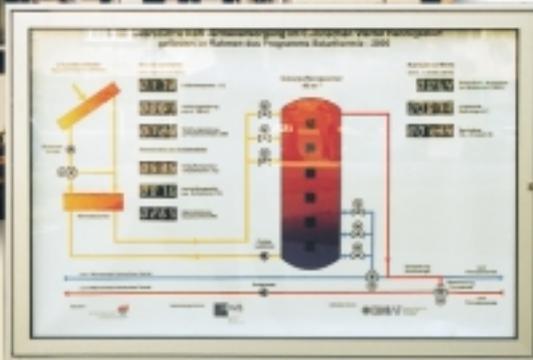


## Große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung



*Große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung mit Kollektorflächen von mehr als 100 m<sup>2</sup> können beträchtliche Energiespar-Potentiale im Geschosswohnungsbau sowie in gewerblichen und öffentlichen Einrichtungen erschließen. Sie zeichnen sich gegenüber kleineren Anlagen durch höhere spezifische Erträge und deutliche Kostenvorteile aus. Mit den Erfahrungen aus Demonstrationsanlagen kann nun die Zuverlässigkeit und Kosteneffizienz sichergestellt werden.*

**G**roße Solaranlagen haben ein breites Einsatzspektrum: Miethäuser, Wohnsiedlungen, Hotels, Seniorenheime, Krankenhäuser und Studentenwohnheime

sind Beispiele für Immobilien, bei denen durch eine solare Unterstützung der Trinkwassererwärmung große Energieeinsparungen möglich sind. Der großen Zahl geeigneter Gebäude standen in der Vergangenheit nur wenige ausgeführte Anlagen gegenüber. Wesentliche Ursache ist, dass die Investoren solcher Gebäude von der Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit der Systeme nicht überzeugt waren. Zudem fehlten Planungsgrundlagen für Architekten und Fachplaner, zumal Großanlagen nicht in dem gleichen Maße standardisiert werden können, wie dies bei Kleinanlagen erreicht wurde.

Im Jahr 1993 startete deshalb das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) getragene Förderkonzept „Solarthermie-2000“. In einem seiner drei Teilprogramme wird die Errichtung von rund 100 großen thermischen Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung gefördert, von denen bereits etwa die Hälfte in Betrieb ist. Die ausgewählten Objekte spiegeln die Vielfalt der Einsatzgebiete und Systemlösungen wider.

Die in einem sehr umfangreichen Begleitforschungsprogramm bisher gewonnenen Erfahrungen mit den Demonstrationsanlagen sind positiv. Sie belegen, dass große solarthermische Anlagen zuverlässig und effizient arbeiten können und dass sie die solare Nutzwärme zu Kosten zur Verfügung stellen, die diese Technik auch für große Wohnungsbaugesellschaften, Krankenhäuser etc. wirtschaftlich interessant macht.

Wesentliche Ergebnisse des Demonstrationsprogramms sind Planungsgrundlagen und Empfehlungen, die im Folgenden vorgestellt werden.

# Objektauswahl und Systemkonzepte

Die sorgfältige Auswahl und Vorbereitung eines Gebäudes sind Voraussetzung für wirtschaftliche Solaranlagen. Einfach aufgebaute Systeme reduzieren die Kosten, die Störanfälligkeit und den Wartungsaufwand.

## Objektauswahl und Vorbereitung

Die Motive für die Installation einer Solaranlage sind vielfältig: Bei Eigentümern von Einfamilienhäusern spielt oft der ökologische Aspekt die dominierende Rolle. Bei größeren Objekten tritt meist die Wirtschaftlichkeit der Investition stärker in den Vordergrund.

Große Solaranlagen sind mit spezifischen Kosten von ca. 500 bis 750 € pro Quadratmeter Kollektorfläche (incl. MwSt) erheblich kostengünstiger als Kleinanlagen (ca. 800 bis 1.000 €/m<sup>2</sup>). Dennoch ist die Installation einer solchen Anlage nicht für jedes große Gebäude gleichermaßen sinnvoll.

Zentrales Kriterium ist der Warmwasserbedarf des Objektes. Er ist – bezogen auf die Nutzer des Gebäudes – gering in Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie in Schulen. Allerdings ist nicht nur die absolute Verbrauchsmenge von Bedeutung, entscheidend ist auch das Verbrauchsprofil im Jahresverlauf. Ein ungünstiges Jahresprofil mit geringerer Wärmenachfrage im Sommer wie z. B. in Schulen und Sporthallen kann die Wirtschaftlichkeit einer Solaranlage erheblich mindern. Einen hohen ganzjährigen und auch sommerlichen Warmwasserverbrauch haben z.B. Wohngebäude, Heime und Krankenhäuser und ein Teil der gewerblich genutzten Gebäude.

### Systemnutzungsgrad [%]:

Vom Solarsystem an den Verbraucher abgegebene solare Nutzwärme dividiert durch die Einstrahlung auf die gesamte Absorberfläche (gemessen senkrecht zur Absorberausrichtung)

### Solarer Zapf-Deckungsanteil [%]:

Vom Solarsystem an den Verbraucher abgegebene solare Nutzwärme dividiert durch die für die Erwärmung des gezapften Warmwassers notwendige Energie (solar + konventionell)

### Solarer Gesamt-Deckungsanteil [%]:

Vom Solarsystem an den Verbraucher abgegebene solare Nutzwärme dividiert durch die für das gesamte Warmwassersystem benötigte Energie (incl. Zirkulations- und Speicherverluste; solar + konventionell)

### Auslastung (spezifische Last) [l/(d·m<sup>2</sup>)]:

Menge des am Tag verbrauchten Warmwassers (bezogen auf 60 °C) pro Quadratmeter installierter Absorberfläche



berücksichtigt werden. Folgende vorbereitende Arbeiten können erforderlich sein:

■ Minimierung des Energiebedarfs in dem Verbrauchssystem, an das die Anlage angeschlossen werden soll.

■ Anpassung des konventionellen Energieerzeugers an den minimierten Energieverbrauch.

■ Sanierung des Daches, auf dem das Kollektorfeld mit einer Lebensdauer von 20 Jahren oder mehr installiert werden soll.

Es ist nicht zweckmäßig, ein Solarsystem an ein nicht optimiertes konventionelles Verbrauchs- oder Energieerzeugungssystem anzubinden. Da Grenzen für konventionelle Optimierungsmaßnahmen bestehen, ab denen der Einbau einer Solaranlage günstiger sein kann, sind alle Maßnahmen auf Wirtschaftlichkeit zu prüfen.

## Bewährte Systemkonzepte

Grundsätzlich ist anzustreben, den Systemaufbau möglichst einfach zu gestalten, damit die Anfälligkeit für Störungen und der Aufwand für Instandhaltung und Wartung möglichst gering bleiben und hohe Betriebszuverlässigkeit erzielt wird.

Bei fast allen heute errichteten großen thermischen Solaranlagen wird die vom Kollektorkreis gelieferte Solarwärme in einem sog. Pufferspeicher zwischengelagert.

Das Pufferspeicherkonzept bedingt die Installation eines zweiten Wärmetauschers (WT) zur Übergabe der im Speicher gesammelten Energie an das Trinkwasser zusätzlich zum Kollektorkreis-WT (4 und 5).

Im Rahmen von Solarthermie-2000 wurden einige Systemkonzepte mit Pufferspeichern realisiert. Zwei Varianten mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen wurden häufig installiert und haben sich bewährt. Andere effiziente und kostengünstige Varianten sind denkbar.

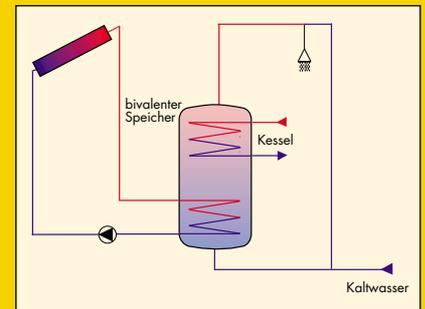
### System mit „Durchlauferhitzerprinzip“

Bei diesem Konzept (4) wird Wärme nur dann vom Pufferspeicher an das Trinkwasser übertragen, wenn Warmwasser gezapft wird – wie bei einem Durchlauferhitzer. Es

## Kleinanlagen und Großanlagen der ersten Generation

Kleine Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung werden seit vielen Jahren installiert. Großanlagen mit mehr als 50 m<sup>2</sup> Kollektorfläche waren eher selten. Sie wurden zudem auf der Basis einer großen Zahl unterschiedlicher Systemkonzepte meist in Einzelplanung realisiert. Nicht alle früher eingesetzten Systemvarianten führten zu hoher Systemeffizienz und guten wirtschaftlichen Ergebnissen. Prinzipiell wurden früher große Solarsysteme zur Trinkwassererwärmung meist aufgebaut wie die heute üblichen Kleinanlagen: Der Solarspeicher war mit Trinkwasser gefüllt und die Wärme wurde vom Kollektorkreis über Wärmetauscher (im Speicher eingebaut oder extern angeordnet) direkt an das gespeicherte Trinkwasser abgegeben, wie in (3) gezeigt. Die großen Solarspeicher enthielten also sehr viel Trinkwasser.

Mit dem Erscheinen der DVGW-Arbeitsblätter W551 und W552 wurde dies als problematisch bezüglich der Wasserhygiene (Legionellenwachstum) definiert. Die in den Merkblättern u.a. aufgestellte Empfehlung, derartige Vorwärmespeicher (Inhalt mehr als 400 Liter) einmal täglich auf 60 °C aufzuheizen, hätte die Speicherung von Solarenergie erheblich eingeschränkt und damit die Effizienz des Solarsystems stark herabgesetzt. Daraufhin wurden neue Konzepte für die Speicherung der Solarwärme entwickelt, die darauf basierten, den Solarspeicher nicht mehr mit Trinkwasser zu füllen sondern mit einem Zwischenmedium (Heizwasser).



Mit Trinkwasser gefüllte Solarspeicher in kleinen Solaranlagen oder alten Großanlagen

wird daher auch „Durchlauferhitzerprinzip“ genannt.

### Vorteile:

■ Die Solaranlage ist leicht in ein bestehendes Energiesystem einzubinden.

■ Das System ist kostengünstig.

■ Dem Kollektorfeld wird eine möglichst niedrige Temperatur angeboten. Dies wirkt sich positiv auf die Effizienz des Solarsystems aus.

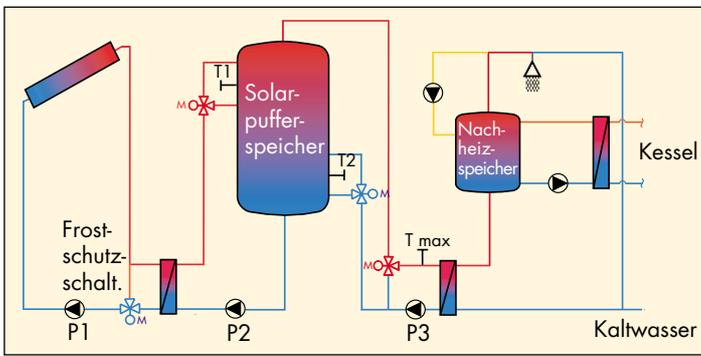
■ Energie aus dem Pufferspeicher kann nur dann an das Trinkwasser übergeben werden, wenn Warmwasser gezapft wird.

■ Die Regelung der Entladung ist recht aufwändig, wenn sie immer dann, wenn Warmwasser gezapft wird, eine möglichst gute Erwärmung des Trinkwassers bei gleichzeitig möglichst guter Abkühlung des Pufferwassers sicherstellen soll.

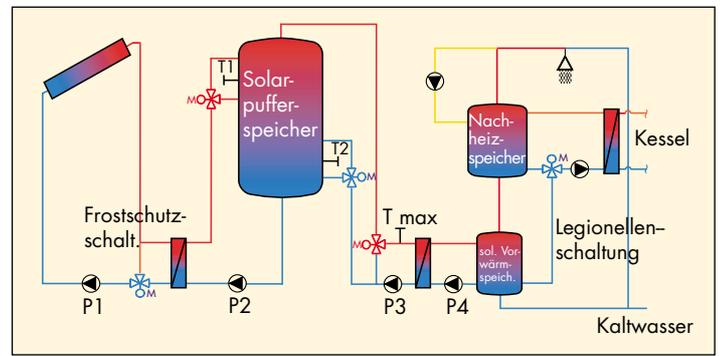
■ Die Auslegung des Wärmetauschers ist vor

## 2 Kennwerte von thermischen Solarsystemen

Bei Altbauten ist der bauliche und anlagentechnische Zustand des Objektes ein weiteres Kriterium. Als additive Technik kann eine Solaranlage zur Trinkwassererwärmung in unseren Breiten nicht unabhängig von der konventionellen Technik des Gebäudes betrachtet werden. Modernisierungsbedarf sollte bei der Planung der Anlage



4 Prinzip einer großen Solaranlage mit solarem Pufferspeicher und Abgabe der Energie aus dem Puffer an das Trinkwasser nur über den Entlade-Wärmetauscher (Durchlauferhitzerprinzip)



5 Prinzip einer großen Solaranlage mit solarem Pufferspeicher und Abgabe der Energie aus dem Puffer an das Trinkwasser über den Entlade-Wärmetauscher und einen solaren Vorwärm-speicher.

allein bei großen Gebäuden (mehr als 100 Bewohner) kritisch. Sie muss auf hohe Zapfspitzen erfolgen (großer Wärmetauscher mit geringem Druckverlust bei Zapfspitzen), da sonst die Warmwasserversorgung evtl. gestört werden kann. Zugleich soll sie aber auch sicherstellen, dass bei sehr geringem Zapfvolumen noch eine gute Wärmeübertragung stattfindet. Bei großen Gebäuden mit hohen Spitzen beim Warmwasserverbrauch ist dies nur schwer zu erreichen. Auch die Dimensionierung der Entladepumpe ist hier schwieriger.

■ Eine Einbindung des Zirkulationsrücklaufes in das Solarsystem zur solaren Teildeckung, auch der Zirkulationsverluste, ist sehr aufwändig (vgl. 6).

### System mit solarem Vorwärm-speicher

Bei einem System mit solarem Vorwärm-speicher 5 wird auf der Trinkwasserseite des Entlade-WT ein kleiner solarer Vorwärm-speicher installiert (ca. 10 % des Tages-Warmwasserverbrauchs; gefüllt mit Trinkwasser). Die Energie aus dem Puffer kann an gezapftes und auch an „stehendes“ Trinkwasser im Vorwärm-speicher abgegeben werden.

### Vorteile:

- Die Solaranlage ist leicht in ein bestehendes Energiesystem einzubinden.
- Der Entlade-WT ist leicht auszulegen und kann kleiner gehalten werden. Er muss nicht auf hohe Zapfspitzen (im Bereich einiger Sekunden) ausgelegt werden, es genügt eine Anpassung an Spitzenwerte, die über längere Perioden (z.B. 1 Stunde) gemittelt sind (dies gilt auch für die beiden Entladepumpen).
- Die Entladeregulung ist preiswert und einfach (Temperaturvergleich zwischen oberem Teil des Pufferspeichers und unterem Teil des solaren Vorwärm-speichers).
- Die Einbindung des Zirkulationsrücklaufes in das Solarsystem ist einfach und kostengünstig möglich.

### Nachteile:

- Wegen der möglichen Vermischung des nachströmenden Kaltwassers mit dem vorerwärmten Trinkwasser im Vorwärm-speicher wird bei einigen Betriebsbedingungen dem Puffer und damit dem Kollektorfeld eine etwas höhere Temperatur angeboten als beim Durchlauferhitzerprinzip (etwas geringere Systemeffizienz).

■ Da in großen Gebäuden das Gesamtvolumen von Nachheizspeicher und solarem Vorwärm-speicher meist über 400 Liter liegt, muss der Vorwärm-speicher einmal täglich über die „Legionellenschaltung“ vom konventionellen System her auf 60 °C erwärmt werden, wenn dies nicht bereits über die Solarwärme erfolgt ist.

- Die Systemverluste steigen durch den solaren Vorwärm-speicher geringfügig an.
- Es entstehen etwas höhere Systemkosten durch den Vorwärm-speicher, die zusätzliche Pumpe P4 und die Legionellenschaltung trotz preiswerterer Entlade-WT, kostengünstigerer Regelung und kleinerer Pumpe P3.

### Empfehlung

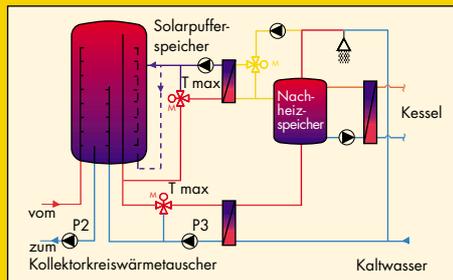
In Gebäuden mit nicht zu großem Dynamikbereich beim Warmwasserverbrauch kann das Durchlauferhitzerkonzept eingesetzt werden, wenn der Entlade-WT und die Regelung sorgfältig ausgelegt werden. Will man bei größeren Gebäuden Probleme mit der Entladeregulung und der Auslegung des Entlade-WT vermeiden, so sollte man das Konzept mit solarem Vorwärm-speicher wählen.

### Einbindung der Zirkulation in das Solarsystem

Oft soll ein Teil der Zirkulationsverluste über Solarenergie gedeckt werden. 6 und 7 zeigen für die beiden oben beschriebenen Systemvarianten die Methoden der Zirkulationseinbindung. Das hohe Temperaturniveau des Zirkulationsrücklaufes (ca. 55 °C bei 60 °C im Bereitschaftspeicher), darf nicht so in einen Solarspeicher zurückgeführt werden, dass es die niedrige Temperatur des Kaltwassers überlagert.

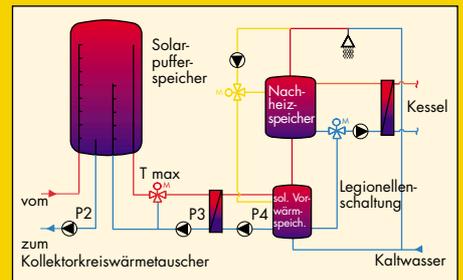
Daher darf beim Durchlauferhitzerkonzept der für die Erwärmung des Trinkwassers vorgesehene Wärmetauscher nicht gleichzeitig für die Aufheizung des Zirkulationsrücklaufes benutzt werden. Der andauernd hohe und sehr warme Volumenstrom des Zirkulationsrücklaufes (2-5 mal größer als das Zapfvolumen in der intensivsten Zapfstunde; vgl. Abschnitt Dimensionierung) würde dazu führen, dass am Trinkwassereinlauf in den Entlade-WT Temperaturen über ca. 40 °C anliegen würden, sobald der Zirkulationsrücklauf über diesen WT geführt wird. Der Rücklauf zum Puffer würde in diesen Zeiten nie unter 45 °C abgekühlt, die Einlauftemperatur in die Kollektoren läge dann über 50 °C.

Bei diesen Systemen ist also der Einbau eines



6 Zirkulationseinbindung beim Solarsystem gem. Durchlauferhitzerprinzip

zweiten Entlade-Wärmetauschers für die Erwärmung des Zirkulationsrücklaufes notwendig 6. Der Rücklauf des WT zum Puffer muss im oberen Drittel des Puffers münden. Er darf auf keinen Fall in den unteren Pufferteil zurückgeführt werden. Eine Rückführung über Schichtlanzen ist wegen des hohen Volumenstroms kaum möglich. Bei einem System mit solarem Vorwärm-speicher kann der Zirkulationsrücklauf über ein Drei-Wege-Ventil in das obere Drittel des solaren Vorwärm-speichers geführt werden (vgl. 7). Das Umschalten zu diesem Speicher erfolgt, wenn die Temperatur oben in diesem Speicher höher ist als die im Zirkulationsrücklauf.



7 Zirkulationseinbindung beim Solarsystem mit solarem Vorwärm-speicher

Der Vorwärm-speicher sollte möglichst schlank sein und auf ca. 15 % des Tages-Warmwasserverbrauchs vergrößert werden. Seine Beladeregulung sollte über zwei Temperaturfühler verfügen, wobei das Schaltvolumen (Fühlerpositionen) etwa zwischen 40 % und 75 % Speicherhöhe liegt (Einhalten eines kalten unteren Teilvolumens). Trotz der oben genannten Maßnahmen muss wegen des hohen Durchsatzes im Zirkulationsrücklauf mit Teildurchmischung des entsprechenden Solarspeichers gerechnet werden. Folglich wird bei beiden Systemvarianten der Rücklauf zum Kollektorfeld etwas wärmer und die Systemeffizienz sinkt leicht ab.

# Grundlagen der Systemauslegung

Eine an den Verbrauch angepasste Dimensionierung des Solar-systems ist notwendig, wenn das System mit hoher Effizienz und damit mit betriebswirtschaftlich gutem Ergebnis arbeiten soll. Stagnation des Kollektorkreises soll möglichst vermieden werden, weil die Anlage in Stillstandszeiten keinen Nutzen bringt und wegen der hohen auftretenden Temperaturen in ihrer Lebensdauer beeinträchtigt werden kann.

## Besondere Anforderungen

Ein konventionelles Energieversorgungssystem muss eine hohe Versorgungssicherheit gewährleisten. Diese Anforderung wird an ein Solarsystem zur Trinkwassererwärmung nicht gestellt, da es in unseren Breiten stets auf eine konventionelle Nachheizung angewiesen ist.

Konventionelle Energieerzeuger haben eine wesentlich höhere Leistungsdichte als Solar-systeme und damit geringere flächenbezogene Verluste als übliche Solaranlagen. Daher können sie ohne aufwändige Maßnahmen höhere Temperaturniveaus bereitstellen und reagieren weniger sensibel auf überhöhte Temperaturen im Verbrauchssystem. Zudem kann man konventionelle Systeme in der Regel je nach Bedarf ein- und abschalten. Ein Kollektorfeld dagegen erzeugt nur dann aber auch immer dann Wärme, wenn es von der Sonne beschienen wird.

Bei der Auslegung einer großen Solaranlage sollen daher ineffiziente Betriebszustände (hohe Temperaturen, Stillstandszeiten etc.) vermieden werden. Letztere können wegen der im System auftretenden hohen Temperaturen Bauteile der Solaranlage frühzeitig altern lassen oder sogar schädigen. Es kann jedoch gefordert sein, dass hohe solare Deckungsanteile am Energieverbrauch erreicht werden. Dann sind Stillstandszeiten ohne den Einsatz von sehr großen, teuren Speichern nicht vermeidbar.

## Warmwasserverbrauch als Schlüsselgröße

Eine Solaranlage zur Trinkwassererwärmung muss auf den Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung ausgelegt werden. Bei bestehenden Gebäuden soll er gemessen werden, bei Neubauten kann er auf der Basis von Verbrauchswerten aus ähnlichen Objekten abgeschätzt werden.

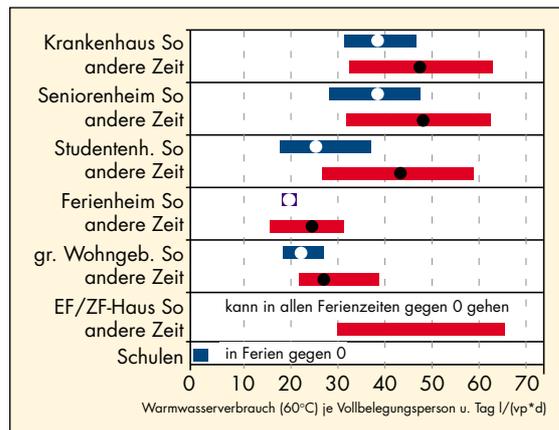
Die folgenden Ausführungen gelten nur für mittelgroße und große Solaranlagen. Auf Kleinanlagen mit ihrem in der Regel abweichenden Systemaufbau (vgl. 3) sind sie in vielen Fällen übertragbar. Es gibt allerdings bei der Systemdimensionierung Unterschiede. Dies liegt zum einen an der unterschiedlichen Verbrauchscharakteristik, zum andern oft an einer stärkeren Gewichtung ökologi-

scher Aspekte gegenüber den ökonomischen. In der Regel tritt in Wohngebäuden jeder Art während der Haupt-Urlaubszeit im Sommer ein Rückgang des Warmwasserverbrauchs ein. Gleichzeitig ist jedoch in dieser Zeit die Sonneneinstrahlung sehr hoch. Will man Stillstandszeiten des Solarsystems vermeiden, so muss das System so ausgelegt werden, dass die vom Kollektorfeld bei voller Nutzung der Sonneneinstrahlung am Tag zu erzeugende Energie entweder gespeichert oder vom Verbraucher abgenommen werden kann. Da der Einsatz großer Speicher (z.B. für mehrere Tage) bei großen Solaranlagen nur zur Trinkwassererwärmung meist unwirtschaftlich ist, sollte die Menge der am Tag bereitstellbaren Nutzenergie etwa der an diesem Tag zu verbrauchenden Energiemenge entsprechen.

Während die Einstrahlung und die vom Solarsystem erzeugbare Energie leicht abgeschätzt werden können, schwanken die Warmwasserverbrauchswerte selbst bei gleichartig genutzten Objekten stark.

## Warmwasserverbrauch in unterschiedlichen Gebäudetypen

In 8 sind für unterschiedliche Gebäudetypen die Bandbreiten des Warmwasserverbrauchs je Vollbelegungsperson sowohl für



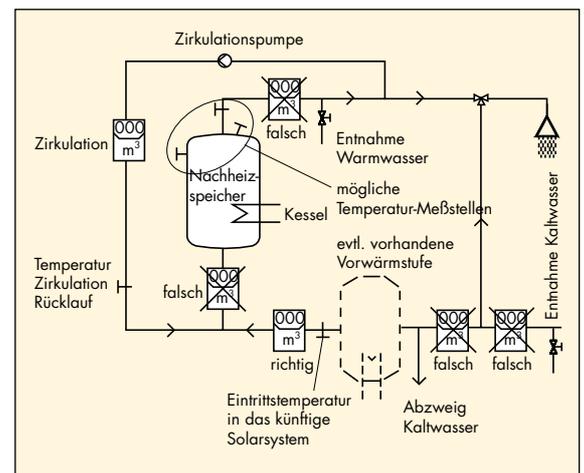
Bandbreiten des Warmwasserverbrauchs je Vollbelegungsperson (vp) und Tag bei unterschiedlichen Gebäudetypen (=Schwerpunkt Schwachlastverbrauch)

die Schwachlastperiode im Sommer als auch für Zeiten außerhalb des Sommers sowie die Verbrauchsschwerpunkte aufgezeigt. Die großen Bandbreiten belegen die Notwendigkeit einer Verbrauchsmessung bzw. einer sorgfältigen (und eher zurückhaltenden) Schätzung bei Neubauten.

Die Zahl der Vollbelegungspersonen entspricht der Zahl der maximal bzw. laut Plan im Gebäude lebenden Personen in ferienfreien Zeiten. Für Wohngebäude kann sie aus den Erfahrungswerten für die Belegung von Wohneinheiten (WE) unterschiedlicher Größe gem. Tab. 3 in VDI 2067 Blatt 12 und der Anzahl der WE abgeschätzt werden. Die Werte der DIN 4708 Teil 2 (10/79) sind veraltet und viel zu hoch. In Krankenhäusern entspricht sie z.B. der Anzahl der Betten.

Der Rückgriff auf diese theoretische Zahl der Vollbelegungspersonen ist notwendig, da echte Belegungszahlen in den diversen Zeiträumen oft nicht zu ermitteln sind.

## Korrekte Messung des Warmwasserverbrauchs



Richtige und falsche Positionen zur Messung des Warmwasserverbrauchs und der Zirkulationsverluste

Die Messung des Warmwasserverbrauchs an ungeeigneter Stelle führt zu verfälschten Messergebnissen. In 9 sind die richtigen Positionen für die Messfühler eingezeichnet, falsche Positionen sind durchgestrichen.

Die Position des Volumenstromzählers für den Warmwasserverbrauch ist so zu wählen, dass nur das durch den konventionellen Wassererwärmer strömende gezapfte Warmwasser erfasst wird. Keinesfalls darf die Menge Kaltwasser, die zur Beimischung benutzt wird, oder das Zirkulationsvolumen im Messwert enthalten sein. Zusätzlich muss mindestens die Temperatur gemessen werden, mit der das Warmwasser den konventionellen Wassererwärmer verlässt. Ein Erfassen der Zulauftemperatur ist nötig, wenn der Solaranlage Trinkwasser-Vorwärmstufen (z.B. Abwärmenutzung) vorgeschaltet sind.

Die zeitliche Auflösung derartiger Messungen soll mindestens auf Tagesbasis erfolgen. Bei stark schwankender Kaltwassertemperatur (z.B. bei Vorwärmstufen mit variablem Energieanfall im Tagesverlauf) empfiehlt sich eine Stundenauflösung dieses Wertes.

Der optimale Zeitraum für die Messungen liegt in der Sommer-Schwachlastperiode, in der man den Auslegungsverbrauch direkt erfasst. Kann die Messung nicht in dieser Periode erfolgen, so können während anderer Zeiträume erfasste Werte anhand der in 10 und 11 gezeigten Jahresprofile auf den Schwachlastverbrauch umgerechnet werden. Längere atypische Verbrauchszeiten (z.B. Osterferien) dürfen nicht im Messzeitraum liegen. Die Messungen sollen mindestens 4 Wochen lang durchgeführt werden. Die Messung der Zirkulationsverluste ist bei größeren Solarsystemen dann notwendig, wenn das System auch die Verlustenergie der Zirkulation teilweise decken soll. Grundsätzlich kann die Messung der Zirkulationsverluste Einsparmöglichkeiten in diesem Bereich aufzeigen.

nicht unbedingt in der hier eingezeichneten Periode liegen. Die obere Begrenzung der hellblauen Fläche stellt den Verbrauch dar, der sich in dieser Periode einstellen würde, lägen hier keine Ferien.

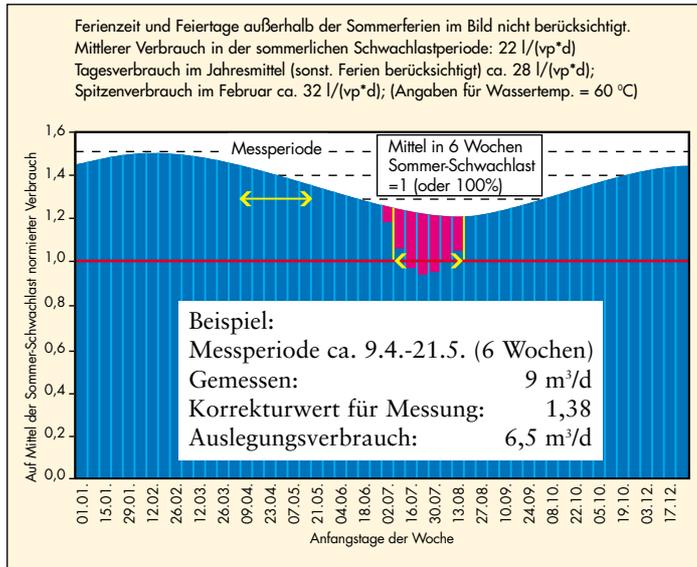
Aus 10 kann man für beliebige Messzeiträume den Korrekturfaktor zur Ermittlung des Schwachlastverbrauchs ablesen. Der Grundverlauf des Profils (ohne den Rückgang in Ferienzeiten) ergibt sich aus der Tatsache, dass die Kaltwassertemperatur im Sommer höher ist als im Winter und daher bei einer Solltemperatur im Speicher von z.B. 60 °C im Sommer mehr (wärmeres) Kaltwasser an der Zapfstelle beigemischt werden muss als im Winter, um eine Auslauftemperatur von ca. 40 °C zu erhalten. Da die Zapfmenge gleich bleibt, sinkt also der Verbrauch aus dem Bereitschaftsspeicher - und nur dieses Volumen wird dem Solarsystem zum Erwärmen angeboten. Das hier gezeigte Profil gilt also nur für ein System mit einer Solltemperatur im Bereitschaftsspeicher von ca. 60 °C. Diese Temperatur ist in großen Gebäuden üblich. Ein weiterer Grund für den prinzipiellen

Die Bestimmung des Auslegungsverbrauchs erfolgt wie bei Wohngebäuden.

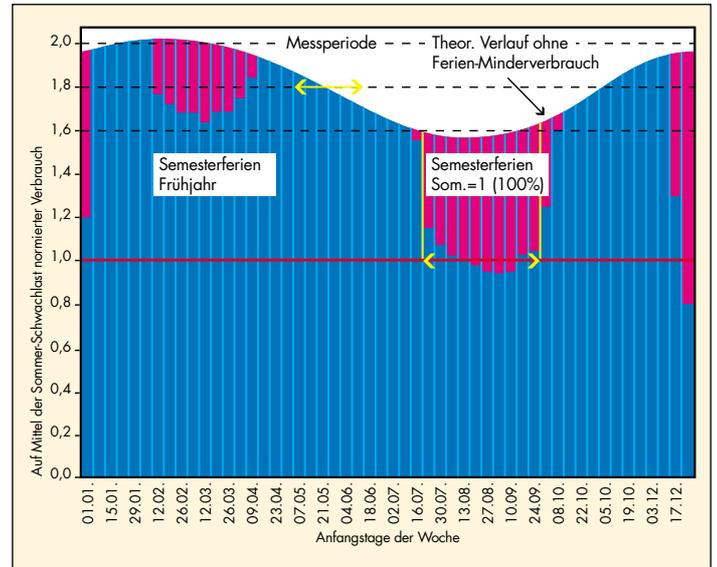
Als Auslegungswert (Verbrauch in der Schwachlastperiode) je Vollbelegungsperson kann man in Studentenwohnheimen etwa 26 l/(vp·d) ansetzen. Im Jahresmittel sind es etwa 42 l/(vp·d), das höchste Monatsmittel (Februar) liegt bei 52 l/(vp·d). Die Werte sind höher als in Wohngebäuden, weil in Studentenheimen evtl. die Zahl der Übernachtungen etwas höher ist als die Bettenzahl und weil evtl. auch der Warmwasserverbrauch überwiegend junger Menschen höher ist als der einer vom Alter her gemischten Belegung in Wohngebäuden.

### Jahresprofil für andere Gebäude Krankenhäuser, Seniorenwohnheime

Das Jahres-Verbrauchsprofil in Krankenhäusern und Seniorenwohnheimen ist dem von Wohngebäuden sehr ähnlich, allerdings fehlt der bei Wohngebäuden typische Einbruch in den Sommerferien. Für diese Gebäude kann also die äußere Kurve aus 11 als Jahresprofil gelten. Nicht relevant für die Auslegung des Solarsystems ist der starke



10 Jahresprofil des Warmwasserverbrauchs (60 °C) in großen Wohngebäuden pro Tag und pro Vollbelegungsperson



11 Jahresprofil des Warmwasserverbrauchs (60 °C) in Studentenwohnheimen pro Tag und pro Vollbelegungsperson

## Jahresprofile des Warmwasserverbrauchs

### Jahresprofil für Wohngebäude

In 10 ist das typische Jahresprofil des Warmwasserverbrauchs in einem großen Wohngebäude dargestellt (normiert auf den Schwachlastverbrauch). Das Bild gilt nur für Gebäude mit mehr als 20 WE. Bei kleineren Gebäuden kann der Sommerversbrauch je Vollbelegungsperson stärker absinken (im EFH/ZFH evtl. bis auf Null). Nicht berücksichtigt wurden in 10 die Ferienzeiten außerhalb des Sommers. Sie sind für die Dimensionierung des Solarsystems irrelevant, müssen aber in den Profilen für Simulationsprogramme berücksichtigt werden. Zudem ist zu beachten, dass die Sommerferien in den einzelnen Bundesländern

Kurvenverlauf ist, dass im Sommer oft mit etwas kühlerem Wasser geduscht wird als im Winter.

Der Verbrauch liegt in der Schwachlastzeit meist bei 22 l/(vp·d). Dieser Wert kann für die Berechnung des Auslegungsverbrauchs in Neubauten in Verbindung mit der Planbelegung (vgl. VDI 2067 Blatt 12) benutzt werden. Im Jahresmittel sind es ca. 28 l/(vp·d).

### Jahresprofil für Studentenheime

In 11 ist ein normiertes typisches Jahresprofil des Warmwasserverbrauchs für Studentenwohnheime dargestellt.

Hier ist der Verbrauchsrückgang in den Sommer-Semesterferien besonders stark. Eine Auslegung des Solarsystems auf Messwerte aus der Semesterzeit würde hier zu einer ganz erheblichen Überdimensionierung und zu vielen Stillstandszeiten des Solarsystems führen.

Verbrauchsrückgang von ca. 20. Dez. bis Anfang Januar. Als Auslegungswert bei Neubauten kann man von ca. 35-40 l/(vp·d) ausgehen. Dieser Wert hängt aber sehr stark ab von der Ausstattung des Krankenhauses (Küche, Wäscherei, Therapiebäder etc.).

### Sportstätten

Bei Sportstätten (z.B. Sporthallen) ist kein einheitliches Verhalten zu beobachten. Es hat sich herausgestellt, dass vor allem in Sporthallen der Verbrauch im Sommer sehr stark absinkt. Zudem hat sich gezeigt, dass der Warmwasserverbrauch bei allen Sportanlagen meist ganz erheblich unter dem Wert liegt, der von Planern oder Betreibern geschätzt wurde. Auf Messungen (auch im Sommer) kann man bei Sportstätten nicht verzichten.

Bei Neubauten werden die Planwerte größtenteils viel zu hoch – oft um das Doppelte und mehr – angesetzt.

# Auslegung von Kollektorfeld und Systemkomponenten

Auf der Basis der Verbrauchsermittlung kann eine erste Grundauslegung des Solarsystems erfolgen, die den Anforderungen des Betreibers auch an wirtschaftliche Überlegungen entspricht.

## Auslegung des Kollektorfeldes

In Mitteleuropa erreichen an einem sonnenreichen Sommertag ca. 7-7,5 kWh Strahlungsenergie eine nach Süden orientierte und ca. 30° geneigte Fläche. Nimmt man einen mittleren Systemnutzungsgrad während dieses Tages von 50 % an, so liefert das Solarsystem an diesem Tag 3,6 kWh/(m²·d) Nutzwärme.

### Auslegung auf Warmwasserverbrauch ohne Zirkulation

Bei einer Kaltwassertemperatur im Sommer von ca. 12-14 °C können mit dieser Energie ca. 65-70 l Kaltwasser auf die Solltemperatur von 60 °C im Nachheizspeicher aufgeheizt werden. Dieser Tagesverbrauch von 65-70 Litern Warmwasser (bei 60 °C) muss vorhanden sein, wenn die erzeugte Solarwärme im Verlauf des Tages komplett an den Verbraucher abgegeben werden soll. Ist diese spezifische Systemlast (Auslastung) kleiner, so wird nicht abgenommene Energie im Puffer gesammelt. In längeren Schönwetterperioden erreicht er seine erlaubte Maximaltemperatur (oft ca. 95 °C), der Kollektorkreis schaltet ab (Stillstand). Weiterhin einfallende Strahlung kann dann nicht mehr genutzt werden, und die unerwünschten Effekte im Kollektorkreis (hohe Temperaturen, Verdampfen) treten auf. Eine Vergrößerung des Solarspeichers ist bei großen Trinkwasseranlagen meist unwirtschaftlich, da dieses große Volumen zu selten ge-

nutzt wird.

Pro ca. 65-70 l täglichem Warmwasserverbrauch soll höchstens 1 m² Flachkollektorfläche installiert werden. Nur bei dieser knappen Dimensionierung werden eine hohe Systemeffizienz, eine lange Anlagenlebensdauer und damit günstige Kosten der solaren Nutzwärme erreicht.

Höhere Auslastung ist günstig für die Systemeffizienz und bei Anlagen mit mehr als 50 m² Kollektorfläche auch für die Kosten der Solarwärme. Bei kleineren Systemen (unter 20 m²) kann eine zu hohe Auslastung zu wirtschaftlich schlechteren Ergebnissen führen, weil dann evtl. die spezifischen Systemkosten stärker steigen als die Effizienz. (vgl. 12).

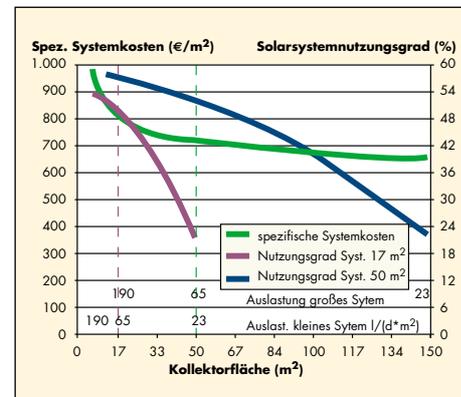
### Auslegung auf Warmwasserverbrauch und Zirkulation

Die Zirkulation sollte nur dann in das Solarsystem eingebunden werden, wenn der Volumenstrom im Zirkulationsrücklauf im Rahmen des Erlaubten minimiert ist. Dies setzt voraus:

- Möglichst kurzes Zirkulationsnetz
- Hydraulisch sehr gut abgeglichenes Zirkulationsnetz
- Sehr gute Wärmedämmung der Warmwasser- und der Zirkulationsleitungen
- Ausnutzen der max. erlaubten Temperaturspreizung im Zirkulationsnetz (z.B. gem. DVGW W551/552)

Selbst wenn die o.g. Anforderungen eingehalten werden, ist der Volumenstrom im Zirkulationsnetz etwa um den Faktor 2

höher als der Mittelwert des Zapfvolumens in der verbrauchsstärksten Stunde. In schlechten Zirkulationsnetzen kann dieser Faktor den Wert 5 annehmen. Die Einleitung eines so hohen Volumenstroms mit hoher Temperatur in einen Solarspeicher kann je nach Durchsatzhöhe und Einleitungsart des Volumens zu einer geringen bis völligen Zerstörung der Temperaturschich-



Spezifische Kosten und Nutzungsgrade bei kleineren und größeren Systemen mit variierender Auslastung bzw. Kollektorfläche

führung. Effizienzeinbußen beim Solarsystem sind die Folge.

Die Einbindung des Zirkulationsrücklaufs (vgl. 6 und 7) in das Solarsystem muss also kritisch geprüft werden. Dies setzt die Messung des Volumenstroms und der Temperaturen im Zirkulationsnetz voraus. Danach müssen bei Bedarf zunächst die o.g. Optimierungsschritte durchgeführt werden.

Die Systemauslegung erfolgt auf die Summe des Energiebedarfs für das gezapfte Warmwasser und die Zirkulation am Schwachlasttag im Sommer. Wegen der in jedem Fall etwas sinkenden Effizienz der Solaranlage kann mit einem Nutzwärmeertrag von ca. 3,3 kWh/m² an einem schönen Sonntag gerechnet werden.

## Installationsarten für Kollektorfelder

Kollektorfelder können auf unterschiedliche Weise auf Flach- oder Schrägdächern installiert werden. Die Installation auf dem Erdboden (oder Pergolen) entspricht in etwa der auf Flachdächern. Eine Integration in die Gebäudefassade ist ebenfalls möglich,

führt aber bei reinen Trinkwassererwärmungsanlagen wegen der ungünstigen Feldneigung bei Flachkollektoren zu erheblich schlechterer Nutzenergieausbeute je m² Kollektorfläche. Bei Röhrenkollektoren kann man die Röhren meist etwas aus der vertikalen Ausrichtung verdrehen, so dass sie günstiger zur Sonneneinstrahlung stehen.

Grundsätzlich gilt für alle Installationsarten: Das Dach muss saniert sein, bevor die Kollektorfelder aufgebaut werden. Die Lebensdauer des Daches muss mindestens so lang sein wie die der Kollektoren (ca. 20-25 Jahre). Flachdachaufständerung wird immer dann sehr teuer, wenn das Dach nicht ausreichend belastbar ist.



**10** Aufbau der Kollektoren oberhalb der Dachabdeckung beim Schrägdach; Vorteile: Kein Eingriff in Dachhaut; defekte Kollektoren leicht auswechselbar; Nachteile: Architektonisch nicht optimal; Keine Einsparung durch Wegfall Dacheindeckung



**14** Integration der Kollektoren in die Dachabdeckung beim Schrägdach; Vorteile: Architektonisch ansprechende Lösung; Einsparung durch Wegfall Dacheindeckung bei Neubauten oder Dachsanierung; Nachteile: Eingriff in Dachhaut bei Nachrüstung; Austausch defekter Kollektoren schwieriger



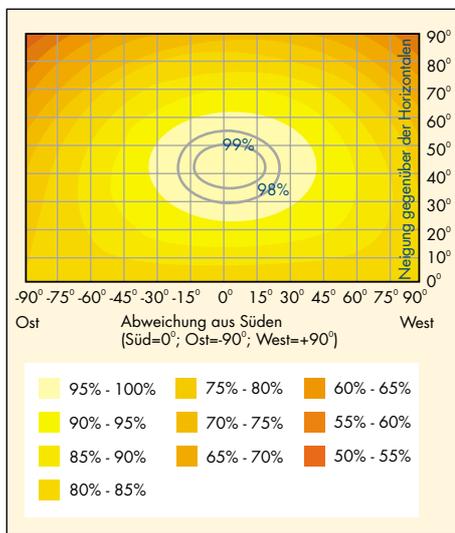
**15** Solar Roof: Dachkonstruktion vollflächig mit Kollektoren belegt (bei neuem Dach evtl. komplett vorgefertigt); Vor- und Nachteile ähnlich wie bei Schrägdachintegration



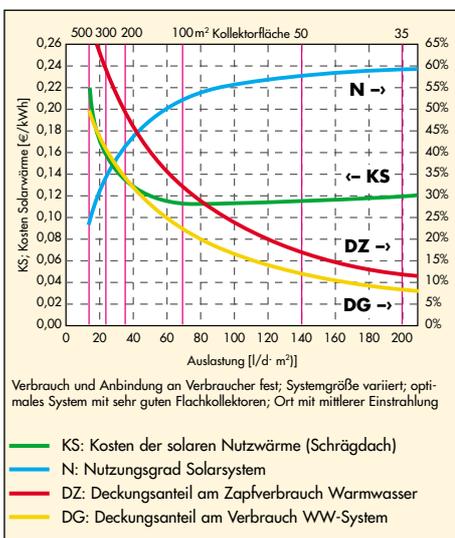
**16** Aufbau der Kollektoren auf einem flächig belastbaren Flachdach mit schweren Beton-elementen als Auflager für die Halterungskonstruktion (auch möglich z.B. mit Aluminium-Trapezblechen und Kies-Aufschüttung als Auflager); kostengünstige Lösung



**17** Aufbau der Kollektoren auf einer leichten Stahlunterkonstruktion (Gerüstbaustangen) mit punktueller Belastung des Flachdachs; nur möglich bei kurzen Spannweiten zwischen den Auflagern; kostengünstige Lösung



10 Abhängigkeit des solaren Nutzwärmeertrages von der Kollektorfeldausrichtung



19 Kosten der solaren Nutzwärme, Nutzungsgrade und Deckungsanteile eines Solarsystems bei unterschiedlicher Auslastung

Zapf-Deckungsanteil = Anteil der solaren Nutzwärme an der Energie zur Aufheizung des gezapften Warmwassers; Gesamt-Deckungsanteil = Anteil der solaren Nutzwärme am gesamten Energiebedarf des Warmwassersystems incl. z.B. Zirkulationsverluste etc.)

### Abhängigkeit des Ertrages von der Kollektorfeldausrichtung

Bei knapp dimensionierten Solarsystemen verändert sich der Nutzwärmeertrag in weiten Bereichen der Kollektorfeldausrichtung nur wenig. Bei einer Orientierung zwischen Südost und Südwest und bei Neigungen zwischen ca. 20° und 50° sinkt er gegenüber dem Wert bei optimaler Ausrichtung nur um max. 7% ab (18).

### Kosten der solaren Nutzwärme bei unterschiedlicher Auslastung

In (19) ist der Verlauf der Kosten der solaren Nutzwärme dargestellt (berechnet nach dem vereinfachten Verfahren in Solarthermie-2000). Eingezeichnet sind auch der Systemnutzungsgrad sowie die solaren Zapf- und Gesamtdeckungsanteile. Dieses Bild gilt für Anlagen, die bei der Standardauslastung (ca. 65-70 l/(d·m²)) eine Kollektorfläche von ca. 100 m² erfordern. Mit sinkender Auslastung (Vergrößerung

der Kollektorfläche) sinkt der Nutzungsgrad, und die Deckungsanteile steigen an. Die Kurve für die Kosten der solaren Nutzwärme zeigt ein flaches Minimum (stark abhängig von der Systemgestaltung). Niedrige Wärmekosten erzielt man ab einer Auslastung von ca. 60 l/(d·m²). Sie bleiben bei dieser System- bzw. Gebäudegröße bis zu recht hohen Auslastungen niedrig und steigen erst bei sehr stark verkleinertem Kollektorfeld wieder an. Mit sinkender Auslastung steigen die Wärmekosten sehr stark an. Werden hohe Deckungsanteile gefordert (mehr als 40%), so führt dies zu stark steigenden Wärmekosten.

### Auslegung des Solarspeichers

Die Größe des Solarspeichers hängt bei Trinkwasseranlagen im Wesentlichen von der Größe des Kollektorfeldes und vom Warmwasser-Verbrauchsprofil während des Tages und während der Woche ab. Je mehr Energiebedarf in der Zeit mit guter Sonneneinstrahlung anfällt und je gleichmäßiger der Bedarf über alle Tage der Woche ist, desto kleiner kann der Solarspeicher sein.

Mit Hilfe von Simulationsprogrammen wurde berechnet, wie sich die Systemeffizienz ändert, wenn man das spezifische Volumen des solaren Pufferspeichers (Volumen je m² Kollektorfläche) verändert. Der Nutzungsgrad des Solarsystems steigt mit wachsendem spezifischen Volumen zunächst stark an. Bei großem spez. Volumen flacht dieser Anstieg immer weiter ab. Für knapp dimensionierte Anlagen zur Trinkwassererwärmung kann ein Wert von ca. 50 l/m² empfohlen werden. Wird das System größer ausgelegt, so muss das spez. Volumen etwas erhöht werden (23).

Gibt es im Verlauf der Woche Zeiten ohne oder mit nur schwachem Verbrauch (z.B. in Werkstätten), so muss das spezifische Volumen weiter erhöht werden.

Eine Vergrößerung der Speicher über die in (23) eingezeichneten Bereiche hinaus bringt noch eine geringe Steigerung des Nutzungsgrades. Da die Systemkosten dann aber stärker wachsen, ist diese Maßnahme wirtschaftlich nicht sinnvoll.

Optimal ist es, wenn das Volumen des Puffers in einem einzigen schlanken Behälter untergebracht werden kann. Muss das Volumen in mehrere (maximal 4) Behälter aufgeteilt werden, so stehen (ohne besondere Einzelansteuerung der Speicher) zwei Möglichkeiten der Verschaltung zur Verfügung: die parallele Verrohrung und die serielle Verbindung in Reihe (vgl. (24)).

Die serielle Verbindung hat den Vorteil, dass alle Speicher gleich durchströmt werden und dass sich klare Temperaturschichtungen einstellen. Voraussetzung ist, dass die Speicher oft (möglichst täglich) entladen werden. Diese Verschaltung ist nicht gut geeignet für sehr große Speichervolumina, die Energie für längere Zeiten bevorraten sollen.

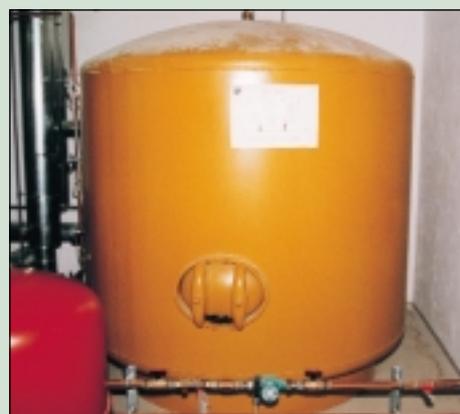
Bei der ungesteuerten Parallelschaltung ist

### Speicheraufbau

Das Volumen des Solarspeichers sollte nicht auf zu viele Einzelbehälter aufgeteilt werden, da dies sehr teuer wird und zusätzlich die Wärmeverluste ansteigen (ungünstiges Verhältnis von Oberfläche zu Volumen).

Alternativen können z.B. sein:

- Zusammenschweißen des Speichers aus Einzelsegmenten im Aufstellraum (wenn keine ausreichend großen Einbringöffnungen für die Speicher vorhanden oder zu schaffen sind)
- Absenken des Aufstellraumbodens (wenn nur Aufstellhöhe fehlt; evtl. in Verbindung mit Kellerschweißung)
- Aufstellen des Speichers außerhalb des Gebäudes unter Beachtung des Frostschutzes für den Speicher selbst (bei großen Volumina meist unkritisch) und der wasserführenden Zu- und Ableitungen (immer notwendig). Stärkere Wärmedämmung (geschlossenporig) und guter Witterungsschutz für die Wärmedämmung ist notwendig.



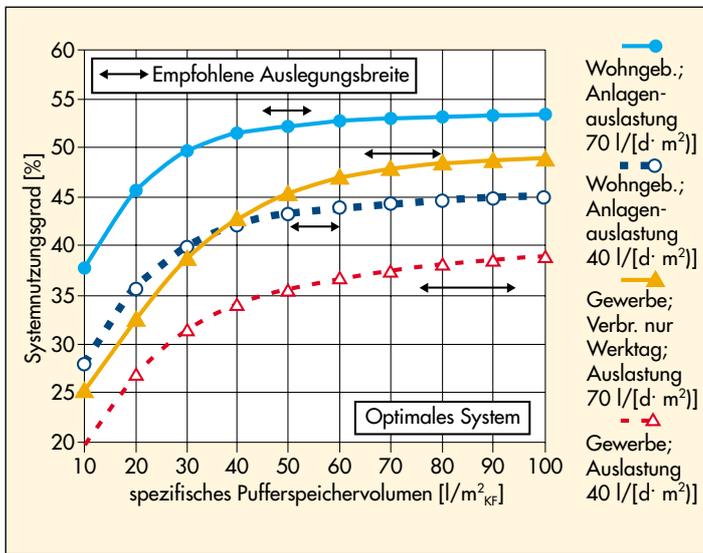
20 Im Keller zusammenschweißter Speicher (hier mit einem etwas ungünstigen Verhältnis von Höhe zu Durchmesser; nicht optimal für Temperaturschichtung)



21 In einem Betonurm untergebrachter Speicher (Speicher reicht vom Boden der unterirdischen Heizzentrale bis zur oberen Decke des Turmes); sehr gute Temperaturschichtung



22 Außerhalb des Gebäudes aufgestellter Solarspeicher



## 23 Systemnutzungsgrad in Abhängigkeit vom spezifischen Speichervolumen

die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass die Speicher bei Be- und Entladung unterschiedlich stark durchströmt werden. Dies gilt auch dann, wenn die Speicher nach dem Tichelmannschen Prinzip verrohrt sind. Kleine Unterschiede in den Strömungswiderständen der Speicherzu- oder -ableitungen bewirken große Differenzen im Volumenstrom durch die einzelnen Speicher, weil die Druckverluste der Speicher nahe bei Null liegen. Die Folge sind unterschiedliche Temperaturverhältnisse in den Speichern, die sehr negative Auswirkungen auf die Systemregelung und -effizienz haben können (25).

Werden Speicherbehälter parallel verrohrt, so ist in den Zu- und Ableitungsstrang eines jeden Behälters ein definierter Strömungswiderstand einzubauen, der den gesamten Druckabfall im Leitungsnetz dominiert (z.B. Strangreguliventile). Nur so ist gesichert, dass sich in den Speichern etwa gleiche Temperaturen einstellen und die Systemregelung korrekt funktionieren kann.

### Auslegung der Wärmetauscher

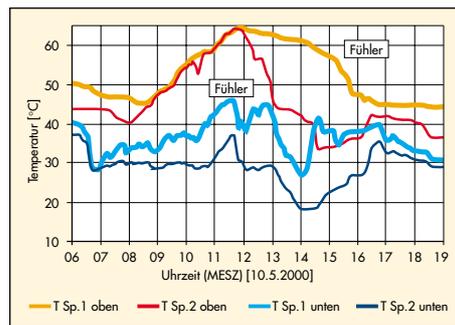
In den Systemen mit solarem Pufferspeicher müssen zwei Wärmetauscher zwischen Kollektorkreis und Trinkwasser eingesetzt werden. An jedem Wärmetauscher treten bei der Übertragung von Wärme Sprünge im Temperaturniveau auf (vgl. 27).

Wenn das Kollektorfeld mit hohem Wirkungsgrad arbeiten soll, müssen diese Temperatursprünge an den Wärmetauschern im wirtschaftlich vertretbaren Rahmen minimiert werden.

Mit Hilfe von Simulationsprogrammen wurde untersucht, bei welcher Auslegung der Wärmetauscher die Kosten der solaren Nutzwärme minimiert werden. Man erreicht dieses Minimum, wenn man die Wärmetauscher so auslegt, dass ihre mittlere log. Temperaturdifferenz bei Nennleistung etwa den Wert 5 K hat (26).

Zwar bewirkt ein zu klein ausgelegter Wärmetauscher (z.B. 10 K) nur einen Anstieg der Wärmekosten um weniger als 0,005

€/kWh, es ist aber zu bedenken, dass fast alle Komponentenoptimierungen, über die heute nachgedacht wird, nur noch zu Effizienzsteigerungen oder Wärmekostenreduzierungen im Bereich einiger Prozent liegen. Dennoch summieren sie sich zu erheblichen Potentialen auf.

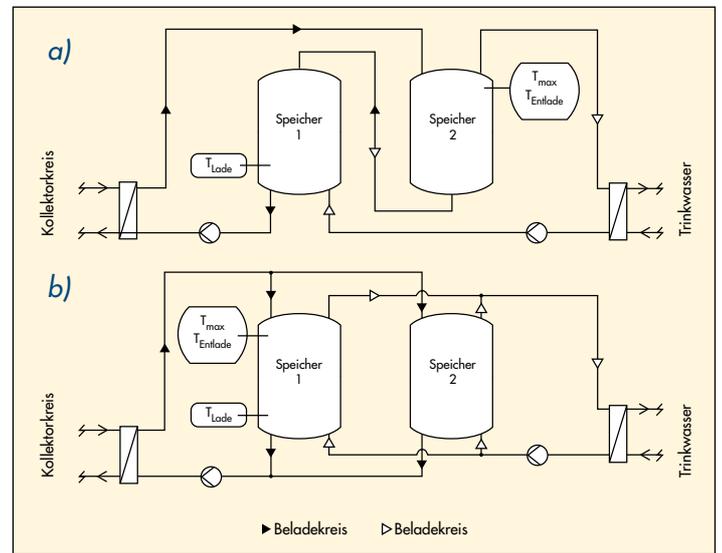


## 25 Temperaturen in zwei parallel verschalteten Solar speichern

Wie sich eine Fehlanpassung des Puffer-Entladevolumenstroms auf die Temperaturverhältnisse am Wärmetauscher auswirkt, zeigt (27). Ein zu hoher Entladevolumenstrom (rot eingezeichnete Zahlen) führt zu einer unnötig hohen Rücklauftemperatur in den unteren Pufferbereich. Ist der Volumenstrom zu gering (blaue Zahlen), wird das Trinkwasser zu wenig aufgeheizt und der Puffer schlecht entladen. Optimale Verhältnisse liegen vor bei Volumengleichheit (schwarze Zahlen). Schlechte Anpassung der Volumenströme am Wärmetauscher kann zu erheblichen Effizienzverlusten führen.

### Auslegung anderer Komponenten

Auf die Auslegung der anderen Systemkomponenten (Verrohrung, Entlüftung, Sicherheitseinrichtungen, Regelung etc.) kann hier nur ganz kurz eingegangen werden. Detaillierte Informationen sind in der Literatur und in der neuen VDI-Richtlinie 6002-Blatt 1 (ca. Mitte 2003 als Gründruck) enthalten. Von Interesse ist nur der Kollektorkreis. Die anderen Kreise ähneln bezüglich der Temperaturniveaus Heiz- bzw. Warmwasserkreisen.

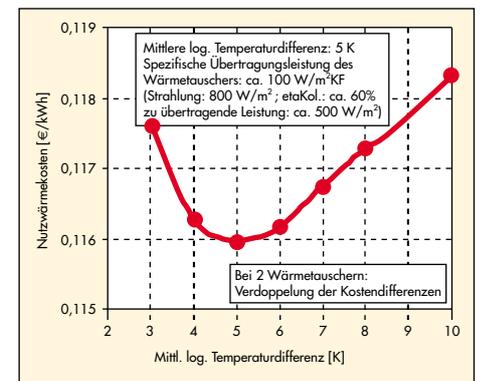


## 24 Serielle (Teilbild a) und parallele (b) Speicherverschaltung

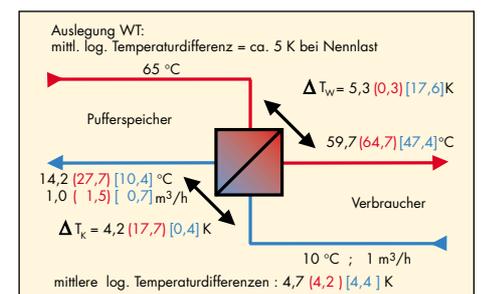
Alle Einbauten müssen gegenüber dem Wärmeträgermedium – einem Gemisch aus Wasser und Glykol mit Korrosionsinhibitoren – beständig sein.

Im Kollektorkreis können bereits während des regulären Betriebs Temperaturen bis ca. 120 °C auftreten. Im Stillstand erreichen gute Flachkollektoren Temperaturen bis ca. 200 °C (Vakuurröhren bis ca. 300 °C). Diese hohen Temperaturen können sich (wenn auch abgeschwächt) unter ungünstigen Bedingungen im Kollektorfeld und auch im Kollektorkreis fortplanzen.

An Einbauten im Kollektorkreis werden also erheblich höhere Anforderungen bezüglich der Temperaturfestigkeit gestellt als an solche in Heizungssystemen.



## 26 Kosten der solaren Nutzwärme bei unterschiedlicher Auslegung des Wärmetauschers



## 27 Temperatursprünge an einem Plattenwärmetauscher bei Volumengleichheit und -ungleichheit zwischen Primär- und Sekundärseite (Gleich gefärbte Zahlen gehören zu gleichen Bedingungen)



aktive Absorberfläche	109 m <sup>2</sup>
Kollektoranordnung	2 Teilfelder parallel; je Feld 26 Koll. in Reihe
Aufständerung	Stahlprofile verschraubt mit dachaufliegenden Betonplatten
Ausrichtung/Neigung	+10° (SSW) / 30°
Solar-Pufferspeicher	1 x 6 m <sup>3</sup>
Solar-Vorwärmespeicher	1 m <sup>3</sup>

28

Wohngebäude München-Baumgartnerstr.

## Wohngebäude München-Baumgartnerstraße

### Systembeschreibung

Betreiber des Niedrigenergie-Mehrfamilienhauses (BINE projektinfo 8/99) mit 79 Mietwohnungen und einem Kindergarten ist die Gemeinnützige Wohnstätten- und Siedlungsgesellschaft (GWG). Das Kollektorfeld ist auf dem Flachdach des Gebäudes aufgeständert (siehe 16). Das Solarsystem ist mit einem solaren Trinkwasser-Vorwärmespeicher ausgestattet (28) (vgl. 5).

### Betriebsergebnisse

Das System wurde aufgrund vorgegebener Kostengrenzen mit relativ kleinen Wärmetauschern ausgestattet. Die mittleren log. Temperaturdifferenzen am Kollektorkreis-WT und am Entlade-WT betragen bei Nennleistung ca. 8,5 K (typisch in Solarthermie-2000: 5 K). Bei Nennleistung an beiden WT liegt dadurch der Kollektorfelddruckverlust um ca. 7 K höher als üblich. Dies reduziert im Jahresmittel die Systemeffizienz um ca. 2-3 %-Punkte gegenüber einer Anlage mit größeren WT.

Während der ersten Messphase zeigte sich, dass der Volumenstrom des Entlade-WT auf der Pufferseite um fast den Faktor 2 höher war als auf der Trinkwasserseite. Der Rücklauf zum Solarpuffer wurde somit nicht ausreichend abgekühlt (29) und erfolgte mit überhöhter Temperatur (ca. 37 °C) (vgl. 27). Bei Volumengleichheit auf der Primär- und Sekundärseite des WT hätte diese Temperatur bei einem mittleren log.  $\Delta T$  von ca. 8,5 K nur bei 22,5 °C liegen dürfen.

Nur in Zeiten, in denen der Pufferspeicher relativ kühl war (also nur wenig Leistung übertragen wurde), erreichte den Solarpuffer

Volumenstrom Trinkwasserseite	2,4 m <sup>3</sup> /h
Volumenstrom Pufferseite (Primärseite)	4,2 m <sup>3</sup> /h
Zulauf KW Trinkwasserseite (Sekundärseite)	13,9 °C
Auslauf vorerwärmtes Wasser Trinkwasserseite	63,5 °C
Zulauf Wasser Pufferseite	65,3 °C
Rücklauf Wasser Pufferseite	37,3 °C
Mittleres log. $\Delta T$ am WT	8,4 K

volumenstroms von oft über 3 m<sup>3</sup>/h häufig eine nahezu vollständig Durchmischung statt. Folge war, dass die Einlauftemperatur in den WT auf der Trinkwasserseite meist erheblich höher lag als in (29) angegeben und damit auch der Rücklauf zum Solarpuffer. Dies führte im Jahresdurchschnitt zu einer um ca. 12 K erhöhten Einlauftemperatur in das Kollektorfeld im Vergleich zu einer auf der Entladeseite optimal ausgelegten Anlage. Die Systemeffizienz lag dadurch um ca. 5 %-Punkte unterhalb des möglichen Wertes. Hinzu kommt die o.g. Effizienzminderung von ca. 2-3 %-Punkten durch die beiden kleinen Wärmetauscher.

Die oben beschriebenen Fehlanpassungen sind sehr leicht vermeidbar. Bei heute optimal ausgelegten Systemen treten solche Mängel nicht mehr auf.

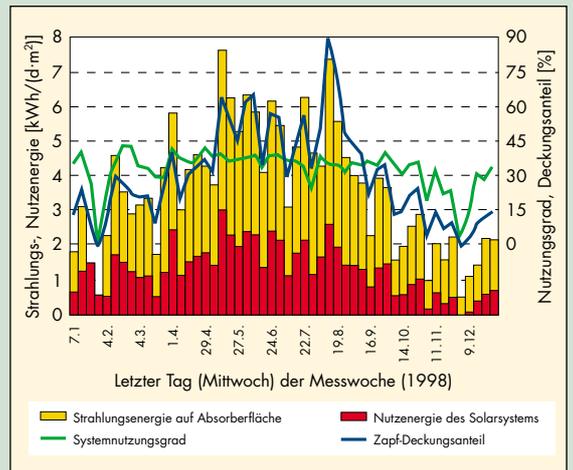
In (30) sind einige Betriebsdaten des Systems für das Messjahr 1998 grafisch dargestellt. Von Folgejahren liegen keine vollständigen und gleichzeitig repräsentativen Datensätze vor, da an der Anlage ab 1999 im Rahmen von externen Versuchs- und Forschungsprojekten häufig Modifikationen vorgenommen wurden.

Der Systemnutzungsgrad bewegt sich während des Messjahres meist im Bereich von ca. 30-40 %, nur in Winterwochen mit sehr wenig Einstrahlung sinkt er ab. Der Zapf-Deckungsanteil erreicht im Schwachlast-Wochenmittel (Ferienzeit August) maximal 90 % (an Einzeltagen fast 100 %) bei noch vorhandener Einspeisekapazität in den Puffer. Auch bei einem höheren Sommer-Nutzungsgrad bei optimalem Systemaufbau von ca. 45 % wären keine

ein Temperaturniveau von nur wenigen K über der Kaltwassertemperatur. Zusätzlich war selbst der niedrigere Volumenstrom auf der Trinkwasserseite mit 2,4 m<sup>3</sup>/h für den Verbrauch in diesem Gebäude (Stundenmaximum ca. 1 m<sup>3</sup>/h) viel zu hoch. In dem kleinen Vorwärmespeicher (1 m<sup>3</sup>) fand wegen des hohen einfließenden Gesamt-

Systemstillstände aufgetreten. Das System ist damit prinzipiell korrekt ausgelegt. Die Verläufe von Nutzungsgrad und Deckungsanteil zeigen keine Auffälligkeiten, sie lägen bei heute üblicher optimaler Komponentenanpassung aber etwas höher.

In (31) sind die Ergebnisse eines vollen Betriebsjahres den Planwerten gegenübergestellt. Beim Vergleich der solaren Nutzenergie, des Nutzungsgrades und der Wärmekosten ist zu bedenken, dass der Verbrauch in dieser Messperiode etwas höher lag als laut Plan angenommen. Dies führt zu einer etwas höheren Anlageneffizienz, die die Auswirkungen der Schwachstellen etwas überdeckt. Da der Anlagenersteller den garantierten Nutzungsgrad mit 38 % sehr niedrig angesetzt hatte, hat das System trotz seiner leicht vermeidbaren Schwächen den auf reale Betriebsbedingungen umgerechneten Garantiewert nur geringfügig unterschritten. Nach Ablauf der verschiedenen Forschungsprojekte an dieser Anlage wurden erste Optimierungsvorschläge realisiert. Die Volumenströme am Entlade-WT wurden reduziert und angeglichen (auf beiden Seiten jetzt ca. 1,1 m<sup>3</sup>/h), die Regelung im Kollektorkreis wurde modifiziert.



Solare Einstrahlung auf das Kollektorfeld, Nutzenergieabgabe aus dem Solarsystem, Systemnutzungsgrad und Zapf-Deckungsanteil (Tageswerte gemittelt aus Wochensummen)

Betriebsergebnisse für ein volles Jahr unter den neuen Bedingungen werden Ende 2003 vorliegen. Ein Effizienzanstieg um ca. 3-5 %-Punkte wird erwartet. Eine weitere Steigerung um ca. 2 %-Punkte wäre durch den Austausch beider WT durch größere Modelle möglich. Als Umbaumaßnahme zu teuer, wäre es bei der Erstinstallation wirtschaftlich gewesen.

Beschreibung	Dimens.	real	lt. Plan
Strahlungsenergie auf Kollektoren	MWh	145	145
Nutzenergie aus Solarsystem	MWh	52	55
Tägl. WW-Zapfvolumen (Jahresmittel)	m <sup>3</sup> /d	8,7	7,5
Auslastung (Jahresmittel)	l/(d·m <sup>2</sup> )	80	69
Jahresenergie für gezapftes WW	MWh	182	160
Systemnutzungsgrad (Jahreswert)	%	35,8	37,9
Zapf-Deckungsanteil (Jahreswert)	%	28,7	34,4
Kosten der solaren Nutzwärme	€/kWh	0,14	0,13

29

Zustände am Entladewärmetauscher (Berechnet für seltene Zustände mit Nennleistung; vgl. Text)

31

Reales Jahresergebnis (1.1.1998 - 31.12.1998) im Vergleich mit Planwerten

# Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die spezifischen Investitionskosten sinken tendenziell mit der Systemgröße. Bei gleich großen Anlagen ist die Bandbreite je nach Gebäude, Systemaufbau und Einbauart für die Kollektoren (Flachdachaufständerung oder Schrägdacheinbau) sehr groß.

Bereits bei Anlagen mit einem Kollektorfeld um ca. 100m<sup>2</sup> sind Wärmekosten unter 0,13 €/kWh zu erzielen.

## Investitionskosten

Die Kosten der Solaranlagen aus Solarthermie-2000 wurden auf verschiedene Komponenten bzw. Kostengruppen aufgeteilt <sup>32</sup>. Inklusive der Planungskosten und der Mehrwertsteuer lagen die spezifischen Investitionskosten aller Anlagen im flächengewichteten Mittel bei 670 €/m<sup>2</sup>. Dabei wurde hier über alle Arten der Kollektorfelddintegration im Gebäude (Flachdachaufständerung, Einbau im und auf dem Schrägdach) gemittelt. Anlagen mit Schrägdachintegration können ca. 100 bis 200 €/m<sup>2</sup> preiswerter sein. Bei Neubauten vermindern sich die Kosten um die eingesparten Dacheindeckungen.

Die Kollektoren machen nur etwa 30 % der Gesamtkosten aus. Will man die Systemkosten senken, müssen auch alle anderen Baugruppen bzw. Positionen überprüft werden. Ein hohes Reduzierungspotential liegt im Bereich der Planung (standardisierte Planung bzw. Planungshilfen) und auch im Bereich der Aufständerungskosten auf dem Flachdach.

Je nach Eigenheiten des Gebäudes und je nach verwendeten Systemkomponenten können die Kosten für die einzelnen Positionen stark schwanken <sup>33</sup>.

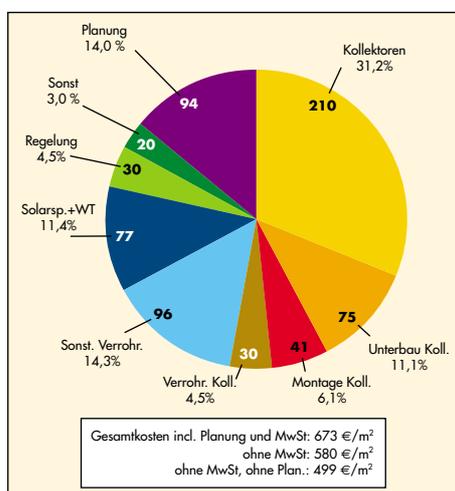
Die größten Bandbreiten zeigen die Positionen „Unterbau (der Kollektoren)“ und „sonstige Verrohrung“. Die Schwankung bei den Kosten für den Unterbau ist bedingt durch die Mittelung der Kosten über Felder, die auf Flachdächern aufgeständert sind und Kollektoren, die in Schrägdächer integriert sind. Bei letzteren können die Kosten sehr gering sein, während eine Aufstellung auf dem Flachdach immer dann sehr teuer ist, wenn ein nicht belastbares Dach völlig überbaut werden muss.

Die Kosten für die sonstige Verrohrung hängen sehr stark von der Rohrleitungslänge und dem Verlegungsaufwand zwischen den Kollektoren und den Komponenten im Keller ab.

## Kosten der solaren Nutzwärme

Die Berechnung der Kosten der solaren Nutzwärme (vom Solarsystem an den Verbraucher abgegebene Energie) wird in Solarthermie-2000 nach einem vereinfachten Schema vorgenommen, in das nur die Investitionskosten, die Lebensdauer des Systems, der Kapitalzins sowie der System-

ertrag (Nutzwärmelieferung) eingehen. Zu der Lebensdauer von thermischen Solaranlagen liegen abgeschlossene Langzeituntersuchungen aus „Solarthermie-2000“, Teilprogramm 1 vor. Als Lebensdauer für ein thermisches Solarsystem kann man (gemittelt über alle Komponenten) einen Zeitraum von mindestens 20 Jahren annehmen. Der Kapitalzins wurde mit 6 % angesetzt. Dies ergibt eine Annuität von 8,72 % für die Investitionskosten.



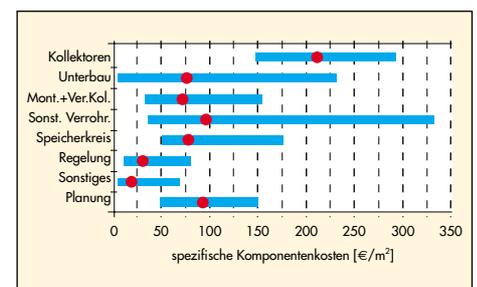
<sup>32</sup> Aufteilung der spezifischen Investitionskosten bei den Solaranlagen aus Solarthermie-2000 (in €/m<sup>2</sup>)

Nimmt man nur diese kapitalgebundenen Kosten, so stellen die Solaranlagen aus Solarthermie-2000 die solare Nutzwärme zu Kosten von 0,10 €/kWh (Anlagen > 1000 m<sup>2</sup> Kollektorfläche) bis 0,13 €/kWh (ca. 100 m<sup>2</sup> KF) zur Verfügung (incl. MwSt).

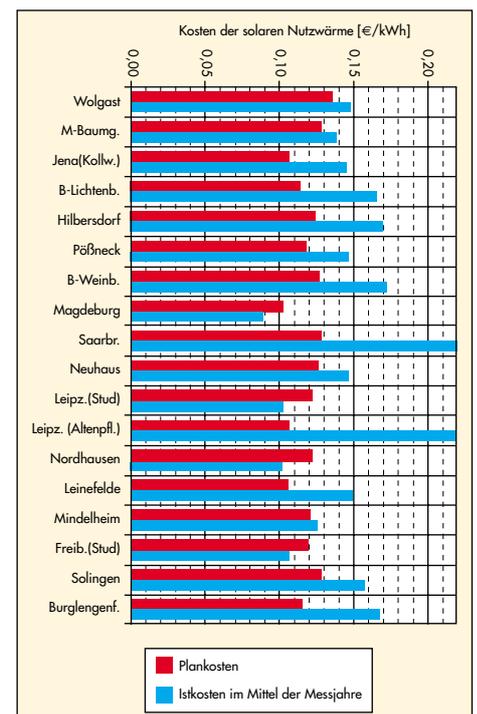
Durch die betrieblich gebundenen Kosten (Instandhaltung, Betriebsenergie etc.) erhöhen sich die Gesamtkosten um relativ ca. 20 %. Die Wärmegestehungskosten incl. aller Betriebskosten liegen somit bei ca. 0,12 bis 0,16 €/kWh. Sofern die MwSt als Vorsteuer angerechnet werden kann, würden sich diese Zahlen wieder um 16 % reduzieren, so dass man incl. der betriebsgebundenen Kosten wieder etwa auf 0,10 - 0,13 €/kWh käme.

Eingespart werden durch das Solarsystem lediglich Brennstoffkosten, weil das konventionelle System weiter benötigt wird. Je kWh solarer Nutzwärme spart man – je nach Wirkungsgrad des konventionellen Kessels und nach Brennstofftyp – ca. 0,05 € ein.

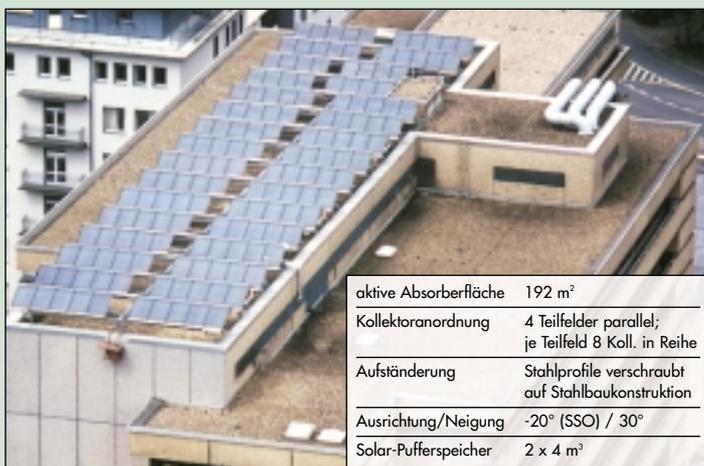
Diese rein statische Berechnung berücksichtigt jedoch nicht, dass die Kosten für die Solarwärme während der gesamten Lebensdauer des Systems nahezu konstant bleiben, weil ca. 80 % der Kosten konstante kapitalgebundene Kosten sind und nur ca. 20 % den Steigerungen für Löhne, Material und Energie unterliegen (davon ca. 3 %-Punkte Energiekosten). Die Brennstoffkosten für die konventionell erzeugte Wärme dagegen unterliegen starken Steigerungen. Es empfiehlt sich daher immer eine dynamische Betrachtung für die gesamte Lebensdauer. In <sup>34</sup> sind für Anlagen aus Solarthermie-2000 die geplanten Kosten der solaren Nutzwärme den real erzielten Kosten gegenübergestellt. Die geplanten Kosten wurden oft überschritten. Die Ursachen waren: erhöhte Baukosten wegen unvorhersehbarer Komplikationen (in Einzelfällen bis 10 % Mehrkosten, im Mittel nur ca. 3 %) und vor allem ein Absinken des Warmwasserverbrauchs gegenüber den vorbereitenden Messungen durch Modernisierung, zurückgegangene Belegung etc. In Einzelfällen traten auch Probleme am Solarsystem auf, die jedoch noch behoben werden.



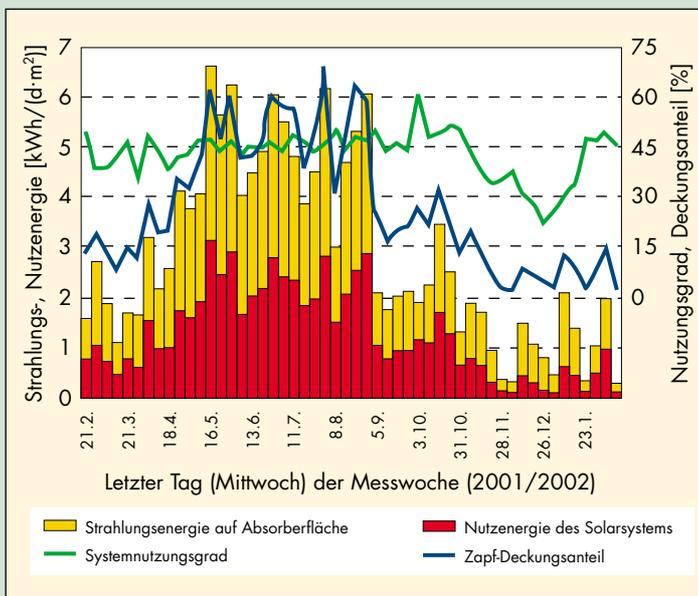
<sup>33</sup> Bandbreite der spezifischen Kosten einzelner Komponentengruppen bzw. Bauleistungen



<sup>34</sup> Plan- und Istkosten der solaren Nutzwärme bei Anlagen aus Solarthermie-2000



Kollektorfeld (192 m<sup>2</sup>) der Solaranlage auf dem Dach des Klinikums (Haupthaus) (Quelle: Städtisches Klinikum Solingen)



Solare Einstrahlung auf das Kollektorfeld, Nutzenergieabgabe aus dem Solarsystem, Systemnutzungsgrad und Zapf-Deckungsanteil der Anlage Solingen (Tageswerte gemittelt aus Wochensummen)

## Städtisches Klinikum Solingen

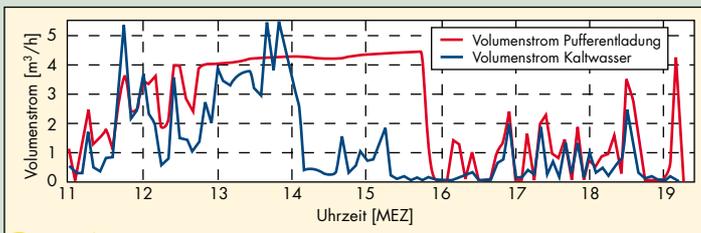
### Systembeschreibung

Die 192 m<sup>2</sup> große Solaranlage befindet sich auf dem Dach des 10-stöckigen Haupthauses des Klinikums. Weitere Systemdaten in 35.

Da nur eine begrenzte Dachfläche zur Verfügung stand, wurde die Solaranlage nur an die Verbraucher in den unteren Etagen (Küche, Ambulanz, OP) angeschlossen. Wegen der kleinen Dachfläche ist die Anlage sehr knapp dimensioniert. Der Aufbau und die Anbindung der Anlage an das Warmwassernetz entspricht dem in 4 gezeigten Durchlauferhitzerprinzip.

### Betriebsergebnisse

Das Volumen des solaren Pufferspeichers ist in zwei parallel verschalteten Behältern (je 4 m<sup>3</sup>) untergebracht. Zu Beginn des Anlagenbetriebs stellten sich ungleichmäßige Be- und Entladeströme durch diese beiden Speicher heraus, die zu erheblichen Temperaturunterschieden in den Speichern führten. Die Entladeregulierung (über Temperatursignale) ist prinzipiell nicht optimal geeignet für eine derartige Systemanbindung. Auf Grund der unterschiedlichen Temperaturen in den Puffern wurde sie noch ineffizienter. Die Anpassung der Volumenströme auf beiden Seiten des Entladewärmetauschers gelang daher kaum 36.



Volumenströme auf beiden Seiten des Entlade-Wärmetauschers

Da der Volumenstrom auf der Pufferseite des WT oft höher war als der auf der Trinkwasserseite, gelangten sehr häufig unnötig hohe Temperaturniveaus in die Solarpuffer. Für diesen Rücklauf sind allerdings Einspeiselanzen im Puffer installiert. Dadurch wurde teilweise vermieden, dass das Medium mit dieser überhöhten Temperatur direkt in

den unteren Pufferbereich einströmte. Dennoch wurde der Puffer unten zu selten ausreichend abgekühlt.

Der Nutzungsgrad 37 bewegt sich während des gesamten Messjahres im Bereich von 45 %, lediglich in Wochen mit sehr wenig Einstrahlung sinkt er ab, da die Strahlungsschwelle, ab der das System Nutzenergie liefern kann, nur selten erreicht wird. Der Zapf-Deckungsanteil (Anteil der solaren Nutzwärme an der Energie zum Aufheizen des gezapften Warmwassers) erreicht im Sommer-Wochenmittel maximal ca. 70 % (an Einzeltagen auch darüber). Wegen der hohen Auslastung (sehr knappe Dimensionierung wegen zu kleiner Dachfläche) wurde an keinem Tag eine 100 %-ige Deckung erreicht.

In 38 sind die Ergebnisse eines vollen Betriebsjahres den Planwerten gegenübergestellt.

führt zwangsläufig zu einer etwas reduzierten Anlageneffizienz. Zudem waren noch nicht alle Optimierungsmaßnahmen durchgeführt. Die Systemeffizienz erreichte nicht ganz die (auf reale Betriebsbedingungen umgerechneten) garantierten Werte, lag aber gerade noch im tolerierten Rahmen (über 90 % des auf reale Betriebsbedingun-

gen korrigierten Garantiewertes). Dass die Effizienzeinbuße trotz der vielen kleinen Mängel nicht größer war, liegt in der sehr knappen Dimensionierung dieser Anlage begründet. Systeme mit hoher Auslastung „verzeihen“ Mängel eher als groß bemesse-

Beschreibung	Dimens.	real	lt. Plan
Strahlungsenergie auf Kollektoren	MWh	201	220
Nutzenergie aus Solarsystem	MWh	90	107
Tägl. WW-Zapfvolumen (Jahresmittel)	m <sup>3</sup> /d	16,1	18,5
Auslastung (Jahresmittel)	l/(d·m <sup>2</sup> )	84	97
Jahresenergie für gezapftes WW	MWh	342	393
Systemnutzungsgrad (Jahreswert)	%	44,8	48,6
Zapf-Deckungsanteil (Jahreswert)	%	26,3	27,2
Kosten der solaren Nutzwärme	€/kWh	0,15	0,13

Reales Jahresergebnis (15.2.01 - 14.2.02) im Vergleich mit Planwerten. (Beim Jahresertrag und den Wärmekosten ist zu beachten, dass die Einstrahlung im Messjahr und auch der Verbrauch ca. 10% niedriger waren als laut Plan vorgegeben.)

ne Anlagen. Eine geringe Effizienzeinbuße ergibt sich durch gegenseitige Verschattung der relativ dicht hintereinander stehenden Kollektorreihen im Winter (Defizit ca. 2 %).

Im Rahmen einer Systemoptimierung wurde die Zahl der eingebauten Lanzen verdoppelt, da die Lade- und Entladevolumenströme (2 m<sup>3</sup>/h) für jeweils eine einzige eingebaute Lanze viel zu hoch waren. Die Einschichtung war dadurch nicht mehr optimal (Herstellerangaben zum maximalen Lazardurchsatz beachten). Zudem wurden in jeden Be- und Entladestrang jedes Pufferbehälters Strangregulierventile eingebaut. Das Ergebnis beider Maßnahmen war, dass die Volumenströme sich nunmehr gleichmäßig auf die Speicherbehälter aufteilen, dass die Temperaturen in den Speichern gleich sind und dass die Einschichtung besser gelingt. Die nicht optimal geeignete Entladeregulierung soll evtl. in einem zweiten Optimierungsschritt ersetzt werden, wenn die Wirkungsweise der ersten Optimierung nach einem vollen Jahr beurteilt werden kann.

## Fazit und Ausblick

*Großanlagen zur Trinkwassererwärmung können Solarwärme zu Kosten von ca. 0,10 bis 0,13 €/kWh zur Verfügung stellen, wenn sie richtig dimensioniert und ausgelastet sowie einfach aufgebaut sind. Sie sind damit wesentlich konkurrenzfähiger als Kleinanlagen, bei denen die Nutzwärmekosten meist im Bereich von 0,2 bis 0,3 €/kWh liegen.*

**B**asierend auf den Ergebnissen mit den geförderten Großsystemen können klare Empfehlungen zum Systemaufbau und zur Auslegung der Komponenten gegeben werden, die auch in künftigen Richtlinien zu finden sein werden (z.B. VDI 6002; Gründruck voraussichtlich Sommer 2003). Es ist zu erwarten, dass dadurch die Planungs- und Installationskosten für Großanlagen reduziert werden können sowie die Systemeffizienz und die Betriebssicherheit steigen werden. Viele der aus den Erfahrungen abgeleiteten Vorschläge zum Systemaufbau, zur Systemdimensionierung und zur Komponentenauslegung wurden bereits von Planern, Herstellern und Installateuren übernommen.

Das Konzept, die Anlagen relativ knapp zu dimensionieren, hat sich bewährt. Hierdurch werden unwirtschaftliche und eventuell die Lebensdauer der Kollektorkreis-Komponenten negativ beeinflussende Stillstandszeiten ver-

mieden. Auch die Entscheidung für sehr einfache Systemgestaltungen erwies sich als vorteilhaft, da so die Instandhaltungskosten (Wartungen, Reparaturen etc.) und Ausfallzeiten stark reduziert werden können. Dies ist eine Voraussetzung dafür, dass sich die Systeme in dem großen aber schwierigen Markt gewerblicher Gebäudenutzung durchsetzen können.

Weitere Energieeinsparungen können durch Solaranlagen erreicht werden, die nicht nur der reinen Trinkwassererwärmung dienen sondern auch die Heizung unterstützen. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern werden solche Systeme seit einigen Jahren zunehmend installiert. Für Großanlagen ist die Systemgestaltung, -auslegung und -anbindung wesentlich komplexer. Um eine ähnliche Entwicklung wie bei Kleinanlagen auch für Großanlagen anzustoßen, müssen in Zukunft auch für diesen Bereich Planungsgrundlagen erarbeitet werden.

### Literatur

Informationsschriften zum Förderkonzept „Solarthermie-2002“:  
Bezug: Projektträger Jülich (PTJ) des BMWA, Außenstelle Berlin, Dr. P. Donat, Postfach 61 02 47, 10923 Berlin

Peuser, F. A.; Remmers, K.-H.; Schnauss, M.:  
Langzeiterfahrung Solarthermie – Wegweiser für das erfolgreiche Planen und Bauen von Solaranlagen.  
Hrsg.: Solarpraxis Supernova AG, Berlin 2001. 418 S., ISBN 3-934595-07-3, € 49,00

Peuser, F. A.; Croy, R.; Rehrmann, U. u.a.:  
Solare Trinkwassererwärmung mit Großanlagen. Praktische Erfahrungen. BINE-Informationspaket.  
Köln : TÜV-Verl., 1999. 167 S., ISBN 3-8249-0541-8, € 14,83

Erfurth, R.; Wienke, P.; Lugenheim, M. u.a.:  
Tragkonstruktionen für Solaranlagen. Planungshandbuch zur Aufständerung von Solarkollektoren.  
Hrsg.: Solarpraxis Supernova AG, Berlin 2001. 262 S., ISBN 3-934595-11-1, € 59,00

Solare Trinkwassererwärmung. Allgemeine Grundlagen, Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau.  
VDI-Richtlinie. VDI6002 Blatt 1 Entwurf  
Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) – Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung, Düsseldorf  
Berlin : Beuth, ca. Sommer [2003]

### Ergänzende Informationen

Weitere Informationen zum Thema sind bei BINE oder unter [www.solarthermie2000.de](http://www.solarthermie2000.de) abrufbar.

### Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit  
(BMWA)  
11019 Berlin  
53107 Bonn

Projektträger Jülich (PTJ) des BMWA  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Peter Donat  
52425 Jülich

### Projektadressen

ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH  
Verbindungsstr. 19, 40723 Hilden

### Projektkennzeichen

0329601 a, g, l

### Kooperationspartner

Technische Universität Ilmenau (0329601 j)  
Technische Universität Chemnitz (0329601 k)  
Fachhochschule Offenburg (0329601 m)  
Fachhochschule Stralsund (0329601 n)

## Impressum

### ISSN

1610 - 8302

### Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,  
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische  
Information mbH,  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig mit vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares. Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung des jeweils Berechtigten.

### Autor

Dr. Felix A. Peuser

### Redaktion

Dr. Franz Meyer

## Kontakt

### Fragen zu diesem Themeninfo?

Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 923 79-44

### Allgemeine Fragen?

Wünschen Sie allgemeine Informationen zum energie- und umweltgerechten Planen und Bauen? Dann wenden Sie sich bitte an die unten stehende Adresse

 **BINE**  
Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe  
Meckenstraße 57, 53129 Bonn  
Tel. 0228 / 9 23 79 0  
Fax 0228 / 9 23 79 29  
eMail [bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)  
Internet: [www.bine.info](http://www.bine.info)