Zusammenfassung

Mittels Simulationsrechnungen wurde der Einfluß der Wärmeverlustrate des Speichers, des Wärmeübertragungsvermögens des Solarkreis-Wärmeübertragers und der Solltemperatur des Bereitschaftsvolumens auf die mit einer Kombianlage erzielbare Energieeinsparung untersucht. Auf der Basis dieser Untersuchungen kann für die Maßnahmen, die an einem Kombispeicher zur Verbesserung seiner Leistungsfähigkeit durchgeführt werden können, folgende Prioritätenliste hergeleitet werden:

- Die Wärmeverluste eines Speichers müssen möglichst gering sein. Die Qualität der Wärmedämmung läßt sich nicht nur aufgrund ihrer Dicke beurteilen. Wärmebrücken im Bereich von Anschlüssen, Flanschen, Tauchhülsen und Thermometern müssen vermieden werden.
- Ein kleines, auf niederem Temperaturniveau betriebenes Bereitschaftsvolumen für die Brauchwassererwärmung wirkt sich deutlich positiv auf die mit der Solaranlage erzielbare Energieeinsparung aus. Es ist deshalb wichtig, daß das Bereitschaftsvolumen keinesfalls überdimensioniert wird. Jedoch darf hierbei auch der Aspekt der Versorgungssicherheit mit warmem Wasser nicht vernachlässigt werden.
- Die Wärmeübertrager sollten ein großes Wärmeübertragungsvermögen aufweisen, damit geringe Temperaturdifferenzen für die Übertragung einer hohen thermischen Leistung ausreichen. Bei einer sinnvoll dimensionierten Anlage mit einer Kollektorfläche von 10 m² sollte das Speichervolumen etwa 700 Liter und das Wärmeübertragungsvermögen des Solarkreis-Wärmeübertragers etwa 800 W/K betragen. Bezogen auf die Kollektorfläche entspricht dies einem Speichervolumen von 70 Litern je Quadratmeter Kollektorfläche und einem Wärmeübertragungsvermögen von 80 W/K je Quadratmeter Kollektorfläche.
- Erst wenn die oben angegebenen Voraussetzungen erfüllt sind, ist es sinnvoll zur weiteren Ertragssteigerung Schichtbe- und Entladeeinrichtungen einzusetzen.
- Durch den Betrieb mit reduziertem Durchfluß im Kollektorkreis (low flow) kann nur dann eine Ertragssteigerung erzielt werden, wenn die gesamte Anlagentechnik darauf abgestimmt ist (z. B. Schichtbeladeeinrichtung für den Solarkeis).

Literatur:

- /1/ 'test März 1997', Kombianlagen - Mit der Sonne heizen, Zeitschrift der Stiftung Warentest, Seite 81 - 84, Postfach 81 06 60, 70523 Stuttgart
- /2/ 'test März 1998', Solaranlagen für Brauchwasser und Heizung, Zeitschrift der Stiftung Warentest, Seite 82 - 87, Postfach 81 06 60, 70523 Stuttgart
- /3/ H. Drück, E. Hahne: Das Herz der Solaranlage - Ergebnisse eines aktuellen Kombispeicher-Tests, sbz 7/99, Seite 40 -45, Gentner Verlag, Postfach 10 1742, Stuttgart

*Dipl.-Ing. Harald Drück ist wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen des Instituts für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart.
Prof. Dr.-Ing. Erich Hahne ist der Leiter dieses Instituts.*