

Harald Drück\*  
Prof. Hans Müller-  
Steinhagen\*\*

Die Sonnenenergie kann einen wirksamen Beitrag zur Wärmeversorgung von Wohngebäuden leisten. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Grundlagen der zur solaren Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung eingesetzten Kombianlagen erläutert. Insbesondere im Hinblick auf die angebotenen Anlagen- und Speicherkonzepte bietet der Markt eine Vielzahl von Varianten an. Fünf Anlagenschemata, die sich hauptsächlich durch ihre Speicherkonzepte unterscheiden, werden vorgestellt und diskutiert.



Bild: Solvis

## Anlagen- und Speicherkonzepte für Kombianlagen

# Heizen mit der Sonne

**B**ald 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 mittels Sonnenkollektoren „eingefangen“ und in einem Wärmespeicher gespeichert, der die Energie bedarfsgerecht der Warmwasserzentralheizung zur Verfügung stellt.

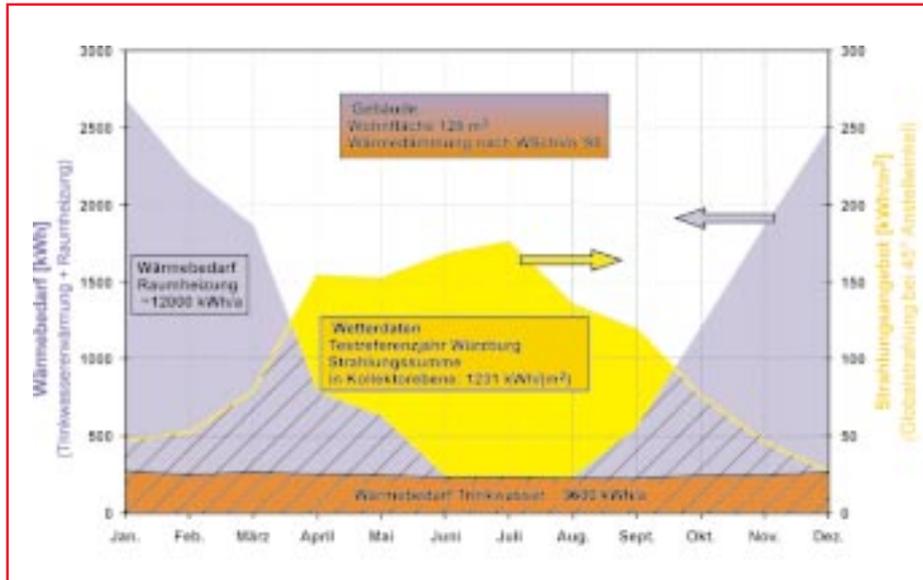
### Welchen Beitrag kann die Sonne leisten?

In Bild 1 ist der Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung und Raumheizung für ein „typisches“ Einfamilienhaus für die einzelnen Monate des Jahres dargestellt. Das hier als Referenzfall gewählte Einfamilienhaus in Würzburg ist mit einer Wärmedämmung versehen, die der Wärmeschutzverordnung (WSchVo) von 1995 entspricht und hat eine beheizte Wohnfläche von 128 m<sup>2</sup>. Es wird von einer vierköpfigen Familie bewohnt, die täglich 200 l warmes Wasser mit einer Temperatur von 45 °C verbraucht. Zusätzlich ist im Bild 1 auch der jährliche Verlauf des solaren Strahlungsangebotes auf

eine nach Süden ausgerichtete und mit 45° geneigte Fläche mit der Größe von 1 m<sup>2</sup> eingezeichnet. Ein Vergleich der Kurvenverläufe des Wärmebedarfs des Gebäudes (violett) und des Strahlungsangebotes (gelb) zeigt, daß im Bereich der schraffierten Flächen die Sonnenenergie prinzipiell für die Trinkwassererwärmung und Raumheizung genutzt werden kann. Für eine quantitative Bewertung muß jedoch berücksichtigt werden, daß aufgrund der unterschiedlichen Skalierung der beiden vertikalen Achsen die Verhältnisse der Flächen für den Wärmebedarf des Gebäudes (violett) und für das Strahlungsangebot (gelb) nicht den umgesetzten Energiemengen entsprechen. Würde man jedoch annehmen, daß auf der rechten Seite nicht das Strahlungs-

\* Dipl.-Ing. Harald Drück ist Leiter der Arbeitsgruppe Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS) des Instituts für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart, Telefon (07 11) 6 85 35 36, Telefax (07 11) 6 85 35 03;

\*\* Prof. Dr.-Ing. Hans Müller-Steinhagen ist der Direktor des ITW.

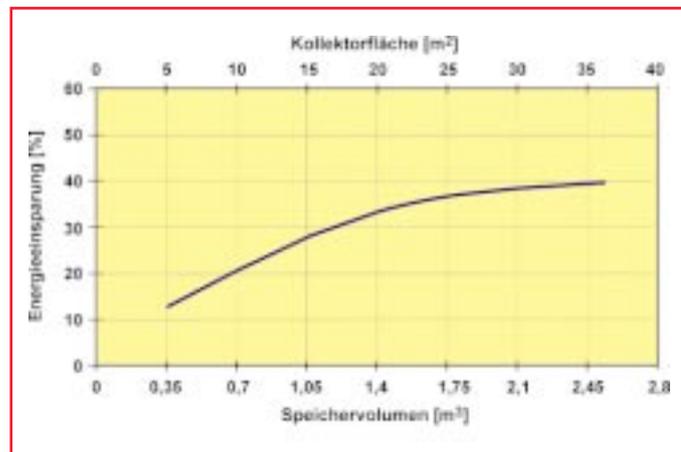


**Bild 1 Wärmebedarf eines Einfamilienhauses für Trinkwassererwärmung und Raumheizung sowie solares Strahlungsangebot am Standort Würzburg**

angebot auf 1 m<sup>2</sup>, sondern auf 10 m<sup>2</sup> Kollektorfläche aufgetragen ist, so wäre ein direkter Vergleich möglich. Wird der Kollektor entsprechend aufgestellt, kann sowohl eine Steigerung der nutzbaren Solarstrahlung als auch eine bessere Übereinstimmung zwischen Strahlungsangebot und Wärmebedarf des Gebäudes erreicht werden. Für Solaranlagen zur kombinierten Trinkwassererwärmung und Raumheizung (Kombianlagen) empfiehlt sich ein nach Süden ausgerichteter Kollektor mit einem Anstellwinkel (Winkel zwischen horizontaler und Kollektorebene) von mindestens 40°.

**Eindeutiger Trend zur Kombianlage**

Gegenwärtig zeichnet sich insbesondere im privaten Bereich ein eindeutiger Trend hin zu Kombianlagen ab, die sich im Allgemeinen relativ einfach in die Heizung des Gebäudes integrieren lassen. Um die Solaranlage effektiv zur Heizungsunterstützung einsetzen zu können ist es wichtig, daß die Heizung des Gebäudes auf einem möglichst niederen Temperaturniveau betrieben wird. Heizungsauslegungen mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 70 °C und einer maximalen Rücklauftemperatur von 40 °C (Heizungsauslegung 70/40), wie sie heute bei Neubauten üblich sind, können bereits sinnvoll mit einer Solaranlage kombiniert



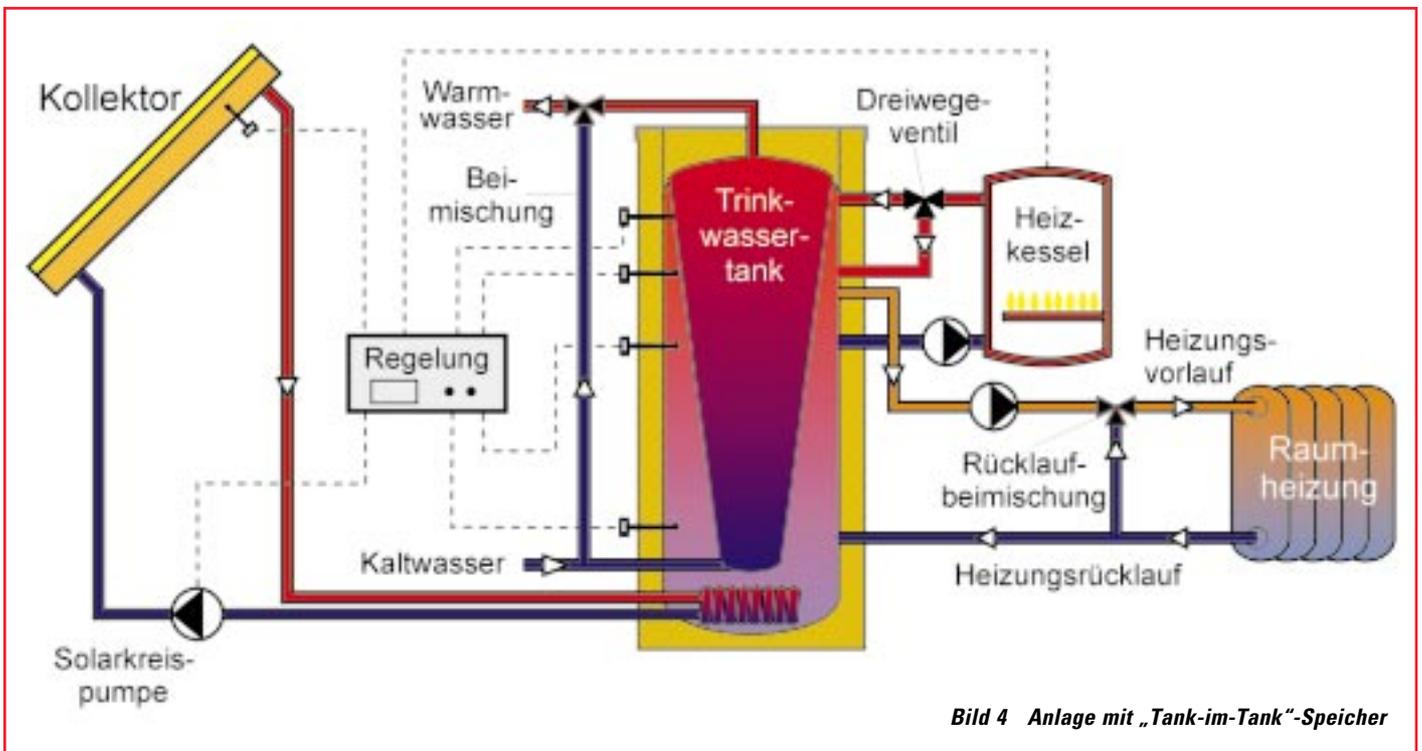
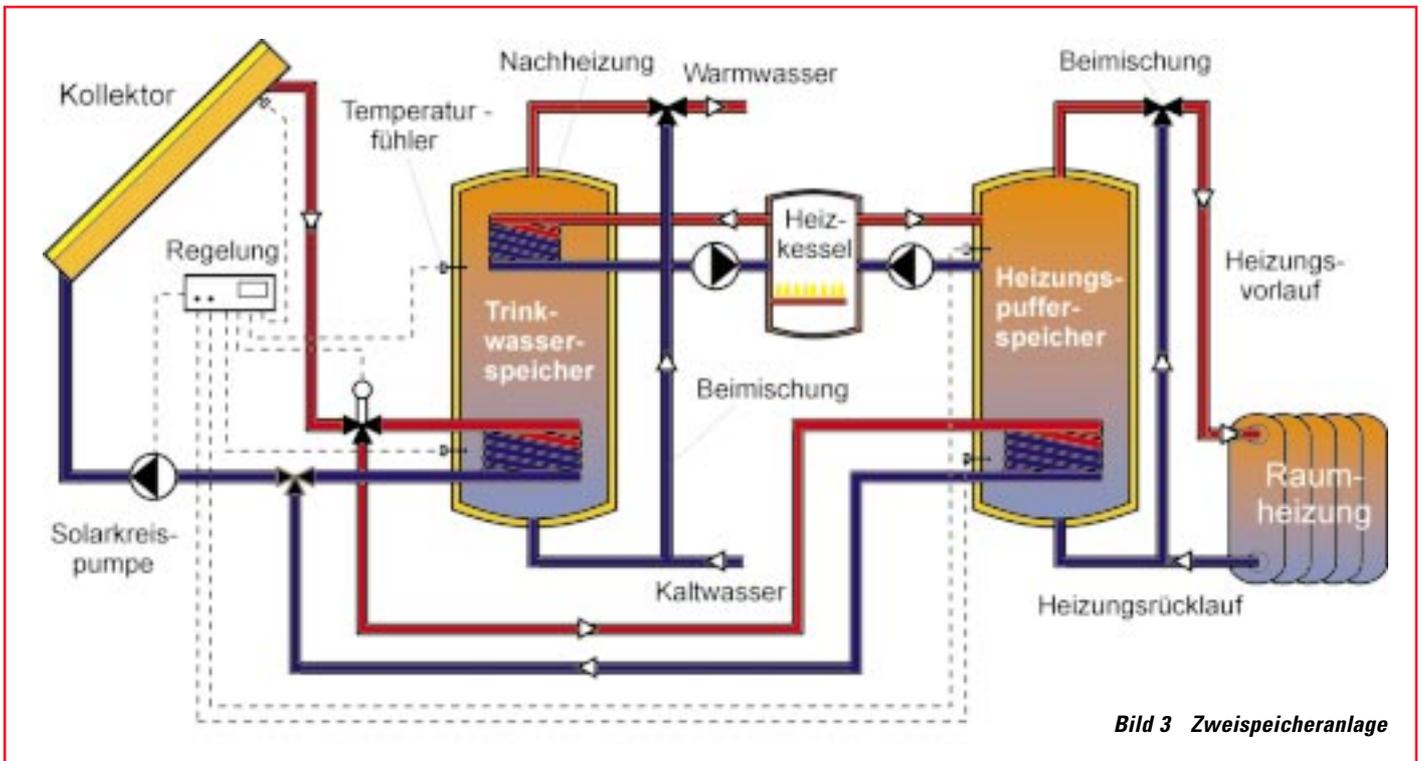
**Bild 2 Energieeinsparung durch eine Kombianlage in Abhängigkeit des Speichervolumens und der Kollektorfläche**

werden. Noch besser eignen sich allerdings Heizungen, die auf einem niedrigeren Temperaturniveau betrieben werden, wie z. B. Niedertemperatur-Radiatorheizungen (Heizungsauslegung 50/30), sowie Fußboden- oder Wandflächenheizungen. Der Einsatz solcher Heizungen bietet sich bei Gebäuden an, die mit einer sehr guten Wärmedämmung versehen sind. Diese Gebäude weisen im Jahr einen spezifischen Wärmeverbrauch für die Raumheizung im Bereich von maximal 50–70 kWh pro m<sup>2</sup> Wohnfläche auf – ein Wert, wie er etwa auch durch die zukünftige Energieeinsparverordnung gefordert wird. Damit die Solaranlage einen effektiven Beitrag zur Wärmeversorgung des Gebäudes leisten kann ist es wichtig, daß die einzelnen Komponenten wie Kollektor, Speicher und Regelung qualitativ gut und aufeinander abgestimmt sind. Zusätzlich muß die gesamte Anlage richtig dimensioniert und in geeigneter Weise in die Heizungsanlage integriert sein – mögliche

Anlagenkonzepte werden im Hauptteil dieses Artikels beschrieben. Sind diese Voraussetzungen erfüllt und soll der Beitrag der Sonne zur Wärmeversorgung des Gebäudes weiter vergrößert werden, so kann das theoretisch durch zwei Maßnahmen realisiert werden:

- Vergrößerung der Kollektorfläche; diese würde in Bild 1 in einer größeren gelben Fläche und damit auch in einem größeren schraffierten (nutzbaren) Flächenbereich resultieren. Der Nachteil dieser Maßnahme ist jedoch, daß in den Sommermonaten ein großer solarer Wärmeüberschuß entsteht, der nicht genutzt werden kann.
- Einsatz von Speichern mit einer sehr viel größeren Kapazität. Dadurch wird es möglich einen Teil des Strahlungsüberschusses von den Sommermonaten für die Wintermonate zu speichern.

Unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist eine Kombination beider Maßnahmen die beste Lösung. Es hat sich



benötigten Energie eingespart werden kann. Entsprechende Kombianlagen werden in Deutschland bereits von einer Vielzahl von Herstellern angeboten. Einige Anlagen werden in den Zeitschriften „test“ der Stiftung Warentest [1, 2, 3] vorgestellt und verglichen.

### Anlagenkonzepte im Überblick

In einer Solaranlage stellt der Speicher als Zentrum für die Sammlung, Speicherung und Verteilung der Energie, neben dem Kollektor, die wichtigste Komponente dar. Anhand des Speichers bzw. ihres Anlagenkonzeptes können Kombianlagen grob nach folgenden Gesichtspunkten charakterisiert werden:

- **Anzahl der Speicher:** Hier wird zwischen Ein- und Zweispescheranlagen unterschieden.
- **Art der Trinkwassererwärmung:** Die Erwärmung des Trinkwassers kann ent-

weder vor der Entnahme oder während der Entnahme erfolgen. Anlagen bei denen das Trinkwasser vor der Entnahme erwärmt wird, arbeiten nach dem „Speicherprinzip“ und benötigen daher für das Trinkwasser einen zusätzlichen Speicherbehälter. Bei der Zweispescheranlage ist dies ein separater Trinkwasserspeicher. Bei Einspeicheranlagen ist der Speicher für das Trinkwasser in den Kom-

bispeicher eingebaut – diese Kategorie von Kombispeichern wird als „Tank-im-Tank“-Speicher bezeichnet. Erfolgt die Erwärmung des Trinkwassers erst bei der Entnahme (Durchlaufprinzip), werden sehr leistungsfähige Wärmeübertrager benötigt. Hierzu werden entweder in den Speicher eingebaute Rippenrohr- und Glattrohrwärmeübertrager eingesetzt oder Plattenwärmeübertrager, die sich außerhalb des Speichers befinden.

- **Pufferfunktion des Kombispeichers für den Heizkessel:** Hier wird zwischen Kombianlagen mit und ohne Pufferfunktion für den Heizkessel unterschieden.

## Anlagenkonzepte unter der Lupe

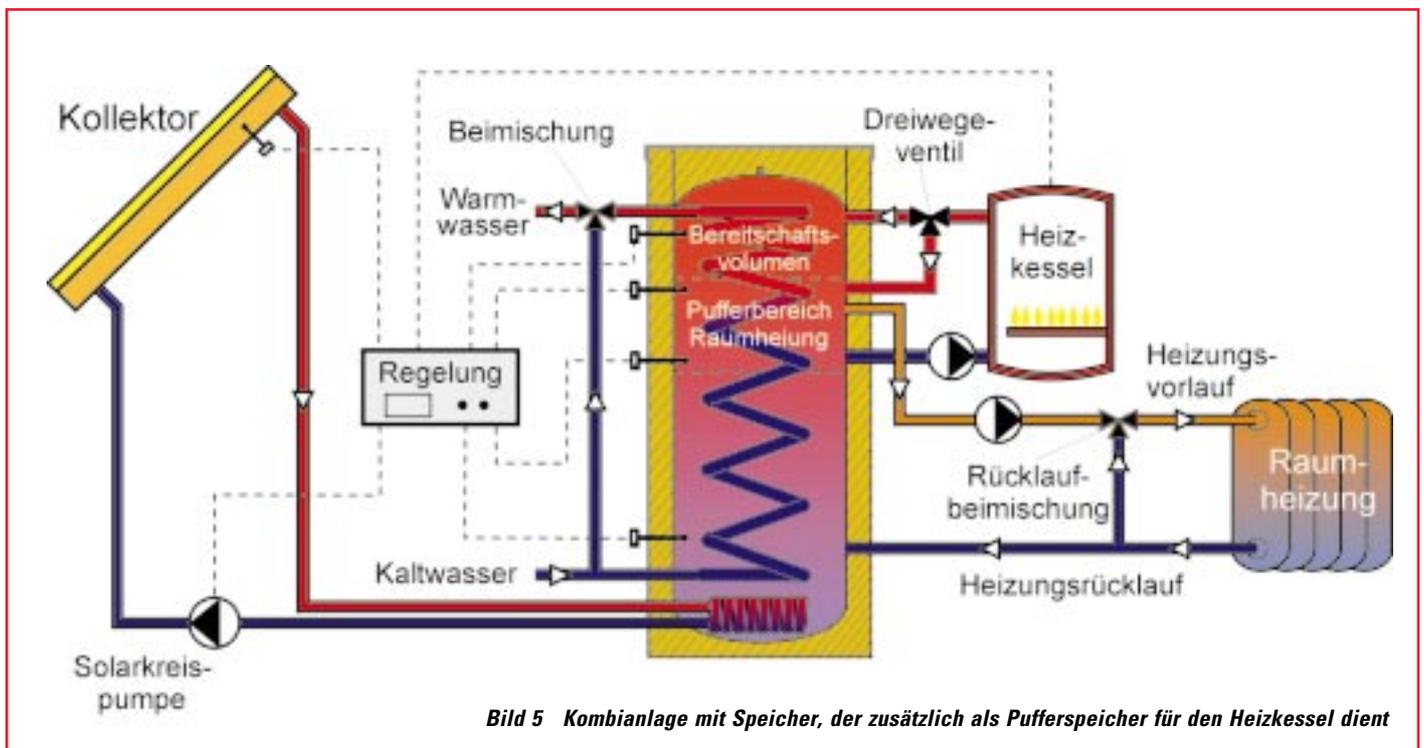
Im Folgenden werden diese charakteristischen Anlagenkonzepte exemplarisch vorgestellt und diskutiert. Auf anlagenspezifische Details wie z. B. besondere Regelstrategien kann im Rahmen dieses Beitrags jedoch nicht eingegangen werden.

### Zweisppeicheranlage

Der prinzipielle Aufbau einer Zweisppeicheranlage ist in Bild 3 dargestellt. Diesem Anlagenkonzept ist seine historische Abstammung eindeutig anzusehen – es wurde

### Anlage mit „Tank-im-Tank“-Speicher

Bei einem „Tank-im-Tank“-Speicher ist in den mit Heizungswasser gefüllten Pufferspeicher ein zweiter, kleinerer Speicher eingebaut, in dem sich das Trinkwasser befindet. Die Erwärmung des Trinkwassers erfolgt durch das den Trinkwasserspeicher umgebende Heizungswasser. Im Gegensatz zum äußeren Speicherbehälter muß der Trinkwassertank gegen Korrosion geschützt sein. Deshalb ist, wie auch bei typischen Trinkwasserspeichern, die Innenseite des Trinkwassertanks beschichtet (z. B. emailliert). In Bild 4 ist der schematische Aufbau einer Kombianlage mit „Tank-im-



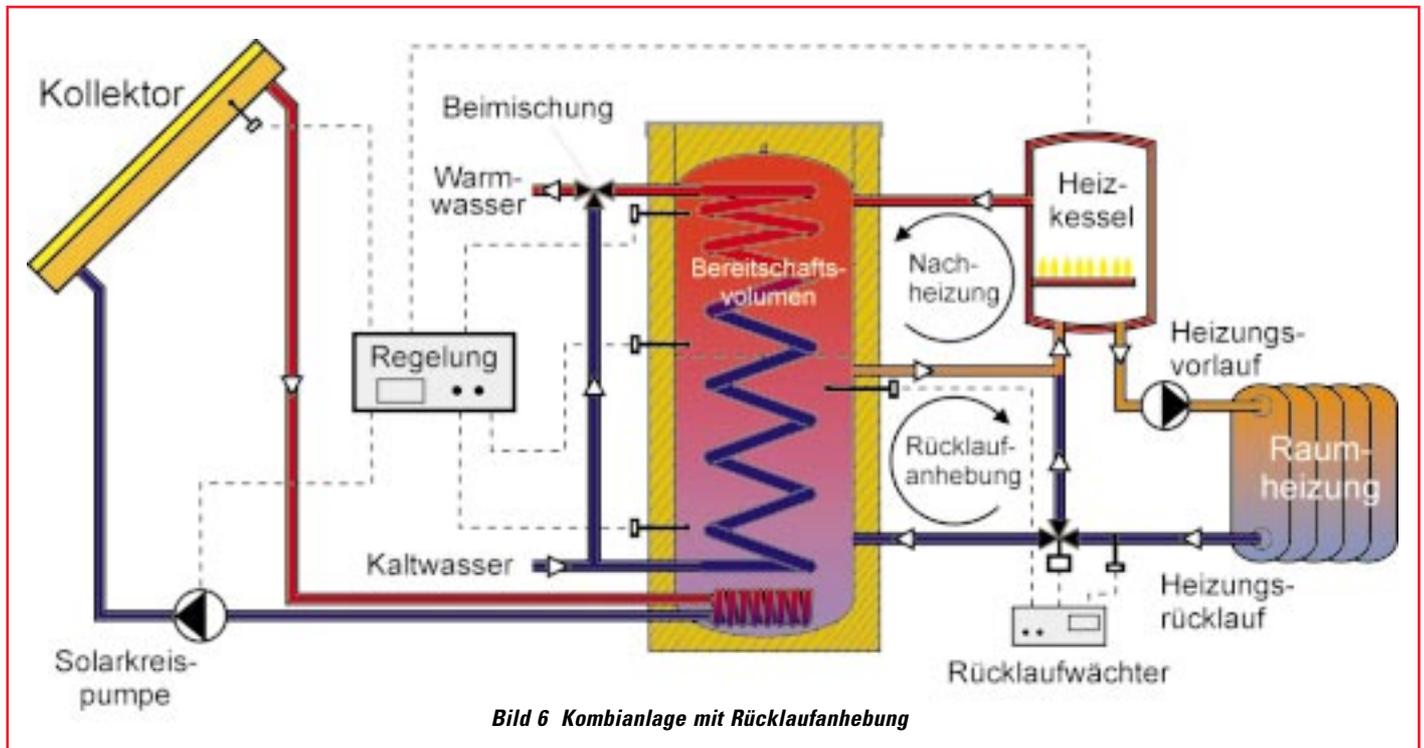
**Bild 5** Kombianlage mit Speicher, der zusätzlich als Pufferspeicher für den Heizkessel dient

Letztere werden als sogenannte Anlagen mit Rücklaufanhebung (Vorwärmanlagen) 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 Trinkwassererwärmung durch einen großen Speicher ersetzt, in den als Wärmequelle ein Gas- oder Ölbrenner eingebaut ist.

einfach die Solaranlage zur Trinkwassererwärmung um einen weiteren Speicher für die Heizung ergänzt. Das Konzept der Zweisppeicheranlage zeichnet sich insbesondere durch die Möglichkeit aus, relativ einfache Speicher einsetzen zu können. Ein weiterer Vorteil ist, daß die geringen Temperaturen des in den Trinkwasserspeicher 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 Zweisppeicheranlage 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 gleiche Wärmedämmung vorausgesetzt – theoretisch um ca. 30 % geringere Wärmeverluste.

Tank“-Speicher dargestellt. Im Bereich der Kombispeicher gewinnen „Tank-im-Tank“-Speicher aufgrund ihres relativ einfachen Aufbaus zunehmend an Bedeutung. Sie werden inzwischen bereits von mehr als der Hälfte aller Hersteller angeboten. Ein guter „Tank-im-Tank“-Speicher zeichnet sich unter anderem dadurch aus, daß der Trinkwassertank möglichst weit nach unten ausgedehnt ist. Wird warmes Trinkwasser entnommen, so strömt unten in den Trinkwassertank kaltes Wasser ein. Hierdurch ist es möglich, den unteren Speicherbereich auf ein niedriges Temperaturniveau abzu-



**Bild 6 Kombianlage mit Rücklaufanhebung**

kühlen. Dieser Effekt hat einen günstigen Einfluß auf den Wirkungsgrad der Solaranlage. Denn dieser ist um so höher, je niedriger das Temperaturniveau ist, mit dem der Kollektor betrieben wird. Bei einem sinnvoll konzipierten „Tank-im-Tank“-Speicher ist im Trinkwassertank etwa ein Drittel des gesamten Speichervolumens enthalten. Aus diesem Grund werden „Tank-im-Tank“-Speicher meist nur bis zu einem maximalen Speichervolumen von 1000–1500 l eingesetzt. Das „Tank-im-Tank“-Prinzip für die Trinkwassererwärmung kann unabhängig davon eingesetzt werden, ob der Speicher eine Pufferfunktion für den Heizkessel übernimmt oder nicht. (Diese Anlagenkonzepte werden in den folgenden Abschnitten beschrieben).

#### **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 Trinkwassers und ggf. auch als Pufferspeicher für den Heizkessel genutzt (siehe Bild 5). 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. In Bild 5 ist exemplarisch eine Kombianlage mit einem Speicher dargestellt, der zusätzlich als Puffer für den Heizkessel genutzt wird. Die vom Heizkessel abgegebene

ne Wärme wird grundsätzlich dem Speicher zugeführt. Im oberen Bereich des Speichers befindet sich das Puffervolumen (Bereitschaftsvolumen) für die Trinkwassererwärmung 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 Trinkwassererwärmung erfolgt bei dieser Anlage mittels eines eingebauten Wärmeübertragers, in dem das Trinkwasser beim Durchströmen aufgewärmt wird.

#### **Anlage mit Rücklaufanhebung**

Bei einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung die nach dem Prinzip der Rücklaufanhebung arbeitet (siehe Bild 6) ist im Speicher nur ein Puffervolumen bzw. ein Bereitschaftsvolumen für die Trinkwassererwärmung 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. 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 7). 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.

## Welches Anlagenkonzept ist das Beste?

Die Bewertung der thermischen Leistungsfähigkeit von Kombianlagen kann mittels der jährlichen anteiligen Energieeinsparung erfolgen. Diese gibt an, welche (prozentuale) Energieeinsparung durch die Kombianlage im Vergleich zu einer konventionellen Wärmeversorgung (Trinkwassererwärmung und Raumheizung) erzielt werden kann. Im vorangegangenen Abschnitt wurden fünf 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 (entspricht einem relativen Unterschied von 2,5 %). 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 und Größe des Bereitschaftsvolumens

- Betriebsstrategie des Kollektorkreises: Low-flow, high-flow  
Zusammenfassend läßt sich folgendes feststellen:

Auf der Basis von umfangreichen Untersuchungen die am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart (ITW) durchgeführt wurden, kann für die Eigenschaften, die einen guten Kombispeicher auszeichnen, folgende Prioritätenliste angegeben 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. Eine Halbierung der Wärmeverluste (von 5,0 W/K auf 2,5 W/K) führt zu einer relativen Erhöhung der Energieeinsparung um 10 %.
- Ein kleines, auf niedrigerem Temperaturniveau betriebenes Bereitschaftsvolumen für die Trinkwassererwärmung 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. Eine Reduzierung der Solltemperatur des Bereitschaftsvolumens für die Trinkwassererwärmung von 60 °C auf 50 °C führt zu einer relativen Erhöhung der Energieeinsparung um 7 %.

- 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 m<sup>2</sup> sollte das Speichervolumen etwa 700 l und das Wärmeübertragungsvermögen des Solarkreis-Wärmeübertragers etwa 800 W/K betragen. Bezogen auf die Kollektorfläche entspricht dies einem Speichervolumen von 70 l/m<sup>2</sup> 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 Solarkreis).

### 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 17 42, Stuttgart

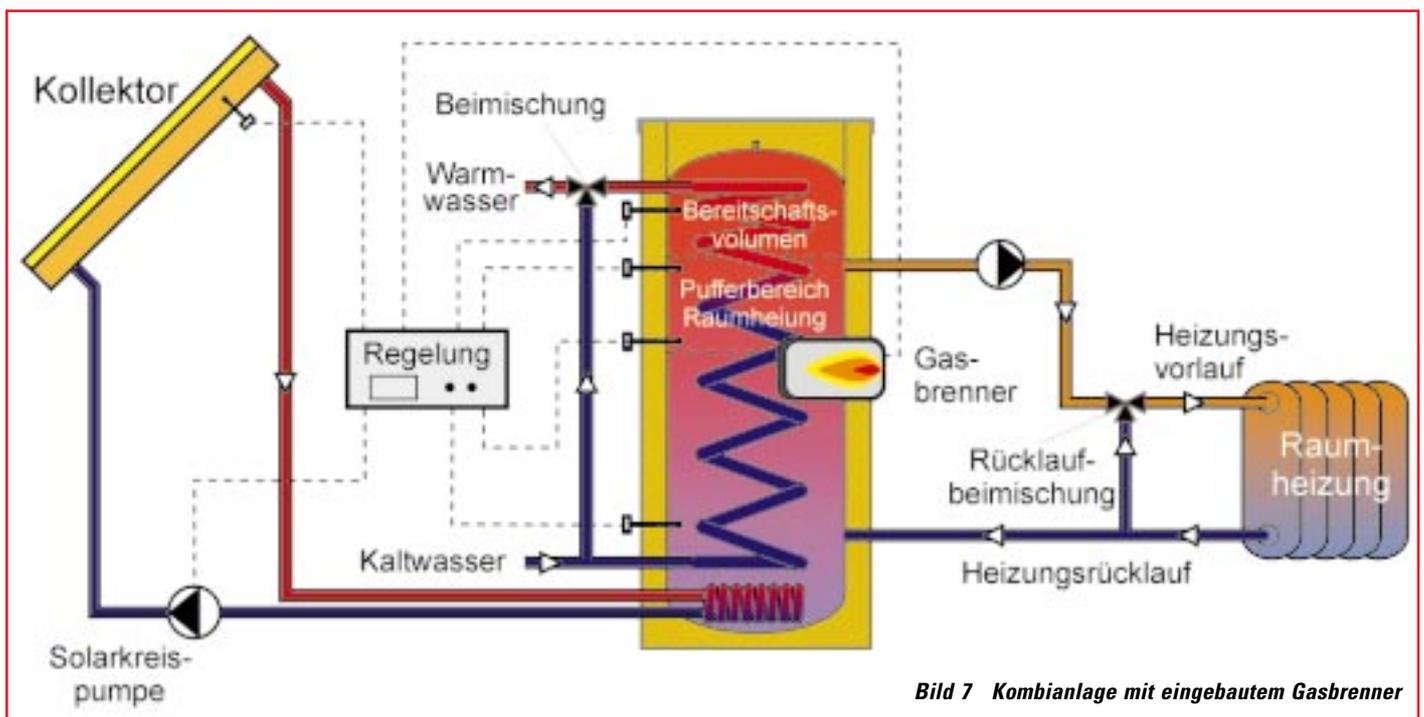


Bild 7 Kombianlage mit eingebautem Gasbrenner