Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

HESSEN

BRAUCHWASSERBEREITUNG MIT SONNENENERGIE

WISSENSWERTES ÜBER THERMISCHE SOLARANLAGEN FÜR DIE WARMWASSERBEREITUNG UND HEIZUNGSUNTERSTÜTZUNG

14 ENERGIESPAR-INFORMATIONEN

IWU Institut Wohnen und Umwelt

Hessische Energiesparaktion

Energiesparen mit der Sonne

Ausgelöst durch den Schock der ersten Ölkrise setzten Mitte der siebziger Jahre vielfältige Aktivitäten ein, brauchbare Konzeptionen für die Solarenergienutzung zu entwickeln und zu realisieren. Die anfängliche Euphorie schlug dabei oft in Ernüchterung um, da trotz hoher Kosten eher bescheidene Energieerträge erzielt wurden und viele Anlagen schlecht oder gar nicht funktionierten.

Das Sonnenmännchen stand in den 70er Jahren für die erste Begeisterung in Sachen Solarenergie.

In den achtziger Jahren verschwand die Solartechnik aus dem Blickfeld der Öffentlichkeit. In wenigen Nischen fand jedoch eine Professionalisierung der einstigen „Bastler" statt. Die Kinderkrankheiten der ersten Anlagengeneration wurden überwunden. Durch langjährige Optimierung konnte die Zuverlässigkeit und Effizienz wesentlich gesteigert werden. Aufgrund der stark steigenden Preise für fossile Energie nimmt gegenwärtig das Interesse an der Nutzung der Solarenergie wieder zu. Die geltende Energieeinsparverordnung bilanziert den gesamten Primärenergiebedarf eines Gebäudes einschließlich der Anlagentechnik. Einsparungen durch besseren baulichen Wärmeschutz und anlagentechnisch gewonnene solare Gewinne stehen dabei gleichrangig nebeneinander. Entsprechend muss sich die Solaranlage als eine Energiespartechnik unter anderen behaupten. Ausschlaggebend für die Bewertung der unterschiedlichen Techniken ist dabei, welche Menge an Primärenergie, Luftschadstoffen und Treibhausgasen jeweils durch die beschränkten Investitionsmittel eingespart werden können. Auch wenn die Solarenergienutzung heute pragmatisch betrachtet wird, behält sie doch - langfristig gesehen - ihren einzigartigen Stellenwert. Wird in Zukunft der Energieverbrauch durch intelligente Techniken auf ein Minimum reduziert, so kann der Restbedarf leichter durch erneuerbare und damit solare Energien gedeckt werden.

Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz versucht einen ersten Schritt in diese Richtung, indem es für Neubauten einen Anteil regenerativer Wärmeversorgung vorschreibt. Die Installation einer Solaranlage ist eine Möglichkeit, dieser Anforderung gerecht zu werden.

Solarenergienutzung im Haushalt

Bereits heute wird Solarenergie in jedem Haushalt genutzt, auch wenn dies dem Bewohner im Alltag nicht bewusst ist: Das durch die Fenster fallende Tageslicht trägt zur Erwärmung des Gebäudes bei, reduziert also den Heizenergiebedarf. Es bietet zudem eine kostenlose Beleuchtung.

In der Regel wird unter dem Begriff „Solarenergienutzung" jedoch die Verwendung aktiver Systeme verstanden. Hier müssen zwei grundsätzlich verschiedene Techniken unterschieden werden:

- **Die Stromerzeugung** mittels Solarzellen (Photovoltaik). Solarzellen versorgen vielfach dezentral Kleingeräte. Darüber hinaus leisten netzgekoppelte Anlagen mit einer in Deutschland installierten Leistung von ca. 16.914 Megawatt (Stand 2010) einen Beitrag zur regenerativen Versorgung mit elektrischer Energie.

- **Die Erzeugung von warmem Wasser** mit thermischen Solaranlagen. Bei diesen wandeln Sonnenkollektoren das Licht der Sonne in Wärme um. Thermische Solaranlagen werden meist für die Brauchwasserbereitung oder die Erwärmung von Schwimmbeckenwasser eingesetzt, selten für die Unterstützung der Heizungsanlage.

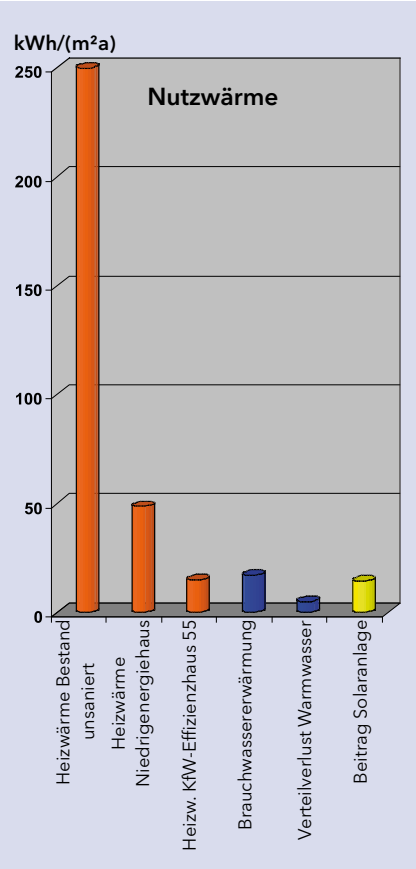
Thema der vorliegenden Energiesparinformation sind allein die thermischen Solaranlagen.

In menschlichen Zeitmaßstäben ist die Sonnenkraft unerschöpflich. Sie wird gratis und frei Haus geliefert. Bei der Nutzung der solaren Einstrahlung verbleiben keine schädlichen Rückstände - sie ist ein Abbild natürlicher Prozesse. So wie alles Leben schaltet sie sich in den Energiestrom ein, der von der Sonne auf die Erde trifft und der von dieser letztlich wieder in den Weltraum abgestrahlt wird. Dieser Strom besitzt gigantische Ausmaße. Die jährlich eingestrahlte Energiemenge ist etwa 2.500 mal größer als der Welt-Primärenergieverbrauch. Auf der anderen Seite sind die Schwierigkeiten bei der solaren Energienutzung offensichtlich: Das räumlich und zeitlich stark variierende Angebot verhält sich entgegengesetzt zum Bedarf.

Welchen Beitrag können Solaranlagen zur Energieeinsparung leisten?

Der Warmwasserbedarf eines Haushalts ist - je nach Gewohnheiten seiner Mitglieder - recht unterschiedlich. Er kann zwischen täglich 10 und 80 Litern pro Person schwanken. Als Durchschnittswert können 35 Liter pro Person und Tag angesetzt werden. Bei einer Brauchwassertemperatur von 60° C entsteht also ein Nutzenergiebedarf pro Person von 1,9 kWh am Tag bzw. 700 kWh im Jahr, was etwa 70 Liter Heizöl entspricht.
Je nach System ist zur Bereitstellung und Verteilung dieser Nutzenergie jedoch ein unterschiedlich hoher Einsatz von Primärenergieträgern (Öl, Gas, Kohle, Kernbrennstoffe etc.) erforderlich. Der Primärenergiebedarf liegt aufgrund der Umwandlungs- und Verteilverluste höher. Er kann z. B. bei einem Gasgerät das Eineinhalbfache, bei elektrischer Warmwassererzeugung mehr als das Dreifache betragen.

Durch marktgängige thermische Solaranlagen können bis zu 65 % des jährlichen Energiebedarfs für Brauchwasser eingespart werden. Die nebenstehende Grafik macht deutlich, dass es nicht gelingt, nur durch die Montage einer Solaranlage aus einem unsanierten Altbau ein Energiesparhaus zu machen. Andererseits entspricht bei einem KfW Effizienzhaus 55 bzw. Passivhaus der Beitrag der Solaranlage etwa der Größe des Heizwärmebedarfs. Ein guter baulicher Wärmeschutz schafft also die Voraussetzung für einen hohen solaren Deckungsbeitrag. In die energetische Betrachtung muss auch der Herstellungsaufwand für die Solaranlagen mit einbezogen werden. Dieser beträgt etwa ein Fünftel bis ein Zehntel der möglichen Energieeinsparung. Energetisch hat sich also die Solaranlage nach einer Betriebszeit von 2 bis 4 Jahren amortisiert.



Die Grafik vergleicht den Beitrag einer Brauchwassersolaranlage (ausgelegt auf 65 % Deckungsgrad) mit dem Heizwärmebedarf verschiedener Baustandards.

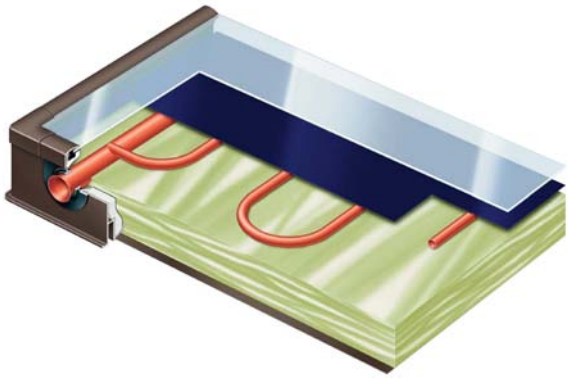
Der Kollektor – eine Falle für die Sonnenstrahlen

Wichtigste Komponente einer Solaranlage ist der Kollektor. Er besitzt die Aufgabe, das Sonnenlicht einzufangen und die gewonnene Energie in nutzbarer Form abzugeben. Der Kollektor besteht im Wesentlichen aus dem Absorber und dem Gehäuse, das diesen umschließt.

Der Kollektor wirkt wie eine „Falle" für das auftreffende Sonnenlicht. Er ist auf der Oberseite mit einer lichtdurchlässigen Abdeckung versehen. Die hindurchtretenden Sonnenstrahlen fallen auf den Absorber, ein schwarzes Blech, von dem sie fast vollständig „geschluckt" (absorbiert) werden. Die Sonnenenergie wird dabei in Wärme umgewandelt. Da der Absorber vollständig vom wärmegedämmten Gehäuse umschlossen ist, kann nur noch wenig Wärme entweichen. Somit steigt die Temperatur des Absorbers bei Sonneneinstrahlung an.

Die absorbierte Wärme wird ihm durch eine Flüssigkeit, das Wärmeträgermedium, entzogen. Zu diesem Zweck sind in das Absorberblech Rohre oder Kanäle integriert, die vom Wärmeträgermedium durchströmt werden.

Es existieren sehr unterschiedliche Bauarten von Kollektoren, das dargestellte Wirkungsprinzip ist jedoch stets dasselbe.
Die Bauarten unterscheiden sich vor allem durch die jeweils eingesetzten Techniken zur Begrenzung der Wärmeverluste. Äußerlich drückt sich dies in verschiedenartigen Gehäuseformen aus.



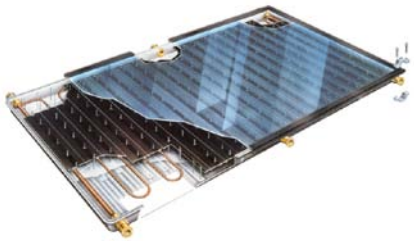
Schnittbild eines Kollektors:
Erkennbar sind das transparente Abdeckglas, das dunkle Absorberblech, die Rohrschlange für das Wärmeträgermedium und die Wärmedämmung nach unten.

Der Flachkollektor

Der Flachkollektor ist die einfachste und für Brauchwasser-Solaranlagen übliche Bauart. Er besitzt einen großflächigen Absorber, der von einem kastenförmigen Gehäuse umgeben ist. Als transparente Abdeckung werden meist Glasscheiben, aber auch Kunststoffe in Folien- oder Plattenform eingesetzt. Auf der Rückseite und an den Seiten reduzieren handelsübliche temperaturbeständige Dämmmaterialien (Mineralfaser-, Polyuhrethanplatten o. ä.) die Wärmeverluste. Das Gehäuse besteht aus verzinktem Stahlblech oder Aluminium.

Während bei der Montage am Altbau die Kollektoren in der Regel auf der Eindeckung montiert werden, ist im Neubau eine Integration in die Dachfläche möglich.

Der Vakuumflachkollektor



Das Innenleben eines Vakuumflachkollektors: Dünne Stifte zwischen Rückwand und dem Glas verhindern, dass der Luftdruck den Kollektor verformt.

Eine spezielle Variante des Flachkollektors ist der so genannte Vakuumflachkollektor. Er ist ähnlich aufgebaut wie der Flachkollektor, die Dämmwirkung wird allerdings durch einen Unterdruck im Gehäuse erreicht, der den Wärmetransport durch Luftströmung (Konvektion) verringert. Um den von außen wirkenden Luftdruck aufzunehmen, sind zwischen Glasabdeckung und Rückseite Stützen aufgebaut, die den Absorber durchstoßen.

Von Zeit zu Zeit muss der Kollektor nachevakuiert werden, um den Druckanstieg durch konstruktionsbedingte Undichtigkeiten auszugleichen. Achten Sie beim Kauf diesbezüglich auf die Herstellerangaben. Eine weitere Steigerung des Wirkungsgrades ist möglich, indem die restliche Luft im Kollektor gegen das Edelgas Krypton ausgetauscht wird.

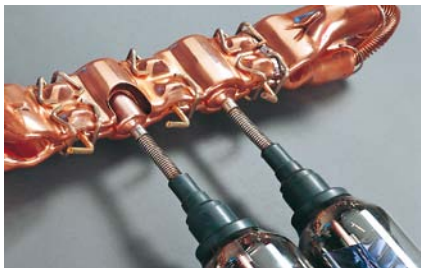
Der Vakuumröhrenkollektor

Kollektoren dieser Bauart bestehen aus einem Gestell mit mehreren nebeneinander befestigten Glasröhren, in denen sich jeweils ein Absorberstreifen befindet. Die Röhren sind evakuiert - das Vakuum ist wesentlich besser als in Vakuumflachkollektoren. Zwei Funktionsprinzipien werden unterschieden:

a. Das in der Mitte des Absorberstreifens verlaufende Rohr wird direkt vom Wärmeträgermedium durchströmt.
b. Der Energietransport findet durch Zirkulation einer speziellen Flüssigkeit (Verdampfen und Kondensieren) innerhalb des Absorberrohres statt („heat-pipe"-Prinzip). Über einen Wärmetauscher wird am Rohrende die Wärme an den Solarkreis abgegeben. Diese Bauart besitzt den Vorteil, dass einzelne Rohre bei Defekt leichter ausgetauscht werden können. Außerdem ist diese Bauart besonders unempfindlich gegen Überhitzung bei längerem Stillstand der Anlage.

Die Glasröhren werden werkseitig dauerhaft abgedichtet. Allerdings kann es bei besonderer mechanischer oder thermischer Belastung vorkommen, dass einzelne Rohre undicht werden (besonders bei Transport und Einbau). Den Vakuumverlust erkennt man daran, dass die defekte Glasröhre außen wesentlich wärmer wird als die Umgebungstemperatur. Prüfen Sie die einzelnen Röhren nach erfolgter Montage. Beachten Sie diesbezüglich die Garantiebedingungen des Herstellers.

a.) Der Anschluss der einzelnen Vakuumröhren erfolgt durch ein koaxiales Rohr (Vorlauf innen - Rücklauf außen) das vom Wärmeträgermedium durchflossen wird.



b.) Die „heat-pipes" der Röhrenkollektoren enthalten ein separates Trägermedium, das im Kollektor verdampft und am Anschluss der Solarleitung kondensiert.

Schwimmbadabsorber

Zur Schwimmbeckenwassererwärmung werden einfache Absorber ohne Abdeckung eingesetzt. Sie bestehen aus witterungsbeständigen Kunststoffen, die als Rohrschleifen oder als Matten mit eingearbeiteten Röhrchen verlegt werden. Sie werden vom Beckenwasser direkt durchströmt.

Schwimmbadabsorber weisen extrem niedrige Anschaffungskosten auf, können jedoch nur bei niedrigen Mediumtemperaturen (unter 30° C) und warmer Witterung sinnvoll eingesetzt werden. Sie sind daher für ganzjährig betriebene Brauchwassererwärmungsanlagen ungeeignet.

Dachfläche mit Absorbermatten

Sonstige Bauformen

Es gibt eine Reihe weiterer Typen von thermischen Sonnenkollektoren, die sich in Aufbau, Wirkungsprinzip oder Anwendungsbereich von den vorstehend genannten unterscheiden:

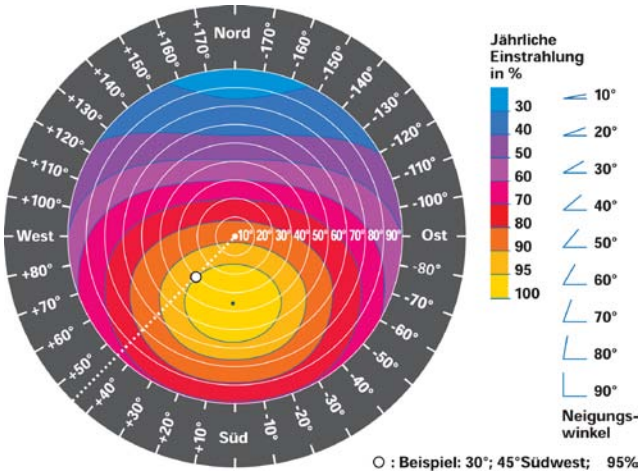
- Speicherkollektoren für den Einsatz in südlichen Ländern oder im Ferienhaus (Speicher und Absorber in einem Gehäuse)
- konzentrierende Systeme für höhere Temperaturen (Solarrinnenkraftwerke)
- Luftkollektoren

Für die Warmwasserbereitung im häuslichen Bereich werden sie in unserer Klimaregion jedoch nicht eingesetzt.

Anordnung der Kollektoren

Das Kollektorfeld besteht aus einem oder mehreren Kollektoren. Der ideale Aufstellungsort ist eine nach Süden ausgerichtete, und 30° bis 45° geneigte Dachfläche. Die rechts stehende Grafik zeigt die Ertragsminderung bei Abweichungen von dieser Ausrichtung bezüglich der Himmelsrichtung und der Neigung. Bei stärkeren Abweichungen kann eine spürbare Beeinträchtigung des jährlichen Energieertrages auftreten, die durch eine größere Kollektorfläche kompensiert werden müsste.

Kollektoren können entweder in die Dachhaut integriert (Flachkollektoren) oder darüber aufgeständert (Flach- und Vakuumröhrenkollektoren) werden. Probleme mit der Statik des Dachstuhls sind in der Regel nicht zu befürchten - bei der Dachintegration ist der Kollektor meist sogar leichter als die entfernten Dachziegel. Wichtig ist in jedem Fall die fachgerechte Abdichtung der unvermeidbaren Dachdurchdringung. Unbedingt erforderlich ist ein geeigneter Blitzschutz.



Die Grafik zeigt den Einfluss von Ausrichtung und Neigungswinkel der Kollektoren auf den Ertrag. Zu beachten ist allerdings, dass sich die Werte auf die Jahressumme beziehen. Wird ein über das Jahr hinweg ausgeglichener Ertrag angestrebt, (wichtig bei Anlagen die auch die Heizung unterstützen) sollten die Kollektoren stärker als die für den Jahresertrag idealen 35° gegen die Waagerechte geneigt werden. Aus der Grafik lässt sich die einfache Regel ableiten: je stärker die Abweichung von der Südausrichtung ist, desto flacher sollten die Kollektoren stehen.

Auch wenn keine geeignet orientierten Dachflächen zur Verfügung stehen, können oft Lösungsmöglichkeiten gefunden werden:

- Bei Flachdächern wird der Kollektor auf ein Gestell mit entsprechender Ausrichtung montiert. Auch an Fassaden können ähnliche Gestelle angebracht werden.

- Bei manchen Röhrenkollektoren kann durch Drehen der Röhren die Absorberausrichtung variiert werden, was z. B. die senkrechte Montage des Kollektors an einer Außenwand erlaubt. (Die Röhren werden dabei waagerecht angeordnet)

- Sogar eine Aufteilung des Kollektorfeldes in unterschiedlich ausgerichtete Flächen ist möglich. Wegen der Ungleichzeitigkeit der Bestrahlungsintensität im Tagesgang muss allerdings jeder Teilkollektor mit einer eigenen Regelung versehen sein.

- Auch losgelöst vom Gebäude lassen sich Standorte finden, z. B. auf einer Pergola oder einer Garage.

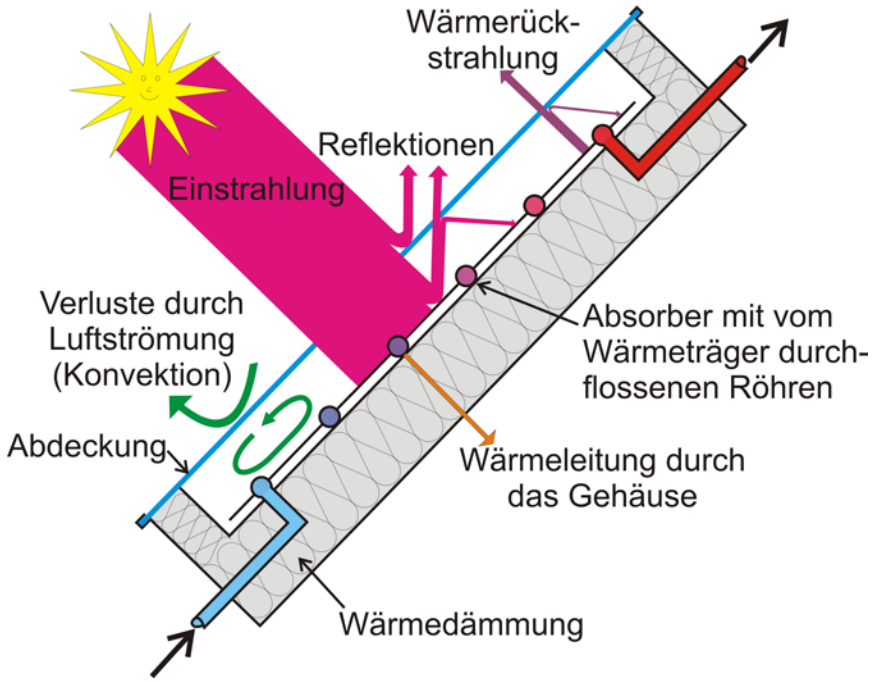
Ein an der südorientierten Giebelwand montierte Flachkollektoranlage. Eine Lösung für Bestandswohngebäude, bei denen die Dachfirste leider vorwiegend in Nord-Südrichtung orientiert sind.

Feld aus Vakuumröhrenkollektoren, aufgeständert auf einem Flachdach

Denkmalschutz

Die Anbringung von Solaranlagen auf Dächern verändert optisch das Aussehen von überlieferten denkmalgeschützten Ortsbildern und Baudenkmälern. Daher ist vom Gesetzgeber vorgesehen worden, dass die Installation von Solarthermie- und Photovoltaikmodulen in Gesamtanlagen und auf Einzelkulturdenkmälern anzeige- und genehmigungspflichtig ist. Erkundigen Sie sich daher zuerst bei den Denkmalschutzbehörden der Kreise und kreisfreien Städte oder beim Landesamt für Denkmalpflege, ob Ihr Haus unter Denkmalschutz steht und in welcher Form eine Solaranlage genehmigt werden kann. Weitere Informationen erhalten Sie dazu unter (***www.denkmalpflege-hessen.de/LFDH4_Solar/index.html***).

Kollektorkenngrößen – dem Wirkungsgrad auf der Spur



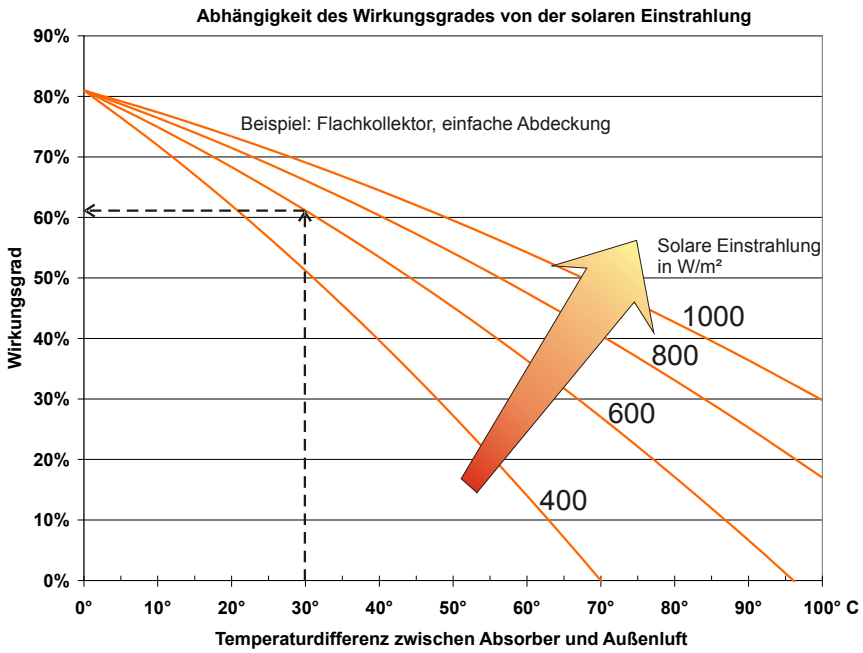
Der Energiefluss in einem Flachkollektor

Nur ein Teil des auf den Kollektor treffenden Sonnenlichts kann durch den Wärmeträger abgeführt werden, der Rest geht verloren. Die verschiedenen Verlustmechanismen verdeutlicht das Prinzipschaubild. Kleinere Mengen des einfallenden Lichtes werden an der Glasabdeckung und am Absorber reflektiert - dies sind die „optischen Verluste". Aber auch ein Teil der vom Absorber aufgenommenen und in Wärme umgewandelten Sonnenenergie strömt wieder durch die Abdeckung und die Rückseite nach außen und kann nicht genutzt werden - dies sind die „thermischen Verluste".
Was von der einfallenden Sonnenenergie übrig bleibt, wird dem Absorber durch das Wärmeträgermedium entzogen und der Nutzung zugeführt.

An einen guten Kollektor werden im Wesentlichen zwei Anforderungen gestellt: Er soll viel Sonnenstrahlung aufnehmen und wenig Wärme verlieren. Ausgedrückt wird dies durch zwei Kenngrößen:

- **Der optische Wirkungsgrad** gibt an, welcher Anteil der einfallenden Strahlung vom Absorber aufgenommen wird. Er ist abhängig von der Lichtdurchlässigkeit der Abdeckung und dem Absorptionsvermögen des Absorbers. Typisch sind Werte zwischen 70 und 85%.

- **Der Wärmeverlustkoeffizient („U-Wert")** gibt den Wärmeverluststrom pro m² Kollektorfläche und Grad Celsius (bzw. Kelvin) Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Außenluft an. Typische Werte liegen zwischen 2 und 5 W/(m²K). Kollektoren mit kleinerem U-Wert erzielen in der kalten Jahreszeit größere Gewinne.



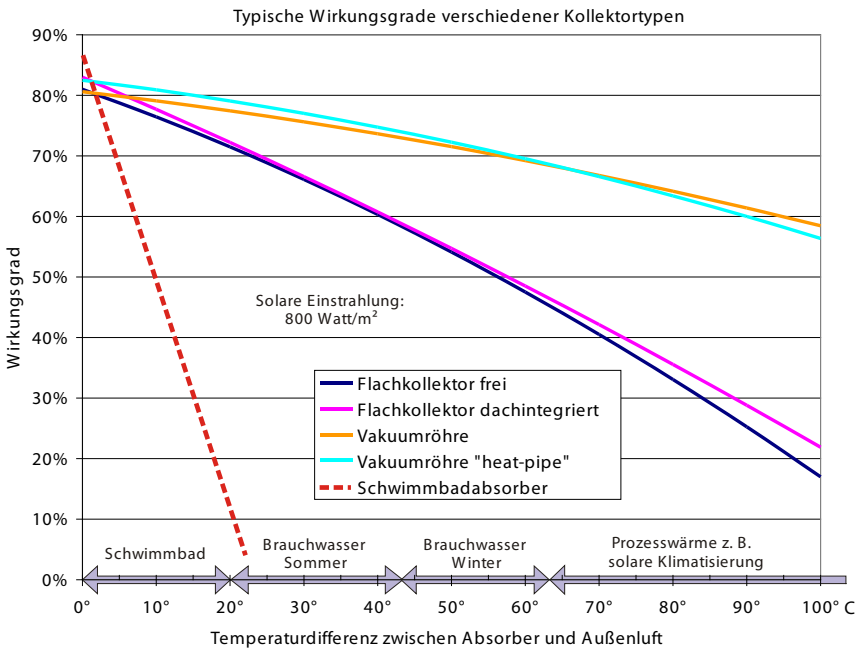
Als Beispiel das Kennlinienfeld eines Flachkollektors:
Bei einer Einstrahlung von 600 W/m², einer Außentemperatur von 20°C (z. B. sonniger Tag im Frühsommer) und einer Absorbertemperatur von 50°C liegt der Wirkungsgrad des dargestellten Kollektors bei 62 % (Pfeil). Ein 4 m² großer Kollektor hätte damit eine Leistung von 4 m² ·(62 % · 600 W/m²) = 1488 Watt.

Wenn keine Nutzwärme abgeführt wird (Wirkungsgrad = 0 %), steigt die Temperatur im Kollektor weit über 100°C (Stillstandstemperatur).

Der optische Wirkungsgrad und der U-Wert sind Qualitätsmerkmale eines Kollektors und sollten vom Hersteller in jedem Fall angegeben werden. Mehr Information über die Leistungsfähigkeit bietet jedoch die Darstellung der Kollektor-Kennlinie. Aus ihr kann für jede Einstrahlung und Außentemperatur der momentane Wirkungsgrad des Kollektors und damit die mögliche Nutzleistung abgelesen werden.

Die Kollektor-Kennlinie stellt den Kollektor-Wirkungsgrad bei Variation der Klima- und Betriebsbedingungen dar. Der Wirkungsgrad ist definiert als Verhältnis der vom Kollektor abgegebenen nutzbaren Wärme zur solaren Einstrahlung.
Wichtig ist, dass vom Kollektor-Hersteller angegebene Kennlinien nach einem standardisierten Test-Verfahren (DIN 4757 oder ISO TC 180 SC5) aufgenommen worden sind.

Welcher Kollektor ist besser?



Die Abbildung zeigt Kennlinien verschiedener Kollektortypen im Vergleich. Je flacher die Kurve abfällt, desto höher ist die Effizienz bei niedrigen Außentemperaturen bzw. desto höher ist das erreichbare Temperaturniveau.

Wärend es zu Zeiten der Solarbastler nötig war, sich selbst über die technischen Daten aller Anlagenkomponenten zu informieren um sich dann „seine" Anlage zusammenzustellen, werden heute von der Industrie in erster Linie Komplettanlagen angeboten. Bei diesen Bausätzen sind Kollektoren, Umwälzpumpe, Speicher und Regler aufeinander abgestimmt. Die Stiftung Warentest hat in den Heften 3/2008 und 3/2009 derartige Anlagen getestet (Preisspanne im Abschnitt Wirtschaftlichkeit). Weil die richtige Kombination der Komponenten und des dazugehörender Regelkonzeptes viel Detailwissen erfordert, greifen auch immer mehr Fachbetriebe auf solche Komplettlösungen zurück. Anstatt sich auf einen bestimmten Kollektortyp festzulegen, sollten also besser die zu erwartenden Erträge und Preise der Anlagenbausätze verglichen werden.

In der Abbildung links sind die Kennlinien verschiedener Kollektorkonstruktionen dargestellt.
Auf der Basis der Kollektorkenngrößen allein kann jedoch kaum eine Entscheidung für einen bestimmten Kollektor getroffen werden. Ein schlechterer Kollektorwirkungsgrad kann oft durch mehr Kollektorfläche ausgeglichen werden, wenn die zur Verfügung stehende Dachfläche groß genug ist.

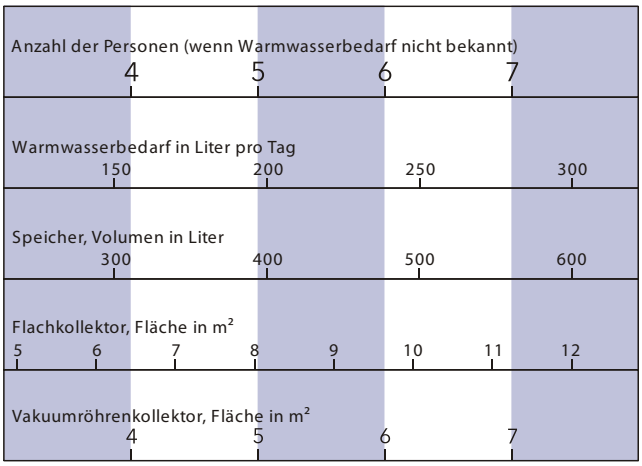
Bei der Kollektorwahl sollten Sie sich daher von einem hohen Kollektorwirkungsgrad zunächst nicht beeindrucken lassen. Nicht weniger bedeutsam ist:

- die Temperaturbeständigkeit des Kollektors im Stillstand;
- Art und Standfestigkeit der Absorberbeschichtung;
- die Reparaturfreundlichkeit (z. B. Möglichkeit zur Auswechslung der transparenten Abdeckung),
- die Dauer der Herstellergarantie;
- nicht zuletzt der Preis, zu dem die gewünschte Kollektorleistung angeboten wird.

Auf die Dimensionierung kommt es an

Voraussetzung für die wirtschaftliche Arbeitsweise der Solaranlage ist eine vernünftige Dimensionierung von Kollektor und Speicher. Dabei kommt es eher auf die Größenordnung an, als auf eine exakte Bemessung von Kollektorfläche und Speicherinhalt. In der Regel reichen daher Erfahrungswerte völlig aus. Einfache Computerprogramme können grobe Anhaltswerte über monatliche Deckungsraten liefern. Eine wirkliche Optimierung der einzelnen Komponenten ist nur mit genaueren Simulationsprogrammen möglich, in der Regel wegen des hohen Aufwands jedoch zu teuer.

Damit Ihre Solaranlage richtig dimensioniert werden kann, sollten Sie - soweit möglich - Ihren Warmwasserverbrauch feststellen (z. B. durch Einbau eines einfachen Wasserzählers in den Zulauf des Speichers). Je nach Gewohnheiten und Ausstattung mit Geräten kann der Verbrauch sehr stark variieren, so dass die Verwendung von Standard- oder Durchschnittswerten keine gute Dimensionierungsgrundlage ist.



Anhaltswerte zur Abschätzung der nötigen Größe einer Solaranlage für die Warmwasserbereitung

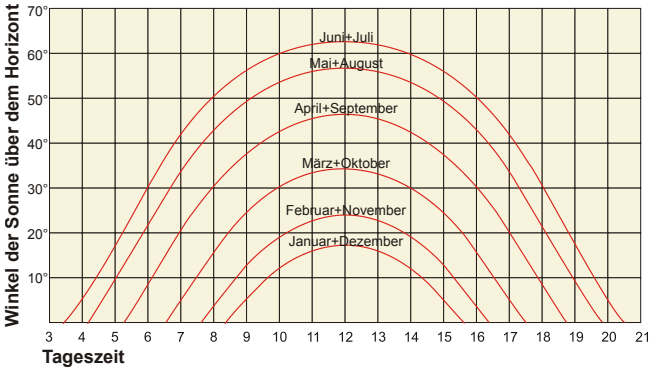
Empfehlenswert ist der Anschluss von Waschmaschinen über ein entsprechendes Vorschaltgerät, das dafür sorgt, dass für die Spülgänge auch weiterhin nur kaltes Wasser verwendet wird. Der Anschluss von Geschirrspülern ist problematisch, da das Vorspülen und die Regeneration des Wasserenthärters bei den meisten Geräten kaltes Wasser erfordern.

Der Speicher sollte etwa das Eineinhalb- bis Zweieinhalbfache des täglichen Warmwasserbedarfs beinhalten. Wenn der Warmwasserverbrauch nicht ermittelt werden kann, können für jede Person etwa 60 bis 100 l Speichervolumen angesetzt werden. Bei Einsatz von Flachkollektoren werden pro Person etwa 1,5 m² Kollektorfläche, bei Vakuumröhrenkollektoren etwa 1 m² Kollektorfläche benötigt (z. B. 4-Personen-Haushalt, täglicher Warmwasserverbrauch 160 Liter : ca. 6 m² Flachkollektor und 300 Liter Speichervolumen). Bei Mehrfamilienhäusern ist - aufgrund der höheren Anlageneffizienz - pro Hausbewohner eine kleinere Dimensionierung möglich.

Lassen Sie vom Solar-Fachbetrieb im Planungsstadium den jährlichen Energieertrag der Anlage bestimmen. Er sollte etwa bei 50 bis 65 % des jährlichen Brauchwasserbedarfs liegen. In den Sommermonaten sind solare Deckungsraten über 90 %, in den Wintermonaten meist kaum mehr als 10 % erreichbar.

Jährliches Strahlungsangebot auf eine nach Süden orientierte, 45° geneigte Fläche in kWh/(m²a)	
Kassel	1069
Gießen	1096
Mannheim	1147

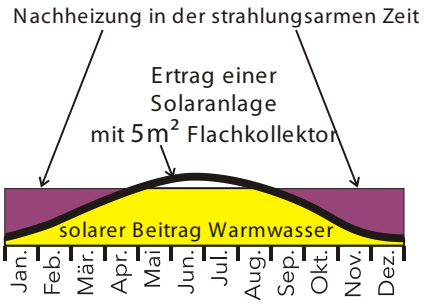
Je nach Standort treten innerhalb Deutschlands Unterschiede von maximal 20 %, innerhalb Hessens von maximal 10 % auf. Von der eingestrahlten Energiemenge wandelt die Solaranlage im Jahresdurchschnitt etwa ein Viertel bis ein Drittel in nutzbare Wärme um.



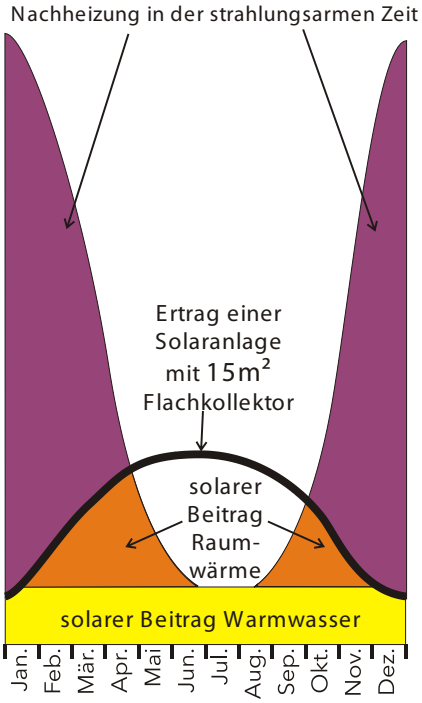
Warum die winterliche Solarenergienutzung in unseren Breiten wenig ergiebig ist, zeigt ein Blick auf das Sonnenstandsdiagramm z. B. für den Standort Frankfurt. Im Januar und Dezember scheint die Sonne nur wenige Stunden und steigt dabei weniger als 20° über den Horizont.

Die beiden Grafiken zeigen im selben Maßstab die solaren Erträge zweier unterschiedlich konzipierter Anlagen auf einem Modellgebäude. Der Wärmeschutz des Hauses entspricht dem gesetzlich vorgeschriebenen Neubaustandard; der Warmwasserbedarf der vier Bewohner ist durchschnittlich. Die linke Grafik zeigt den Deckungsbeitrag (gelbe Fläche) einer Solaranlage die nur für die Unterstützung der Warmwasserbereitung ausgelegt ist. Die für die Nachheizung des Warmwasserspeichers mit dem Heizkessel nötige Energiemenge ist violett dargestellt. Der Heizwärmebedarf erscheint der Übersichtlichkeit halber in diesem Teil der Grafik nicht. Auf der rechten Seite ist das Ergebnis mit einer drei mal größeren Kollektorfläche dargestellt. Diese Anlage unterstützt auch die Raumheizung. Die durch die Solaranlage eingesparte Wärmemenge zur Beheizung der Wohnung ist orange gekennzeichnet.

Die Deckungsrate der kleinen Anlage beträgt ca. 60 % bezogen auf den Warmwasserbedarf, die große Anlage deckt in diesem Beispiel etwa 20 % des gesamten Wärmebedarfs.



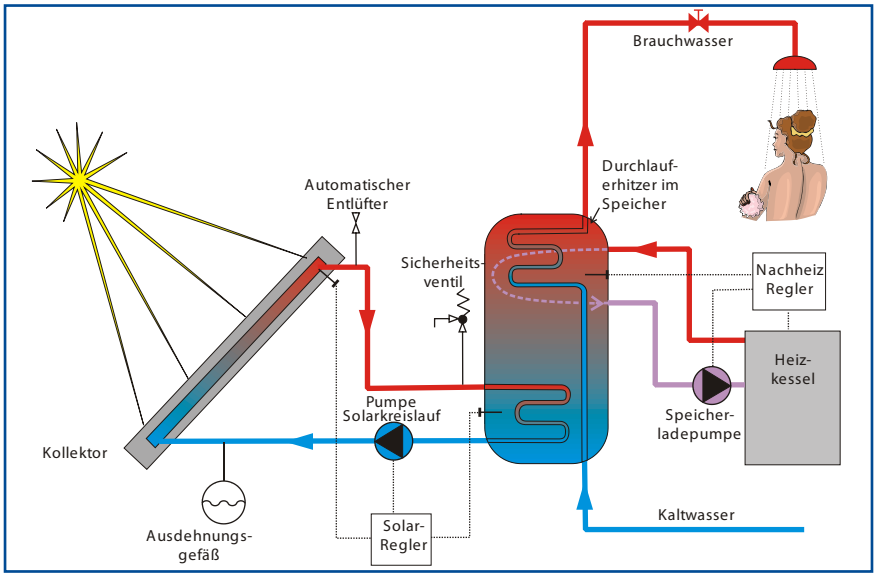
Typischer Deckungsbeitrag Warmwasser



Typischer Deckungsbeitrag Warmwasser plus Raumwärme

Die Solaranlage - mehr als ein Kollektor

Die nebenstehende Grafik zeigt den typischen Aufbau einer Solaranlage zur Wassererwärmung. Die Farbwahl soll die Aufheiz- und Abkühlvorgänge darstellen; es sind aber drei verschiedene Medien zu unterscheiden: Im Kollektorkreislauf zirkuliert Solarflüssigkeit, im Kreis der Nachheizung sowie im Speicher befindet sich Heizungswasser und das Trinkwasser durchströmt in diesem System nur den Wärmetauscher (Durchlauferhitzer) im oberen Teil des Speichers.



Der Solarkreislauf

Das Dämmmaterial der Anschlussleitungen muss bis über 80° temperaturbeständig sein.

Der Solarkreislauf besteht aus dem mit dem Wärmeträgermedium gefüllten Rohrsystem, der Solarkreispumpe, der Regelung, einem Ausdehnungsgefäß und verschiedenen Sicherheitseinrichtungen.
Das Wärmeträgermedium im Solarkreislauf ist üblicherweise ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel, so dass der Gefrierpunkt unter -15° C liegt.

Bei allen Rohrleitungen ist auf eine hochwertige Wärmedämmung zu achten, die auch die Armaturen und Rohrbögen einschließt und doppelt so dick sein sollte wie der Rohrdurchmesser. Die Dämmung im Außenbereich liegender Leitungen sollte mit einer regendichten und UV-beständigen Ummantelung versehen sein.

Die Leitungen sollten so kurz wie möglich gehalten werden, um die Wärmeverluste zu begrenzen.
Eine möglichst klein dimensionierte Solarkreispumpe (z. B. 20 W) vermeidet unnötig hohen Stromverbrauch. Ideal sind elektronisch regelbare Pumpen deren Leistung vom Solarregler gesteuert werden kann (mehr dazu unter dem Punkt Regelung).

Solarstation: Pumpe, Thermometer, Manometer und Absperrventile sind zusammen in eine Dämmschale eingebaut.

Im Solarkreislauf befindet sich außerdem ein Ausdehnungsgefäß, das die Volumenausdehnung des Wärmeträgermediums bei Erwärmung aufnimmt, und ein Sicherheitsventil, das bei zu hohem Druck kleine Mengen des Wärmeträger-Mediums abbläst, die in einem Behälter aufgefangen werden. Mit einem Manometer wird der Anlagendruck kontrolliert. Ferner muss das Rohrsystem an seinem höchsten Punkt entlüftet werden können (Handventil + Schnellentlüfter). Ein weiteres wichtiges Element im Solarkreislauf ist die Schwerkraftbremse. Sie verhindert, dass in der Nacht oder bei bewölktem Himmel das warme Wasser aus dem Speicher zu den Kollektoren strömt (Schwerkraftumlauf!). Die Funktion der Bremse lässt sich mit einem Blick auf die Thermometer der Solarstation prüfen. Geben die Kollektoren keine Wärme ab, müssen die Thermometer nach einiger Zeit bis auf die Raumtemperatur absinken.

Speicher

Um einen Ausgleich zwischen Zeiten mit hohem Strahlungsangebot (Mittagszeit) und solchen mit großem Warmwasserverbrauch (z. B. morgens und abends) zu schaffen, ist ein Warmwasserspeicher erforderlich. Je größer der Speicher ist, desto mehr Sonnenenergie kann genutzt werden, da strahlungsarme Tage überbrückt werden können. Dem werden jedoch durch mit dem Volumen steigende Anschaffungskosten Grenzen gesetzt.

Standspeicher ermöglichen die Ausbildung einer thermischen Schichtung im Speicher (oben warm, unten kalt) und sind daher unbedingt zu bevorzugen. Das obere Speicherdrittel enthält normalerweise die Nachheizung und wird auch „Bereitschaftsteil" genannt, da es ständig auf der gewünschten Temperatur gehalten wird. Bleibt der Bereitschaftsteil des Speichers immer auf mindestens 60° C, ist auch eine ausreichende Keimfreiheit des Wassers gewährleistet. Bei Speichern, die auch mit geringeren Temperaturen betrieben werden sollen, werden heute aus Gründen der Hygiene (Legionellen) Speicher bevorzugt, bei denen das Trinkwasser nicht den Speicher füllt, sondern durch einen internen Wärmetauscher erwärmt wird. So wird vermieden, dass in Zeiten mit geringer Einstahlung und absinkender Speichertemperatur das Wasser aufkeimt. Kritisch ist der Temperaturbereich zwischen 30° und 50° C. Für Anlagen, die über 400 l Trinkwasser enthalten, ist deshalb einmal am Tag die Erwärmung des gesamten Inhaltes auf 60° C vorgeschrieben. Dadurch wird die Effizienz der Solaranlage natürlich drastisch vermindert. Bei kleineren Anlagen ist der Installateur dazu verpflichtet, den Betreiber auf die Möglichkeit einer Verkeimung hinzuweisen. Er betreibt die Anlage dann „auf eigene Gefahr". Bei Altanlagen besteht auch die Möglichkeit, einen externen Wärmetauscher nachzurüsten, um Trink- und Speicherwasser zu trennen. Der Nachteil dieser Lösung ist die Notwendigkeit einer weiteren Umwälzpumpe.

Ein guter Speicher zeichnet sich durch eine hochwertige Wärmedämmung aus (mindestens 10 cm), die - insbesondere am Bereitschaftsteil - möglichst wenig durch Rohranschlüsse und Armaturen unterbrochen wird. Die Dämmung soll an der Speicherwand anliegen und darf keine Fugen aufweisen (auch nicht bei Rohranschlüssen, Flanschen, Thermometern etc.), da andernfalls Konvektionsströmungen mit erheblichen Wärmeverlusten entstehen können. Die Dämmung sollte den Speicher wie eine dichte Glocke umhüllen. Die vorhandene Reinigungsöffnung muss jedoch zugänglich bleiben. Der Bereitschaftswärmeverlust eines Speichers wird nach DIN 4753 Teil 8 bestimmt und in kWh pro Tag angegeben (gemessen bei 45 K Temperaturdifferenz zwischen Speichermedium und Umgebungsluft).

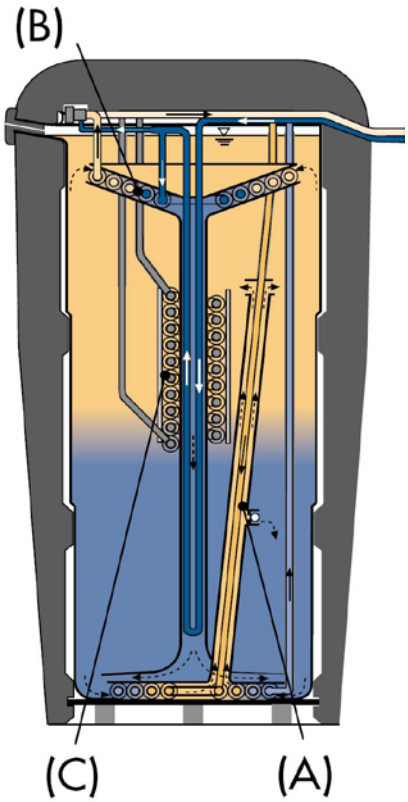
Gute Speicher mit einem Volumen zwischen 300 und 500 l weisen Werte zwischen 0,9 und 2 W/K auf. Ein geladener Speicher verliert also täglich etwa (0,9 W/K · 45 K · 24 h/d ≈ 0,9 kWh/d) ein bis zwei Kilowattstunden.

Bei gewöhnlichen Solaranlagen werden Druckspeicher in unterschiedlichen Ausführungen verwendet:

- **Stahlspeicher mit Email-Beschichtung**
  Kostengünstig und am weitesten verbreitet sind emaillierte Stahlspeicher. Das Email bietet wirksamen Schutz gegen innere Korrosion des Stahlbehälters. Da sich bei Transport und thermischer Belastung feine Haarrisse ausbilden können, werden zusätzlich Magnesium-Schutzanoden oder Fremdstromanoden eingebaut, deren schwacher Ionenstrom Korrosion dauerhaft verhindert. Eingebaute Wärmetauscher, Temperaturfühler etc. müssen in diesem Fall gegen die Speicherwandung elektrisch isoliert sein.
- **Stahlspeicher mit Kunststoffbeschichtung**
  Diese Ausführung ist bei guter Verarbeitung dauerhaft gegen Korrosion geschützt.
- **Edelstahlspeicher**
  Edelstahlspeicher besitzen generell eine hohe Lebensdauer, sind allerdings relativ teuer. Auch hier ist eine gute Verarbeitung (insbesondere der Schweißnähte) wichtig. Im Vorfeld ist die Trinkwasserzusammensetzung zu beachten - bei hohem Chloridgehalt sollten Edelstahlspeicher nicht eingesetzt werden.
- **Drucklose Speicher** werden verwendet, wenn ein besonders großes Volumen gefordert ist (bis zu 2 m³ sind als ein Speicher erhältlich), wenn zusätzlich die Funktion eines Pufferspeichers, z. B. für einen Holzkessel, realisiert werden soll oder wenn das preislich günstige Material Kunstsoff verwendet wird. Bei Verwendung von Kunststoffspeichern ist die maximal mögliche Temperatur auf etwa 80° C beschränkt.

Schnittzeichnung eines Edelstahlspeichers: Unten der Wendel des solaren Wärmetauschers, oben der für die Nachheizung. Trinkwasser unter Leitungsdruck füllt den gesamten Speicher

Bild links:
Eine Sonderform des Solarspeichers sind Geräte mit eingebautem Brenner für Anlagen mit solarer Heizungsunterstützung (vergl. Seite 10) . Der Vorteil sind stark minimierte Verluste im Heizraum. Der Wärmeverlust eines separaten Gerätes und der dazu gehörenden Verrohrung entfallen.



Schnittzeichnung eines drucklosen Kunststoffspeichers:
(A) Aufströmrohr (verbessert die thermische Schichtung
(B) Durchlauferhitzer Trinkwasser
(C) Nachheizung Bereitschaftsteil

Regelung

Damit die Anlage nur dann in Betrieb ist, wenn das Energieangebot der Sonne zur Speicherbeheizung ausreicht, muss die Solaranlage mit einer entsprechenden Regelung ausgestattet werden (außer bei Schwerkraftanlagen, bei denen der Speicher höher als der Kollektor angeordnet ist). Am gebräuchlichsten sind Temperatur-Differenz-Regelungen, bei denen die Temperatur am Ausgang des Kollektors und im Speicher in der Höhe des Wärmetauschers verglichen wird. Die Regelung muss so eingestellt sein, dass die Temperatur des Mediums am Kollektorausgang um mehrere Grad Celsius (z. B. 6° C) höher als die Speichertemperatur liegt. Die Verwendung leistungsregelbarer Pumpen erlaubt einen konstanten Betrieb, ohne dass die Pumpe taktet. Das korrekte Ein- und Ausschalten sollte überprüfbar sein (Temperatur- und Funktionsanzeige). Eine schlecht eingestellte Regelung beeinträchtigt erheblich die Effizienz der Gesamtanlage. Im Extremfall kann es vorkommen, dass die tagsüber gewonnene Solarwärme nachts wieder aus dem Speicher in den Kollektor transportiert und nach außen abgegeben wird.

Bei einer längeren Schönwetterperiode wäre technisch ein Anstieg der Speichertemperatur auf über 90° C leicht möglich. Aus Sicherheitsgründen und zur Reduzierung der Kalkbildung wird jedoch eine Temperaturbegrenzung aktiv (je nach System und Wasserhärte zwischen 60 und 80° C).
Wenn kein Warmwasser verbraucht wird, können dabei über längere Zeiten hohe Stillstandstemperaturen bis ca. 200° C im Kollektor auftreten. Die verwendeten Materialien sind aber in der Regel so beschaffen, dass sie diesen Belastungen standhalten. Die Solarflüssigkeit verdampft – das dadurch verdrängte Volumen wird im Ausdehnungsgefäß gespeichert.

Moderne digitale Regler informieren über alle relevanten Anlagendaten. Hier zeigt das Display eine Temperatur am Kollektor von 63,7° C.

Nachheizung

Da die Solaranlage in den Wintermonaten nur wenig Ertrag liefert, ist eine Nachheizung erforderlich. Empfehlenswert ist der Anschluss an die Heizungsanlage, da hier die Wärme relativ effizient bereitgestellt wird. Die meisten Kesselregelungen können die Steuerung der Speicherladepumpe mit übernehmen: Wenn die Temperatur im oberen Bereich des Speichers (Bereitschaftsteil) unter eine festgelegte Grenze fällt, wird die Pumpe eingeschaltet, die Wärme aus dem Kessel über einen zusätzlichen Wärmetauscher in den Speicher transportiert. Im Sommer sollte der Kessel wegen des geringen Zusatzwärmebedarfs nicht ständig in Bereitschaft gehalten werden, sondern erst bei Unterschreiten eines bestimmten Speicherladezustands anlaufen. Möglich ist ebenso eine nachgeschaltete Erwärmung des im Speicher vorerwärmten Wassers. Dafür können in ihrer Leistung elektronisch geregelte Durchlauferhitzer eingesetzt werden.

Geeigneter Aufstellungsort für den Speicher ist meist der Heizungskeller – der Anschluss des Heizkessels für die Nachheizung ist leicht möglich.

Eine Nachheizung des Speichers mit Strom ist soweit wie möglich zu vermeiden. Wegen des geringen Aufwands für den Einbau eines elektrischen Heizstabs ist sie heute leider immer noch verbreitet. Verglichen mit einer herkömmlichen zentralen Warmwasserbereitung mit Heizkessel (ohne Solaranlage) liegen hier nicht nur die Betriebskosten höher, auch für die Umwelt ergibt sich keine Entlastung (vgl. Abschnitt zur Umweltwirkung).

Weitere Einsatzgebiete von Solaranlagen

Solare Nahwärme

Soll Sonnenwärme für mehrere Wochen oder gar Monate gespeichert werden, so sind im Haus installierte große Speicher, selbst wenn sie sorgfältig gedämmt sind, ungeeignet. Auch bei einer Größe von mehreren Kubikmetern haben sie im Verhältnis zum Wärmeinhalt eine zu große Oberfläche. Ein Ausweg besteht darin, bei mit Nahwärme versorgten Wohngebieten die Speichervolumina für die einzelnen Häuser zentral in einem Großspeicher zusammenzufassen. Derzeit wird mit verschiedenen Anlagen- bzw. Wärmenetzkonzepten experimentiert. Es wird daran gearbeitet, die Wirtschaftlichkeit zu verbessern und die Verteilverluste weiter zu minimieren. Mehr Informationen dazu finden Sie in den BINE Projektinfos 8/00 und 1/01.

Erwärmung von Schwimmbeckenwasser

Besonders empfehlenswert ist die solare Beheizung von Freibädern, da die Nutzungszeit der Zeit des größten Strahlungsangebots entspricht. Es werden dazu im Vergleich zu Flachkollektoren sehr preiswerte Absorber verwendet (siehe Abschnitt Kollektorbauarten). Die Größe der Absorberfläche sollte etwa 50 bis 70% der Wasseroberfläche betragen.

Auf eine konventionelle Nachheizung sollte wenn möglich ganz verzichtet werden. Um die Verluste zu begrenzen, ist - wie auch bei konventionellen Anlagen - der Einsatz einer dämmenden Becken-Abdeckung für die Nacht sinnvoll.

Wirtschaftlichkeit und Umweltentlastung

Die Wirtschaftlichkeit der thermischen Solarenergienutzung hängt entscheidend davon ab, dass der Wärmebedarf und die Größe der Anlage (Investitionssumme) im richtigen Verhältnis stehen. Anlagen in Mehrfamilienhäusern stellen sich günstiger dar, weil sie in der Regel auf einen geringeren Deckungsanteil ausgelegt werden. Hierbei wurden in mehreren Modellprojekten Wärmekosten von etwa 13 ct/kWh ermittelt. Für ein typisches Einfamilienhaus (Neubaustandard) ermittelte die Stiftung Warentest folgende Preise (inkl. Einbau):

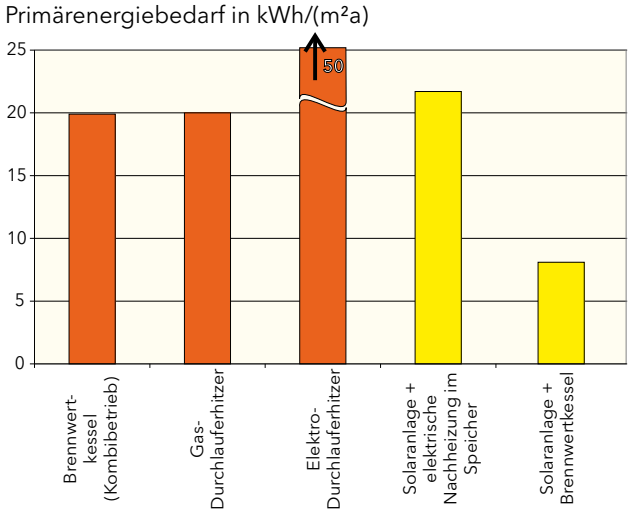
- Anlagen zur Warmwasserbereitung: 4.500 bis 6.500 Euro
- Anlagen mit zusätzlicher Heizungsunterstützung: 8.000 bis 20.000 Euro, wobei die teureren Anlagen einen im Solarspeicher integrierten Heizkessel beinhalten.

Im Mittel dürften die Wärmekosten bei Kleinanlagen in einer Größenordnung von 20 ct/kWh liegen. Diesen Kosten müssen die Ausgaben für die bestehende konventionelle Warmwasserbereitung gegenübergestellt werden. Im Gegensatz zur solar erzeugten Wärme unterliegen die Kosten der konventionellen Brauchwasserbereitung den Weltmarktpreisen für fossile Energieträger.

Um die für die Umwelt entstehende Entlastung durch eine Solaranlage abzuschätzen, ist es nötig, die Emissionen der bisher für die Warmwasserbereitung verwendete Technik zu kennen. Die Grafik rechts vergleicht deshalb den Primärenergieverbrauch verschiedener Versorgungssysteme.

Wenn Sie vor der Frage stehen, ob sich eine Solaranlage für Ihr Gebäude finanziell und ökologisch betrachtet lohnt, sollten Sie einige Punkte bedenken:

- Voraussetzung für die Installation einer Solaranlage sollte in jedem Fall sein, dass auch auf der Bedarfsseite alle Bedingungen gegeben sind, um gute Deckungsgrade zu erreichen. Dazu gehört auch die Begrenzung der Verluste durch Verteilung und Speicherung des Warmwassers. Eine Solaranlage, die übers Jahr gesehen kaum mehr als die Verluste einer ungedämmten Zirkulationsleitung decken könnte, wäre eine Fehlinvestition. (Ähnlich uneffektiv wäre der Versuch in einem völlig ungedämmten Altbau durch eine solare Heizungsunterstützung Heizkosten sparen zu wollen.)



Vergleich des Primärenergieeinsatzes für die Warmwasserbereitung mit verschiedenen Systemen. Das Beispielgebäude hat ca. 150 m² Wohnfläche und die zentralen Systeme keine Zirkulationsleitung. Es zeigt sich, dass eine elektrische Nachheizung des Speichers die Einsparung der Solaranlage wieder zunichte macht.

- In kleineren Gebäuden sollte auf eine Warmwasser-Zirkulation verzichtet und Leitungen mit einem geringen Querschnitt verlegt werden. Die Waschmaschine, die häufig Warmwasser in jeweils kleinen Mengen benötigt, sollte möglichst nahe am Solarspeicher aufgestellt werden.
- Generell sollte die Dämmschicht der Leitungen (eingeschlossen auch Armaturen und Bögen) etwa doppelt so stark sein wie der Rohrdurchmesser.
- Auch wenn Sie sich derzeit noch nicht für den Einbau einer Solaranlage entscheiden, sollten Sie sich die Option dafür offen halten, z. B. indem im Neubau bzw. bei Umbauten oder Renovierungen schon an die Steigleitungen zum Kollektor gedacht wird. Im Altbau bieten sich besonders stillgelegte Kaminzüge für diesen Zweck an. Denken Sie auch an eine ausreichende Fläche für einen Solarspeicher im Heizraum.

Zum Schluss noch einige praktische Tips für Anlagenbetreiber:

- In regelmäßigen Abständen Sichtkontrollen durchführen:
  - Einhaltung des Betriebsdrucks,
  - Plausibilität der Betriebszustände der Regelung,
  - Verschmutzung der Kollektorabdeckung,
  - Kondenswasser im Kollektorgehäuse,
  - Beschädigung oder Durchfeuchtung der Dämmung außen liegender Leitungen.
- Betriebszustände der Anlage protokollieren, um bei zu geringen solaren Erträgen dem Fachbetrieb Hinweise auf mögliche Ursachen geben zu können.
- In den vom Hersteller festgelegten Abständen überprüfen lassen:
  - Magnesium-Anode (soweit vorhanden),
  - Kalkansatz der Wärmetauscher,
  - Frostschutzsicherheit des Wärmeträgermediums
- Den Energieverbrauch vor und nach der Installation der Solaranlage vergleichen.

Fördermittel

Die öffentliche Hand fördert das Energiesparen an Wohngebäuden auf mehreren Wegen. Die Programme dazu werden ständig weiterentwickelt und angepasst. Deshalb können in dieser Druckschrift nur grob die Struktur dargestellt und die wichtigsten Ansprechpartner genannt werden.
Folgende Institutionen sind Ansprechpartner für alle Interessierten, die in Maßnahmen zur Energieeinsparung investieren möchten:

a) **Bundesprogramme:**

- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)
  Servicetelefon: 06196 - 908-0
  Postanschrift: Frankfurter Straße 29-35, 65760 Eschborn
  Die Vor-Ort-Beratung durch einen Energieberater, die Ihnen einen Überblick über die technischen Möglichkeiten an Ihrem Gebäude, die entstehenden Kosten und die Quellen für Fördermittel gibt, wird vom BAFA gefördert. Die aktuellen weiteren Programme zum Beispiel zur Förderung regenerativer Energien und deren Förderkonditionen können Sie auf den Internetseiten nachlesen.
  www.bafa.de

- KfW Bankengruppe
  Info-Center, Servicetelefon: 0180 1335577
  Beratungszentrum: Bockenheimer Landstraße 104, 60325 Frankfurt a.M.
  Die Durchführung von Dämmmaßnahmen an Gebäuden sowie der Einbau moderner Heizungs- und Lüftungstechnik, werden von der KfW-Bankengruppe durch zinsverbilligte Kredite oder direkte Zuschüsse gefördert. Die aktuellen Programme und Konditionen werden jeweils auf der Internetseite der KfW veröffentlicht.
  www.kfw.de

b) **Programme des Landes Hessen:**

- Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen, WI-Bank
  Postanschrift: Strahlenbergerstraße 11, 63067 Offenbach am Main
  Telefon: 069 - 9132-01
  Einzelheiten zu den hessischen Förderprogrammen finden Sie auf der Internetseite der WI-Bank.
  www.wibank.de

- Auf der Internetseite des HMUELV unter ***www.energieland.hessen.de*** werden Sie rund um das Thema „Energie“ informiert. Dort finden Sie auch unter „Verbraucher-Service“ den Link zur ***hessenEnergie***, auf deren Seite die aktuelle Förderdatenbank eingestellt ist, die über alle Bundes- und Landesprogramme informiert.

Impressum:
Herausgeber: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz,
Mainzer Straße 80, 65189 Wiesbaden
wiss. Betreuung: Institut Wohnen und Umwelt, (IWU)
Rheinstraße 65, 64295 Darmstadt, ***www.iwu.de***
Text: Tobias Loga, Rolf Born
Fotos: Marc Großklos, Viessmann, ThermoSolar, Solvis, Buderus, Consolar, Fam. Harling
Ausgabe: 6/06; Überarbeitung: 02/2011
Unveränderter Nachdruck und Vervielfältigung sind gestattet
ISBN 978-3-89274-309-5

HESSEN

Hessisches Ministerium für
Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden
www.hmuelv.hessen.de

IWU Institut Wohnen und Umwelt

Hessische Energiesparaktion