



Solarfibel

Landeshauptstadt Erfurt



Impressum

Landeshauptstadt Erfurt
Stadtverwaltung



Herausgeber

Landeshauptstadt Erfurt
Stadtverwaltung

Redaktion

Umwelt- und Naturschutzamt
Stauffenbergallee 18
99085 Erfurt
Telefon 0361 655-2601
Fax 0361 655-2609
E-Mail umweltamt@erfurt.de
Internet www.erfurt.de
1. Auflage Dezember 2008

Gestaltung und Druck
Druckerei Wittnebert, Erfurt





Vorwort

Liebe Mitbürgerinnen und Mitbürger,

die fossilen Ressourcen reduzieren sich, die Preise dafür steigen und ihre Nutzung ist eine der Hauptursachen für den Klimawandel.

Um diesem Einhalt zu gebieten, ist ein Umdenken erforderlich. Die Nutzung der Sonne als Energiequelle gehört dazu, denn die Sonne ist unerschöpflich und scheint kostenlos!

Im Hinblick auf die Gefahren des globalen Klimawandels ist die Möglichkeit der Solarenergienutzung ein wirksames Instrument zur CO₂-Reduzierung. Mit der Nutzung und Einspeisung der erzeugten Energie in das Stromnetz schonen Sie fossile und konventionelle Ressourcen.

Sie leisten damit einen eigenen Beitrag zum Klimaschutz und zur Verbesserung der Lufthygiene in Erfurt. Es lohnt sich, nachhaltig zu planen und zu bauen.

Die Stadt Erfurt verfügt über mehr als 27 000 Gebäude. Damit besteht ein großes Potential zur Nutzung von Sonnenenergie durch die Installation von Solarmodulen auf Dachflächen und an Hausfassaden.

Im Raum Erfurt haben sich erfolgreich Solarfirmen angesiedelt. Dieses Potential vor der Haustür gilt es, beim eigenen Hausbau oder einer Modernisierung, zu nutzen. Sie sichern damit gleichzeitig Arbeitsplätze.

Die Erfurter Solarfibel gibt Ihnen Auskunft zur Globalstrahlung in Erfurt. Sie enthält Beispiele zur Dimensionierung von Anlagen und zu Fördermöglichkeiten.

Investieren Sie nachhaltig in die Zukunft. Zeigen auch Sie Umweltbewusstsein.

Andreas Bausewein
Oberbürgermeister der Landeshauptstadt Erfurt





Inhalt	Seite	Inhalt	Seite
Vorwort	3	10 Fördermittel	34
1 Nutzungsmöglichkeiten der Solarenergie	6	11 Glossar	35
1.1 Thermische Solaranlagen	6	12 Quellenverzeichnis	40
1.2 Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung	7	13 Anlagenverzeichnis	40
2 Beispiele von Solaranlagen in der Stadt Erfurt	7	Fragespiegel für die Dimensionierung und Anschaffung einer thermischen Solaranlage	41
3 Wetterdaten	12	Von der Handwerkskammer Erfurt zertifizierte Fachbetriebe für Erneuerbare Energien	42
3.1 Sonnenscheindauer in Erfurt	12		
3.2 Globalstrahlung in Erfurt	12		
4 Ermittlung des nutzbaren Solarenergieangebotes	12		
4.1 Diffuse und direkte Strahlungsanteile	12		
4.2 Allgemeiner Rechenweg zur Ermittlung der nutzbaren Globalstrahlung	13		
4.3 Rechenbeispiel	13		
5 Kriterien zur Errichtung einer Solaranlage	14		
5.1 Standortvoraussetzungen	14		
5.2 Planung	15		
6 Solarthermieanlagen und deren Dimensionierung	15		
6.1 Anlagendimensionierung mittels Faustformel oder Nomograf	15		
6.2 Ermittlung des Wärmebedarfes	17		
6.3 Ermittlung der Kollektorfeldgröße	17		
6.4 Speichervolumen	19		
6.5 Durchschnittliche Kosten	19		
7 Thermische Solaranlagen in der Praxis	19		
7.1 Solare Warmwassererwärmung für Einfamilienhäuser	19		
7.2 Solare Heizungsunterstützung mit Kombispeicher für Einfamilienhäuser	23		
7.3 Kombination Solaranlage mit Wärmepumpe	26		
7.4 Solargestützte Nahwärmeversorgung	27		
7.5 Solare Schwimmbadheizung	27		
8 Photovoltaik-Anlagen in der Praxis	29		
8.1 Beispiel einer Inselanlage (Wochenendhaus)	30		
8.2 Beispiel einer PV- Anlage mit 5 kWp	31		
9 Energieberatung	32	Bild 1 (Titelseite © SAVIS D. Ritter): SAVIS Betriebsgelände in Erfurt/OT Frienstedt, Photovoltaikanlage	
9.1 Energieberatung vor Ort	32		
9.2 Energieberatung im Internet	33		



1 Nutzungsmöglichkeiten der Solarenergie

Solarenergie ist umweltfreundlich und unerschöpflich. Der rein technische Prozess der Umwandlung von Sonnenlicht in Wärme oder Strom wird aktive Sonnenenergienutzung genannt.

Mit dem neusten Stand der Technik kann heute auch diffuse Strahlung zur Stromerzeugung genutzt werden. Um Sonnenenergie optimal zu nutzen, ist eine Gebäudeausrichtung nach Süden sinnvoll.

Große Fensterflächen nach Süden führen zu Wärme- und Energiegewinnen und einer bestmöglichen Tageslichtnutzung. Ferner wird, aufgrund des positiven Einflusses von Licht und Sonne auf die Stimmung, die gesamte Wohnqualität gesteigert. So sollten Aufenthaltsräume auf der Südseite, Nebenräume dagegen an der Nordseite eingerichtet werden. Zu prüfen ist im Einzelfall die Verschattung durch Nachbargebäude und Bäume. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle, kombiniert mit einer wirkungsvollen Heizanlagentechnik, ermöglicht eine wirtschaftliche und umweltschonende Energienutzung.

1.1 Thermische Solaranlagen

Im Sonnenkollektor wird die einstrahlende Sonnenenergie vom Absorber aufgenommen und an die Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser und Frostschutzmittel) abgegeben. In einem geschlossenen Kreislauf wird die gewonnene Energie über einen Wärmetauscher an den Wärmespeicher weitergeleitet. Eine elektronische Steuerung schaltet die Pumpe des Solarkreislaufes immer dann ein, wenn die Kollektortemperatur um einen bestimmten Betrag über der Speichertemperatur liegt.

Moderne Kollektoranlagen können heute zwischen 35 % und 45 % der im Jahr eingestrahlteten Sonnenenergie in nutzbare Wärme umwandeln.

Dabei sind folgende Faktoren ausschlaggebend für den Energieertrag einer Solaranlage (Anlagewirkungsgrad):

■ Äußere Einflussfaktoren

- Ausrichtung des Daches
- der Temperaturunterschied zwischen Kollektor und Umgebung
- die Strahlungsintensität am Aufstellungsort (Solarenergieangebot im jahreszeitlichen Wechsel)
- Standortbedingungen (Hangneigung, Verschattung durch Bäume und Gebäude)

■ Betriebsbedingungen

- die Kollektorbauart (Vakuurröhren- oder Flachkollektor)

- die Speicherbauart
- die Anlagenerverrohrung einschließlich Wärmedämmung

Um eine Verschattung von Kollektorflächen zu minimieren, sind möglichst hoch gelegene Aufstellorte, d. h. Dachflächen vorzuziehen. Der Energieertrag und die Kosteneffizienz resultieren wesentlich aus der Dachform, Dachneigung und der Stellung der Gebäude.

Kollektorneigungen um etwa 35 ° bei Südwest bis Südost-Ausrichtung der Dachflächen werden den meisten Anforderungen gerecht.

Gegenüber dem auf den Sommer beschränkten Betrieb stellt der Ganzjahresbetrieb von Kollektoren erhöhte Anforderungen an die Südausrichtung. Die Südabweichung sollte hier maximal 30 ° nicht überschreiten. Im Ganzjahresbetrieb gewinnt der Kollektor nur knapp 20 % mehr Wärme als in den Sommermonaten April bis Oktober.

Für die Dimensionierung einer Solaranlage ist vorab zu entscheiden, wie groß der Anteil am Energieverbrauch sein soll, den man durch die Solarenergie decken will. Erfahrungsgemäß schwankt der solare Deckungsanteil, der angibt wie viel Prozent der jährlich zur Warmwassererwärmung erforderlichen Energie durch die Solaranlage gedeckt werden kann, zwischen 30 und 70 %, je nach Auslegung und Bedarfsprofil des Verbrauchers. In Einzelfällen sind auch höhere Deckungsraten möglich. Eine 100%ige Bedarfsdeckung wird nur bei Passivhäusern realisiert.

Mit einer Solaranlage ist es möglich, von April bis Oktober den Warmwasserbedarf vollständig abzudecken.

In kalten Wintermonaten unterstützt die Solaranlage die Wassererwärmung.

Bei Einfamilienhäusern wird ein Gesamtdeckungsgrad der Warmwassererzeugung von 60 – 70 % angestrebt. Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser sind so bemessen, dass ein Gesamtdeckungsgrad zwischen 30 % und 50 % erzielt wird. Größere Solarflächen in Verbindung mit größeren Pufferspeichern verteuern die Energiekosten.

Mit steigender Tendenz werden Solaranlagen zur Unterstützung der Heizungsanlage für die Warmwassererwärmung und zum Beheizen des Gebäudes eingesetzt. Beim Heizen mit Solarunterstützung wird das von der Solaranlage vorgewärmte Wasser dem Heizkessel permanent zugeführt und entbindet dabei den Heizkessel besonders in der Übergangszeit von seiner uneffizienten Betriebsform. Es gibt spezielle Systemlösungen, die zu einer wesentlichen Heizkosteneinsparung führen, z. B. Brennwertkessel mit Niedertemperaturheizung.



1.2 Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung

Photovoltaik bezeichnet die direkte Umwandlung von Sonnen-/Strahlungsenergie in elektrische Energie mittels Solarzellen. Der Umwandlungsvorgang beruht auf dem bereits 1839 von Alexander Becquerel entdeckten Fotoeffekt. Unter dem Fotoeffekt versteht man die Freisetzung von positiven und negativen Ladungsträgern in einem Festkörper durch Lichteinstrahlung.

Photozellen können gegenüber Kollektoren den diffusen Strahlungsanteil bei bedecktem Himmel besser nutzen. Photovoltaikanlagen bieten einen breiteren Spielraum hinsichtlich der Ausrichtung der Module. Empfindlicher reagieren sie aber auf Schattenwurf. Durch diesen ist die Stromausbeute wesentlich geringer.

Solarzellen werden aus verschiedenen Halbleitermaterialien hergestellt. Silizium ist mit 95 % das gebräuchlichste Material. Die Leistung einer Photovoltaikanlage wird in „kWp“ (sog. Peakleistung) angegeben. Dies entspricht der Leistung der Anlage unter Standardtestbedingungen, d. h. bei einer Einstrahlung von 1000 W/m² in Modulebene, einer Umgebungstemperatur von 25 °C und einer Sonnenhöhe von ca. 42 ° über dem Horizont.

Solarzellen können zu leistungsstärkeren Solarmodulen verschaltet werden. Mehrere Solarmodule bilden einen Solargenerator.

Die Photovoltaik bietet somit von der Solarzelle bis zum Solargenerator Anwendungsmöglichkeiten in den unterschiedlichsten Leistungsbereichen.

Weitere typische Anwendungsgebiete der Photovoltaik sind Konsumgüter wie Uhren oder Taschenrechner; Einzelgeräte wie Notrufsäulen und Parkscheinautomaten, Solarmobile, netzferne Stromversorgungen in Ferienhäusern, abgelegenen Anwesen.

2 Beispiele von Solaranlagen in der Stadt Erfurt

Im Technologiedreieck Erfurt-Jena-Ilmenau forschen und produzieren fünfzehn Solarfirmen mit zusammen mehr als 1 000 Mitarbeitern. Keine weitere deutsche Region verfügt über eine derartige Dichte an Solarunternehmen. Mit der

- ErSol Solar Energy AG
- PV Crystalox Solar GmbH
- asola Advanced and Automotive Solar Systems GmbH

• CiS Institut für Mikrosensorik GmbH ist Erfurt-Südost der wichtigste Photovoltaik-Standort im Freistaat. Auch die Clusterinitiative "SolarInput" hat hier ihre Geschäftsstelle. Der Verein SolarInput e. V. ist ein Zusammenschluss von Thüringer Solarunternehmen, Forschungs- und Bildungseinrichtungen, Solarinitiativen, Gewerbetreibenden, Kommunen und anderer öffentlicher Einrichtungen aus Thüringen.

Er bildet eine Plattform für diese Akteure, um gemeinsame Projekte zu generieren und die Zusammenarbeit zu intensivieren. Öffentliche Schauprojekte und Ereignisse sollen die Aufmerksamkeit und Akzeptanz für solare Energienutzung in der Bevölkerung erhöhen und damit Lebensqualität und Umweltschutz verbessern helfen.

Effektive und zweckmäßige Solaranlagen erfordern eine ausführliche und gewissenhafte Planung. Durch die in Erfurt ansässigen Unternehmen der Mikrosystemtechnik und Photovoltaik, der Fachhochschule, den industrienahen Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen und den Wohnhäusern mit beispielhaften Solar- und Photovoltaikanlagen kann man sich informieren und bezüglich der Gestaltungsmöglichkeiten inspirieren lassen.

Entsprechend dem Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) sind die Stromversorger, im Gebiet der Stadt Erfurt die SWE Netz GmbH als der Verteilnetzbetreiber der Stadtwerke Erfurt Gruppe jährlich verpflichtet, Daten zur Strom einspeisung aus EEG-Anlagen in ihr Stromnetz zu veröffentlichen. Dazu gehört u. a. die Mitteilung zu Stromeinspeisungen der EEG-Anlagen, die vom Verteilnetzbetreiber aufgenommen und vergütet wurden. Die nachfolgende Tabelle zeigt den Anstieg der Einspeisung aus Photovoltaikanlagen. 2007 beträgt der Anteil der PV-Anlagen an der Gesamtmenge aller Einspeisungen aus EEG-Anlagen 2,54 %.

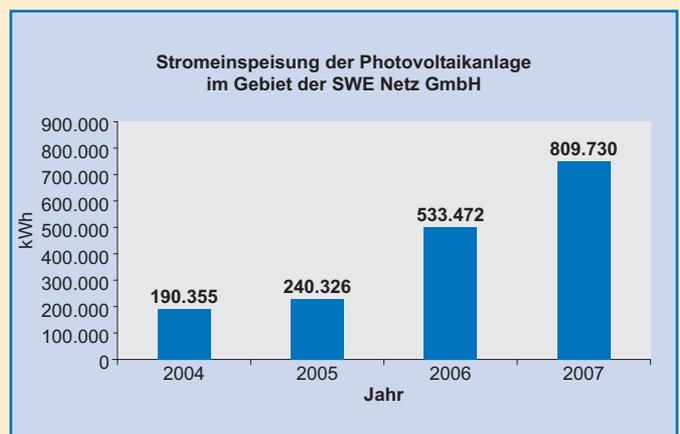


Diagramm 1: Stromeinspeisung der PV-Anlagen im Gebiet der SWE Netz GmbH

Solarstrom für Erfurter Schulen

1998 wurde durch die Stadt das Projekt "Solarstrom für Erfurter Schulen" ins Leben gerufen.

Seit 1999 unterstützen die SWE dieses Projekt und so sind bis 2008 bereits 39 Photovoltaikanlagen mit 1,1 - 2,6 kWp Leistung auf 38 Schulen installiert worden. Dabei war der Grundgedanke neben der CO₂-Reduzierung im Erfurter Stadtgebiet auch der Beitrag zur Umweltbildung der Schüler. Sie werden im Rahmen des Physikunterrichts über die Nutzung von solar- und regenerativen Energien aufgeklärt. Spezialsoftware informiert sie zusätzlich zu diesem Thema. An 9 Schulen sind die Photovoltaikanlagen mit Anzeigetafeln gekoppelt, die über den aktuellen Stand der Stromerzeugung informieren.

Die Schüler können so hautnah die Technik begreifen und werden für das Thema sensibilisiert.



Bild 2 und 3: Photovoltaikanlage Andreas-Gordon-Schule und Anzeigetafel



Naturschutzlehrstätte Fuchsfarm

Auf dem Dach der Naturschutzlehrstätte Fuchsfarm im Steigerwald ist eine 2,2 kWp-Anlage installiert. Diese ist ebenfalls mit einem Computer gekoppelt. Dort können die Besucher die jeweiligen aktuellen Erträge ablesen und erhalten Erläuterungen zu der Anlage. Die finanzielle Vergütung der Einspeisung wird für Projekte in der Fuchsfarm verwendet.



Bild 4: Photovoltaikanlage Naturschutzlehrstätte Fuchsfarm

Pilotanlage der PV Crystalox GmbH

Diese Pilotanlage wurde 2001 gebaut. An der Finanzierung war die Stadt mit 30.000 Euro beteiligt. Installiert sind hier 30 kWp. Die Zellen wurden am Standort produziert und auf einer Spezialkonstruktion vor der Fassade angebracht.



Bild 5 (© AEP Energie-Consult GmbH): PV-Anlage in Erfurt Südost am Gebäude der PV Crystalox Solar GmbH (30 kWp)



Das Bürgerkraftwerk der SWE Energie GmbH auf dem Dach des Thüringer Landtages

Die SWE Energie GmbH hat auf dem Funktionsgebäude des Thüringer Landtages eine Photovoltaikanlage errichten lassen. Auf rund 300 m² wurden 114 Module mit einer Leistung von 19,95 kWp installiert, die ca. 18 MWh Strom pro Jahr erzeugen. Damit kann der Strombedarf von vier 4-Personen-Haushalten in Erfurt gedeckt werden.

Diese Anlage wird seit 2004 als ein Bürgerkraftwerk betrieben. Bisher haben sich knapp 200 Interessenten an diesem Bürgerkraftwerk durch den Kauf von Anteilen beteiligt. Wenn sie keine eigene Fläche für eine Photovoltaikanlage zur Verfügung haben oder eine eigene Anlage Ihre Finanzmittel übersteigt, können sie sich z. Z. an diesem Bürgerkraftwerk in Erfurt beteiligen.

Bereits ab 500 Euro ist es möglich, einen Anteilsschein bei der SWE Energie GmbH zu erwerben.

PV-Anlage auf dem Dienstleistungszentrum der SWE-Gruppe

Auf dem Dach der Stadtwerke Erfurt GmbH in der Magdeburger Allee ist eine PV-Anlage mit einer Gesamtleistung von 21,44 kWp installiert. Eine Anzeigetafel gibt die jeweils aktuellen Daten z. B. zur Einspeisemenge und zur aktuellen Leistung an.

134 Module wurden installiert. Damit werden jährlich 18 - 20 MWh erzeugt.



Bild 6 (© SWE Netz GmbH): PV-Anlage auf dem Gebäude C des Dienstleistungszentrums der SWE-Gruppe

Juri-Gagarin-Ring 128-130

Der vorbildlich sanierte 11-geschossige Wohnblock (KO-WO) stellt eine Besonderheit unter den Erfurter Plattenbauten dar.

Im Zuge der umfangreichen Instandsetzung wurde eine am 12.02.2001 in Betrieb gegangene Solaranlage errichtet. Das Kollektorfeld ist als Balkonbrüstung in die Fassade des Gebäudes integriert worden. Da der Minderertrag bei senkrecht aufgestellten (90 °) Flachkollektoren, gegenüber einer Aufstellung von 35 °, ca. 40 % beträgt, wurden Vakuumröhrenkollektoren verwendet. Die einzelnen Röhren wurden im Modul so gedreht, dass deren Absorber 45 ° angestellt sind. Es wurden nur an den oberen Etagen Kollektorenmodule montiert, da so dem Schattenwurf eines gegenüber stehenden 18-geschössigem Hochhauses ausgewichen wurde. Anlagen dieser Art werden als Vorwärmssysteme bezeichnet, da die Wärme in den Kaltwasserzufluss der Trinkwasserspeicher eingekoppelt wird. Zur Information und öffentlichkeitswirksamen Darstellung wurde an der Giebelwand eine Datenanzeige installiert, welche den aktuellen Tages- bzw. Jahresertrag der Solaranlage anzeigt.

Technische Daten:

Kollektoren: Typ/Hersteller:	Saido 2-8/Daimler Benz Aerospace
Kollektorfläche (aktive Absorberfläche):	128 m ²
Anzahl Kollektoren:	85
Ausrichtung:	Süd - 20 ° (nach Osten)
Anzahl/Volumen Pufferspeicher:	1 x 10,0 m ³
Objektbelegung:	256 Wohnungen (ca. 590 Bewohner)
Warmwasserverbrauch (Auslegungsverbrauch):	14 m ³ /d
konventionelles Heizsystem:	Fernwärme





Bild 7: in die Fassade integrierte Balkonbrüstung des Gebäudes Juri-Gagarin-Ring 128-130



Bild 8: Detailsicht

Photovoltaik-Demonstrationsanlage Kath. Pfarramt St. Lorenz, Erfurt

Seit 2001 ist auf dem der Kirche "St. Lorenz" zugehörigen Gartenhäuschen eine von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und dem Thüringer Wirtschaftsministerium mitfinanzierte Solaranlage montiert.

Das eingeschossige Gebäude mitten in der Stadt wird als Gemeinderaum für Veranstaltungen und Religionsunterricht genutzt.

Es ist ca. 1972 errichtet worden und das nach Norden leicht ansteigende Flachdach ist größtenteils nach Süden ausgerichtet. Die 18 Solarmodule wurden mit Hilfe einer Gestellkonstruktion auf dem Flachdach befestigt. Die Gesamtleistung der PV-Anlage beträgt 2,88 kWp. Der Wechselrichter im Gebäude unmittelbar unter dem Generator hat eine Leistung von 2,5 kW und die gleichstromige Systemspannung beträgt 205,2 V.

Das Pfarramt St. Lorenz hat diverse Maßnahmen zur Bekanntmachung der Anlage organisiert. So wurde zur Demonstration und Visualisierung eine Schautafel vor dem Haus, von der Gasse Pilsa aus einsehbar, errichtet. Es finden Seminare und Kurse zu erneuerbaren Energien in Kooperation mit anliegenden Schulen statt und die Anlage wird bei den im Hause stattfindenden Veranstaltungen vorgestellt und erläutert.



Bild 9 und 10: Gartenhäuschen kath. Pfarramt St. Lorenz, Infotafel



Photovoltaik-Demonstrationsanlage Ursulinenkloster, Erfurt

Im Jahr 2002 wurde die PV-Anlage des Ursulinenklosters fertig gestellt. Mitfinanziers waren hier ebenfalls die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und das Thüringer Wirtschaftsministerium.

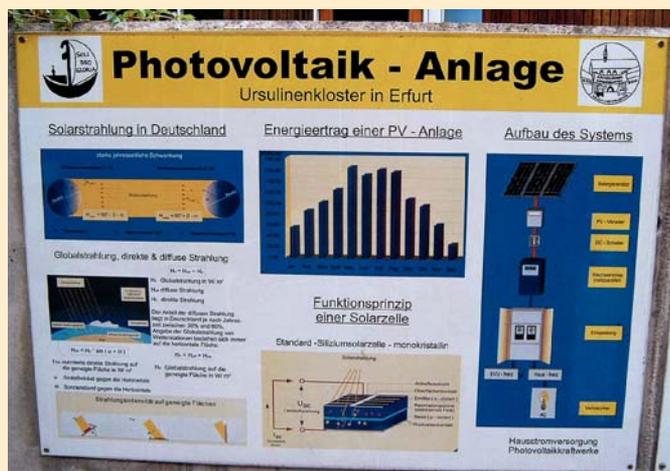
Die Anlage ist auf dem nach Süden ausgerichteten Dach des Gartenhäuschens installiert. Sie besteht aus 36 Modulen. Es wurden 3 Wechselrichter mit jeweilig 1,5 kW angebracht.



In Zusammenarbeit mit dem benachbarten Gymnasium und dem auf dem Klostergelände befindlichen Tagungshaus finden Schulungen zu erneuerbaren Energien statt. Zu diesem Zwecke und zur Besucherinformation wurden Schautafeln auf dem Gelände angebracht. Auf diesen wird zum Einen das Prinzip der Stromgewinnung mit PV-Modulen im Allgemeinen erklärt. Zum Anderen werden die technischen Daten und die Funktionsweise der Anlage dargestellt.



Bild 11 und 12: Gartenhäuschen Ursulinenkloster, Informationstafel



Photovoltaikanlage Erfurt, Pergamentergasse 27-29

Eine weitere Anlage befindet sich im Sanierungsgebiet der Erfurter Altstadt.

Insgesamt sind hier 3 kWp installiert. Durch die Verwendung von amorphem Silizium wird dem Denkmalschutz Rechnung getragen. Die Module haben eine dunkle Farbe. Selbst bei diffuser Strahlung wird Strom erzeugt. Die nicht durch Solarzellen belegte Dachfläche musste aus Denk-

malschutzgründen mit gleichfarbigen Verkleidungen versehen werden.



Bild 13: Erfurt, Pergamentergasse 27 - 29

Ein besonderes Beispiel der Nutzung von Solarenergie ohne Solarzellen findet man im Bürohaus Leipziger Straße 71 in Erfurt

Der aus den 70er Jahren stammende Betonbau mit vorgehängter Leichtmetallfassade wurde im Jahre 2002 von der LEG Thüringen auf zukunftsweisende Art saniert. Dämmen mit Licht ist die passende Beschreibung für die rund 4 000 m² große ESA-Solarfassade, welche die ursprüngliche asbesthaltige Hülle des Gebäudes ersetzte. Die innerhalb von 4 Wochen errichtete Fassade reduzierte den Energieverbrauch durch hervorragenden Wärmeschutz und steigerte sichtbar die architektonische Qualität. Das fortschrittliche Fassadensystem kombiniert Holzständerwände mit Zellulosewaben, die durch eine hinterlüftete Verglasung vor der Witterung geschützt werden und als Sonnenfalle wirken: Die im Winter niedrig stehende Sonne dringt tief in die Waben ein und erwärmt diese auch bei Außentemperaturen von minus 10 °C bis auf ca. 50 °C. Die dadurch entstehende warme Zone an der Außenseite der Wand verringert den Heizenergiebedarf des Gebäudes beträchtlich. Im Sommer verschattet sich die Solarwabe durch den hohen Sonnenstand von selbst. Die Solarwaben sind durch die außen liegende Vollverglasung sichtbar und geben so der Fassade Struktur und Tiefe. Ein wechselndes Farbenspiel interpretiert die Lichtsituation im Tages- und Jahresverlauf.

Die ESA-Solarfassade ist baubiologisch einwandfrei aufgebaut und vergleichsweise preiswert herzustellen. Das System ist vollständig recyclebar und trägt so zu einer ökologisch nachhaltigen Gesamtlösung bei.





Bild 14 (© LEG Thüringen): Gebäude mit ESA-Solarfassade Leipziger Str.

3 Wetterdaten

Durch die geografische Lage von Erfurt sind gute Voraussetzungen zur Nutzung der Sonnenenergie gegeben. Die Sonnenscheindauer liegt im Bundesdurchschnitt.

3.1 Sonnenscheindauer in Erfurt

Die mittlere Sonnenscheindauer in Erfurt (Wetterstation Bindersleben) beträgt gegenwärtig ca. 1 790 Stunden pro Jahr. Ihre monatliche Verteilung und Steigerung seit 1961 zeigt Tabelle 1.

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun
1961 - 1990	50,2	71,9	112,3	151,9	205,5	204,4
1991 - 2000	56,4	86,3	114,8	164,0	215,7	205,0
1991 - 2007	62,5	82,2	122,0	176,6	216,0	219,0
2001 - 2007	71,1	76,5	132,2	194,6	216,5	239,1

Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
218,5	204,1	155,2	114,1	58,8	41,5	1588,3
211,4	214,4	148,4	110,8	53,3	47,3	1627,8
220,2	210,6	159,9	117,0	58,7	49,9	1694,6
232,8	205,3	176,4	125,8	66,5	53,5	1790,3

Tabelle 1: Mittlere Monatssummen der Sonnenscheindauer für Erfurt in Stunden seit dem Jahr 1961.

3.2 Globalstrahlung in Erfurt

Als Globalstrahlung, die Summe der direkten und diffusen Sonnenstrahlung, bezeichnet man die Menge der Son-

nenenergie welche die Erdoberfläche erreicht (kWh/m^2). Sie ist außer vom Sonnenstand in starkem Maße von den Wetterverhältnissen abhängig (Bild 15).

Die mittlere Jahressumme der Globalstrahlung beträgt für Erfurt (Wetterstation Bindersleben) etwa $1\,130 \text{ kWh/m}^2$. Die monatlichen Strahlungswerte sind in Tabelle 2 dargestellt.

Jan	Feb	März	April	Mai	Juni
37,7	60,4	88,8	127	148	137

Juli	August	Sept	Okt	Nov	Dez
151	135	103	75,8	40,1	25,9

Tabelle 2: Mittlere Monatssumme der Globalstrahlung für Erfurt in kWh/m^2 .

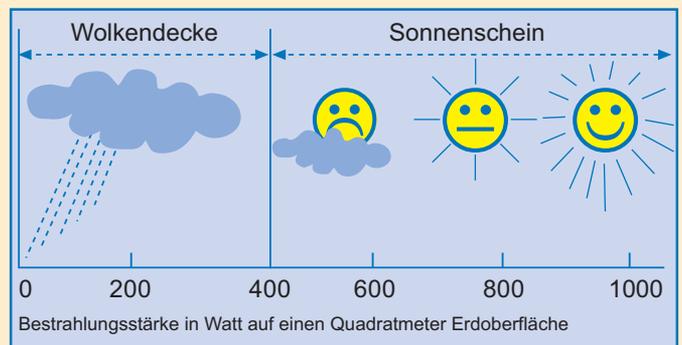


Bild 15: Zusammenhang zwischen Wetterverhältnissen und Stärke der Solarstrahlung

4 Ermittlung des nutzbaren Solarenergieangebotes

Die gemessenen Werte der Globalstrahlung beziehen sich auf eine horizontale Fläche. Auf Dachflächen angebrachte Kollektoren weisen jedoch üblicherweise einen von der Horizontalen abweichenden Neigungswinkel auf. Durch diese Kollektorneigung und eine mögliche Abweichung von der Südausrichtung ändert sich die nutzbare solare Strahlungsleistung. Diese muss - getrennt für diffuse und direkte Strahlung - berechnet werden.

Die nachfolgenden Werte gelten für die Strahlungsverhältnisse von Erfurt-Bindersleben (2007).

4.1 Diffuse und direkte Strahlungsanteile

Die Anteile diffuser und direkter Strahlung sind im Verlauf eines Jahres unterschiedlich. Die anzusetzenden Faktoren „a“ und „b“ sind Tabelle 3 zu entnehmen.



Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun
Anteil diffuse Strahlung = Faktor a	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,7
Anteil direkte Strahlung = Faktor b	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,3

Monat	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Anteil diffuse Strahlung = Faktor a	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
Anteil direkte Strahlung = Faktor b	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3

Tabelle 3: Aufteilung der Solarstrahlung in direkte und diffuse Strahlung

Die nutzbare diffuse Solarstrahlung ist abhängig vom Kollektorneigungswinkel. Der betreffende Korrekturfaktor „c“ ist aus Tabelle 4 zu entnehmen.

Kollektor-Neigungswinkel zur Horizontalen	0 °	30 °	45 °	60 °
Korrekturfaktor c für diffusen Strahlungsanteil	0,5	0,9	0,9	0,8

Tabelle 4: Korrekturfaktor "c" für den diffusen Strahlungsanteil in Abhängigkeit vom Kollektor-Neigungswinkel

Die nutzbare direkte Solarstrahlung ist abhängig vom Kollektorneigungswinkel und der Ausrichtung. Der entsprechende Korrekturfaktor „d“ ist aus Tabelle 5 zu entnehmen.

Korrekturfaktor d für direkten Strahlungsanteil				
Neigung	Ausrichtung	Frühjahr/Herbst	Sommer	Winter
0 °	SÜD	1,0	1,0	1,0
	SW/SO	1,0	1,0	1,0
	W/O	1,0	1,0	1,0
30 °	SÜD	1,4	1,1	2,4
	SW/SO	1,3	1,0	1,9
	W/O	0,9	0,9	0,9
45 °	SÜD	1,5	1,0	2,8
	SW/SO	1,3	0,9	2,2
	W/O	0,7	0,7	0,7
60 °	SÜD	1,5	0,9	3,1
	SW/SO	1,2	0,8	2,3
	W/O	0,5	0,5	0,5

Tabelle 5: Korrekturfaktor "d" für den direkten Strahlungsanteil

Die jeweils fett markierten Werte gelten für das nachfolgende Berechnungsbeispiel.

4.2 Allgemeiner Rechenweg zur Ermittlung der nutzbaren Globalstrahlung

Für die Ermittlung der mit einer Solaranlage nutzbaren Energie ist die mittlere tägliche Globalstrahlung in den einzelnen Monaten des Jahres eine wichtige Eingangsgröße. Aus der mittleren monatlichen Globalstrahlung wird die nutzbare Globalstrahlung für den betreffenden Anwendungsfall monatsweise wie folgt berechnet:

Schritt 1: Entnahme des Wertes der mittleren Globalstrahlung (Monatswert) am Aufstellungsort Erfurt aus Tabelle 2

Schritt 2: Abschätzung der Anteile der diffusen und der direkten Strahlung

Diffuser Strahlungsanteil =
Monatswert x Faktor a (aus Tabelle 3)

Direkter Strahlungsanteil =
Monatswert x Faktor b (aus Tabelle 3)

Schritt 3: Ermittlung der auf eine beliebig orientierte Fläche auftretenden nutzbaren Strahlung

Nutzbare Strahlung =
diffuser Strahlungsanteil x Faktor c (aus Tabelle 4)
+ direkter Strahlungsanteil x Faktor d (aus Tabelle 5)

Diese Berechnung ist für jeden einzelnen Monat durchzuführen. Die Summe der Monatswerte ergibt die jährliche nutzbare Strahlung.

4.3 Rechenbeispiel

Die monatsweise Berechnung der nutzbaren Strahlung ist in Tabelle 6 für einen Anwendungsfall dargestellt, bei dem der Kollektor mit einer Neigung von 30 ° zur Horizontalen und nach Süden aufgestellt wird. Die Rechenwerte wurden auf ganze Zahlen gerundet.

Die nutzbare Strahlung bei einer Kollektorneigung von 45 ° und Südausrichtung sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Die Rechenwerte wurden auf ganze Zahlen gerundet.



Jahressumme nutzbarer Sonnenenergie:
1 246 kWh/m²a. Anteil Mai bis September: 695 kWh/m²a.

	Winter			Frühjahr			Sommer			Herbst		
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1. Tageswert (Mittelwert der täglichen Globalstrahlung) in kWh/m ²	1,22	2,16	2,86	4,23	5,08	4,77	4,87	4,35	3,43	2,45	1,33	0,84
2. Monatswert der Globalstrahlung in kWh/m ²	38	60	89	127	148	137	151	135	103	76	40	26
3. diffuser Strahlungsanteil (= Monatswert x Faktor a)	27	36	62	76	74	96	91	81	62	46	28	18
direkter Strahlungsanteil (= Monatswert x Faktor b) in kWh/m ²	11	24	27	51	74	41	60	54	41	30	12	8
4. diffuser Anteil x Faktor c	24	32	59	68	67	86	82	73	56	41	25	16
direkter Anteil x Faktor d in kWh/m ²	26	58	65	71	104	57	66	59	45	42	13	11
nutzbare Strahlung in kWh/m ²	50	90	124	139	171	143	148	132	101	83	38	27

Tabelle 6: Rechenbeispiel für die Ermittlung der nutzbaren Solarstrahlung (Solaranlage nach Süden ausgerichtet, Neigungswinkel $\beta = 30^\circ$)

	Winter			Frühjahr			Sommer			Herbst		
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1. Tageswert (Mittelwert der täglichen Globalstrahlung) in kWh/m ²	1,22	2,16	2,86	4,23	5,08	4,77	4,87	4,35	3,43	2,45	1,33	0,84
2. Monatswert der Globalstrahlung in kWh/m ²	38	60	89	127	148	137	151	135	103	76	40	26
3. diffuser Strahlungsanteil (= Monatswert x Faktor a)	27	36	62	76	74	96	91	81	62	46	28	18
direkter Strahlungsanteil (= Monatswert x Faktor b) in kWh/m ²	11	24	27	51	74	41	60	54	41	30	12	8
4. diffuser Anteil x Faktor c	24	32	59	68	67	86	82	73	56	41	25	16
direkter Anteil x Faktor d in kWh/m ²	31	67	76	76	111	62	60	54	41	45	18	12
nutzbare Strahlung in kWh/m ²	55	109	135	144	178	148	142	127	97	86	43	28

Tabelle 7: Rechenbeispiel für die Ermittlung der nutzbaren Solarstrahlung (Solaranlage nach Süden ausgerichtet, Neigungswinkel $\beta = 45^\circ$)

Die Jahressumme der nutzbaren Sonnenenergie beträgt
1 292 kWh/m².

5 Kriterien zur Errichtung einer Solaranlage

5.1 Standortvoraussetzungen

Grundsätzlich sind die fünf baulichen Faktoren

- Dachausrichtung von Südost bis Südwest
- keine Verschattung durch Nachbargebäude oder Bäume
- geeigneter Montageort für den Kollektor - Statik beachten,
- geeigneter Aufstellungsort für den Speicher,
- zentrale Warmwasserbereitung des Gebäudes,

bedeutend für die sinnvolle Nutzung der Solarenergie. Im Allgemeinen werden die Kollektoren auf dem Dach montiert. Neben dem Hausdach ist auch das Flachdach des Carports oder ein Nebengebäude geeignet. Wie viel der Sonnenenergie im Laufe des Jahres auf ein geneigtes Dach fällt, ist von Ausrichtung, Neigung und Verschattungssituation abhängig.

Eine maximale Einstrahlung ist bei einer Südausrichtung von $\alpha = 0^\circ$ und einer Neigung von $\beta = 30^\circ$ zu erreichen. Spitzenleistungen erzielt eine thermische Solaranlage zur Warmwasseraufbereitung bei einer Südausrichtung ($\alpha = 0^\circ$) und einer Neigung von $\beta = 45^\circ$. Neigungswinkel die von dieser optimalen Ausrichtung abweichen, können in weiten Bereichen toleriert werden, ohne dass damit nennenswerte Strahlungs- bzw. Ertragseinbußen verbunden sind. Auch die strahlungsärmeren Ost- bzw. Westdachlagen können genutzt werden, wenn der Richtungs-nachteil durch vergrößerte Kollektorflächen ausgeglichen wird. So ist jedes Dach mit einer Ausrichtung zwischen Südosten und Südwesten und einer Neigung von 20° bis 50° solartechnisch gut nutzbar.

Ein geeigneter Aufstellungsort für den Solarspeicher ist in der Nähe des Heizkessels gegeben. Es sollte dort ausreichend Raumhöhe vorhanden sein. Neben den günstigen Aufstellungsorten für Kollektor und Speicher ist es empfehlenswert, einen zentral gelegenen Warmwasserspeicher im Gebäude zu integrieren.

Unter dem Begriff der passiven Sonnenenergienutzung versteht der Fachmann energiegerechtes Planen und Bauen. Wobei die Planung nicht erst beim Gebäude beginnen darf, sondern z. B. bereits bei der Erstellung des Bebauungsplanes einsetzt.

Das Ziel ist, Wärmegewinne aus der Sonneneinstrahlung direkt zur Gebäudeheizung zu nutzen. Dabei werden



keine Hilfsaggregate bzw. -energien benötigt. Nur die Lage und die Konstruktion des Gebäudes entscheiden über Erfolg oder Misserfolg.

Städtebauliche Vorgaben (städtebaulicher Entwurf) schaffen oder verhindern die Möglichkeiten zur passiven und aktiven Nutzung der Sonnenenergie und haben somit großen Einfluss auf das solare Potenzial. Die Folgen sind ein erhöhter Heizwärmebedarf und sogar erhöhte Baukosten, da aufgrund der Energieeinsparverordnung (EnEV) ungünstige Besonnungsvoraussetzungen durch eine verstärkte Wärmedämmung wieder ausgeglichen werden müssen.

Die wesentlichsten städtebaulichen Rahmenbedingungen, welche die passiv - solaren Gewinne bestimmen, sind:

- Orientierung/Stellung des Gebäudes
- Dachneigung und Dachform
- Verschattung durch Nachbargebäude
- in Ausnahmefällen Verschattung durch Topographie
- Verschattung durch Vegetation

Beim Aufbau einer Solaranlage sind mehrere Kriterien der Verschattung durch die Vegetation zu beachten:

- Anordnung der Vegetation (geschlossen oder offen) vor der sonnenbeschienenen Fassade
- Baumart (Nadel- oder Laubbaum) oder Strauchart (immergrün oder blattwerfend)
- Höhe der Vegetation in Abhängigkeit zum Abstand zur Fassade
- Kronenform, Durchlässigkeit der Krone (Dichte des Geästes und Laubwerks)
- Belaubungsdauer, d. h. Zeitpunkt des Blattaustriebes und Blattabwurfs

Auch der Schatten entlaubter Bäume führt zur Minderung des solaren Ertrages.

5.2 Planung

Besonders wichtig für die Vermeidung erheblicher und unnötiger Kostensteigerungen ist die frühzeitige und genaue Abstimmung zwischen den einzelnen Gewerken. So gibt es z. B. bei Schrägdächern aufgrund mangelnder Koordination zwischen Dachdecker und Solarbetrieb oftmals Probleme. Es werden Gerüstzeiten nicht abgestimmt und zusätzliche Kraneinsätze nötig. Auch schließen

Dachdecker oftmals das Dach komplett, sodass die Solarfirma es anschließend wieder öffnen und der Dachdecker es aus Gewährleistungsgründen später wieder decken muss.

Wird der Einbau von Heizungsanlage und Solaranlage von zwei unterschiedlichen Firmen durchgeführt, ist es wichtig, die Schnittstellen genau zu beschreiben. Besonders die Koordination im Technikraum -sollte sie den beteiligten Firmen überlassen werden- führt häufig aufgrund mangelnder Absprachen und Informationen zu gegenseitigen Behinderungen und zu unnötigen Mehrkosten.

6 Solarthermieanlagen und deren Dimensionierung

Bei den Berechnungen in den Kapiteln 6 bis 8 in dieser Broschüre handelt es sich um unverbindliche Beispiele. Die Investition in eine Solaranlage sollte immer im Einzelfall auf Ihr spezielles Anliegen hin durch einen Installateur berechnet und geprüft werden. Nutzen Sie vorab die Möglichkeit der Beratung durch einen unabhängigen Energieberater. Im Kapitel 9 sind Anlaufstellen genannt.

6.1 Anlagedimensionierung mittels Faustformel oder Nomogramm

Faustformel:

Bei kleineren Anlagen ist das Optimum nicht sehr scharf ausgeprägt. Deshalb genügen zur überschlägigen Berechnung Faustformeln:

Kollektorfläche

etwa 1,0 bis 1,2 m² pro Person bei Verwendung von Flachkollektoren
(Vakuumkanalaktoren Faktor 0,8)

Speichervolumen

etwa 2,5-fachen Tages-Warmwasserbedarf

Beispiel:

Für einen 4-Personen-Haushalt mit durchschnittlich 26 Liter Warmwasserbedarf pro Person und Tag ergibt sich demnach:

Kollektorfläche	$4 \times 1,0 - 1,2 \text{ m}^2 = 4,0 \text{ bis } 4,8 \text{ m}^2$
Speichervolumen	$2,5 \times 26 \text{ l} \times 4 = 260 \text{ l}$



Nomogramm:

Hilfreich bei der Planung einer Kleinanlage ist ein Nomogramm, in dem sich für einen vorgegebenen Verbrauch die Kollektorfläche und das Speichervolumen für einen angestrebten solaren Deckungsgrad ablesen lässt. Ein Nomogramm bezieht sich auf einen bestimmten Kollektortyp und konkrete Strahlungsbedingungen und findet sich außer in der Fachliteratur auch in den technischen Daten der Kollektoranbieter.

Bild 16 zeigt die Ermittlung der Kollektorfläche mittels eines Nomogramms für einen 4-Personen-Haushalt bei einem mittleren Wasserverbrauch von 30 l pro Person und Tag.

In den folgenden Kapiteln sind konkrete Beispielrechnungen aufgeführt. Sie sollen zur Orientierung dienen. Wem diese zu kompliziert oder nicht konkret zutreffend sind,

der kann sich individuell beim Heizungsinstallateur beraten lassen. Die Handwerkskammer Erfurt zertifiziert seit kurzem Fachbetriebe für Erneuerbare Energien. In der Anlage 2 sind die bisher zertifizierten Betriebe genannt. Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da die Weiterbildungen ständig durchgeführt werden. Aktuelle Informationen dazu können Sie bei der Handwerkskammer Erfurt, Tel. 0361 67070 oder unter www.hwk-erfurt.de erhalten.

Wer selbst seine eigene Berechnung für eine spezielle Solaranlage durchführen möchte, kann das im Internet z. B. auf der Seite www.solarrechner.de vornehmen. Die Seite wird regelmäßig aktualisiert.

Weitere Informationen hierzu sind im Punkt 9 enthalten. Im Handel sind inzwischen auch komplette Systemanlagen erhältlich, eine Beratung kann auch dort bzw. bei den Modulherstellern erfolgen.

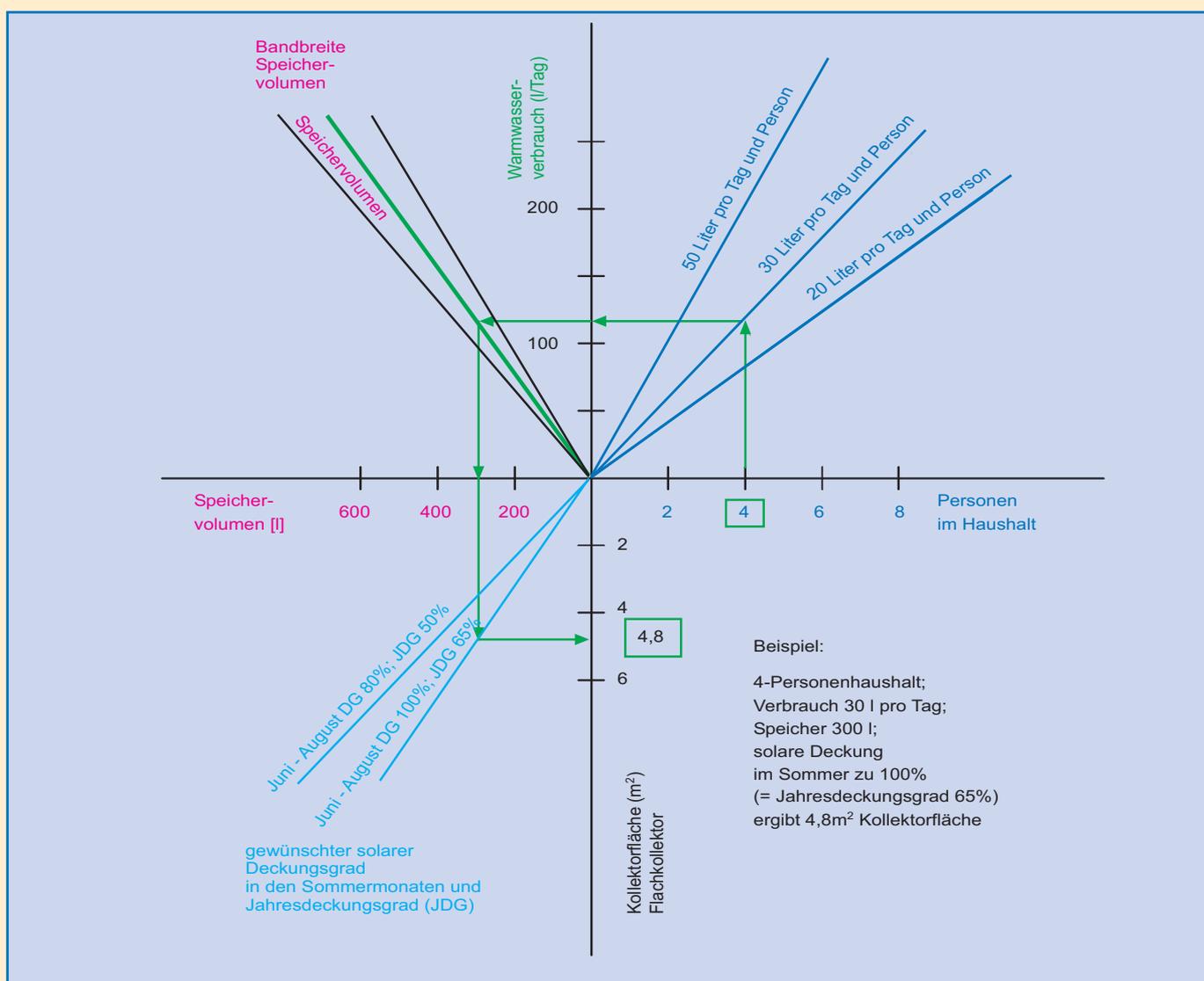


Bild 16: Nomogramm zur Auslegung einer kleinen Solaranlage



6.2 Ermittlung des Wärmebedarfes

Zur Festlegung der Kollektorfeldgröße muss der bereitzustellende Wärmeertrag unter Beachtung des solaren Deckungsgrades und der Wärmeverluste (Wirkungsgrad) ermittelt werden. Für die Bestimmung des Wärmebedarfs ist es angeraten, den tatsächlichen Warmwasserverbrauch anzusetzen, da er als wichtige Eingangsgröße in die Anlagendimensionierung einfließt. Die Richtwerte für Wohngebäude sind in der VDI 2067 Bl. 4 Tafel 1 enthalten. Der für Erfurt ermittelte Warmwasserbedarf beträgt 15 bis 30 l pro Person und Tag.

Für die nachfolgenden Berechnungen wurde einheitlich angesetzt:

Warmwasserverbrauch pro Person und Tag: 26 l
Zapftemperatur Warmwasser am Speicher: 60 °C
Zuflusstemperatur Kaltwasser: 10 °C

Erforderliche Wärmemenge pro Liter Wasser für die o. g. Temperaturdifferenz ΔT von 50 K:
= spezifische Wärmekapazität Wasser c_w
x Temperaturdifferenz ΔT
= 1,163 Wh/l.K x 50 K = 0,058 kWh/l

Der benötigte (Nutz-) Wärmebedarf zur Warmwassererwärmung errechnet sich wie folgt:

Wärmebedarf [kWh] = Warmwasserverbrauch pro Person und Tag x Personenzahl x Zahl der Verbrauchstage x erforderliche Wärmemenge pro l

Beispiel:

Wärmebedarf pro Person und Tag = 26 l/Person und Tag x 0,058 kWh/l = 1,51 kWh

Pro Person muss pro Tag mindestens 1,51 kWh solare Wärme bereit gestellt werden, um den Wärmebedarf zur Warmwassererwärmung solar abzudecken. Der tatsächliche Wert ist höher aufgrund zu berücksichtigender Wärmeverluste.

6.3 Ermittlung der Kollektorfeldgröße

Die wichtigsten Einflussgrößen sind:

- **Strahlungsbedingungen** am Aufstellungsort und Ausrichtung der Kollektorfläche (Himmelsrichtung; Neigungswinkel);

- **gewünschte solare Bedarfsdeckung** (solarer Deckungsgrad);

- **Systemwirkungsgrad des Solarsystems**

Solarer Deckungsgrad:

Der solare Deckungsgrad sagt aus, welchen Anteil vom Jahres-Wärmebedarf der solare Wärmeertrag deckt:

$$\text{Solarer Deckungsgrad [\%]} = \frac{\text{Nutzbarer solarer Wärmeertrag [kWh/a]}}{\text{Jahres - Wärmebedarf [kWh/a]}} \times 100\%$$

Unter energietechnischen und ökonomischen Aspekten können verschiedene Ziele der solaren Bedarfsdeckung verfolgt werden (Tabelle 8):

Maximale Verbrauchsdeckung:

Deckung des Warmwasserbedarfs über einen großen Zeitraum des Jahres, beispielsweise von April bis September.

Folge: Große Kollektorfläche, hoher ungenutzter solarer Überschuss im Sommer, höhere Kosten, geringe Wirtschaftlichkeit. Überfordert wäre eine Solaranlage, wenn sie auch noch an strahlungsarmen Wintertagen den erforderlichen Wärmebedarf decken sollte. Die 100%ige solare Deckung des Jahresbedarfs ist nach dem derzeitigen Stand nicht sinnvoll.

Bedarfs- und kostenoptimierte Auslegung:

100%ige solare Deckung des Warmwasserbedarfes in den heizungsfreien Sommermonaten.

Folge: Heizkessel braucht nicht in Betrieb gesetzt werden, solarer Überschuss hält sich in Grenzen, bessere Wirtschaftlichkeit.

Für häusliche Warmwasseranlagen kommt meist diese Strategie der solaren Bedarfsdeckung zur Anwendung.

Minimale Bedarfsdeckung:

Das solare Energieangebot im strahlungsreichsten Monat entspricht dem Warmwasserbedarf.

Folge: Kein solarer Überschuss, kleinere Anlagendimensionierung, geringere Kosten, bessere Wirtschaftlichkeit.

Diese Strategie wird beispielsweise angewendet zur Warmwasservorwärmung für größere Verbraucher.

Nachfolgende Übersicht zeigt verschiedene Strategien der solaren Bedarfsdeckung.



Zielstellung solarer Bedarfsdeckung	solarer Jahresdeckungsgrad
100 % Deckung über die Sommermonate hinaus	> 65 %
100 % Deckung in den Sommermonaten	60 - 65 %
> 95 % Deckung in den Sommermonaten	55 - 60 %
> 80 % Deckung in den Sommermonaten	< 55 %
Kombianlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung	maximal 35 %

Tabelle 8: Solare Bedarfsdeckung

Im Verlauf eines Jahres ist der solare Deckungsgrad unterschiedlich. Er kann zwischen 100 % im Sommer und rund 20 % im Winter liegen (Diagramm 2).

Systemwirkungsgrad der Solaranlage

Alle Komponenten der Solaranlage verursachen Wärmeverluste. Das Verhältnis der Nutzleistung zur aufgenommenen Leistung ist als Wirkungsgrad definiert. Er ist nicht konstant, sondern schwankt in Abhängigkeit von Betriebszustand und Randbedingungen.

Die Wirkungsgrade der Einzelkomponenten bestimmen den Systemwirkungsgrad, der stets kleiner ist als die Einzelwirkungsgrade.

Der Systemwirkungsgrad einer Solaranlage sagt aus, welcher Anteil der auf die Kollektorfläche auftreffenden Sonnenstrahlung als Nutzwärme anfällt und wirklich genutzt wird:

Systemwirkungsgrad =

$$\frac{\text{vom Solarsystem abgegebene Nutzwärme [kWh/m}^2\text{]}}{\text{auf Kollektorfläche eingestrahlte Energie [kWh/m}^2\text{]}} \times 100\%$$

Der Systemwirkungsgrad hängt außer vom technischen Aufbau, d. h. Kollektor, Rohrleitungen, Wärmetauscher, Speicher, Brauchwasserverteilungssystem, zudem von den Temperatur- und Einstrahlungsverhältnissen ab. Große Temperaturdifferenzen zwischen Kollektor, Wärmeträger und Umgebung sowie geringe Solarstrahlung verringern ihn; hohe Außentemperaturen und hohe Strahlungsintensitäten lassen ihn dagegen ansteigen. Deshalb arbeiten Kollektoren in den strahlungsreichen Sommermonaten mit höheren Wirkungsgraden (bis 80 %) als in der Übergangszeit und im Winter.

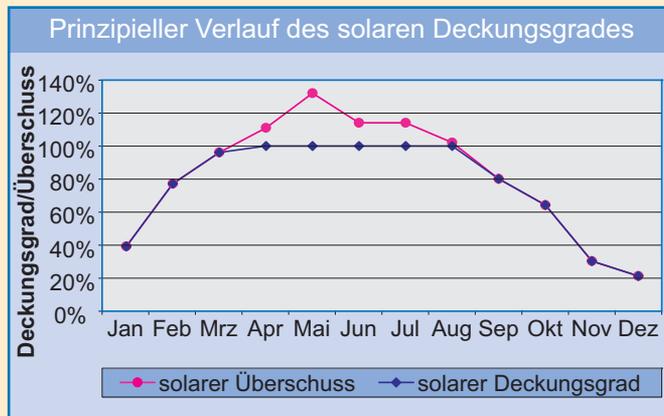


Diagramm 2: Solarer Deckungsgrad

Systemwirkungsgrad und Deckungsgrad sind voneinander abhängig. Wird der solare Deckungsgrad durch zu groß dimensionierte Solaranlagen angehoben, verkleinert sich wegen nicht nutzbarer Wärmeüberschüsse der Systemwirkungsgrad. Kleiner dimensionierte Anlagen weisen höhere Systemwirkungsgrade auf, weil die Überschussverluste geringer sind und der Kollektor in einem energetisch günstigeren Bereich arbeitet.

Aus Erfahrungswerten wird für die nachfolgenden Berechnungen in Abhängigkeit von der Kollektordimensionierung (spezifische Kollektorfläche) mit folgenden mittleren Systemwirkungsgraden gerechnet:

- Kollektorfläche pro Person $\geq 1,2 \text{ m}^2 \rightarrow$ Systemwirkungsgrad $\leq 0,25$
- Kollektorfläche pro Person $0,6 < 1,2 \text{ m}^2 \rightarrow$ Systemwirkungsgrad $0,25 - 0,35$
- Kollektorfläche pro Person $< 0,6 \text{ m}^2 \rightarrow$ Systemwirkungsgrad $0,35 - 0,40$

Unter Einbeziehung von Jahresdeckungsgrad und Systemwirkungsgrad wird die Kollektorfläche wie folgt berechnet:

Kollektorfläche $[\text{m}^2] =$

$$\frac{\text{(Nutz-) Wärmebedarf pro Jahr [kWh]}}{\text{nutzbare Strahlung pro Jahr [kWh/m}^2\text{]} \times \text{Jahresdeckungsgrad}} \times \text{Systemwirkungsgrad}$$

Als jährlicher Wärmebedarf ist der zuvor ermittelte spezifische Bedarf mit der Personenzahl und den Verbrauchstagen zu multiplizieren.



6.4 Speichervolumen

Um sonnenscheinarme Tage überbrücken zu können, muss in die Solaranlage ein ausreichend großer Warmwasserspeicher integriert werden. Wesentliche Kriterien zur Bestimmung des Speichervolumens sind:

- täglicher Warmwasserbedarf
- Zeitpunkte der Warmwasserentnahme (Zapfprofil)
- Temperatur im Speicher
- Leistungsreserve für sonnenscheinärmere Tage

Für die Rechenbeispiele wird der Faktor 2,5 (= 2,5 Speichertage) angesetzt. Zu kleine Speicher können zur Überhitzung des Solarkreislaufes führen, zu große führen neben hohen Kosten zu höheren Wärmeverlusten. Das notwendige Speichervolumen ergibt sich aus:

Speichervolumen = Warmwasserverbrauch pro Person und Tag x Personenzahl x 2,5 Tage

Im Solarspeicher muss eine geeignete Nachheizung sichergestellt werden. Bei der Auswahl des Speichertypes sind Typgrößen, Investitionskosten, praktische Anforderungen und die Art der Nachheizung zu beachten. Große Bedeutung kommt der Dämmung des Speichers zu, um Wärmeverluste gering zu halten.

6.5 Durchschnittliche Kosten

Die nachstehenden Angaben sind Orientierungswerte spezifischer Gesamtkosten für Solaranlagen zur Warmwasserbereitung: (Kollektor, Regelung, Verrohrung, Speicher, Montage).

Sie betragen in Abhängigkeit von der Kollektorfläche

- für Anlagen $\leq 20 \text{ m}^2$ ca. 650 EUR/m² ohne MwSt.
- für Anlagen $> 20 \text{ m}^2$ ca. 600 EUR/m² ohne MwSt.
- für Anlagen $> 100 \text{ m}^2$ ca. 500 EUR/m² ohne MwSt.

Ist bei Flachdächern eine Aufständigung erforderlich, erhöhen sich die Kosten um ca. 100 EUR/m² (ohne MwSt.). Zur Kostenabschätzung einer beliebig dimensionierten solarthermischen Anlage ist der spezifische Gesamtkostenwert mit der Kollektorfläche zu multiplizieren.

7 Thermische Solaranlagen in der Praxis

Die folgenden Anwendungsbeispiele zeigen verschiedene Nutzungsmöglichkeiten von Sonnenenergie für Wohngebäude: Warmwassererwärmung (Punkt 7.1) und Warmwassererwärmung mit Heizungsunterstützung (Punkt 7.2) für Einfamilienhäuser, Warmwasserbereitung und Warmwasservorwärmung mit Heizungsunterstützung für größere Wohngebäude (Punkt 7.3) sowie Nahwärmeversorgung (Punkt 7.4) und Schwimmbadheizung (Punkt 7.5).

7.1 Solare Warmwassererwärmung für Einfamilienhäuser

Solaranlagen zur Warmwasserbereitung stellen die zur Zeit bedeutendste thermische Solarenergienutzung dar. Bei entsprechender Dimensionierung ist es möglich, die häusliche Warmwasserversorgung im Sommer weitgehend ohne zusätzliche Fremdenergie sicherzustellen.

In dem nachfolgend beschriebenen Anwendungsfall wurde in einem Einfamilienhaus die Gasheizanlage erneuert und dabei für die Warmwasserbereitung eine Solaranlage realisiert. Die eingebaute Solaranlage ist schematisch in Bild 17 dargestellt. Erneuert wurden der Heizkessel, die Steuerung und der Speicher.



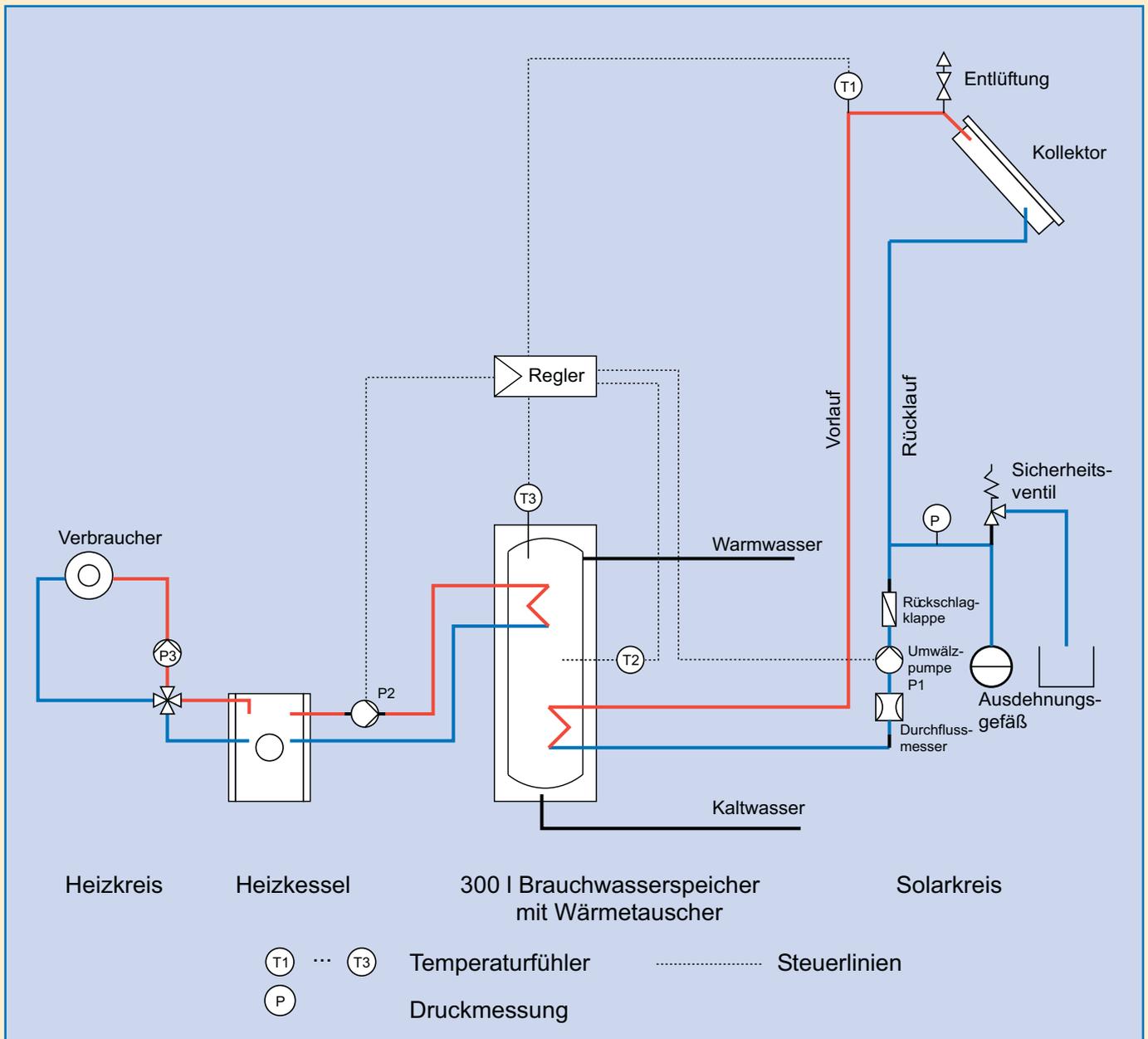


Bild 17: Solare Warmwassererwärmung eines Einfamilienhauses mit Nachheizung über einen Heizkessel

• Ermittlung des Wärmebedarfs

Der jährliche Wärmebedarf für die Warmwassererwärmung errechnet sich lt. Abschnitt 6.1 wie folgt (Vier-Personen-Haushalt; Warmwasserverbrauch 26 l pro Person und Tag; Speichertemperatur 60 °C; mittlere Kaltwassertemperatur 10 °C):

$$\text{Wärmebedarf/Monat} = 26 \text{ l/Pers. Tag} \times 4 \text{ Personen} \times \text{Tage/Monat} \times 0,058 \text{ kWh/l}$$

$$\text{Jahreswärmebedarf} = \text{Summe der Monatswerte} = 2\,202 \text{ kWh/a}$$

• Ermittlung der Kollektorfläche

Die solare Deckung des Wärmebedarfs für die Warmwasserbereitung soll über die Sommermonate hinaus (etwa von Mai bis September) weitestgehend 100 % betragen. Deshalb wird ein solarer Jahresdeckungsgrad von 70 % (0,7) angesetzt.

Aufgrund des solaren Überschusses in den strahlungsreichsten Monaten wird für den mittleren Systemwirkungsgrad der Wert 30 % (0,30) verwendet. Die für Erfurt errechnete Jahressumme der nutzbaren Solarstrahlung liegt bei 1 246 kWh/m²a (Tabelle 6).



$$\text{Kollektorfläche} = \frac{\text{Wärmebedarf pro Jahr}}{\text{nutzbare Strahlung pro Jahr und m}^2} \times \frac{\text{Jahresdeckungsgrad}}{\text{Systemwirkungsgrad}}$$

$$\text{Kollektorfläche} = \frac{2202 \text{ kWh/a}}{1246 \text{ kWh/m}^2\text{a}} \times \frac{0,70}{0,30} = 4,12 \text{ m}^2$$

Die errechnete Kollektorfläche wird aus Gründen der Versorgungssicherheit und um Wärmeverluste auszugleichen auf eine nächstgrößere Typengröße (herstellerabhängig) aufgerundet.

Gewählte Kollektorfläche = 4,8 m²

- **Ermittlung des Fassungsvermögens des Solarspeichers**

Die Speichergröße soll so gewählt werden, dass für 2,5 Tage Warmwasser vorgehalten werden kann. Das Speichervolumen wird wie folgt errechnet:

$$V_{\text{Speicher}} = 26 \text{ l} \times 4 \text{ Personen} \times 2,5 \text{ Tage} = 260 \text{ l}$$

Aus Gründen der Versorgungssicherheit wird ein Speichervolumen von 300 l gewählt.

- **Solarer Wärmeertrag**

Anhand der gewählten Kollektorfläche von 4,8 m² wird eine überschlägige Berechnung des nutzbaren solaren Wärmeertrages durchgeführt:

$$\text{Monatlicher Wärmeertrag [kWh]} = \text{nutzbare Monatsstrahlung [kWh/m}^2] \times \text{Kollektorfläche [m}^2] \times \text{Systemwirkungsgrad}$$

$$\begin{aligned} \text{Jahreswärmeertrag} &= \text{Summe der Monatswerte} \\ &= 1795 \text{ kWh} \\ \text{nutzbarer Jahreswärmeertrag} &= \text{Summe der Monatswerte} \\ &= 1663 \text{ kWh (ohne Überschuss)} \end{aligned}$$

- **Solarer Deckungsgrad**

Der solare Jahresdeckungsgrad ergibt sich wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{solarer Deckungsgrad} &= \frac{\text{nutzbarer solarer Wärmeertrag/Jahr}}{\text{Wärmebedarf für Warmwasser/Jahr}} \times 100 \% = \\ \frac{1535 \text{ kWh/a}}{2202 \text{ kWh/m}^2\text{a}} \times 100 \% &= 69,7 \% \end{aligned}$$

Die Solaranlage deckt von Mai bis August im Wesentlichen den Wärmebedarf zur Warmwassererzeugung ab. In den übrigen Monaten ist eine anteilige Bedarfsdeckung vorhanden.

- **Zusammenstellung der technischen Daten und des Wärmeertrages**

mittlerer Warmwasserverbrauch pro Person	26 l/d
Personenzahl	4
Speichervolumen	300 l
Speicher-Entnahmetemperatur	60 °C
Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung	2202 kWh/a
Kollektorfläche (Flachkollektoren) (4 Einzelelemente je 1,2 m ²)	4,8 m ²
Kollektorneigung zur Horizontalen	30 °
Ausrichtung der Kollektorfläche	Süd
Nutzbare Strahlung (lt. Tabelle 6)	1246 kWh/m ² a
Systemwirkungsgrad	0,25
nutzbarer Jahres-Wärmeertrag (lt. Tabelle 9)	1663 kWh/a
Jahresdeckungsgrad	69,7 %

$$\begin{aligned} \text{Wärmebedarf} &= 26 \text{ l/Person} \times 4 \text{ Personen} \times \text{Monatstage} \times 0,058 \text{ kWh/l} \\ \text{Wärmeertrag} &= \text{nutzbare Strahlung pro Monat [kWh/m}^2] \times \text{Kollektorfläche [4,8 m}^2] \times \text{Systemwirkungsgrad} \end{aligned}$$



	Jan	Feb	März	April
nutzbare Strahlung in kWh/m ² aus Tab. 6	50	90	124	139
Wärmebedarf für Warmwasser in kWh	187	169	187	181
solare Wärmeenergie in kWh (4,8 m ² ; WG 0,30)	72	130	179	200
nutzbarer Wärmeenergie in kWh (ohne Überschuss)	72	130	179	181
Deckungsgrad	39%	77%	96%	100%
solare Überschuss	0	0	0	11%

Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	gesamt
171	143	148	132	101	83	38	27	1246
187	181	187	187	181	187	181	187	2202
246	206	213	190	145	120	55	39	1795
187	181	187	187	145	120	55	39	1663
100%	100%	100%	100%	80%	64%	30%	21%	75,6%
32%	14%	14%	2%	0	0	0	0	

Tabelle 9: Einfamilienhaus – Wärmebedarf und solarer Ertrag einer Solaranlage

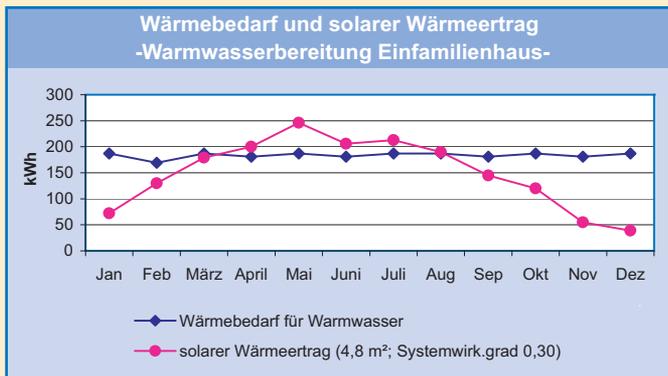


Diagramm 3: Einfamilienhaus – Wärmebedarf und solarer Ertrag

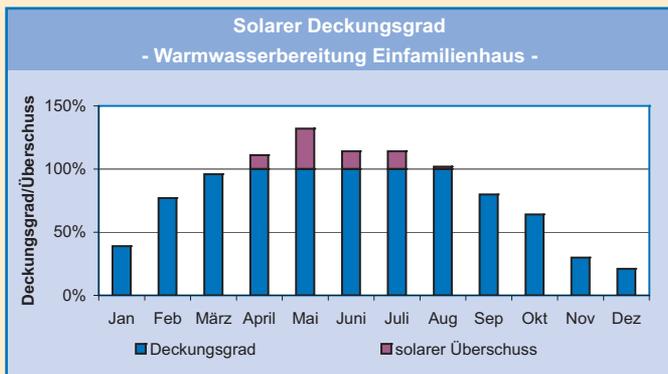


Diagramm 4: Einfamilienhaus – Solarer Deckungsgrad und Überschuss

In den Diagrammen sind die ermittelten Monatswerte des solaren Wärmeertrages sowie der solare Deckungsgrad tabellarisch und graphisch dargestellt.

• **Kosten**

Gesamtkosten 4.000 EUR ohne Mehrwertsteuer
 Lebensdauer der Anlage 20 Jahre
 Einsparung Brennstoff ~ 1 663 kWh/a = 158 m³ Erdgas
 CO₂-Reduzierung ~ 316 kg/a

• **Wirtschaftlichkeit**

Die Kosten der Heizungsanlage betragen ca. 7.000 Euro einschl. MwSt. und Montage.
 Die Kosten der Solaranlage betragen) ca. 4.000 Euro ohne MwSt.
 Das Gebäude hat einen mittleren U-Wert von 0,64 W/m²K und eine Wohnfläche von 112 m².
 Die Heizungsanlage arbeitet im Vollastbetrieb im besten Fall mit einem Wirkungsgrad von 95 % und würde ohne Solaranlage im Warmwassersommerbetrieb mit einem Wirkungsgrad von 60 % arbeiten. Die Wirkungsgrade ändern sich ja nach Kesselart und Ausführung der Anlage.
 Der jährliche Wärmebedarf für die Warmwasserversorgung beträgt laut vorgenannter Berechnung 2 202 kWh. Der jährliche Gasgrundpreis für Heizgaskunden ist derzeit mit ca. 120 Euro festgesetzt.
 Der Arbeitspreis kostet gegenwärtig 0,079 EUR/kWh. (Stand Oktober 2008)

• **Förderung**

Die gegenwärtige Förderung beträgt 60 Euro je angefangenen m² Kollektorfläche. Die Kollektorfläche von 4,8 m² wird daher für die Berechnung der Fördersumme auf 5 m² aufgerundet. Die Anlagenfördersumme ist somit:

$$5 \text{ m}^2 \times 60 \text{ EUR} = 300 \text{ EUR.}$$

Die Kosten der Solaranlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ergeben:

$$4.000 \text{ EUR} - 300 \text{ EUR} = 3.700 \text{ EUR.}$$



• **Solarer Wärmepreis**

Am effizientesten ist die Finanzierung einer Solaranlage ohne die Inanspruchnahme eines Kredites. Die steigenden Zinsen treiben die Kosten in die Höhe.

In Tabelle 6 ist in einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung der solare Wärmepreis (Kosten pro kWh solar erzeugter Wärme) ermittelt worden.

Für die Berechnung wurden angesetzt:

Nutzungsdauer	20 Jahre
Jährliche Wartungskosten	2 % der Investkosten
Jährliche Mehrkosten für Hilfsenergie	0,2 % der Investkosten

Solaranlage zur Brauchwassererwärmung Einfamilienhaus; Kollektorfeld 4,8 m ²	
Investkosten einschl. Speichergutschrift	4.000 €
abzüglich Fördermittel	300 €
Investkosten (Rechengrundlage)	3700 €
Annuität	185 €
Wartungskosten	80 €
Hilfsenergiekosten	8 €
resultierende jährliche Kosten	273 €
Wärmebedarf für Brauchwassererwärmung	2202 kWh/a
solarer Nutzwärmeertrag	1663 kWh/a
Wärmepreis für solar erzeugte Wärme	0,16 €/kWh
konventionell aufzuwendende Wärme (ohne Heizkessel-Wirkungsgrad)	539 kWh/a

Tabelle 10: Beispielrechnung Wärmepreis solar erzeugter Energie für Warmwasser – Einfamilienhaus. Ermittlung in Anlehnung an VDI-Richtlinie 2067

• **Auswirkungen**

In den Sommermonaten wird die Gasheizanlage stillgelegt. Der ineffiziente Warmwasserbetrieb entfällt. Durch den Einsatz der Solaranlage werden ca. 158 m³ Erdgas jährlich eingespart. Dies entspricht einer CO₂-Reduzierung von rund 316 kg und einer Kosteneinsparung für Erdgas von 132 Euro.

Für die Solaranlage entstehen jährlich eigentlich keine Wartungskosten. Sie sind aber im Beispiel in Anlehnung an die VDI 2067 angegeben, da nach unbestimmter Zeit die Umwälzpumpe oder auch das Frostschutzmittel getauscht werden müssen und dies dann größere Beträge sind. Eine Versicherung gegen Glasbruch sollte für die Solaranlage auch aufgenommen werden (derzeit ca. 96 Euro im Jahr).

7.2 Solare Heizungsunterstützung mit Kombispeicher für Einfamilienhäuser

Bei der Planung von Heizungsanlagen mit Solaranteil muss zunächst einmal eine Verringerung des Energiebedarfs im Vordergrund stehen.

Eine volle Deckung des Wärmebedarfs mittels solarer Energie ist nur bei Passiv-Häusern möglich.

Das Grundprinzip des Passiv-Hauses besteht darin, den Gesamtenergiebedarf für Warmwassererwärmung und Raumheizung so klein wie möglich zu halten. Bei allen anderen Gebäuden kann deshalb nur von solarer Heizungsunterstützung gesprochen werden. Ursache dafür ist der entgegengesetzte Verlauf des Strahlungswärmeangebots und des Raumwärmebedarfs. In der Heizperiode von Oktober bis März werden rund 80 % des jährlichen Raumheizungsbedarfs benötigt, aber nur etwa 20 % des jährlichen Solarenergieangebots ausgestrahlt.

Zur Verringerung des Energiebedarfs gehört eine möglichst effektive Wärmedämmung für Außenwände, Decken und Fenster sowie die Schaffung guter Voraussetzungen für die „passive“ Nutzung der Sonnenenergie, wie eine aufgelockerte Bauweise ohne Beschattung und Ausrichtung der Wohnraumfensterflächen nach Süden dazu. Zur Erzielung einer möglichst hohen Nutzwärmeabgabe der Solarkollektoren ist ein Niedertemperaturheizsystem zwingend notwendig. In Neubauten lassen sich auch gut Abluftwärmesysteme mit integrieren.



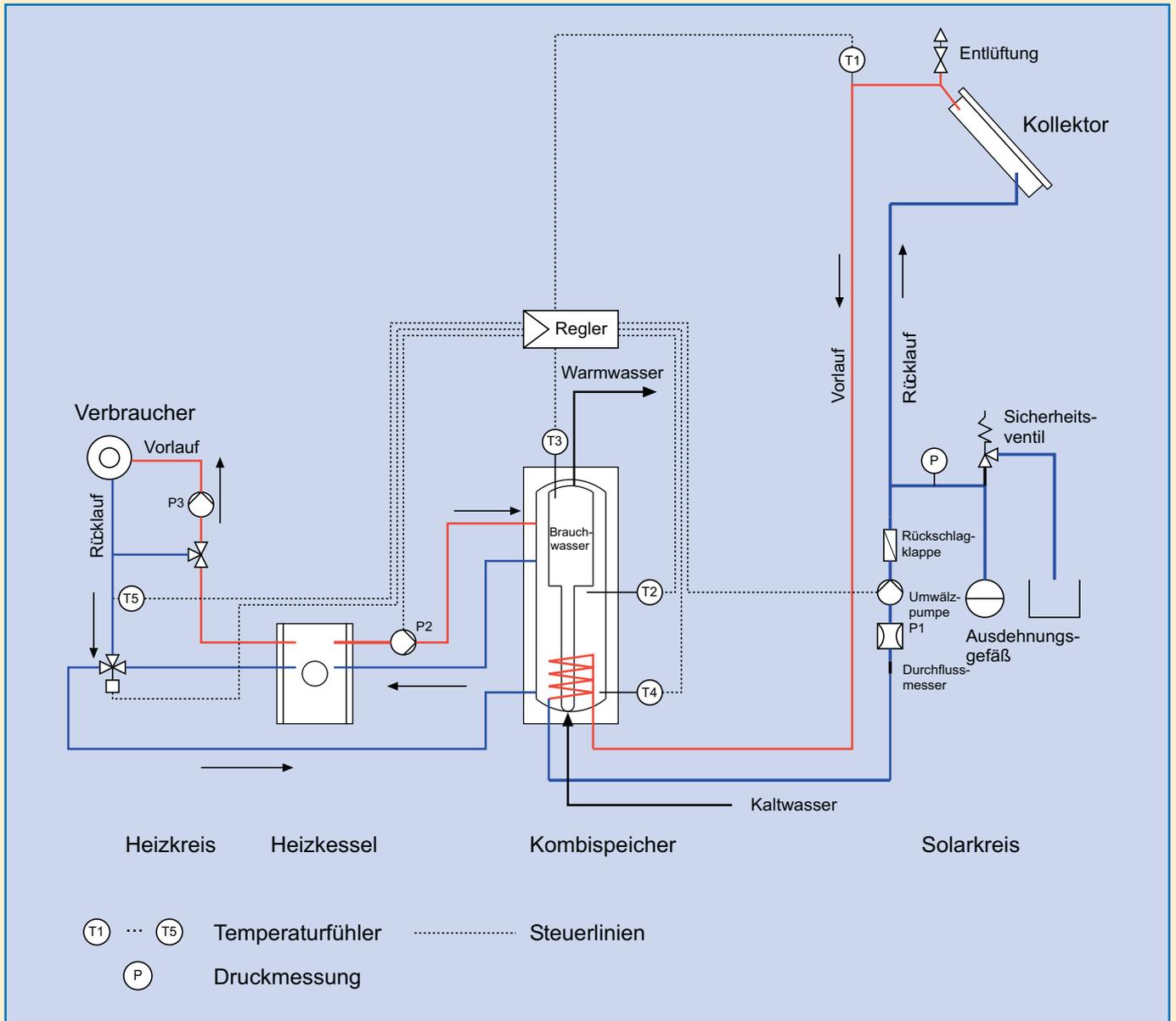


Bild 18: Kombianlage Einfamilienhaus – Solare Warmwassererwärmung mit Heizungsunterstützung

• **Beispiel**

Es soll ein Eigenheim für vier Personen mit einer Wohnfläche von 120 m² errichtet werden. Das Gebäude entspricht hinsichtlich der Dämmung den Förderrichtlinien der KfW-Bank für Niedrigenergiehäuser. Der jährliche Energiebedarf darf somit 55 kWh/m²a nicht überschreiten. Zum Einsatz gelangt eine solare Warmwasserbereitung mit Kombispeicher. Der schematische Aufbau ist in Bild 18 dargestellt. Die Bestandteile der Anlage entsprechen der zuvor beschriebenen. Hinzu kommen Kombispeicher und Heizkreis.

Der nicht zur Warmwassererwärmung benötigte solare Wärmeüberschuss wird zur Unterstützung der Raumheizung genutzt.

• **Wärmebedarf**

Raumheizung:

Der jährliche Wärmebedarf für Raumheizung ergibt sich aus

$$Q_H = \text{Wohnfläche} \times \text{Wärmebedarf pro m}^2 = 120 \text{ m}^2 \times 55 \text{ kWh/m}^2\text{a} = 6600 \text{ kWh/a}$$

Warmwasserversorgung:

Der jährliche Wärmebedarf für die Warmwassererwärmung beträgt für einen 4-Personen-Haushalt

$$Q_{WW} = 26 \text{ l/d} \times 4 \text{ Personen} \times 365 \text{ Tage/a} \times 0,058 \text{ kWh/l} = 2202 \text{ kWh/a}$$



Gesamt:

Daraus resultiert ein Gesamtwärmebedarf für Warmwasser und Raumheizung von

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_H + Q_{WW} \\
 &= 6600 \text{ kWh/a} + 2202 \text{ kWh/a} \\
 &= 8802 \text{ kWh/a}
 \end{aligned}$$

• **Kollektorfläche und Speichervolumen**

Eine genaue Berechnung der Kollektorfläche ist schwierig, weil bei einer zusätzlichen Heizungsunterstützung viele Parameter zu berücksichtigen sind. Deshalb wird erfahrungsgemäß die Kollektorfläche etwa auf das Doppelte der Fläche ausgelegt, wie sie zur reinen Warmwassererwärmung errechnet wurde.

Für den vorliegenden Anwendungsfall (4-Personen-Haushalt) wird eine Kollektorfläche von 10 m² und ein Speichervolumen von 700 l angesetzt.

• **Solarer Wärmeenergieertrag**

Nutzbare Solarstrahlung: 1 246 kWh/m² (lt. Tabelle 6 Kollektorneigung 30 °; Südausrichtung).

Systemwirkungsgrad 0,30.

$$\begin{aligned}
 \text{monatlicher Wärmeenergieertrag} &= \text{nutzbare Strahlung} \\
 &[\text{Monatswert, kWh/m}^2] \times \text{Kollektorfläche [10 m}^2] \\
 &\times \text{Systemwirkungsgrad [0,30]}
 \end{aligned}$$

(Berechnete Werte in Tabelle 11)

Als Jahressumme resultiert ein solarer Wärmeenergieertrag von 3738 kWh/a.

• **Nutzbarer Wärmeenergieertrag**

Die gewonnene solare Wärmeenergie wird zur Warmwassererwärmung genutzt. Der verbleibende Überschuss unterstützt die Raumheizung (Monate: März, April, Mai und September). Die restliche solare Wärmeenergie geht verloren.

In Tabelle 11 sind die errechneten monatlichen Werte zusammengestellt. Die Monatswerte für Raumheizung wurden aus den monatlichen Gradtagzahlen (langjährige Mittelwerte) für Erfurt ermittelt. Die Gradtagzahl ist eine Kenngröße für den täglichen Heizbedarf in einer durchschnittlichen Heizperiode.

Diagramm 5 zeigt die Kurvenverläufe des Wärmebedarfs für die Warmwassererzeugung und für die Raumheizung sowie das solare Angebot. Die Jahressummen des nutzbaren solaren Wärmeenergieertrages betragen:

$$\begin{aligned}
 \text{nutzbarer Wärmeenergieertrag zur Warmwassererzeugung} \\
 &= 2\,017 \text{ kWh/a}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{nutzbarer Wärmeenergieertrag (solarer Überschuss) zur Raum-} \\
 \text{heizung} \\
 &= 1\,032 \text{ kWh/a}
 \end{aligned}$$

Die Ermittlung des nutzbaren Wärmeenergieertrages erfolgte wie für den solaren Wärmeenergieertrag auf Seite 20 beschrieben.

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	gesamt
nutzbare Strahlung in kWh/m ² aus Tab. 4	50	90	124	139	171	143	148	132	101	83	38	27	1246
solarer Wärmeenergieertrag (10 m ² ; Wirkungsgrad 0,30)	150	270	372	417	513	429	444	396	303	249	114	81	3738
Brauchwassererwärmung:													
Wärmebedarf für Warmwasser in kWh	187	169	187	181	187	181	187	187	181	187	181	187	2202
nutzbarer Wärmeenergieertrag ohne Überschuss	150	169	187	181	187	181	187	187	181	187	114	106	2017
solarer Überschuss für Raumheizung in kWh	0	101	185	236	326	248	257	209	122	62	0	0	1746
Unterstützung Raumheizung:													
Wärmebedarf für Raumheizung in kWh	1097	960	890	643	391	0	0	0	190	592	820	1016	6600
nutzbarer Wärmeenergieertrag für Raumheizung in kWh	0	101	185	236	326	\	\	\	122	62	0	0	1032

Tabelle 11: Kombianlage Einfamilienhaus – Solarer Energieertrag



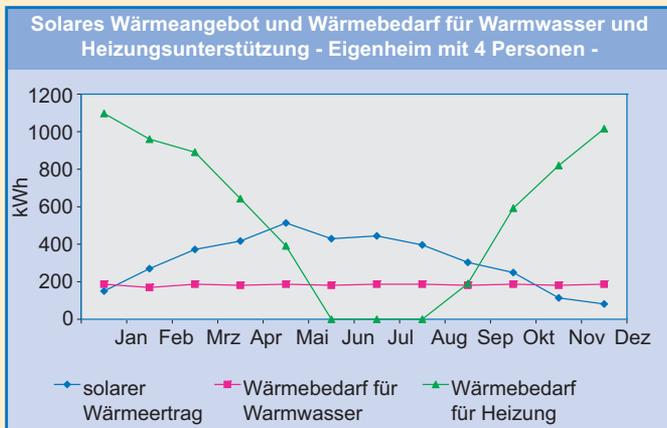


Diagramm 5: Kombianlage Einfamilienhaus – Wärmebedarf und solarer Ertrag

• **Solarer Deckungsgrad**

Der solare Jahresdeckungsgrad ist der Anteil des nutzbaren solaren Wärmeertrages für Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung, bezogen auf den Gesamtwärmebedarf:

$$\text{Jahresdeckungsgrad} = \frac{\text{solarer Ertrag für WW} + \text{solarer Ertrag für Heizung}}{\text{Bedarf für WW} + \text{Bedarf für Heizung}} = \frac{1910 \text{ kWh} + 836 \text{ kWh}}{2202 \text{ kWh} + 6600 \text{ kWh}} = 34,6\%$$

Der solare Jahresdeckungsgrad der Kombianlage beträgt 34,6 %.

• **Investitionskosten**

Die Investitionskosten der Solaranlage einschließlich einer Gaszusatzheizung betragen ca. 10.000 Euro.

• **Wirtschaftlichkeit**

Tabelle 12 betrachtet die Solaranlage und die Gasheizung in Kombination. Da der Kombispeicher und die Steuer- und Regelungselemente von beiden Anlagen genutzt werden, ist der Preis nicht so hoch, als wenn man beide Anlagen separat kalkulieren würde. In der dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung ist in Anlehnung an die VDI 2067 der Gesamtwärmepreis (Kosten pro kWh solar- und gaserzeugter Wärme) ermittelt worden.

• **Förderung**

Die gegenwärtige Förderung beträgt 105 Euro je angefangenen m² Kollektorfläche. Für Brennwertkessel und spezielle Standards können zusätzlich Fördermittel beantragt werden, die dann die Investkosten und den Wärmepreis noch wesentlich senken. Diese Fördermittel sind hier nicht in die Berechnung eingegangen, weil sie zu speziell sind.

Solaranlage zur Warmwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Kombianlage) Einfamilienhaus; Kollektorfeld 10 m²	
Investkosten	10.000 Euro
abzüglich Fördermittel	1.050 Euro
Investkosten (Rechengrundlage)	8.950 Euro
Annuität	493 Euro
Wartungskosten	200 Euro
Hilfsenergiekosten	20 Euro
resultierende jährliche Kosten	713 Euro
Wärmebedarf für Warmwassererwärmung + Heizungsunterstützung	8.802 kWh/a
solarer Nutzwärmeertrag	3.049 kWh/a
Wärmepreis für solar erzeugte Wärme	0,23 Euro/kWh
konventionell aufzuwendende Wärme (ohne Heizkessel-Wirkungsgrad)	5.753 kWh/a

Tabelle 12: Wärmepreis solar erzeugter Energie – Kombianlage Einfamilienhaus

• **Auswirkungen**

Durch den Einsatz der Solaranlage werden ca. 290 m³ Erdgas jährlich eingespart. Dies entspricht einer CO₂-Reduzierung von rund 580 kg. Der jährliche Gasgrundpreis beträgt brutto rund 120 Euro/Jahr. Der Arbeitspreis beträgt gegenwärtig 0,079 EUR/kWh. Durch die eingesparten 3 049 kWh werden Erdgaskosten in Höhe von 241 Euro gespart. Durch die großzügige Bemessung der Kollektorfläche steht von Februar bis Oktober ein fast unbegrenztes Warmwasserangebot zur Verfügung, ohne dass es sich auf die Raumheizung auswirkt. Mit Einrechnung der Mittel aus den verschiedenen Förderprogrammen sind die Wärmegestehungskosten für die Kombispeicheranlage günstiger. Nach Ablauf der Abschreibungszeit werden die Vorteile der Solaranlage noch deutlicher.

7.3 Kombination Solaranlage mit Wärmepumpe

In diesem Beispiel ist im Multifunktionsspeicher ein Puffer- und Warmwasserspeicher zusammen integriert. Für die Nutzung einer Solaranlage ist darin ein Solartauscher enthalten. Diese Kombination spart Platz im Heizungskeller. Kostengünstig und wenig aufwendig ist eine Luft/Wasser-Wärmepumpe, die die Außentemperatur zur Wärmegewinnung nutzt. Die Nutzung der Luft bedarf keiner Genehmigung. Jedoch sind Aufstellungshinweise zu beachten, um Lärmbelastigungen zu vermeiden. Auf eine konkrete Kostenaufstellung wurde in diesem Fall verzichtet, da zu viele Eingangsgrößen zu variabel sind.



Kombination Solaranlage, Wärmepumpe und Heizungsanlage mit Multifunktionsspeicher

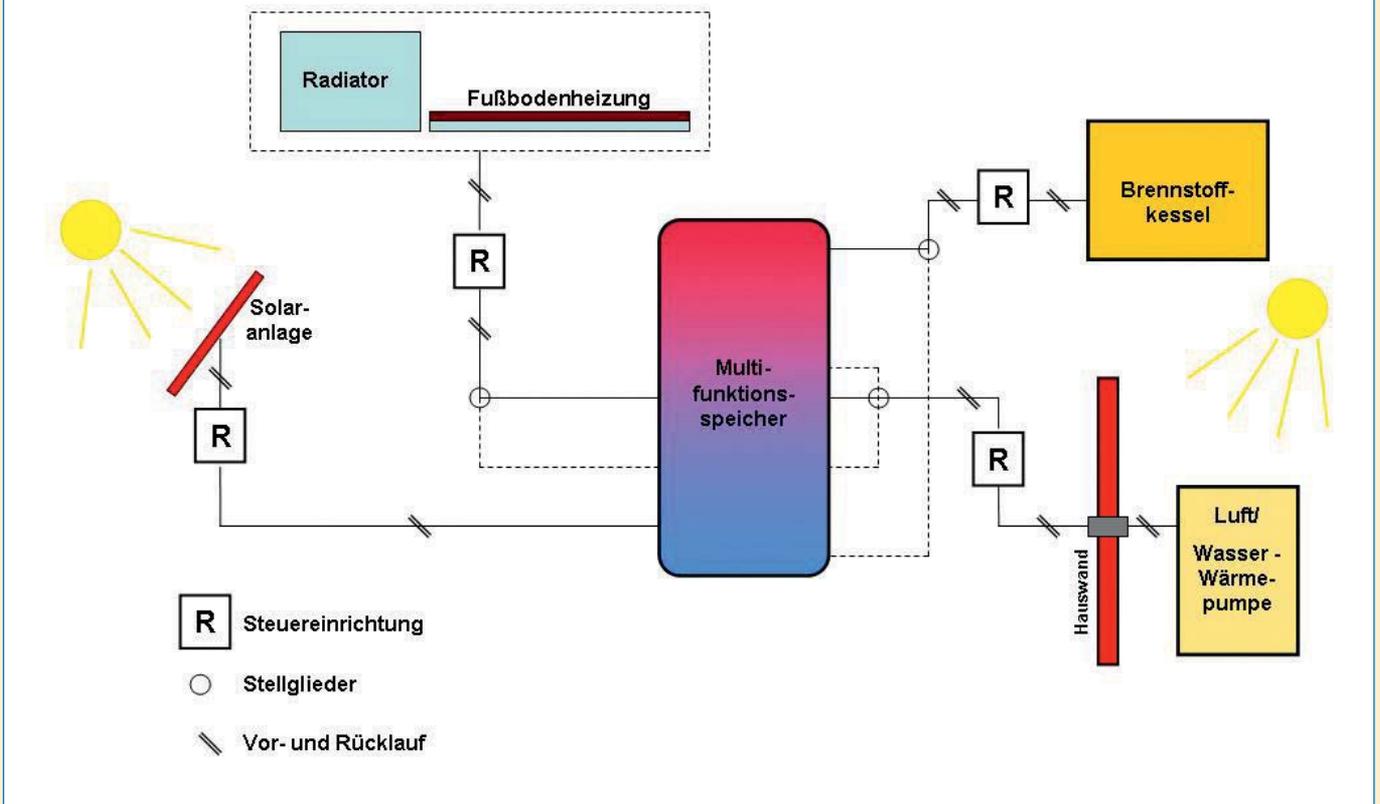


Bild 19: Funktionsprinzip der Kombination einer Solaranlage, Wärmepumpe, Heizungsanlage mit einem Multifunktionsspeicher

7.4 Solargestützte Nahwärmeversorgung

Der Energiebedarf für die Raumheizung beträgt in privaten Haushalten rund drei Viertel des Gesamtenergieverbrauches. Eine solargestützte Nahwärmeversorgung unterstützt die Raumheizung durch solare Energie, indem die Solaranlage mit lokalen Wärmenetzen kombiniert wird.

Im Bebauungsplan muss eine geeignete Fläche für das Heizkraftwerk festgeschrieben werden. Anteilige Kostenbeteiligungen sind in Verträgen zu klären.

Derartige Systeme einer solargestützten Nahwärme erzielen in Verbindung mit umfangreichen Wärmedämmungen der Gebäude solare Deckungsgrade bis zu 50 %.

Bei der Realisierung von solaren Nahwärmenetzen können die Speicher an einem zentralen Punkt zusammengefasst werden. Die spezifischen Kosten für das einzelne Objekt und damit der Wärmepreis sinken.

Solargestützte Nahwärmenetze lassen sich gerade in

Neubaugebieten kostengünstig realisieren. Bei ihrer Planung ist es sehr wichtig, dass die verschiedenen Gewerke (Architekten, Ingenieure, Planungsämter, Bau-träger, Stadtwerke, usw.) möglichst eng zusammenarbeiten. So können die Anforderungen solcher Anlagen, z. B. Ausrichtung der Dachform der Gebäude, Standort des saisonalen Speichers oder Verlauf der Nahwärmeleitungen rechtzeitig in den Bebauungsplan einfließen.

7.5 Solare Schwimmbadheizung

Die Voraussetzungen für die Nutzung der Sonnenenergie zur Schwimmbaderwärmung sind sehr günstig, da das maximale Energieangebot und der Wärmebedarf während der Nutzungsperiode zusammenfallen. Nimmt man schwankende Wassertemperaturen in Kauf (Absinken bei schlechtem Wetter, rasches Ansteigen bei Schönwetter), kann auf eine Zusatzheizung in der Regel verzichtet werden.

Das Prinzipschema einer solaren Schwimmbadheizung zeigt Bild 20.

Für diesen Anwendungsfall kommen Absorberanlagen (unverglaste Kollektoren) zum Einsatz, da nur niedrige Temperaturen erforderlich sind. Im Niedrigtemperaturbereich (bis 40 °C) sind die thermischen Verluste auch ohne zusätzliche Isolierung gering, so dass man bei den Schwimmbadabsorbern von annähernd dem gleichen Wirkungsgrad während der Badesaison ausgehen kann

wie bei Kollektoranlagen. Eine zusätzliche Beckenabdeckung mindert den Energieverbrauch und verkleinert damit die erforderliche Absorberfläche wesentlich. Eine Umwälzpumpe sorgt für den Zwangsumlauf des Schwimmbadwassers. Ein Solarspeicher entfällt, da das Beckenwasser selbst als Kurzzeitspeicher dient.

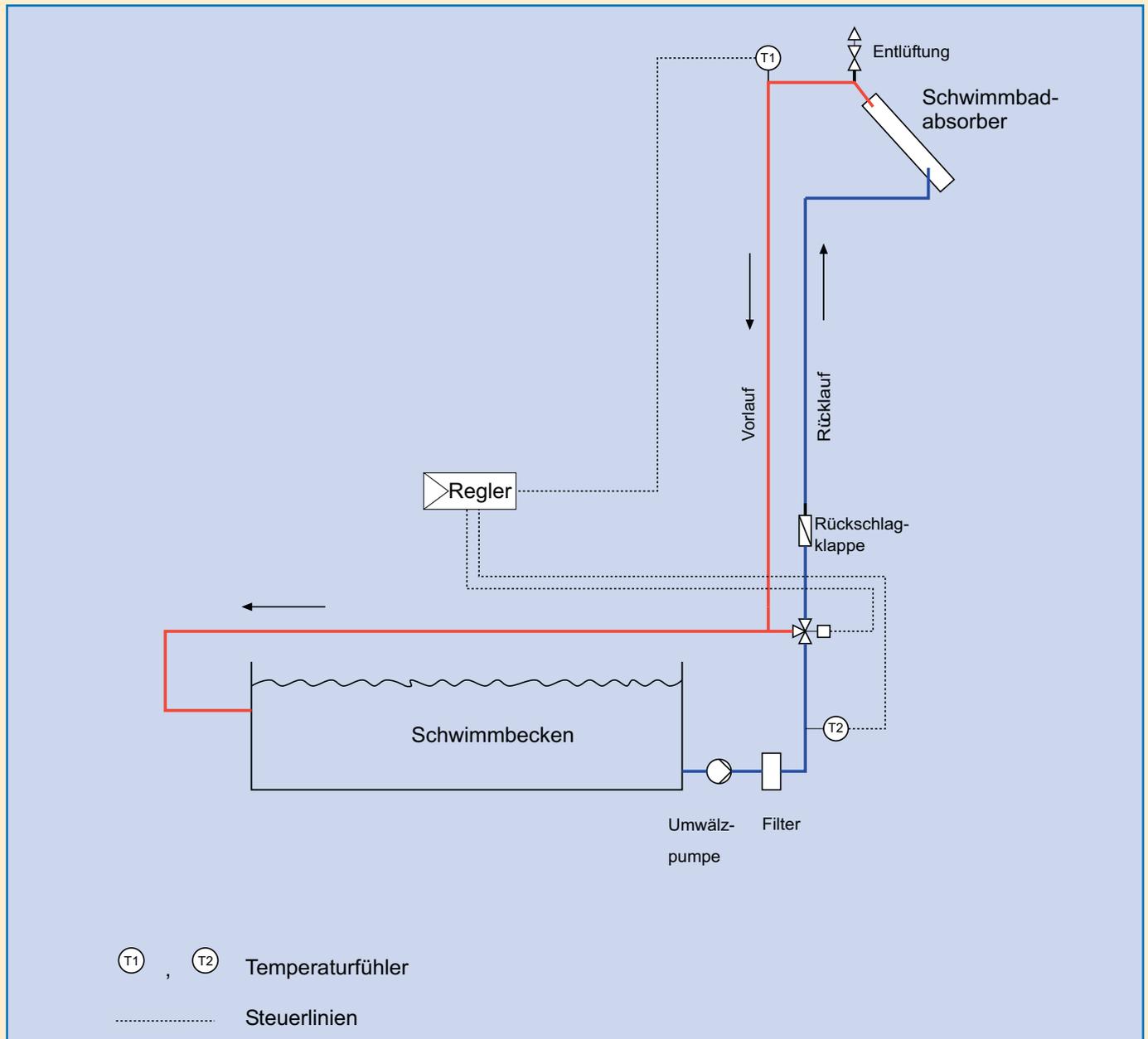


Bild 20: Solare Schwimmbadheizung



- **Dimensionierung**

Energiebedarf

Den Berechnungen werden die folgenden Werte zugrunde gelegt:

Schwimmbeckenoberfläche ASBO	30 m ²
mittlere Tiefe	1 m
Schwimmbeckenvolumen VB	30 m ³
nutzbare Strahlung G _K (Zeitraum Mai bis September) aus Tabelle 6	692 kWh/m ²
Tage im Nutzungszeitraum t	153 Tage
Wirkungsgrad des Absorberfeldes ηA	70 %
Temperaturdifferenz zur Beckenerwärmung ΔT _B	2 K

Spezifischer Nutzwärme-Energieertrag

Der spezifische Nutzwärme-Energieertrag q_N ergibt sich wie folgt:

$$q_N = G_K \times \eta A$$

$$= 692 \text{ kWh/m}^2 \times 0,7 = 484 \text{ kWh/m}^2$$

Bei einem Absorberwirkungsgrad von 70 % stehen 484 kWh/m² zur Schwimmbadheizung zur Verfügung.

Spezifischer Energiebetrag zur solaren Nachheizung

Der spezifische Energiebetrag q_B zur solaren Nachheizung des Beckenwassers für den o. g. Nutzungszeitraum errechnet sich aus:

$$q_B = \frac{V_B \times c \times \Delta T_B \times t}{A_{SBO}} + q_{BV}$$

c = spezifische Wärme des Wassers:

$$c = 4,182 \text{ kJ/kgK (bei } 20 \text{ °C)}$$

$$= 1,16 \text{ Wh/kgK} = 1,16 \text{ kWh/m}^3\text{K}$$

q_{BV} = Verlustwärme

$$q_B = \frac{30 \text{ m}^3 \times 1,16 \text{ kWh} / \text{m}^3\text{K} \times 2 \text{ K} \times 153 \text{ Tage}}{30 \text{ m}^2} + q_{BV}$$

$$= 355 \text{ kWh/m}^2 + q_{BV}$$

Geht man von einem Wärmeenergieverlust des Schwimmbeckenwassers von ca. 20 % aus, ergibt sich ein Gesamtwärmebedarf von

$$q_{BV} = q_B \times 0,2 = 355 \text{ kWh/m}^2 \times 0,2 = 71 \text{ kWh/m}^2$$

$$q_B = 355 \text{ kWh/m}^2 + 71 \text{ kWh/m}^2 = 426 \text{ kWh/m}^2$$

Absorberfeldfläche

Die erforderliche Absorberfläche A_{AF} errechnet sich nach

$$A_{AF} = A_{SBO} \times \frac{q_B}{q_N}$$

$$= 30 \text{ m}^2 \times \frac{426 \text{ kWh/m}^2}{487 \text{ kWh/m}^2} = 26 \text{ m}^2 + q_{BV}$$

Im vorliegenden Berechnungsbeispiel ist eine Absorberfläche von 26 m² für ein 30 m³ - Schwimmbecken ausreichend.

Kosten

Schwimmbadabsorber sind sehr kostengünstig. Ein Quadratmeter Kollektorfläche kostet zwischen 30 und 75 EUR/m² mit Montage.

8 Photovoltaik-Anlagen in der Praxis



Bild 21: Praxisbeispiel aus Erfurt-Bischleben für die Nutzung von Fassaden

Die Photovoltaik ist ein Verfahren der Energieumwandlung solarer Strahlung in elektrischen Strom durch den Einsatz von Solarzellen (Halbleiter aus Silizium).

Man unterscheidet zwischen Anlagen zur netzunabhängigen Stromversorgung (Inselanlagen) und netzgekoppelten



Anlagen, bei denen der erzeugte Strom in das öffentliche Netz eingespeist werden kann (Netzparallelbetrieb). Der Anlagenwirkungsgrad üblicher netzgekoppelter Photovoltaikanlagen liegt derzeit bei maximal 70 bis 80 % des von den Herstellern angegebenen nominalen Wirkungsgrades der Solarmodule. Mit den effizientesten Modulen und unter optimalen Bedingungen können damit Jahreswirkungsgrade bei netzgekoppelten Anlagen von etwa 10 % erreicht werden. Bestimmt wird der Wirkungsgrad u. a. durch die Art der verwendeten Solarzellen und die Betriebsbedingungen.

8.1 Beispiel einer Inselanlage (Wochenendhaus)

Den prinzipiellen Aufbau der Anlage zeigt Bild 22. Die vom PV-Generator (zusammengeschaltete Module von Solarzellen) gelieferte Energie wird unter Zwischenschaltung eines Ladereglers in einem oder mehreren Akkus zwischengespeichert und erst danach an die Verbraucher abgegeben. Dadurch ist ein von den Einstrahlungsbedingungen unabhängiger Betrieb möglich. Um Wechselstromgeräte zu betreiben, ist es notwendig, den vom Generator erzeugten Gleichstrom mit Hilfe eines Wechselrichters umzuwandeln. Der Akku dient zur temporären Zwischenspeicherung.

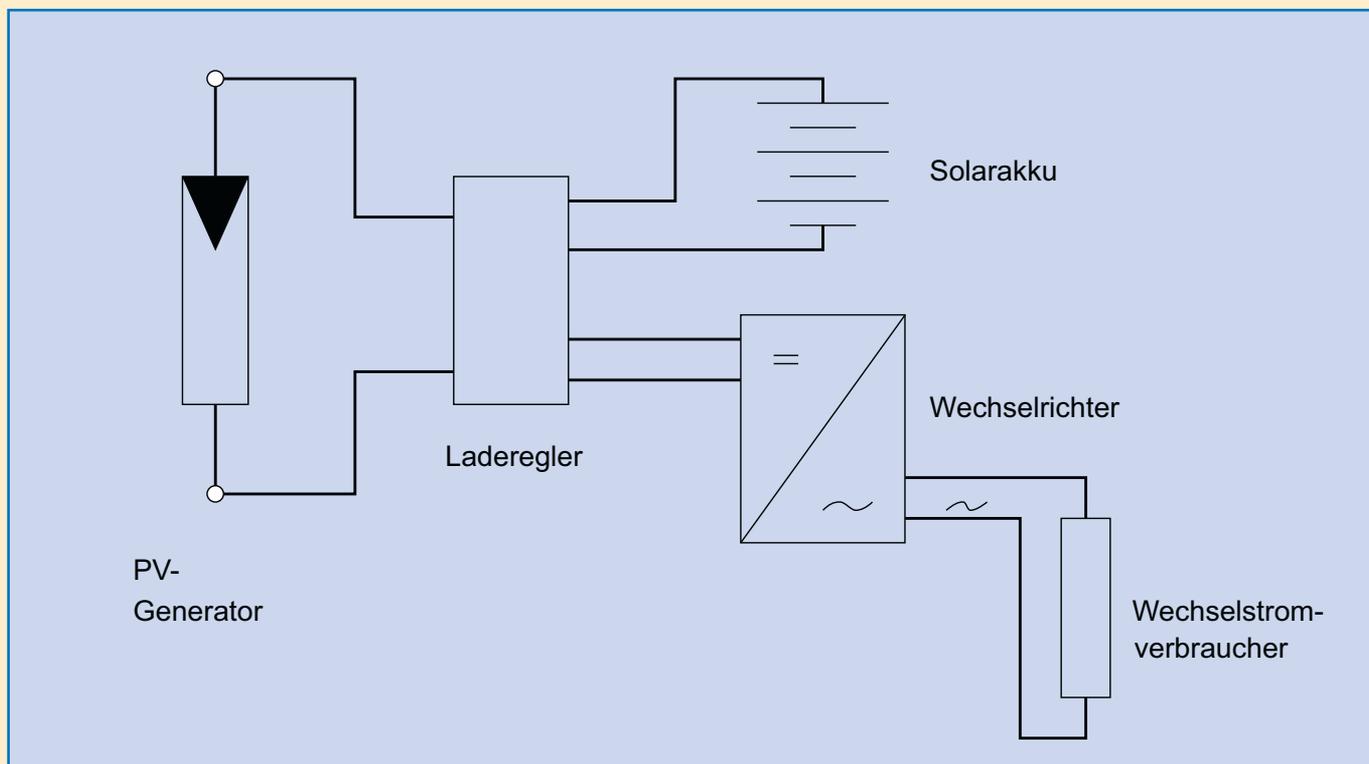


Bild 22: Funktionsprinzip einer solaren Stromversorgung



Im nachfolgenden Beispiel wird die Stromversorgung eines Wochenendhauses (Inselanlage) betrachtet. Der Stromverbrauch fällt an Wochenenden in der Zeit von April bis September an.

Gerät	Leistung [Wp]	Betriebsdauer [h]	Energieverbrauch [Wh]
3 Sparlampen	3 x 16 W	8 h	384 Wh
1 Radio	3 W	10 h	30 Wh
1 Kühlbox	30 W	8 h	240 Wh
gesamt	81 W		654 Wh

Tabelle 13: Abschätzung des Strombedarfs in einem Wochenendhaus

Aus der Ermittlung resultiert eine maximale Leistung von 81 W und ein Wochenend-Strombedarf von 654 Wh.

8.2 Beispiel einer PV-Anlage mit 5 kWp

Zunehmend werden auf Erfurts Dächern Photovoltaikanlagen installiert. Die finanziellen Erträge sind entsprechend dem Energieeinspeisegesetz für 20 Jahre nach der Errichtung der Anlage gesichert.

Ab dem 1. Januar 2009 ändern sich die Einspeisevergütungen (Tabelle 14).

Hier die Angaben zur Errichtung einer 5,0 kWp-Anlage bei Inbetriebnahme im Jahr 2008:

Ausrichtung: Süd

Aufständigung der Module bei 30 °

Einrichtungsaufwand: 22.000 EUR

Laufender Aufwand (Versicherung, Wartung nicht enthalten): 80 EUR/Jahr

Einspeisevergütung 0,468 EUR/kWh während der ersten 20 Jahre

Jährlicher Einspeiseerlös: 2.163,85 EUR/Jahr

Finanzierung der PV-Anlage:

4 % Eigenmittel = 880 EUR

96 % Kredit Solarstromerzeugen

(20 Jahre, 5 Jahre Zinsbindung) = 21.120 EUR

davon tilgungsfrei 3 Jahre, Zinssatz 4,8 %

Die Ausschüttung beträgt nach 5 Jahren schon rund 3.200 Euro und nach 20 Jahren schon 6.445 Euro.

Der Gesamteinspeiseerlös beträgt nach 20,2 Jahren rund 43.540 Euro.

Folgende Einspeisevergütungen werden bei Inbetriebnahme in den folgenden Jahren für anschließend 20 Jahre gezahlt:

Einspeisevergütungen für PV-Anlagen (gemäß EEG)				
Montageart	Anlagengröße	Vergütung bei einer Inbetriebnahme im Jahr (in Cent/kWh)		
		2008	2009	2010
Auf Gebäuden	bis 30 kWp	46,75	43,01	39,56
	30 bis 100 kWp	44,48	40,91	37,64
An Fassaden	bis 30 kWp	51,75	43,01	39,56
	30 bis 100 kWp	49,48	40,91	37,64
Auf Freiflächen		35,49	31,94	28,75

Tabelle 14: Einspeisevergütungen für PV-Anlagen (im Jahr 2008 gemäß EEG-Stand 2004, ab 2009 gemäß EEG-Stand 2008)

Neben den sinkenden Vergütungen ist aufgrund verbesserter Technologien auch mit sinkenden Preisen für die Modultechnik zu rechnen.



9 Energieberatung

9.1 Energieberatung vor Ort

- Eine Beratung zu Solarthermie- und Photovoltaik-Anlagen, zu Fördermittelanträgen sowie eine umfangreiche Firmenübersicht kann man beim SolarInput e.V. bekommen.

SolarInput e.V.

Wilhelm-Wolff-Straße 1 Tel. 0361 4267-168
99099 Erfurt Fax 0361 4267-167
E-Mail:
info@solarinput.de

- Eine spezielle Beratung bekommen Sie bei der Verbraucher-Zentrale Thüringen e.V. Dort werden für Sie zur Selbstinformation in der Infothek Testergebnisse der Stiftung Warentest bereit gehalten. Zur persönlichen Beratung können Termine vereinbart werden.

Verbraucher-Zentrale Thüringen e.V.

Eugen-Richter-Straße 45 Tel. 0361 555-140
99085 Erfurt Fax 0361 555-1440
Internet:
www.vzth.de

- Literatur können Sie in der Stadtbibliothek Erfurt unter <http://bibliothek.erfurt.de> oder in einer der Filialen ausleihen.

Stadt- und Regionalbibliothek Erfurt

Domplatz 1 Tel. 0361 655-1590
99084 Erfurt Fax 0361 655-1599
Internet:
www.bibliothek.erfurt.de

- Die Umweltbibliothek bietet ein breites Spektrum an Fachliteratur, die man dort entleihen kann. Eine Energieberatung ist dort ebenfalls möglich.

Stadtwerke Erfurt GmbH

Umweltbibliothek Tel. 0361 564-1031
Magdeburger Allee 34 Fax 0361 564-1123
99086 Erfurt **Internet:**
www.stadtwerke-erfurt.de

- Die Handwerkskammer Erfurt gibt nähere Auskünfte zu den in Erfurt und Umgebung ansässigen Solarenergiefirmen. Eine Auflistung der zertifizierten Fachbetriebe für Erneuerbare Energien ist in Anlage 2 zu finden.

Handwerkskammer Erfurt

Fischmarkt 13 Tel. 0361 670-70
99084 Erfurt Fax 0361 670-7300
E-Mail info@hwk-erfurt.de
Internet:
www.hwk-erfurt.de

- Bei der Architekten Kammer Thüringen bekommt man Auskünfte zu energieeffizienten und nachhaltigen Bauen. Es sollen Gesamtkonzepte entstehen welche an die Planungs- und Bauprozesse angepasst werden. Gesamtkonzept heißt, der Bau soll ein Maximum an Lebensqualität schaffen und mit minimalen irreversiblen Eingriffen in die natürlichen Kreisläufe entstehen.

Beratungszentrum Ökologisches Planen und Bauen der Architektenkammer Thüringen

Bahnhofstraße 39 Tel. 0361 210-500
99084 Erfurt Fax 0361 210-5050
E-Mail info@izbau.de
Internet:
www.architekten-thueringen.org



9.2 Energieberatung im Internet

- Der Bundesverband Solarwirtschaft, im Netz unter www.solarwirtschaft.de, ist ein Branchenverband von über 600 Solarunternehmen. Die schnelle Markteinführung und die Stärkung von Solarstrom und Solarwärme und damit verbunden eine für den Verbraucher bezahlbare Solaranlage ist das große Ziel.
- Auf der Seite von www.solarrechner.de (www.photovoltaikforum.de) ist auf einfache und überschaubare Weise eine Berechnung der von Ihrer PV-Anlage erwirtschafteten Rendite möglich. Die Seite wird regelmäßig aktualisiert und auf dem neusten Stand gehalten.
- Die zur Berechnung erforderlichen Angaben wären u.a. die Investitionssumme, die Leistung und die Volllastdauer der Anlage.
- Die Deutsche Energie-Agentur dena bietet eine kostenlose Energie-Hotline 08000 736734, <http://www.dena.de>.
- Auf der Seite des BiNE Informationsdienstes www.bine.info erhalten Sie viele erforderliche Basisinformationen in pdf-Format oder können sie als kostenlose Broschüre bestellen.
- Eine weitere aufschlussreiche Seite, welche sich mit allen Faktoren rund ums Bauen oder Modernisieren von Gebäuden beschäftigt, ist die der Initiative „kostengünstig qualitätsbewusst bauen – umweltgerecht, innovativ, bezahlbar“ unter www.kompetenzzentrum-iemb.de.
- Zu Einsparpotenzialen des Haushalts, wie beispielsweise Beleuchtung, Kochen oder Kühlen, Spülen und Waschen, informiert umfassend die Arbeitsgemeinschaft der Verbraucherverbände (www.agv.de).



10 Fördermittel

Die Konditionen staatlicher Hilfen bei der Errichtung von Anlagen zur Nutzung solarer Energie sind häufigen Veränderungen unterworfen. Eine aktuelle Übersicht zu Fördermöglichkeiten und anderen staatlichen Hilfen finden Sie im Internet unter: www.bafa.de

www.kfw.de

www.bawi.de

www.bmwi.de

www.bmu.de

www.iwr.de

Unter www.solarfoerderung.de kann man sich zum einen über Fördermöglichkeiten beraten lassen, als auch Informationen zur Entscheidungshilfe einholen und sich die erreichbare Solarstromvergütung der Anlage berechnen lassen.

Zusammenfassung der Förderprogramme:

■ Landesförderprogramm Thüringen

- Richtlinie zur Förderung der Modernisierung und Instandsetzung von Mietwohnungen 2007

■ Bundesförderprogramm

- Erneuerbare- Energie- Gesetz -EEG- (indirekte Förderung)

■ Bundesförderprogramm Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle -BAFA-

- Marktanreizprogramm -MAP- "Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt"
- Vor-Ort-Energiesparberatung bei Wohngebäuden
- Basisförderung für Solarkollektoranlagen
- Bonusförderung "Kesselaustauschbonus", "regenerativer Kombinationsbonus", "Effizienzbonus", "effiziente Solarkollektorpumpen-Bonus", "effiziente Umwälzpumpen-Bonus"

■ Bundesförderprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

- BMU-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben

■ Förderprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)

- KfW-Programm "Wohnraum modernisieren" (STAND-ART/ÖKO-PLUS, alle Modernisierungsmaßnahmen)
- KfW-CO₂-Gebäudesanierungs- Programm (umfangreiche Modernisierungsmaßnahmen)
- KfW-Programm "Ökologisches Bauen" (Bereich Energiesparhaus)
- KfW-Programm "erneuerbare Energien" (Solarkollektoranlagen, private und gewerbliche Antragsteller)
- KfW-Programm "Solarstrom erzeugen" (Photovoltaikanlagen, private Antragsteller)
- ERP Umwelt- und Energiesparprogramm (Photovoltaikanlagen, gewerbliche Antragsteller)
- KfW "Umweltprogramm" (Photovoltaikanlagen, gewerbliche Antragsteller, langfristige Finanzierung)

■ Einspeisevertrag und -vergütung:

- www.stadtwerke-erfurt.de



11 Glossar

Absorber

Der Absorber ist das Kernstück der Sonnenkollektoren. Er absorbiert die Sonnenstrahlung und wandelt sie in Wärme um.

Offene Absorber kommen in der solaren Schwimmbad-Heizung zum Einsatz.

Die Anforderungen bezüglich Druck- und Temperaturbeständigkeit von Schwimmbad-Absorbern sind im Vergleich zu Kollektoren geringer, da die erreichten Stillstandstemperaturen nur annähernd 70 °C betragen. Schwimmbadabsorber bestehen vorrangig aus synthetischem Kautschuk (EPDM) oder Polypropylen (PP).

Plattenabsorber aus Polypropylen müssen in Richtung der Dachneigung verlegt werden, damit sie im Winter problemlos entleert werden können.

Flex-Absorber (flexibel) aus EPDM sind lageunabhängig auch auf Flachdächern einsetzbar, da dieses Material auch bei Wasserfüllung frostsicher ist.

Amorphe Solarzelle

Wird auf Glas oder anderes Substratmaterial eine Siliziumschicht aufgebracht, spricht man von amorphen oder Dünnschichtzellen. Die Schichtdicken betragen weniger als 1 µm (Dicke eines menschlichen Haares: 50 - 100 µm), so dass die Produktionskosten allein wegen der geringen Materialkosten niedriger sind. Neue Fertigungstechniken ermöglichen es heute, den Wirkungsgrad von amorphen Silizium deutlich zu erhöhen. Neben einer Vielzahl kleinerer technischer Unterschiede, wie z. B. das bessere Temperaturverhalten bei starker Hitze, tragen auch die nicht mehr benötigten Bypass-Dioden dazu bei, dass die heutigen amorphen Solarmodule gleiche durchschnittliche Jahresenergieerträge erwirtschaften, wie Anlagen mit kristallinen Zellenmaterialien und das bei deutlich geringeren Investitionskosten.

Bei der optischen Gestaltung und Integration in Gebäuden ergeben sich durch die angepasste Farbgebung von Modul und Rahmen eine Vielzahl neuer Möglichkeiten.

Ausdehnungsgefäß

Geschlossene Solaranlagen benötigen ein variables Volumen, damit die infolge unterschiedlicher Temperaturen des Wärmeträgers entstehenden Volumenänderungen aufgefangen werden können. Ein besonders kritischer Zustand tritt dann ein, wenn keine Ableitung der Wärmeenergie am Kollektor erfolgt und die Temperatur im Absorber bis zu einer Stillstandstemperatur ansteigt, d. h. bis sich ein Gleichgewicht zwischen Wärmezufuhr und Wärmeverlusten einstellt. Je besser die Wärmedämmung

eines Kollektors ist, desto größer ist diese Temperatur. Die maximalen Stillstandstemperaturen betragen bei Flachkollektoren 140 bis 210 °C. Bei derart hohen Temperaturen wird der Absorber zum Druckbehälter. Durch den Einbau eines Membran-Druckausdehnungsgefäßes und eines Sicherheitsventils in den Solarkreis werden sicherheitstechnische Forderungen erfüllt, die ein Bersten des Absorbers verhindern. Gründe für eine Nichtzirkulation des Wärmeträgers können das Erreichen der maximalen Speichertemperatur, ein Defekt an der Umwälzpumpe oder der Differenztemperaturmessung oder ein Stromausfall sein.

Das Ausdehnungsgefäß wird in die Rücklaufleitung des Solarkreises hinter der Rückschlagklappe montiert.

Ausdehnungsgefäß und Sicherheitsventil bilden eine zusammengehörige Sicherheitseinheit. Sie müssen in ihren Betriebsdaten aufeinander abgestimmt sein.

In einem Membran-Ausdehnungsgefäß werden durch eine Gummi-Membran Wärmeträger und gasförmiger Stickstoff voneinander getrennt. Der Stickstoff wird bei Volumenausdehnung komprimiert und dehnt sich bei Volumenverringerng wieder aus.

Der Vordruck des Stickstoffs im Ausdehnungsgefäß muss dem Druck der Säule, die die Wärmeträgerflüssigkeit zwischen Ausdehnungsgefäß und Kollektoroberkante erzeugt, entsprechen.

Beim Erreichen der maximal zulässigen Druckbelastung des Ausdehnungsgefäßes reagiert das Sicherheitsventil. Die aus dem Sicherheitsventil austretende Wärmeträgerflüssigkeit darf nicht ins Abwassernetz gelangen und wird in einem Behälter aufgefangen.

Damit möglichst über das Sicherheitsventil kein Wärmeträger austritt, muss das Ausdehnungsgefäß entsprechend groß dimensioniert und die Anlage für einen höheren Druck ausgelegt sein. An der höchsten Stelle des Solarkreises muss ein Entlüfter mit einer Absperrvorrichtung installiert sein. Zur Überwachung des Druckes im Solarkreis ist ein Manometer erforderlich. Es wird in der Nähe des Ausdehnungsgefäßes montiert.

Entlüfter

Sie dienen der Entlüftung des Solarkreislaufes.

In der Schwimmbadheizung kommen wegen der Schwimmbadchemikalien nur Entlüfter aus Kunststoff, Rotguss oder Edelstahl zum Einsatz.

Kollektor

Der Kollektor absorbiert die Solarstrahlung und wandelt sie in Wärme um, die über ein Wärmeträgermedium zur weiteren Nutzung, insbesondere an einen Wärmespeicher, abgegeben wird.



Kollektoren unterscheiden sich im Aufbau (Flachkollektoren, Vakuumkollektoren), im benutzten Wärmeträgermedium (Flüssigkeitskollektoren, Luftkollektoren) und im Anwendungszweck (Schwimmbadbeheizung, Niedertemperatur-Wärmeerzeugung, z. B. für Warmwassererwärmung, Prozesswärmeerzeugung).

Kollektorwirkungsgrad

Der Kollektorwirkungsgrad bildet den Quotienten aus Nutzwärmeertrag und der auf die Kollektorebene eingestrahlten Sonnenenergie. Er hängt ab von der Bauart und Betriebsgröße des Kollektors und von den Klimagrößen. Der Wirkungsgrad der Gesamtanlage (Kollektor, Verrohrung, Wärmespeicher) wird als Systemwirkungsgrad bezeichnet. Er ist stets kleiner als der Kollektorwirkungsgrad.

Kombispeicher

Kombispeicher gelangen zum Einsatz bei Solaranlagen, die zur Warmwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung eingesetzt werden.

In ihnen kann die erzeugte Wärmeenergie sowohl für Warmwasser als auch für die Raumheizung in einem Speicher bereitgestellt werden. Die Vorteile gegenüber einer Zweispeicher-Anlage sind Platz- und Kostenersparnis, geringere Wärmeverluste, einfachere Regelungstechnik und weniger Rohrleitungen. Im oberen Teil des Stahl-Pufferspeichers ist ein Warmwasserbehälter aus Edelstahl oder emaillierten Stahl eingebaut. Um die Temperaturschichtung im Speicher nicht zu zerstören, wird der Warmwasserspeicher bis nach unten mit stark reduziertem Durchmesser verlängert. Die Temperaturschichtung kann jedoch bei größerer Warmwasserentnahme wieder zerstört werden, da das Kaltwasser ohne nennenswerte Vorwärmung bis in den oberen Trinkwasserbehälter gelangt und hier das Pufferspeicherwasser stark abkühlen kann.

Im unteren Bereich des Pufferspeichers befindet sich der Solarwärmetauscher (Rippenrohrwärmetauscher).

Zur Regelung des Solarkreises genügt eine Temperaturdifferenz-Regelung.

Drei Betriebszustände können unterschieden werden:

■ Warmwassererwärmung ohne Solarenergie

Der obere Teil des Kombispeichers wird vom Heizkessel beheizt. Der integrierte Warmwasserspeicher wird vom umgebenen Pufferspeicherwasser erwärmt. Die Speichertemperaturregelung schaltet über Temperatursensor T_3 der Kesselkreisregelung die Umwälzpumpe P_2 zur Speicherheizung.

■ Warmwassererwärmung mit Solarenergie

Wenn zwischen Kollektortemperatur T_1 und Speichertemperatur T_4 eine Temperaturdifferenz gemessen wird, die höher ist als die am Regler eingestellte, wird die Umwälzpumpe P_1 des Solarkreises eingeschaltet und der Kombispeicher beheizt.

Ist die solare Einstrahlung für die Warmwassererwärmung nicht ausreichend, so wird im unteren Teil des Kombispeichers das Warmwasser solar vorgewärmt und im oberen Teil des Speichers durch den Heizkessel auf die gewünschte Temperatur gebracht.

■ Raumheizung mit Solarenergie

Besteht zwischen Speichertemperatur T_2 und Heizkreis-Rücklauftemperatur T_5 eine Temperaturdifferenz, die größer ist als die am Regler eingestellte, wird das Drei-Wege-Umschaltventil automatisch so geschaltet, dass das Heizungs-Rücklaufwasser durch den Kombispeicher geführt, dort erwärmt wird und erst dann in den Heizkessel zurückläuft.

Laderegler

Der Laderegler ist Bestandteil der Photovoltaik-(PV-)Anlagen. Seine Aufgaben sind:

- Abschalten der Verbraucher beim Erreichen der Tiefenentladung des Akkus,
- Begrenzung der Ladespannung auf 13,8 bis 14,4 V,
- verhindern, dass sich der Akku bei unzureichender Generatorleistung durch einen Rückstrom entlädt. Erreicht wird das mittels integrierter Diode.

Mischerventil

Zum Schutz vor Verbrühungen ist in der Heizanlagenverordnung festgelegt, dass die Temperatur im Trink-(Warm-)Wassernetz 60 °C nicht übersteigen darf. Da die Temperatur im Solarwarmwasserspeicher jedoch 90 °C erreichen kann und verhindert werden muss, dass die Temperatur im Trinkwarmwassernetz den Maximalwert überschreitet, wird ein selbständig regulierendes Mischerventil in die Speicherentladeleitung zwischen Warm- und Kaltwasserleitung eingebunden.

Monokristalline Module

Monokristalline Module arbeiten mit schwarzen Solarzellen, die aus einem einzigen Siliziumkristall mit regelmäßiger Struktur bestehen. Das Ausgangsmaterial für die Herstellung sind gegossene Siliziumblöcke. Sie werden in ca. 0,3 mm dünne Scheiben, sogenannte Wafer, gesägt, anschließend chemisch veredelt und mit Anschlusskontakten versehen. Monokristalline Zellen erzielen hohe Modulwirkungsgrade von bis zu 15 % und eignen sich



besonders bei geringem Platzangebot für kleine bis mittlere Anlagengrößen.

Die Modulleistung bleibt über die gesamte Lebensdauer nahezu konstant. Gerade im diffusen Lichtbereich (z. B. bei bewölktem Himmel) liefern monokristalline Solargeneratoren einen höheren Energieertrag als andere Zellmaterialien.

Polykristalline Module

Polykristalline Module werden auch als multikristalline bezeichnet und arbeiten mit blauen Solarzellen, die sich aus vielen kleinen Siliziumkristallen zusammensetzen. Die Zellen sind aus gegossenen Siliziumblöcken gesägt und besitzen ein eisblumenähnliches Oberflächenmuster. Polykristalline Module haben einen etwas geringeren Modulwirkungsgrad (bis zu 13 %) als die monokristallinen, sind jedoch günstiger in der Anschaffung, da ihre Herstellung weniger aufwendig ist. Sie sind am weitesten verbreitet und eignen sich für Photovoltaik-Anlagen auf Einfamilienhäusern genauso wie für Großanlagen.

Pufferspeicher

Pufferspeicher kommen besonders bei Großanlagen zum Einsatz.

Für eine gute Wärmedämmung ist es erforderlich, den gesamten Speicher wärmebrückenfrei mit Dämmstoffen aus Polyurethan oder Mineralfasern mit einer Dicke von 60 bis 150 mm bei einer Wärmeleitfähigkeit von $\leq 0,04 \text{ W/mK}$ zu umhüllen.

Über externe Wärmetauscher wird die Wärme aus dem Pufferspeicher an das Trinkwasser abgegeben.

Rohrnetz

Die Verbindung zwischen Kollektorfeld und Solarwärmetauscher ist durch ein gut wärmeisoliertes Rohrleitungsnetz mit möglichst geringem Strömungswiderstand der Wärmeträgerflüssigkeit zu gewährleisten.

Als Rohrmaterial gelangt vorrangig Kupferrohr - nahtlos gezogen - zum Einsatz, da Kunststoffe die Temperaturanforderungen nicht erfüllen und verzinkte Stahlrohre beim Einsatz von Wasser-Glykol-Gemischen oberhalb von 60 °C zur Korrosion neigen.

Die Verbindungen können weich- oder auch hartgelötet werden. Bei Warmwassertemperaturen über 110 °C ist Hartlöten zwingend vorgeschrieben.

Edelstahl-Wellrohre gelangen aus Kostengründen nur an Verbindungsstellen zum Einsatz, wo eine gewisse Flexibilität erwünscht ist.

Rückschlagklappe

Die Rückschlagklappe wird in den Solarkreislauf zur

Verhinderung der Schwerkraftzirkulation eingebaut. Sie wird in Fließrichtung hinter der Pumpe angeordnet und verhindert ein Leerlaufen der Leitung und des Absorbers nach dem Abschalten der Pumpe.

Ist der Kollektor kälter als der Wärmespeicher, würde ohne Rückschlagklappe der Wärmeträger vom Wärmetauscher zum Kollektor und über die Rücklaufleitung zurück zum Wärmetauscher strömen. Der Solarkreislauf würde entgegengesetzt zirkulieren und über Nacht zur völligen Auskühlung des Speichers führen. Durch Einbau einer Rückschlagklappe wird nur ein Durchfluss in Pumpenrichtung freigegeben.

Eine Rückschlagklappe schließt nicht völlig dicht ab. Ein dichter Abschluss ist durch ein federbelastetes Rückschlagventil zu erzielen.

Solarspeicher

Die Notwendigkeit der Energiespeicherung resultiert aus der diskontinuierlichen Energiebereitstellung durch den Kollektor, die vom Tages- und Wetterverlauf abhängig ist. Die Beladung des Speichers erfolgt in seinem unteren Bereich. Die Wärme steigt nach oben, wodurch im oberen Speicherbereich die Temperatur ansteigt. Die eintretende Wärmeschichtung resultiert aus dem Dichteunterschied zwischen warmem und kaltem Wasser und sollte möglichst von Turbulenzen frei sein.

Die erzielte Temperaturschichtung ist um so ausgeprägter, je schlanker und höher ein Behälter ist. Das Verhältnis von Höhe zu Durchmesser sollte mindestens 2,5 zu 1 betragen.

Neben der guten Wärmeschichtung sollten Wärmespeicher noch folgende Anforderungen erfüllen:

- geringe Wärmeverluste,
- gutes Be- und Entladeverhalten,
- Korrosionsbeständigkeit der Speichermaterialien.

Um Korrosionsprobleme beim sauerstoffhaltigem Trinkwasser zu verhindern, werden die Speicher überwiegend aus Stahl oder Edelstahl gefertigt. Stahlspeicher werden zusätzlich mit Emaille oder Kunststoff beschichtet.

Zur Vermeidung von Korrosion an Fehlstellen der Beschichtung eines emaillierten Behälters setzt man eine Magnesiumanode als Opferanode ein, die elektrisch leitend mit der Speichererdung verbunden ist.

Edelstahlspeicher bedingen eine ca. zweifach höhere Investition, sind dafür aber wartungsfrei.

Die energetische Qualität des Speichers hängt im Wesentlichen von der Wärmedämmung ab. Der gesamte Speicher muss deshalb wärmebrückenfrei mit Dämmstoffen aus Polyurethanschaum oder Mineralfasern umgeben werden.



Solarzellen, Solarmodule

Solarzellen für private und gewerbliche Zwecke sind aus Silizium. Man unterscheidet zwischen mono- und polykristallinen sowie amorphen Zellen. Die Leistung einer Zelle mit einer Fläche von 10 cm x 10 cm beträgt unter Standardbedingungen ca. 1 W und ist damit nur gering. Deshalb werden Solarzellen zu Modulen zusammen geschaltet. Um noch höhere Leistungen zu erzielen, werden Solarmodule in Serie oder parallel verschaltet. Das zusammen geschaltete System wird als Solargenerator bezeichnet.

Temperaturregelung (thermische Solaranlagen)

Für thermische Solaranlagen sind Temperatur-Regelrichtungen erforderlich.

- **Temperaturdifferenzregelung:**
Zur Ansteuerung der Umwälzpumpe überwacht ein Regler die Temperaturdifferenz zwischen Kollektor (T_1) und Speicher (T_2). Über ein Relais wird die Pumpe nur eingeschaltet, wenn die Kollektortemperatur einige Grad höher liegt.
- **Speichertemperaturbegrenzung** dient zur Vermeidung einer Überhitzung des Speichers. Die Maximaltemperatur ($T_3 \text{ max}$) im Speicher soll auf 85 °C bis 90 °C begrenzt sein.
- **Nachheizung des Speichers**
Die Nachheizung erfolgt durch eine konventionelle Heizung. Ist die solare Einstrahlung für die Warmwassererwärmung nicht ausreichend, so wird im unteren Teil des Speichers das Warmwasser solar vorgewärmt und im oberen Teil des Speichers durch den Heizkessel auf die gewünschte Temperatur gebracht. Über Pumpe P_2 wird der Nachheizkreis zugeschaltet, wenn die Temperatur T_3 unter einen Minimalwert sinkt.

Temperaturregelung (solare Schwimmbadheizung)

Über die Temperaturfühler T_1 und T_2 werden die Absorber als auch die Beckenwassertemperatur erfasst. Liegt die Absorbtemperatur 4 bis 5 °C über der des Beckenwassers, schaltet der Regler die Umwälzpumpe ein. Das Drei-Wege-Stellventil wird so gestellt, dass das Beckenwasser zum Schwimmbadabsorber gefördert wird. Ist die Temperaturdifferenz ausgeglichen, wird die Pumpe abgeschaltet und das Drei-Wege-Ventil umgestellt.

Um die Umwälzpumpe auch unabhängig vom Solarbetrieb in Gang zu setzen (Filterung des Schwimmbeckenwassers), wird die Regelung durch einen Ein/Aus-Schalter überbrückt.

Umwälzpumpe (Solarthermische Anlagen)

Die Umwälzpumpe fördert die Wärmeträgerflüssigkeit durch den Solarkreis. Die Pumpe wird in die Rücklaufleitung des Solarkreises eingebaut.

Moderne Pumpen besitzen drei bis vier Leistungsstufen (Drehzahlbereiche) oder eine stufenlose Drehzahlregelung. Die zum Einsatz kommenden Umwälzpumpen entsprechen denen, die seit Jahrzehnten in Heizungsanlagen eingebaut werden. Für kleine Solaranlagen genügen z. B. die kleinen Wilo-Pumpen RS 25 - 60r bis RS 25 - 70r. Die Fördermengen betragen ca. 50 l/h je Quadratmeter Kollektorfläche bei hoher Einstrahlungsintensität.

Zwei Arten werden eingesetzt:

- **Trockenläuferpumpen** (hier ist das Pumpenlaufrad vom Motor getrennt und wird durch Magnetkupplung in Rotation versetzt)
- **Nassläuferpumpen** (der gekoppelte Motorteil liegt in der Wärmeträgerflüssigkeit).

Maßgeblich für die erforderliche Pumpenleistung ist die Fördermenge und der durch die Strömungswiderstände der Bauteile des Solarkreislaufes hervorgerufene Druckverlust. Zur Vermeidung hoher Druckverluste sollte die Strömungsgeschwindigkeit auf 0,5 m/s bis 1 m/s begrenzt werden.

Die zulässige Wärmeträgertemperatur sollte allgemein 110 °C nicht überschreiten, um Ausfälle der Umwälzpumpe zu vermeiden. Umwälzpumpen in kleinen Solaranlagen laufen etwa 1200 bis 1500 Stunden im Jahr und verursachen Stromkosten von ca. 8 bis 15 Euro.

Umwälzpumpe (Solare Schwimmbadheizung)

Liegt bei Schwimmbädern die Höhendifferenz zwischen Becken und Absorberoberkante unter 7 m, genügt in der Regel eine Pumpe für Umwälzung und Filtrierung. Die kleinsten Schwimmbadpumpen haben eine Leistung von 500 W. Die Durchflussgeschwindigkeit des Schwimmbeckenwassers durch den Absorber liegt bei 70 bis 100 l/m²h.

Verrohrung

Als Verrohrung wird das Leitungssystem auf der Brauchwasserseite zwischen Speicher und Zapfstellen bezeichnet. Bei sehr langen Leitungen zwischen Speicher und Zapfstelle, erreicht man durch eine Warmwasserzirkulation, dass sofort warmes Wasser am Auslauf zur Verfügung steht. Dazu wird vor den Zapfstellen die Warmwasserleitung mit einem Abzweig versehen und wieder zum Speicher zurückgeführt. Das Umpumpen erfolgt mit einer Zirkulati-



onspumpe geringer Leistung. Um die durch die Warmwasserzirkulation auftretenden Wärmeverluste in Grenzen zu halten, muss die Leitung gut wärmegeklämt sein. Die Mindestdämmschichten betragen z. B. bis DN 20 20 mm, ab DN 22 bis DN 35 30 mm Dämmdicke. Auch sollte bei Leitungslängen unter 8 m und einem Rohrdurchmesser von < 18 mm auf das Umpumpen verzichtet werden.

In den Nachtstunden erfolgt von 1 bis 5 Uhr eine vierstündige Abschaltung der Zirkulation über eine Zeitschaltuhr. Um die Zirkulationsverluste besser durch den Solarkreislauf ausgleichen zu können, wird bei hoher Temperatur des Vorseichers der Zirkulationsrücklauf durch automatische Regelung des Dreiwegestellventils in den Vorseicher zurückgeführt. Sonst läuft der Rücklauf in den Bereitschaftsspeicher zurück.

Für kleine Solaranlagen finden Kunststoffrohre aus PVC, PP (Polypropylen), PE (Polyethylen) Verwendung. PVC-Rohre werden verklebt, PP- und PE-Rohre verschweißt.

Wärmemengenzähler

Durch Einbau von Wärmemengenzählern kann der bereitgestellte Energieertrag des Kollektorfeldes messtechnisch erfasst und für eine energetische Auswertung herangezogen werden.

Wärmemengenzähler messen gleichzeitig Wärmeträgermenge und Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf und ermitteln aus diesen Werten die Wärmemenge in kWh bzw. MWh.

Wärmetauscher

Im Wärmetauscher wird die im Kollektorfeld erzeugte Wärme dem Brauchwasser über die im Solarkreislauf strömende Wärmeträgerflüssigkeit zugeführt. Als Brauchwasser wird das durch eine thermische Solaranlage erwärmte Trinkwasser (Warmwasser) bezeichnet.

Die Leistungen von Kollektorfläche und Wärmetauscher müssen aufeinander abgestimmt sein.

Für Solaranlagen mit Flachkollektoren und einer Kollektorfeldgröße bis zu 15 m² werden meist Speicher mit integriertem Wärmetauscher eingesetzt.

Es werden Rohrwendelwärmetauscher eingesetzt. Sie bestehen aus glattwandigem oder gerippten Kupferrohr, glattwandigem, emaillierten Stahlrohr oder Edelstahlrohr. Für die pauschale Auslegung können folgende Richtwerte für das Verhältnis von Wärmetauscher- und Kollektorfläche herangezogen werden:

Glattrohrwärmetauscher	0,25 m ² / m ² Kollektor
Rippenrohrwärmetauscher	0,35 m ² / m ² Kollektor

Für thermische Solaranlagen mit Kollektorflächen > 15 m² finden vorrangig Plattenwärmetauscher, die separat aufgestellt werden und auf Pufferspeicher arbeiten, Anwendung.

Plattenwärmetauscher bestehen aus dünnwandigen Platten, die durch einen schmalen Zwischenraum getrennt, hintereinander angebracht sind. Dabei fließt abwechselnd durch einen Zwischenraum der Wärmeträger und durch den folgenden die wärmeaufnehmende Flüssigkeit.

Wärmeträger

In Solaranlagen mit geschlossenem Solarkreislauf werden Wärmeträgerflüssigkeiten verwendet.

Gebräuchliche Wärmeträgerflüssigkeiten in Solaranlagen zur Warmwassererwärmung bestehen aus einem Gemisch von Wasser und Propylenglykol mit Korrosionsinhibitoren. Im allgemeinen wird ein Mischungsverhältnis von

Wasser : Propylenglykol = 60 : 40 Volumen-%

empfohlen. Der Frostschutz besteht bis -21 °C. Sinkt die Temperatur weiter ab, so nimmt das Wärmeträgergemisch einen eisbreiartigen Zustand an. Unter -28 °C wird das Gemisch fest und kann den Solarkreis beschädigen.

Wechselrichter

Wechselrichter sind Bestandteil der Photovoltaik-Anlagen. Es werden statische und dynamische Wechselrichter unterschieden.

Beim dynamischen Wechselrichter treibt ein Gleichstrommotor einen Wechselstromgenerator an, der dann eine sinusförmige Ausgangsspannung erzeugt.

Für Solaranlagen werden ausschließlich statische Wechselrichter benutzt. Bei diesen wird mit Hilfe von Leistungsschalttransistoren der Strom zunächst zerhackt und anschließend die Spannung auf 230 V hochtransformiert. Es werden Wechselrichter mit und ohne Transformator unterschieden. Beim Wechselrichter mit Transformator sind Ein- und Ausgangsspannung galvanisch getrennt. Werden die Wechselrichter nach der Art der Ausgangsspannung unterteilt, unterscheidet man zwischen Rechteck-, Trapez- und Sinuswechselrichter.

Nach Möglichkeit sollten auch in autonomen Solaranlagen Sinuswechselrichter eingesetzt werden, um zu garantieren, dass alle Arten von Verbrauchern angeschlossen werden können.

Für einen anspruchsvollen Betrieb sind Sinuswechselrichter mit integriertem Laderegler vorzuziehen.



12 Quellenverzeichnis

Solarfibel Chemnitz 2004

Deutscher Wetterdienst

„Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG“,
Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien,
2004, 2008

Die enthaltenen Fotos unterliegen, wenn nicht anders
vermerkt, dem Copyright der Stadtverwaltung Erfurt,
Umwelt- und Naturschutzamt.

Mit freundlicher Unterstützung:

- Umweltamt Chemnitz
- Handwerkskammer Erfurt
- Kommunale Wohnungsgesellschaft mbH Erfurt
- Firma Abera Erfurt
- Firma SAVIS Erfurt-Frienstedt
- Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbH
(LEG Thüringen)
- WEBS Energies GmbH
- AEP Energie-Consult GmbH
- Stadtwerke Erfurt Netz GmbH

13 Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Fragespiegel für die Dimensionierung und
Anschaffung einer thermischen Solaranlage

Anlage 2: Von der Handwerkskammer Erfurt zertifizierte
Fachbetriebe für Erneuerbare Energien



Anlage 1

Fragespiegel für die Dimensionierung und Anschaffung einer thermischen Solaranlage

1. Zu meinem Haushalt

Wie viele Personen sollen mit solar erwärmtem Wasser versorgt werden?

Wie oft/wie lange wird geduscht/ gebadet?

2. Welche Anlage ist die richtige für mich?

Soll nur Warmwasser solar erzeugt werden?

Soll eine Anlage zur Warmwassererzeugung und Heizungsunterstützung errichtet werden?

Sollen Waschmaschine und/oder Geschirrspüler auch mit Solarwärme versorgt werden?

3. Angaben zum Haus

Wird das Haus neu gebaut?

Soll im bestehenden Haus eine Solaranlage eingebaut werden?

Handelt es sich um ein Einfamilien-/Mehrfamilienhaus?

Sind Baupläne vorhanden?

4. Angaben zur Warmwasserbereitung und Heizung

Womit wird das Haus beheizt (Öl, Gas, Strom, Kohle)?

Wie wird das Warmwasser erhitzt?

- zentral

- dezentral

Wie alt ist meine Heizung?

5. Angaben zum Dach

In welche Richtung zeigt mein Dach?

Welche Form hat das Dach (spitz, flach)?

Wie groß ist das Dach (m²) in Richtung Süd, Südwest, Südost?

Welche Neigung hat das Dach (Grad)?

Wie viele Dachfenster sind vorhanden?

Wie viele Schornsteine sind vorhanden?

Verschatten Bäume oder Nachbargebäude Teile des Daches?

Wie viele m² Dachfläche stehen für die Solaranlage zur Verfügung?

Benötige ich eine fachmännische Beratung?

6. Finanzierung der Solarwärmeanlage

Eigenmittel/zusätzlich Fördermittel



Anlage 2

Von der Handwerkskammer Erfurt zertifizierte Fachbetriebe für Erneuerbare Energien

- **Häring GmbH Gebäude und Energietechnik**

Backhausgasse 2
99869 Goldbach

Tel. 036255 82996

info@haering-heizung-sanitär.de

www.Haering-Heizung-Sanitär.de

- Solarthermie
- Wärmepumpe

- **Dachprofi Solar & Gebäudetechnik GmbH**

Das Steinfeld 15
99869 Wandersleben

Tel. 036202 218-0

info@dachprofi.de

www.dachprofi.de

- Solarthermie
- Photovoltaik

- **Elektro-Kellner**

Feldstraße 10
37327 Leinefelde-Worbis

Tel. 03605 502580

info@elektro-kellner.de

www.elektro-kellner.de

- Photovoltaik

Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da die Weiterbildungen ständig durchgeführt werden. Aktuelle Informationen dazu können Sie von der Handwerkskammer Erfurt, Tel. 0361 67070 oder unter www.hwk-erfurt.de erhalten.



