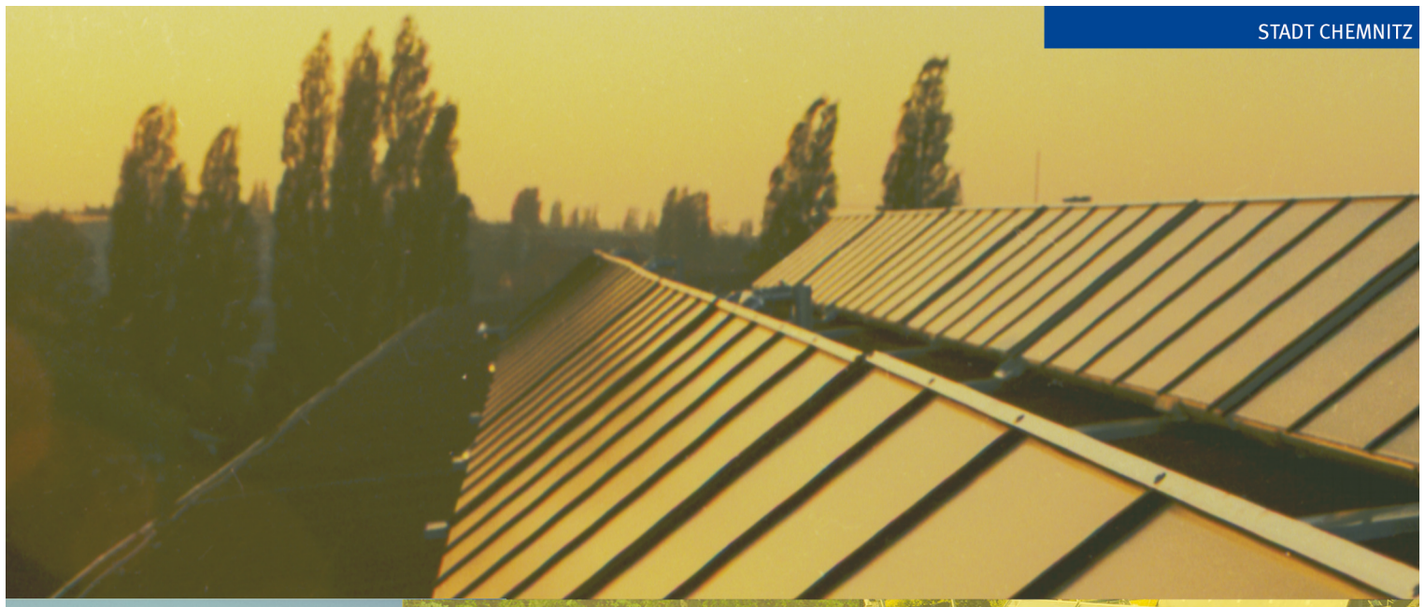
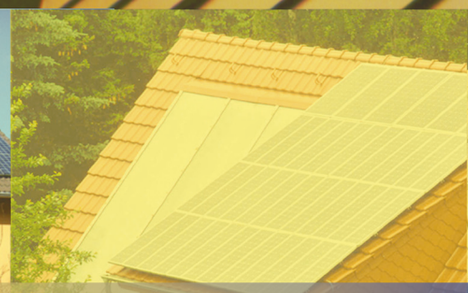
STADT CHEMNITZ









SOLARFIBEL

Ein praktischer Ratgeber

Informationen für Hausbesitzer und solche, die es werden wollen

CHEMNITZ
STADT DER
MODERNE

Liebe Mitbürgerinnen und Mitbürger,

auf jeder zweiten Dachfläche in Chemnitz ist die Nutzung der Solarenergie möglich.
Für dieses Entwicklungspotential, insgesamt 1,7 Mio.m² Dachfläche auf 17.000 Gebäuden, steht moderne Technik zur Verfügung, die dazu beiträgt

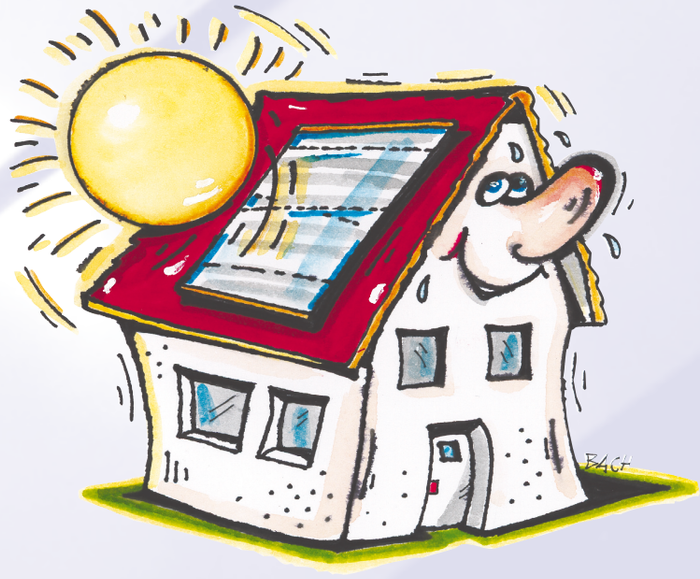
- zukunftsweisende Arbeitsplätze zu schaffen,
- die natürlichen Lebensgrundlagen zu sichern und
- einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Bei der Gebäudemodernisierung ist die Solarenergie eine Überlegung wert.
Mit Hilfe dieser Broschüre können Sie

- die nutzbare Globalstrahlung ermitteln,
- den solaren Nutzwärmeertrag berechnen,
- die Solaranlage nach Ihren Ansprüchen auslegen und
- die entstehenden Kosten einschätzen.

Wer heute in die Solartechnik investiert, investiert in die Zukunft.

Petra Wesseler
Bürgermeisterin



Effektiv Warmwasser zubereiten,
Strom erzeugen und Gebäude beheizen...



Inhaltsverzeichnis

1. Nutzungsmöglichkeiten der Solarenergie 2

1.1. Thermische Solaranlagen 2
1.1.1. Funktion 3
1.1.2. Auslegungsvarianten 3
1.2. Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung 3
1.2.1. Funktion 3
1.2.2. Anwendungsgebiete 3

2. Wetterdaten 4

2.1. Sonnenscheindauer in Chemnitz 4
2.2. Globalstrahlung in Chemnitz 4

3. Solare Potenziale in Chemnitz 6

3.1. Kriterien der Solareignung 6
3.2. Ermittelte Potenziale 6

4. Vorhandene Solaranlagen der Stadt Chemnitz 7

5. Ermittlung des nutzbaren Solarenergieangebotes 9

5.1. Diffuse und direkte Strahlungsanteile 9
5.2. Allgemeiner Rechenweg zur Ermittlung der nutzbaren Globalstrahlung 10
5.3. Rechenbeispiel 10

6. Dimensionierung solarthermischer Anlagen 11

6.1. Ermittlung des Wärmebedarfes 11
6.2. Ermittlung der Kollektorfeldgröße 11
6.3. Rechenbeispiele 13
6.4. Solarer Nutzwärmeertrag 14
6.5. Speichervolumen 16
6.6. Anlagendimensionierung mittels Faustformel oder Nomogramm 16
6.7. Durchschnittliche Kosten 17

7. Solarthermische Anlagen in der Praxis 18

7.1. Solare Brauchwassererwärmung für Einfamilienhäuser 18
7.2. Solare Heizungsunterstützung mit Kombispeicher für Einfamilienhäuser 22
7.3. Solare Warmwasserbereitung für Wohnblöcke 26
7.4. Brauchwasservorwärmung und Unterstützung der Raumheizung 31
7.5. Solare Schwimmbadheizung 33
7.6. Solargestützte Nahwärmeversorgung 35

8. Photovoltaik-Anlagen in der Praxis 36

8.1. Beschreibung der Anlage 36
8.2. Abschätzung des Energiebedarfs einer Inselanlage 37
8.3. Auslegung der Anlage 38
8.4. Anwendungsmöglichkeiten 40

9. Solare Anlagen – Baurecht – Energieberatung 40

10. Schadstoffreduzierung durch solarthermische Anlagen 41

11. Staatliche Hilfen 41

12. Erläuterung der Fachbegriffe 42

13. Quellenverzeichnis 47

14. Anlagenverzeichnis 47

Anlage 1: Nutzbare Solarstrahlung für Chemnitz 48
Anlage 2: Fragespiegel für die Dimensionierung und Anschaffung einer thermischen Solaranlage 49

Bild (Titelseite): Wohnhaus mit solarthermischer Anlage und Photovoltaik-Anlage in Chemnitz

1. Nutzungsmöglichkeiten der Solarenergie

Die Solarenergienutzung ist eine Möglichkeit zur umweltfreundlichen Sicherung des zukünftigen Energiebedarfs der Menschheit.
Um Sonnenenergie zu nutzen, ist eine Gebäudeausrichtung nach Süden vorteilhaft. Große Fensterflächen nach Süden führen zu Wärmegewinnen und zu einer guten Ausleuchtung der Wohnräume. Aufenthaltsräume sollten auf der Südseite, Nebenräume dagegen an der Nordseite eingerichtet werden.

Die Wärmedämmung der Gebäudehülle, kombiniert mit einer wirkungsvollen Heizanlagentechnik, ermöglicht eine wirtschaftliche und umweltschonende Energienutzung.

Beim Verbrennen von Holz o. a. Biomasse wird die gespeicherte Sonnenwärme kohlendioxidneutral genutzt.

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 abgegeben. Eine elektronische Steuerung schaltet die Pumpe des Solarkreislaufes immer dann ein, wenn die Kollektortemperatur um einen bestimmten Betrag über der Speichertemperatur liegt.

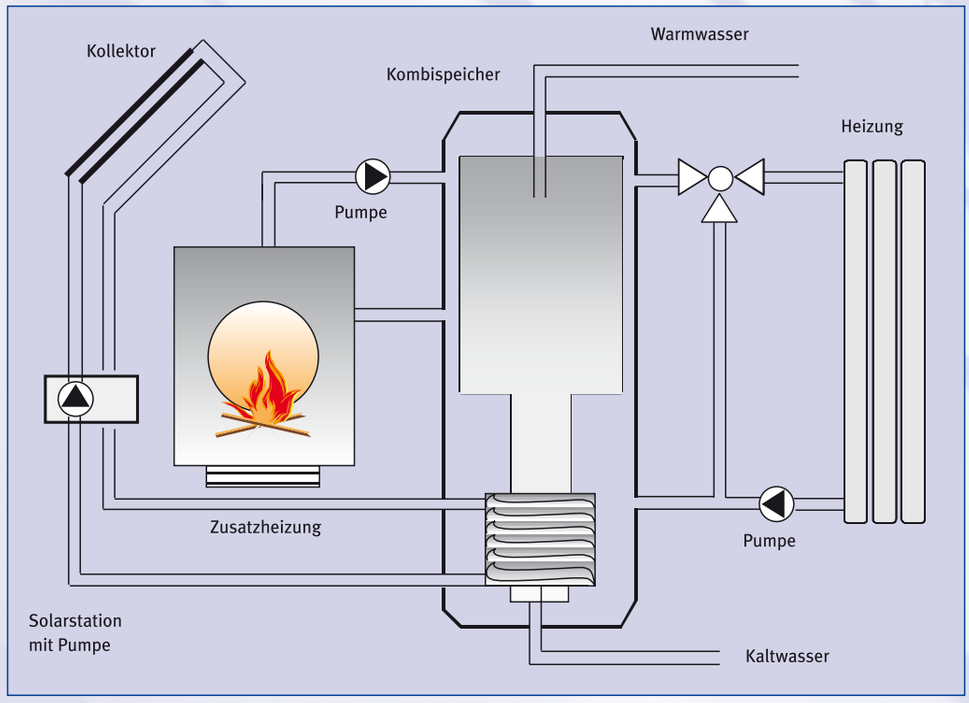


Bild 1: Prinzipschema einer Solaranlage zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung („Kombi-Anlage“)

1.1.1. Funktion

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

Bestimmend für den Anlagenwirkungsgrad sind die Kollektorbauart (Vakuumröhren- oder Flachkollektor), der Temperaturunterschied zwischen Kollektor und Umgebung, die Strahlungsintensität am Aufstellungsort, die Anlagenverrohrung einschließlich Wärmedämmung sowie die Speicherbauart.

1.1.2. Auslegungsvarianten

Für die Dimensionierung einer Solaranlage ist primär zu entscheiden, wie groß der Anteil am Energieverbrauch sein soll, den man durch die Solarenergie decken will. Der solare Deckungsanteil schwankt heute zwischen 30 und 70% je nach Auslegung und Bedarfsprofil der Verbraucher.

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 September den Warmwasserbedarf vollständig abzudecken. Selbst in kalten Wintermonaten arbeitet die Solaranlage und unterstützt die Wassererwärmung.

Bei Einfamilienhäusern wird ein Gesamtdeckungsgrad 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 Brauchwassererwärmung 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. Die Vorteile liegen auf der Hand: Die benötigte Kesselleistung wird kleiner, man spart Brennstoffkosten, die Umwelt wird entlastet und die Lebensdauer der Heiztechnik verlängert sich. Es gibt spezielle Systemlösungen, die zu einer wesentlichen Heizkosteneinsparung führen, z. B. Brennwertkessel mit Niedertemperaturheizung.

Parallel zur Modernisierung der Heizanlage mit Solarunterstützung sind Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs notwendig. Nur die Wärmedämmung der Gebäudehülle kombiniert mit einer wirkungsvollen Heizanlagentechnik ermöglicht eine wirtschaftliche und umweltschonende Energienutzung.

Tipp: solarthermische Anlagendimensionierung mit Nomogramm nach Bild 6 Seite 17

1.2. Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung

Das Wort Photovoltaik ist eine Zusammensetzung aus dem griechischen Wort für Licht und dem Namen des Physikers Alessandro Volta.
Es bezeichnet die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie mittels Solarzellen. Der Umwandlungsvorgang beruht auf dem bereits 1839 von Alexander Bequerel entdeckten Fotoeffekt. Unter dem Fotoeffekt versteht man die Freisetzung von positiven und negativen Ladungsträgern in einem Festkörper durch Lichteinstrahlung.

1.2.1. Funktion

Solarzellen werden aus verschiedenen Halbleitermaterialien hergestellt. Silizium ist mit 95% das gebräuchlichste Material für Solarzellen. Bei der solaren Elektroenergiegewinnung wird der fotoelektrische Effekt von Halbleitern genutzt. Zur Herstellung einer Solarzelle wird das Halbleitermaterial „dotiert“. Damit ist das definierte Einbringen von chemischen Elementen gemeint, mit denen man entweder einen positiven Ladungsträgerüberschuss (p-leitende Halbleiterschicht) oder einen negativen Ladungsträgerüberschuss (n-leitende Halbleiterschicht) im Halbleitermaterial erzielen kann.
Werden zwei unterschiedlich dotierte Halbleiterschichten zusammengefügt, entsteht an der Grenzschicht ein sogenannter p-n-Übergang. An diesem Übergang baut sich ein inneres Feld auf, das zu einer Ladungstrennung der bei Lichteinfall freigesetzten Ladungsträger führt. Die an Solarzellen (Siliziumzellen etwa 10 cm x 10 cm groß) abgreifbare Spannung beträgt bei Silizium etwa 0,5 V.
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.

1.2.2. Anwendungsgebiete

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. In der Solarfibel wird als Beispiel die netzgekoppelte Stromversorgung eines Wochenendhauses dargestellt.
Weitere typische Anwendungsgebiete der Photovoltaik sind Konsumgüter wie Uhren oder Taschenrechner; Einzelgeräte wie Notrufsäulen und Parkscheinautomaten; Solarmobile, netzferne Stromversorgung in Ferienhäusern, abgelegenen Anwesen oder Messstationen und die zentrale Stromversorgung durch Photovoltaik-Kraftwerke.

2. Wetterdaten

Die geografische Lage von Chemnitz bietet günstige Voraussetzungen zur Nutzung der Sonnenenergie. Auch die Sonnenscheindauer liegt über dem Bundesdurchschnitt. Quelle Deutscher Wetterdienst Wetteramt Dresden

2.1. Sonnenscheindauer in Chemnitz

Die mittlere Sonnenscheindauer in Chemnitz beträgt 1.556 Stunden in einem Jahr. Ihre monatliche Verteilung zeigt Tabelle 1.

Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept	Okt	Nov	Dez
56	70	114	147	192	202	196	192	155	126	58	48

Jahressumme: 1.556 h/a

Tabelle 1: Mittlere Monatssummen der Sonnenscheindauer für Chemnitz in Stunden.

2.2. Globalstrahlung in Chemnitz

Die Verteilung der Globalstrahlung in Deutschland zeigt Bild 4 . Als Globalstrahlung bezeichnet man die Menge der Sonnenenergie, welche die Erdoberfläche erreicht. Sie ist außer vom Sonnenstand in starkem Maße von den Wetterverhältnissen abhängig (Bild 3). Die mittlere Jahressumme der Globalstrahlung beträgt für Chemnitz etwa 1.058 kWh/m². Die monatlichen Strahlungswerte sind in Tabelle 2 dargestellt.

Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept	Okt	Nov	Dez
26,66	47,04	75,02	108,30	157,48	148,80	155,00	143,22	89,40	59,21	29,70	17,98

Jahressumme: 1.057,81 kWh/m²

Tabelle 2: Mittlere Monatssumme der Globalstrahlung für Chemnitz in kWh/m².

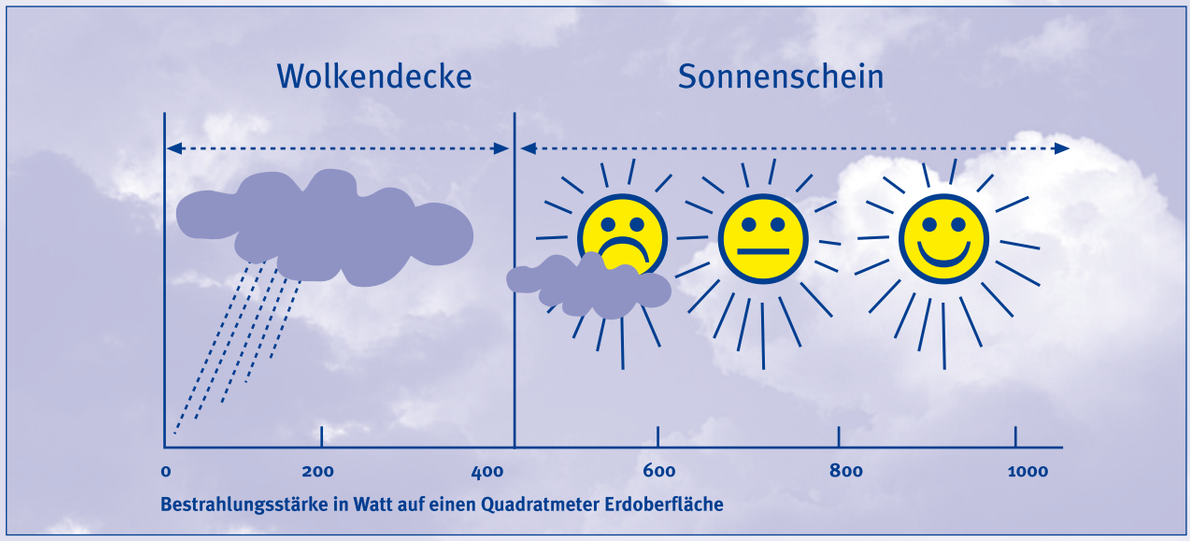


Bild 3: Zusammenhang zwischen Wetterverhältnissen und Stärke der Solarstrahlung

GLOBALSTRAHLUNG IN DEUTSCHLAND Mittlere Jahressummen **Zeitraum: 1981 – 1998**

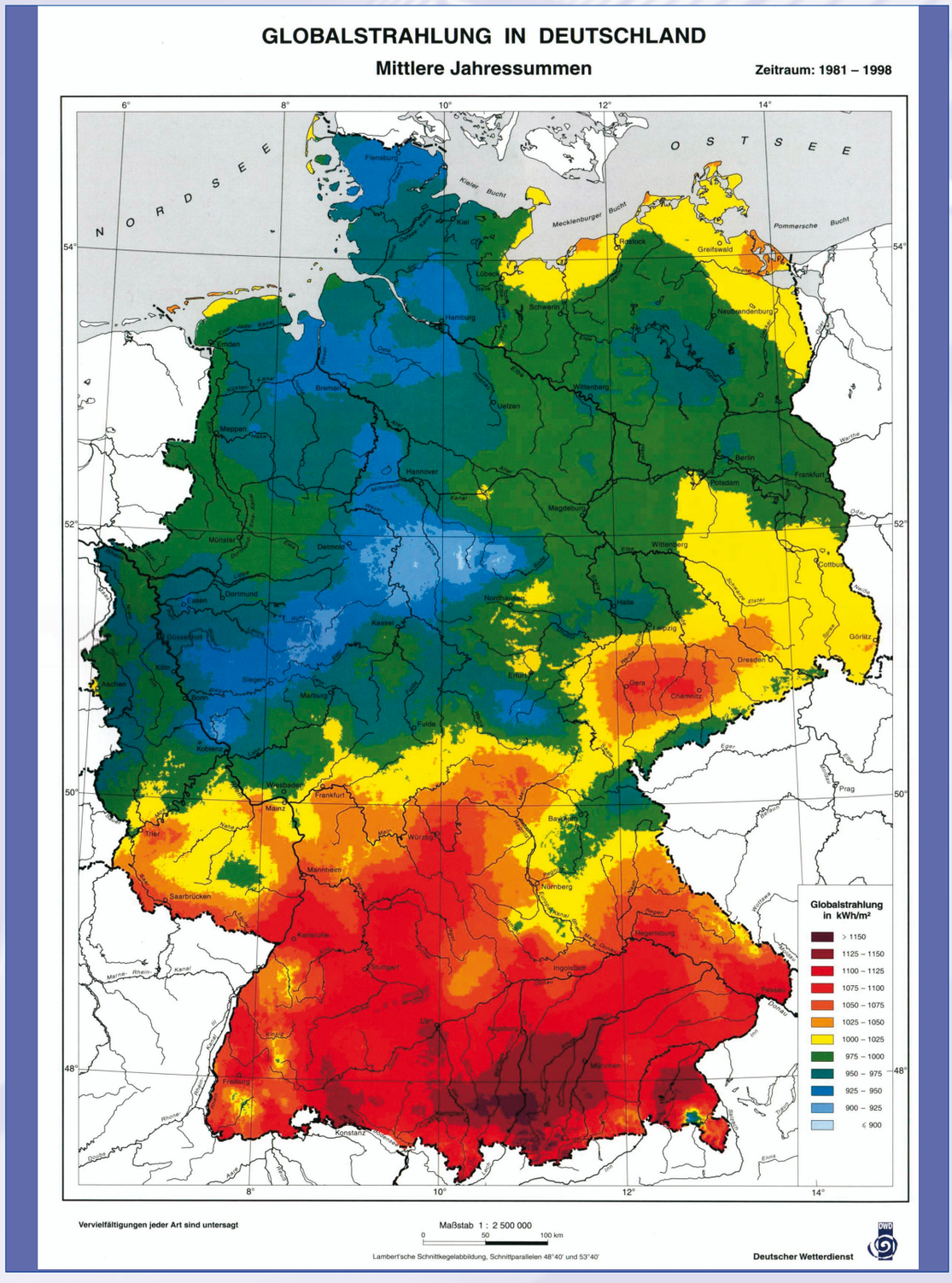


Bild 4: Globalstrahlung in Deutschland

3. Solare Potenziale in Chemnitz

Die Stadt Chemnitz als Mitglied im Klimabündnis strebt eine CO_2-Minderung um 50% - bezogen auf das Basisjahr 1990 - bis zum Jahr 2010 an. Will man die Klimaschutzziele erreichen, kommt der Nutzung der Sonnenenergie in städtischen Gebieten eine große Bedeutung zu. Der Chemnitzer Gebäudebestand wurde deshalb nach Möglichkeiten zur Errichtung solartechnischer Anlagen untersucht. Trotz steigender Nutzung der Solarenergie und dem Trend zur Energiereduzierung sind noch erhebliche Investitionen erforderlich, um die Zielstellung einer solaren Deckungsrate von 20% zu erreichen.

3.1. Kriterien der Solareignung

Die Ermittlung der solaren Potenziale wurde auf Wohngebäude begrenzt.
Die ermittelten Flächenpotenziale, die entscheidenden Einfluss auf die weiteren Berechnungen haben, sind von der Dachart der jeweiligen Gebäude abhängig.
Während auf Flachdächern aufgeständerte Solaranlagen meist optimal zur Sonne ausgerichtet werden können, ist bei Satteldächern die Neigung und Ausrichtung vorgegeben.
Erfasst wurden nur Satteldächer mit einer maximalen Abweichung von 45° aus der Südrichtung (= Südwest bis Südost) und einem Neigungswinkel von 30° bis max. 60°. Das Optimum liegt bei einer Dachschräge von 45°.
Verluste durch bauliche Gegebenheiten, Ausrichtung und Verschattung sind bei der Berechnung der solargeeigneten Flächen mit einem Zuschlag von 15% bei Satteldächern berücksichtigt.
Fassaden wurden mit Südausrichtung und mit einer maximalen Abweichung von 45° erfasst.

Der Algorithmus zur Ermittlung der Solareignung Chemnitzer Dachflächen ist in Bild 5 dargestellt.

3.2. Ermittelte Potenziale

Die Ergebnisse der Potenzialabschätzung für Chemnitz sind in Tabelle 3 und 4 dargestellt.
Bei einer 60%igen Deckung des Wärmebedarfes zur Warmwassererzeugung (Haushalte) werden etwa 15% der solargeeigneten Dachflächen benötigt. Verbleibende Dachflächen könnten zur Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen genutzt werden.

	gesamt	davon für solare Nutzung geeignet
Wohngebäude (Anzahl)	30.287	17.241
Dachflächen (m²)	2,8 Mio	1,7 Mio

Tabelle 3: Dachflächepotenziale im Stadtgebiet Chemnitz

Wärmebedarf für Warmwasser	152.139 MWh/a
solarer Wärmebedarf bei 60% Deckung	91.283 MWh/a
benötigte Kollektorfeldfläche (mit 350 kWh/m² mittlerem Jahreswärmeertrag)	260.810 m²
= Anteil an der solargeeigneten Dachfläche	15,5%

Tabelle 4: Benötigtes Dachflächepotenzial im Stadtgebiet Chemnitz

4. Vorhandene Solaranlagen der Stadt Chemnitz

Solaranlagen gesamt	212 Anlagen
- davon Solarthermie mit einer Kollektorfläche von	184 Anlagen 3.356 m²
- davon Photovoltaik mit PV-Modulfläche von mit einer Leistung von	28 Anlagen 641 m² 64 kW_p

Mit diesen Solaranlagen werden ca. 1.175 MWh Heizenergie bzw. 51 MWh Elektroenergie aus fossilen Brennstoffen ersetzt. Das entspricht einer Einsparung von 283 Tonnen CO_2.

Den Anteil Solaranlagen an öffentlichen Gebäuden zeigt Tabelle 5.

Objekt	thermische Solaranlage [m²]	Photovoltaik [m²]
Naturschutzstation	6,0	1,0
Stadtbad	288,8	
Solaristurm	540,0	103,0
Kindertagesstätte Schönherrstraße	10,0	60,0
Freibad Gablenz	800,0	
DRK Krankenhaus Rabenstein	120,0	28,0
Studentenwohnheim	108,0	
TU Chemnitz	4,0	
Mittelschule Wittgensdorf		40,0
Industriemuseum	76,6	
Gottfried-Leibniz-Gymnasium	5,5	
Botanischer Garten	5,0	
Berufsschulzentrum Technik III	12,8	36 + 7

Tabelle 5: Solaranlagen öffentlicher Gebäude und an Industrie- und Gewerbebetrieben (Stand Mai 2003)

Verschattungssituation:

N = Nadelgehölze
L = Laubgehölze
G = Gebäude
O = Oberflächenstruktur

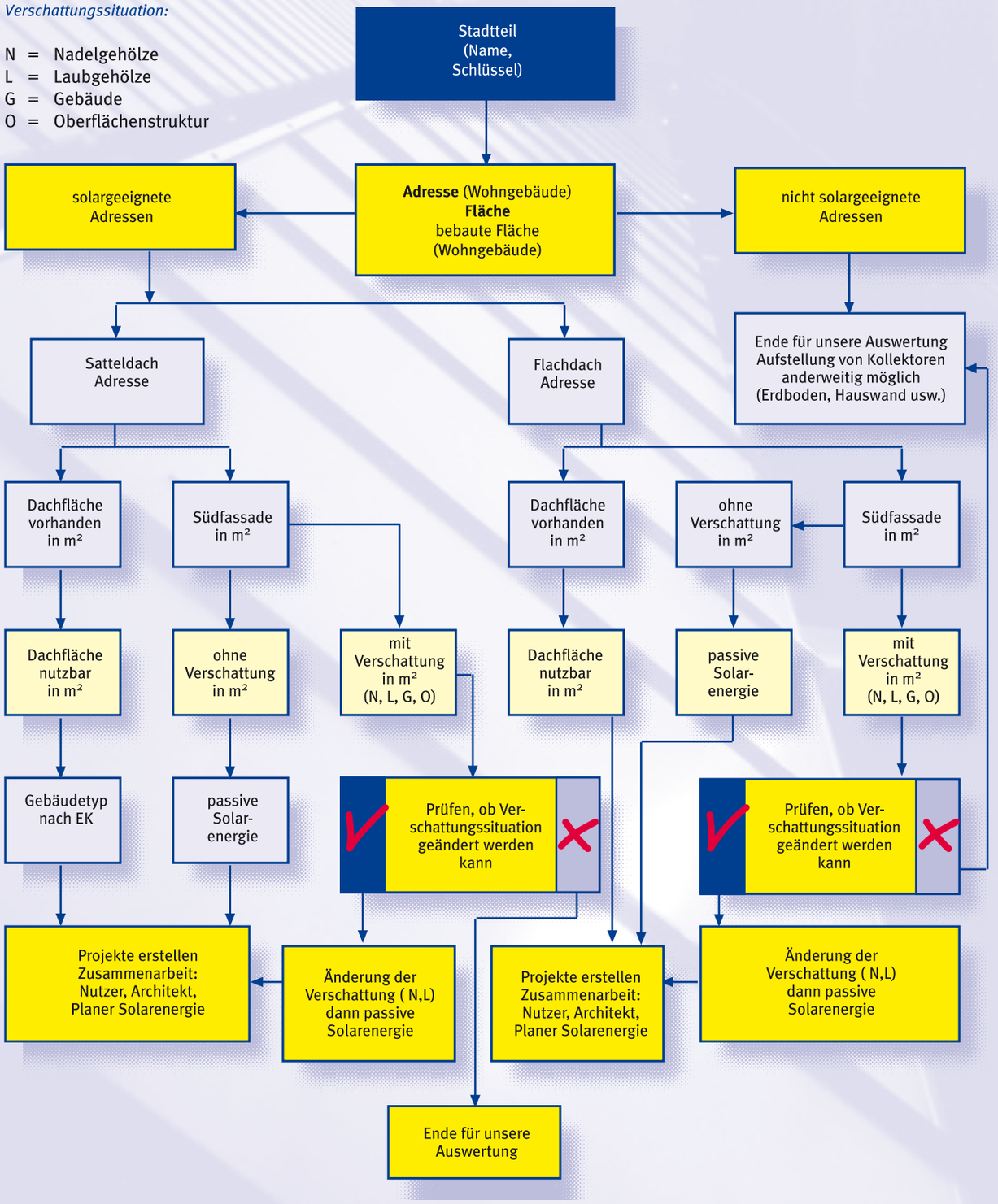


Bild 5: Algorithmus zur Ermittlung der Solareignung Chemnitzer Dachflächen (zu Abschnitt 3.2.)

5. 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 Chemnitz.

5.1. Diffuse und direkte Strahlungsanteile

Die Anteile diffuser und direkter Strahlung sind im Verlauf eines Jahres unterschiedlich. Die anzusetzenden Faktoren „a“ und „b“ sind aus Tabelle 6 zu entnehmen.

Monat	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
Anteil diffuse Strahlung = Faktor a	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
Anteil direkte Strahlung = Faktor b	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3

Tabelle 6: Aufteilung der Solarstrahlung in direkte und diffuse Strahlung

Die nutzbare diffuse Solarstrahlung ist abhängig vom Kollektorneigungswinkel.

Der betreffende Korrekturfaktor „c“ ist aus Tabelle 7 zu entnehmen.

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

Tabelle 7: 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 8 zu entnehmen.

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

Tabelle 8: Korrekturfaktor d für direkten Strahlungsanteil

Die jeweils fett markierten Werte gelten für das nachfolgende Berechnungsbeispiel.

5.2. 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 Chemnitz aus Tabelle 2, Seite 4.

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

Diffuser Strahlungsanteil = Monatswert x Faktor a (aus Tabelle 6)
Direkter Strahlungsanteil = Monatswert x Faktor b (aus Tabelle 6)

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

Nutzbare Strahlung = diffuser Strahlungsanteil x Faktor c (aus Tabelle 7)
+ direkter Strahlungsanteil x Faktor d (aus Tabelle 8)

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

5.3. Rechenbeispiel

Die monatsweise Berechnung der nutzbaren Strahlung ist in Tabelle 9 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 11 zusammengefasst. Eine Gesamtübersicht für unterschiedliche Kollektorneigungen und Ausrichtungen zeigt Anlage 1.

	Winter			Frühjahr			Sommer			Herbst		
	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1. Tageswert (Mittelwert der täglichen Globalstrahlung) in kWh/m²	0,86	1,68	2,42	3,61	5,08	4,96	5,00	4,62	2,98	1,91	0,99	0,58
2. Monatswert der Globalstrahlung (Tabelle 2) in kWh/m²	27	47	75	108	158	148	155	144	90	59	30	18
3. diffuser Strahlungsanteil (= Monatswert x Faktor a)	19	28	45	54	79	74	93	72	45	35	18	13
direkter Strahlungsanteil (= Monatswert x Faktor b) in kWh/m²	8	19	30	54	79	74	62	72	45	24	12	5
4. diffuser Anteil x Faktor c	17	25	41	49	71	67	83,70	64	40	32	16	11
direkter Anteil x Faktor d in kWh/m²	19	45	72	76	110	104	68,20	79	49	33	17	8
nutzbare Strahlung in kWh/m²	**36**	**70**	**113**	**125**	**181**	**171**	**152**	**143**	**89**	**65**	**33**	**19**

Jahressumme nutzbarer Sonnenenergie: 1197 kWh/m²a. Davon Anteil Mai bis September: 736 kWh/m²a.

Tabelle 9: Ermittlung der nutzbaren Solarstrahlung (Solaranlage nach Süden ausgerichtet, Neigungswinkel = 30°)

6. Dimensionierung solarthermischer Anlagen

6.1. 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. Die Technische Universität Chemnitz präzisierte mit umfangreichen Messungen diese Richtwerte für das hiesige Nutzerverhalten. Der ermittelte Warmwasserbedarf betrug 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 cW x Temperaturdifferenz ΔT
= 1,163 kWh/l,K x 50 K = 0,058 kWh/l

Der benötigte (Nutz-) Wärmebedarf zur Brauchwassererwärmung 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 bereitgestellt werden, um den Wärmebedarf zur Warmwasserheizung solar abzudecken. Der tatsächliche Wert ist höher auf Grund zu berücksichtigender Wärmeverluste.

6.2. Ermittlung der Kollektorfeldgröße

Es sind die für Chemnitz relevanten Wetterdaten zugrunde gelegt. Die wichtigsten Einflussgrößen sind:

- Strahlungsbedingungen am Aufstellungsort und Ausrichtung der Kollektorfläche (Himmelsrichtung; Neigungswinkel);
- gewünschte solare Bedarfsdeckung (solarer Deckungsgrad);
- Systemwirkungsgrad des Solarsystems.

Strahlungsbedingungen

Orientierungswerte über die nutzbare Solarstrahlung für Chemnitz für verschiedene Kollektorneigungen und ausrichtungen können aus Tabelle 9 (Kollektorneigung 30°), Tabelle 11 (Kollektorneigung 45°) und Anlage 1 entnommen werden. Der Rechenweg ist in Abschnitt 5.2. beschrieben.

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 10):

Maximale Verbrauchsdeckung

Deckung des Nutzwärmebedarfs 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 nicht sinnvoll.

Bedarfs- und kostenoptimierte Auslegung

100%ige solare Deckung des Nutzwärmebedarfes 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 Nutzwärmebedarf.
Folge: Kein solarer Überschuss, kleinere Anlagendimensionierung, geringere Kosten, bessere Wirtschaftlichkeit.

Diese Strategie wird beispielsweise angewendet zur Brauchwasservorwärmung 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		max. 35%

Tabelle 10: Solare Bedarfsdeckung

Im Verlauf eines Jahres ist der solare Deckungsgrad unterschiedlich. Er kann zwischen 100% im Sommer und Null im Winter liegen (Diagramm 1).

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:

$$\text{Systemwirkungsgrad} = \frac{\text{vom Solarsystem abgegebene Nutzwärme} \quad (kWh/m^2)}{\text{auf Kollektorfläche eingestrahlte Energie} \quad (kWh/m^2)} \times 100\%$$

Der Systemwirkungsgrad wird wesentlich vom Kollektor bestimmt. Flachkollektoren erreichen im Jahresdurchschnitt maximal 35 bis 40%, Vakuum-Röhrenkollektoren erreichen etwa 10 bis 15% höhere Erträge. Der Systemwirkungsgrad hängt außer vom technischen Aufbau 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 zeigt den Verlauf über ein Jahr an.

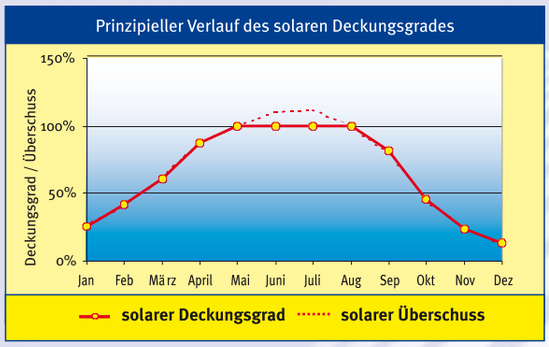


Diagramm 1: Solarer Deckungsgrad

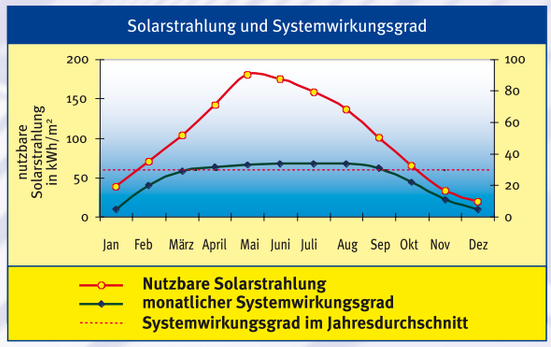


Diagramm 2: Systemwirkungsgrad

Systemwirkungsgrad und Deckungsgrad sind voneinander abhängig. Wird der solare Deckungsgrad durch größer 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 m² ⇢ Systemwirkungsgrad $\leq$ 0,25
Kollektorfläche pro Person 0,6 < 1,2 m² ⇢ Systemwirkungsgrad 0,25 – 0,35
Kollektorfläche pro Person < 0,6 m² ⇢ Systemwirkungsgrad 0,35 – 0,40

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

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

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

6.3. Rechenbeispiele

Beispiel 1: Hohe solare Deckung

In einem Einfamilienhaus soll eine weitgehenst 100%ige Deckung der Warmwassererwärmung von April bis September, also über die Sommermonate hinaus, angestrebt werden. Deshalb wird als Jahresdeckungsgrad der Wert 0,75 (Tabelle 10) und als Systemwirkungsgrad aufgrund des hohen zu erwartenden solaren Überschusses im Sommer nur der Wert 0,25 angesetzt.
Pro Person ergibt sich folgende Kollektorfläche:
Wärmebedarf pro Jahr = 1,51 kWh/d x 365 d/a = 551 kWh/a

$$\text{Kollektorfläche} = \frac{551 \text{ kWh/a}}{1197 \text{ kWh/m}^2} \times \frac{0{,}75}{0{,}25} = 1{,}38 \text{ m}^2\text{/Person}$$

Auf Grund von Wärmeverlusten sollte die Kollektorfläche aufgerundet werden auf 1,5 m²/Person.
Für einen 4-Personen-Haushalt beläuft sich demnach die Kollektorfläche auf 6 m².

Beispiel 2

Mittlere solare Deckung

In einem kleinen Mehrfamilienhaus soll die Solaranlage den Nutzwärmebedarf zur Warmwasserbereitung in den heizungsfreien Sommermonaten Juni, Juli und August vollständig decken.

Angesetzt wird: Jahresdeckungsgrad 0,65 lt. Tabelle 10
Systemwirkungsgrad 0,35

Pro Person ergibt sich folgende Kollektorfläche:
Wärmebedarf pro Jahr = 551 kWh/a (wie Beispiel 1)

$$\text{Kollektorfläche} = \frac{551\ \text{kWh/a}}{1197\ \text{kWh/m}^2} \times \frac{0{,}65}{0{,}35} = 0{,}85\ \text{m}^2\ \text{/ Person}$$

Die spezifische Kollektorfläche wird auf 0,9 m²/Person aufgerundet.

Beispiel 3:

Niedrige Bedarfsdeckung

Für einen Wohnblock mit größerer Mieterzahl soll die solare Nutzwärme zur Vorwärmung des Brauchwassers eingesetzt werden. Solarer Überschuss soll nicht anfallen und der maximal entstehende Kollektorertrag im strahlungsreichsten Monat nicht über dem monatlichen Wärmebedarf liegen.

$$\text{Kollektorfläche} = \frac{55\ \text{kWh/a}}{119\ \text{kWh/m}^2} \times \frac{0{,}45}{0{,}40} = 0{,}52\ \text{m}^2\ \text{/Person}$$

Als solarer Deckungsgrad wird deshalb der Wert 0,45 (Tabelle 10) angesetzt und der Systemwirkungsgrad des geringen zu erwartenden solaren Überschusses und der wirtschaftlicheren Fahrweise der Anlage mit 0,4 relativ hoch gewählt. Um Wärmeverluste auszugleichen, wird die spezifische Kollektorfläche auf 0,6 m²/Person aufgerundet.

Kollektorfläche gesamt

Die Kollektorfläche gesamt ergibt sich durch Multiplikation mit der Zahl der Nutzer. Dabei muss die herstellerabhängige Kollektor-Typengröße berücksichtigt werden. Je nach Anwendungsfall kann zum Ausgleich von Wärmeverlusten aufgerundet oder aus Kostengründen abgerundet werden. Außerdem ist häufig eine maßgeschneiderte Anpassung an die Gebäudesubstanz erforderlich.
Präzisere Berechnungen zur Dimensionierung von Solaranlagen sind durch Hersteller, Projektierungsbüros und Lieferfirmen auf Basis bestehender Computer-Simulationsprogrammen möglich und sollten vor allem für Großanlagen grundsätzlich erfolgen.
Hilfreich ist es, mittels eines Fragespiegels (Beispiel: Anlage 2) die erforderlichen Daten zu ermitteln.
Bei Kleinanlagen genügt meist eine überschlägige Ermittlung mittels Faustformeln (Abschnitt 6.6.).

6.4. Solarer Nutzwärmeertrag

An Hand der ermittelten Kollektorfläche ist eine überschlägige Berechnung des nutzbaren solaren Wärmeertrages möglich:

Monatlicher Wärmeertrag [kWh] = nutzbare Monatsstrahlung [kWh/m²] x
Kollektorfläche [m²] x
Systemwirkungsgrad η

Der tatsächlich genutzte Wärmeertrag entspricht dem Wärmeertrag bis zu maximal dem Wert des Wärmebedarfs (ohne Überschuss). Als Jahressumme werden die Monatswerte des Wärmeertrages bzw. des Wärmebedarfs (wenn der Ertrag diesen überschreitet) addiert. Die berechneten Werte sind in Tabelle 12 zusammengestellt. Sie wurden für die nutzbare Solarstrahlung bei einer Kollektorneigung von 45° und Südausrichtung (Monatswerte: Tabelle 11) ermittelt:

	Winter			Frühjahr			Sommer			Herbst		
	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1. Tageswert (Mittelwert der täglichen Globalstrahlung) in kWh/m²	0,86	1,68	2,42	3,61	5,08	4,96	5,00	4,62	2,98	1,91	0,99	0,58
2. Monatswert der Global-strahlung (Tabelle 2) in kWh/m²	27	47	75	108	158	148	155	144	90	59	30	18
3. diffuser Strahlungsanteil (= Monatswert x Faktor a)	19	28	45	54	79	74	93	72	45	35	18	13
direkter Strahlungsanteil (= Monatswert x Faktor b) in kWh/m²	8	19	30	54	79	74	62	72	45	24	12	5
4. diffuser Anteil x Faktor c	17	25	41	49	71	67	84	64	40	32	16	11
direkter Anteil x Faktor d in kWh/m²	22	53	84	81	116	112	62	79	49	33	17	8
nutzbare Strahlung in kWh/m²	**39**	**78**	**125**	**130**	**189**	**179**	**148**	**136**	**85**	**68**	**34**	**19**

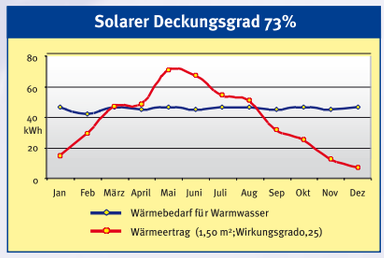
Jahressumme nutzbarer Sonnenenergie: 1.228 kWh/m²a.

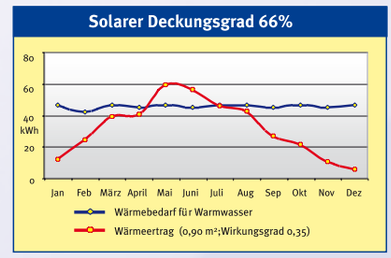
Tabelle 11: Rechenbeispiel für Ermittlung der nutzbaren Solarstrahlung (Solaranlage nach Süden ausgerichtet, Neigungswinkel ß = 45°)

Wärmebedarf pro Person = 26 l x Monatstage x 0,058 kWh/l
Wärmeertrag = nutzbare Strahlung pro Monat [kWh/m²] x Kollektorfläche [m²] x Systemwirkungsgrad

	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	gesamt	Deckungs-grad
nutzbare Strahlung in kWh/m² aus Tab. 7	39	78	125	130	189	179	146	136	85	68	34	19	1.228	
Wärmebedarf für Warmwasser	47	42	47	45	47	45	47	47	45	47	45	47	551	
Beispiel 1 – Hohe solare Deckung:														
Wärmeertrag in kWh (A_{Koll} 1,50 m²; Wirkungsgrad 0,25)	15	29	47	49	71	67	55	51	32	26	13	7	461	
nutzbarer Wärmeertrag in kWh ohne solaren Überschuss	15	29	47	45	47	45	47	47	32	26	13	7	400	
solarer Deckungsgrad	32%	69%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	71%	56%	29%	15%		**73%**
Beispiel 2 – Mittlere solare Deckung:	12	25	39	41	60	56	46	43	27	21	11	6	387	
Wärmeertrag in kWh (A_{Koll} 0,90 m²; Wirkungsgrad 0,35)	12	25	39	41	47	45	46	43	27	21	11	6	363	
nutzbarer Wärmeertrag in kWh ohne solaren Überschuss	26%	58%	84%	91%	100%	100%	98%	92%	59%	46%	24%	13%		**66%**
solarer Deckungsgrad														
Beispiel 3 – Geringe solare Deckung:	9	19	30	31	45	43	35	33	20	16	8	5	295	
Wärmeertrag in kWh (A_{Koll} 0,60 m²; Wirkungsgrad 0,40)	9	19	30	31	45	43	35	33	20	16	8	5	295	
nutzbarer Wärmeertrag in kWh ohne solaren Überschuss	20%	44%	64%	69%	97%	95%	75%	70%	45%	35%	18%	10%		**53%**
solarer Deckungsgrad														

Tabelle 12: Einfamilienhaus – Wärmeertrag für Warmwasser (WW) pro Person bei verschiedenen Kollektordimensionierungen (Kollektorneigung 45°; Südausrichtung)





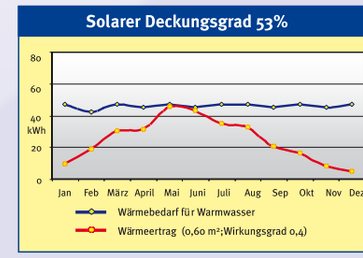


Diagramm 3a bis 3c: Einfamilienhaus –
Solarer Wärmeertrag (pro Person) bei unterschiedlichen Vorgaben des solaren Deckungsgrades

Die graphische Darstellung der Ergebnisse (3a bis 3c) zeigt die Auswirkungen der verschiedenen Strategien solarer Deckung:

- Große spezifische Kollektorflächen führen zu einer solaren Verbrauchsdeckung über einen größeren Zeitraum des Jahres; es entsteht viel ungenutzter Wärmeüberschuss; die Investkosten sind höher und die Wirtschaftlichkeit sinkt.
- Eine bedarfs- und kostenoptimierte Auslegung erbringt in den Sommermonaten praktisch eine vollständige Deckung des Wärmebedarfs zur Warmwasserbereitung; die konventionelle Heizanlage kann ausgeschaltet bleiben; die solaren Überschüsse halten sich in Grenzen; Anlagenkosten und Wirtschaftlichkeit verbessern sich.
- Ist der höchste monatliche Kollektorertrag auf den Nutzwärmebedarf ausgelegt, entsteht praktisch kein Überschuss; die Anlagenkosten reduzieren sich und die Wirtschaftlichkeit wird besser. Es ist jedoch Zusatzenergie auch in den Sommermonaten notwendig (solare Brauchwasservorwärmung).

6.5. 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 zu:

> 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.

6.6. Anlagendimensionierung 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 m^2 pro Person bei Verwendung von Flachkollektoren (Vakuumkollektoren 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		Speichervolumen	
4 x 1,0 – 1,2 m^2	= 4,0 bis 4,8 m^2	2,5 x 26 l x 4	= 260 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 6 zeigt die Ermittlung der Kollektorfläche mittels eines Nomogrammes für einen Vier-Personenhaushalt bei einem mittleren Wasserverbrauch von 30 l pro Person und Tag.

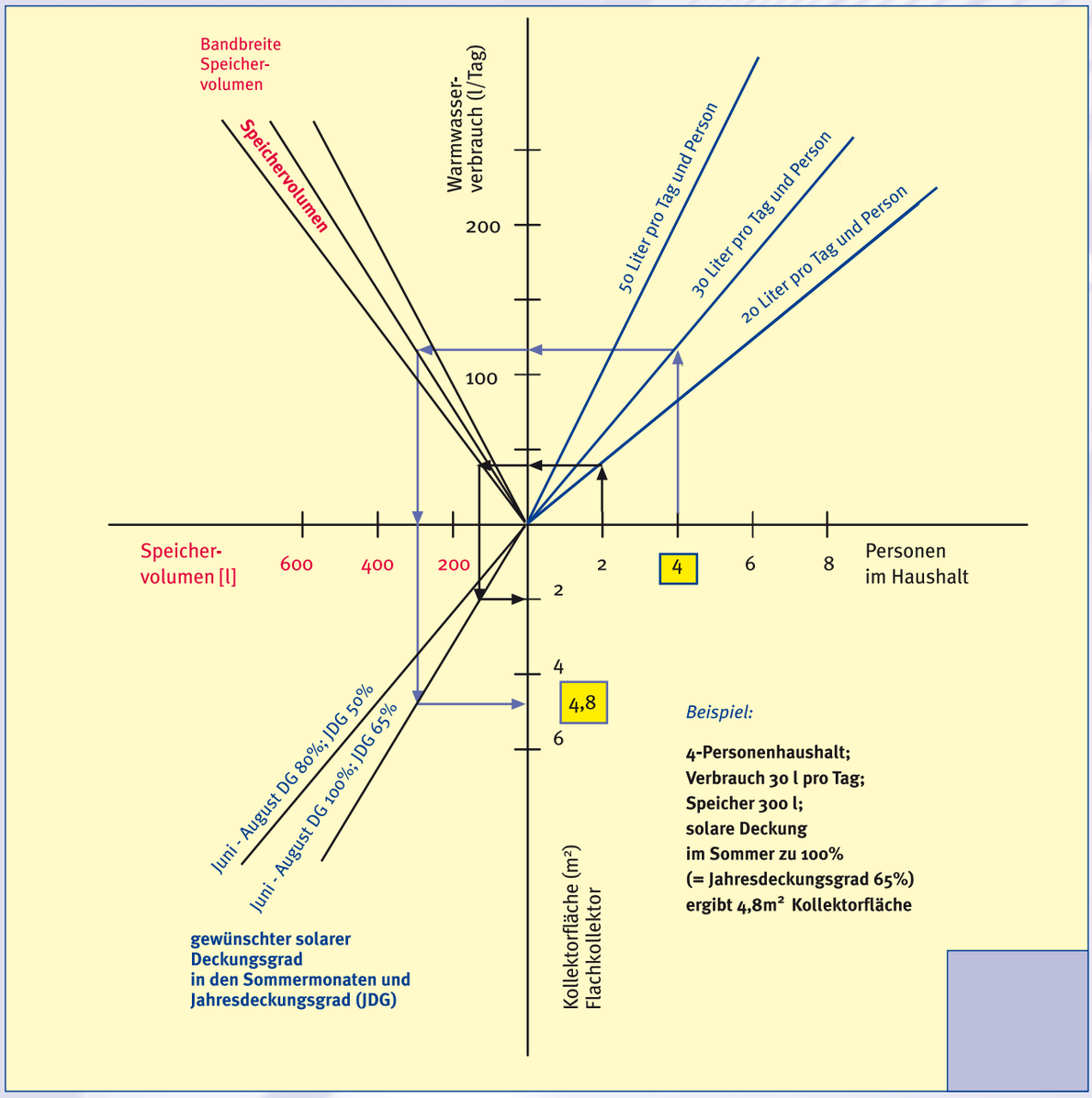


Bild 6: Nomogramm zur Auslegung einer kleinen Solaranlage

6.7. 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 ≤ 20 m² ca. 650 €/m² ohne MwSt.
- für Anlagen > 20 m² ca. 600 €/m² ohne MwSt.
- für Anlagen >100 m² ca. 500 €/m² ohne MwSt.

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

7. Solarthermische Anlagen

Die folgenden Anwendungsbeispiele zeigen verschiedene Nutzungsmöglichkeiten von Sonnenenergie für Wohngebäude: Brauchwassererwärmung (Abschnitt 7.1.) und Brauchwassererwärmung mit Heizungsunterstützung (7.2.) für Einfamilienhäuser, Warmwasserbereitung (7.3.) und Brauchwasservorwärmung mit Heizungsunterstützung (7.4.) für größere Wohngebäude sowie Schwimmbadheizung (7.5.) und Nahwärmeversorgung (7.6).

7.1. Solare Brauchwassererwärmung 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 beschriebene Anwendungsfall wurde in einem 1980 gebauten Einfamilienhaus die Gasheizanlage erneuert und dabei für die Warmwasserbereitung eine Solaranlage realisiert. Die eingebaute Solaranlage ist schematisch in Bild 7 dargestellt. Erneuert wurden der Heizkessel, die Steuerung und der Speicher.

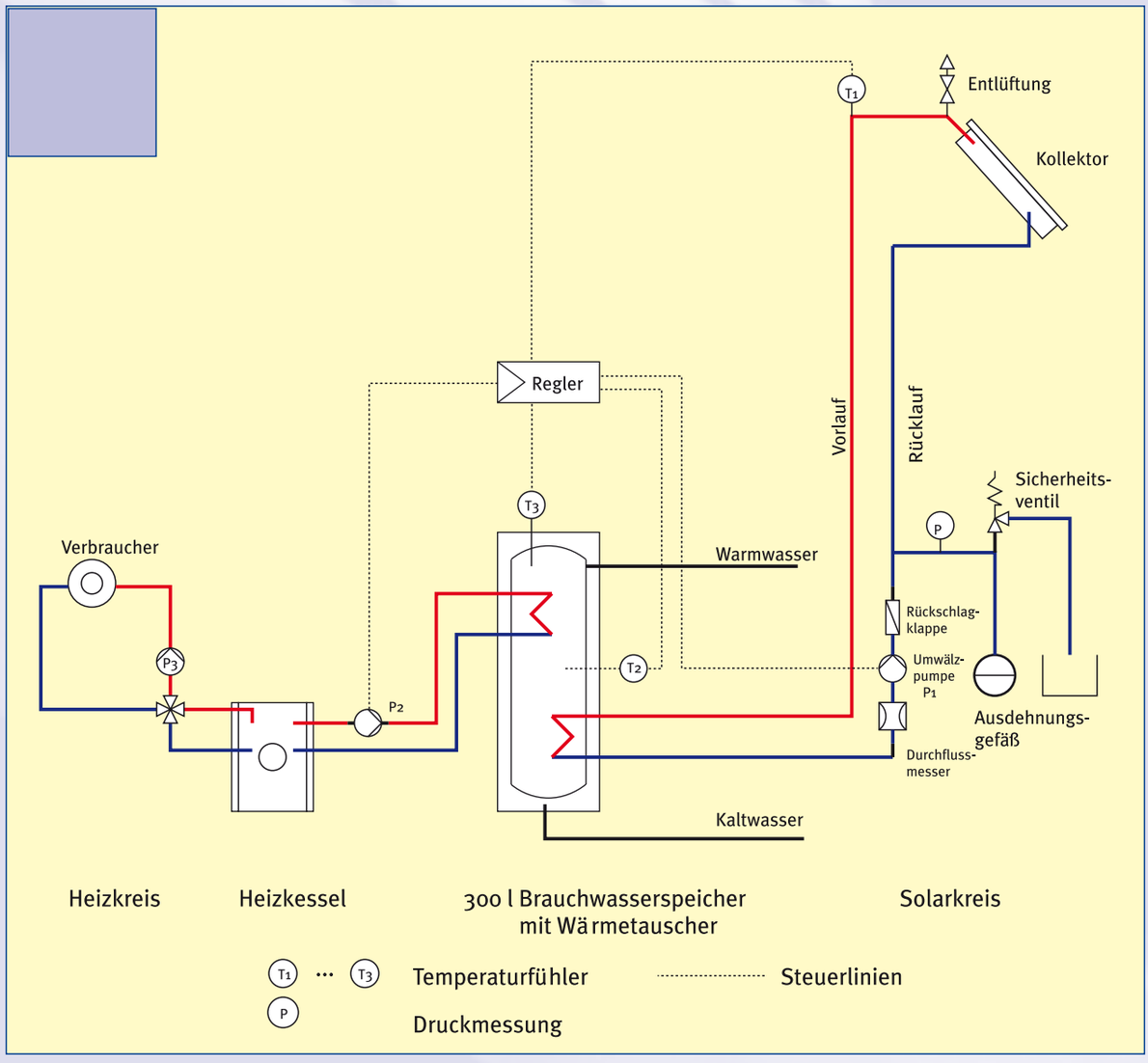


Bild 7: Solare Brauchwassererwärmung eines Einfamilienhauses mit Nachheizung über einen Heizkessel

Ermittlung des Wärmebedarfs

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

Wärmebedarf/Monat = 26 l/P x 4 Personen x Monatstage x 0,058 kWh/l
(berechnete Werte s. Tabelle 13)

Jahreswärmebedarf = Summe der Monatswerte = 2.202 kWh

Ermittlung der Kollektorfläche

Die solare Deckung des Wärmebedarfs für die Warmwasserbereitung soll über die Sommermonate hinaus (etwa von Mai bis September) weitgehendst 100% betragen. Deshalb wird ein solarer Jahresdeckungsgrad von 70% (0,7) angesetzt. Auf Grund des solaren Überschusses in den strahlungsreichsten Monaten wird für den mittleren Systemwirkungsgrad der Wert 30% (0,30) verwendet. Die nutzbare Solarstrahlung ist aus Tabelle 9 entnommen.

$$\text{Kollektorfläche} = \frac{\text{Wärmebedarf pro Jahr}}{\text{nutzbare Strahlung pro Jahr u. m}^2} \times \frac{\text{Jahresdeckungsgrad}}{\text{Systemwirkungsgrad}} = \frac{2.202\ \text{kWh/a}}{1.197\ \text{kWh/m}^2} \times \frac{0,70}{0,30} = 4,29\ \text{m}^2$$

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. Entsprechend Abschnitt 6.5. errechnet sich das Speichervolumen wie folgt:

$V_{Speicher}$ = 26 l x 4 Personen x 2,5 Tage = 260 l

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

Solarer Wärmeertrag

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

Monatlicher Wärmeertrag [kWh]
= nutzbare Monatsstrahlung [kWh/m²] x Kollektorfläche [m²] x Systemwirkungsgrad (berechnete Werte s. Tabelle 13)

Jahreswärmeertrag = Summe der Monatswerte = 1.724 kWh

nutzbarer Jahreswärmeertrag = Summe der Monatswerte = 1.535 kWh
(ohne Überschuss)

Solarer Deckungsgrad

Der solare Jahresdeckungsgrad ergibt sich wie folgt:

$$\text{Solarer Deckungsgrad} = \frac{\text{nutzbarer solarer Wärmeertrag/Jahr}}{\text{Wärmebedarf für Warmwasser/Jahr}} \times 100\%$$

$$= \frac{1.535 \text{ kWh/a}}{2.202 \text{ kWh/a}} \times 100\% = 69{,}7\%$$

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 technische Daten und des Wärmeertrages

mittlerer Warmwasserverbrauch pro Person	26 l/d
Personenzahl	4
Speichervolumen	300 l
Speicher-Entnahmetemperatur	60°C
Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung	2.202 kWh/a
Kollektorfläche (Flachkollektoren)	4,8 m² (4 Einzelelemente je 1,2 m²)
Kollektorneigung zur Horizontalen	30°
Ausrichtung der Kollektorfläche	Süd
Nutzbare Strahlung (Tabelle 9)	1.197 kWh/m²
Systemwirkungsgrad	0,25
nutzbarer Jahres-Wärmeertrag (lt.Tabelle 13)	1.535 kWh
Jahresdeckungsgrad	69,7%

In Tabelle 13, Diagramm 4 und Diagramm 5 sind die ermittelten Monatswerte des solaren Wärmeertrages sowie der solare Deckungsgrad tabellarisch und graphisch dargestellt.

Wärmebedarf = 26 l/Person x 4 Personen x Monatstage x 0,058 kWh/l
Wärmeertrag = nutzbare Strahlung pro Monat [kWh/m²] x Kollektorfläche [4,8 m²] x Systemwirkungsgrad

	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	gesamt
nutzbare Stahlung in kWh/m² aus Tab. 6	39	78	125	130	189	179	146	136	85	68	34	19	1.228
Wärmebedarf für Warmwasser in kWh	47	42	47	45	47	45	47	47	45	47	45	47	551
solarer Wärmeertrag in kWh (4,8 m²; WG 0,30)	15	29	47	49	71	67	55	51	32	26	13	7	461
nutzbarer Wärmeertrag in kWh (ohne Überschuss)	15	29	47	45	47	45	47	47	32	26	13	7	400
Deckungsgrad	12	25	39	41	60	56	46	43	27	21	11	6	387
solarer Überschuss	12	25	39	41	47	45	46	43	27	21	11	6	363

Tabelle 13: Einfamilienhaus - Wärmebedarf und solarer Ertrag einer Solaranlage

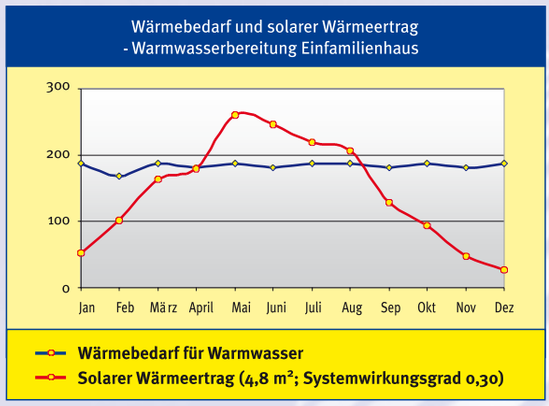


Diagramm 4: Einfamilienhaus – Wärmebedarf und solarer Ertrag

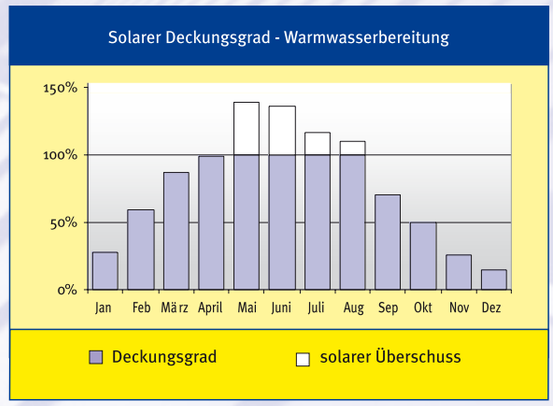


Diagramm 5: Einfamilienhaus – solarer Deckungsgrad und Überschuss

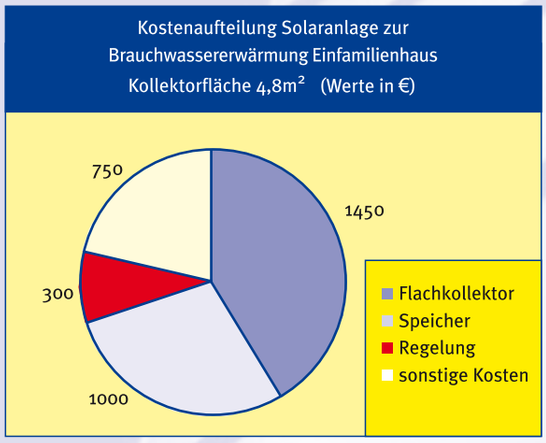


Diagramm 6: Einfamilienhaus – Kostenaufteilung Solaranlage

Kosten

Gesamtkosten	3.500 € ohne Mehrwertsteuer
Lebensdauer der Anlage	20 Jahre
Einsparung Brennstoff	~ 2700 kWh/a Erdgas
CO_2 -Reduzierung	~ 510 kg/a

Wirtschaftlichkeit

Die Kosten der Raumheizanlage betragen ca. 7.000 € einschl. MwSt. und Montage.
Die Kosten der Solaranlage betragen unter Berücksichtigung der Solarspeichermehrkosten („Speicher-Gutschrift“) ca. 3.500 € ohne MwSt.
Das Gebäude hat einen mittleren k-Wert von 0,64 W/m²K und eine Wohnfläche von 112 m². Der jährliche Wärmebedarf für die Raumheizung beträgt 24,5 MWh.

Die Heizanlage arbeitet im Volllastbetrieb mit einem Wirkungsgrad von 95% und würde ohne Solaranlage im Warmwassersommerbetrieb mit einem Wirkungsgrad von 60% arbeiten. Der jährliche Wärmebedarf für die Warmwasserversorgung beträgt laut vorgenannter Berechnung 2.202 kWh. Der jährliche Gasgrundpreis für Heizgaskunden beträgt ca. 200 €/Jahr.
Der Arbeitspreis beträgt gegenwärtig 0,045 €/kWh.

Förderung

Die gegenwärtige Förderung beträgt 110 € pro 1 m² Kollektorfläche.

Die Anlagenfördersumme ist somit: 4,8 m² x 110 € = 528 €. Die Kosten der Solaranlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ergeben: 3.500 € – 528 € = 2.972 €.

Solarer Wärmepreis

In Tabelle 14 ist in einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung der solare Wärmepreis (Kosten pro kWh solar erzeugter Wärme) ermittelt worden.
Für die Berechnung wurden angesetzt:

Nutzungsdauer	20 Jahre
Annuitätsfaktor (ohne Zins)	5%
Jährliche Wartungskosten	2% der Investkosten
Jährliche Mehrkosten für Hilfsenergie	0,2% der Investkosten

Solaranlage zur Brauchwassererwärmung Einfamilienhaus; Kollekorfeld 4,8 [2]	
Investkosten einschl. Speichergutschrift	**3.500** €
abzüglich Fördermittel	528 €
Investkosten (Rechengrundlage)	**2.972** €
Annuität	149 €
Wartungskosten	70 €
Hilfsenergiekosten	7 €
resultierende jährliche Kosten	**226** €
Wärmebedarf für Brauchwassererwärmung	2.202 kWh/a
solarer Nutzwärmeertrag	**1.535 kWh/a**
Wärmepreis für solar erzeugte Wärme	0,15 € /kWh
konventionell aufzuwendende Wärme (ohne Heizkessel-Wirkungsgrad)	667 kWh/a

Tabelle 14: Beispielrechnung Wärmepreis solar erzeugter Energie für Warmwasser – Einfamilienhaus. Ermittlung in Anlehnung an VDI-Richtlinie 2.067

Auswirkungen

In den Sommermonaten wird die Gasheizanlage stillgelegt. Der uneffiziente Warmwasserbetrieb entfällt. Durch den Einsatz der Solaranlage werden ca. 150 m^3 Erdgas jährlich eingespart. Dieses entspricht einer CO_2-Reduzierung von 300 kg.

Steigt in der Folgezeit der Energiepreis bereits um nur 0,03 €/kWh, arbeitet die Solaranlage gegenüber einer Gasheizung effektiver.

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 Brauchwassererwärmung 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 kompakte 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.

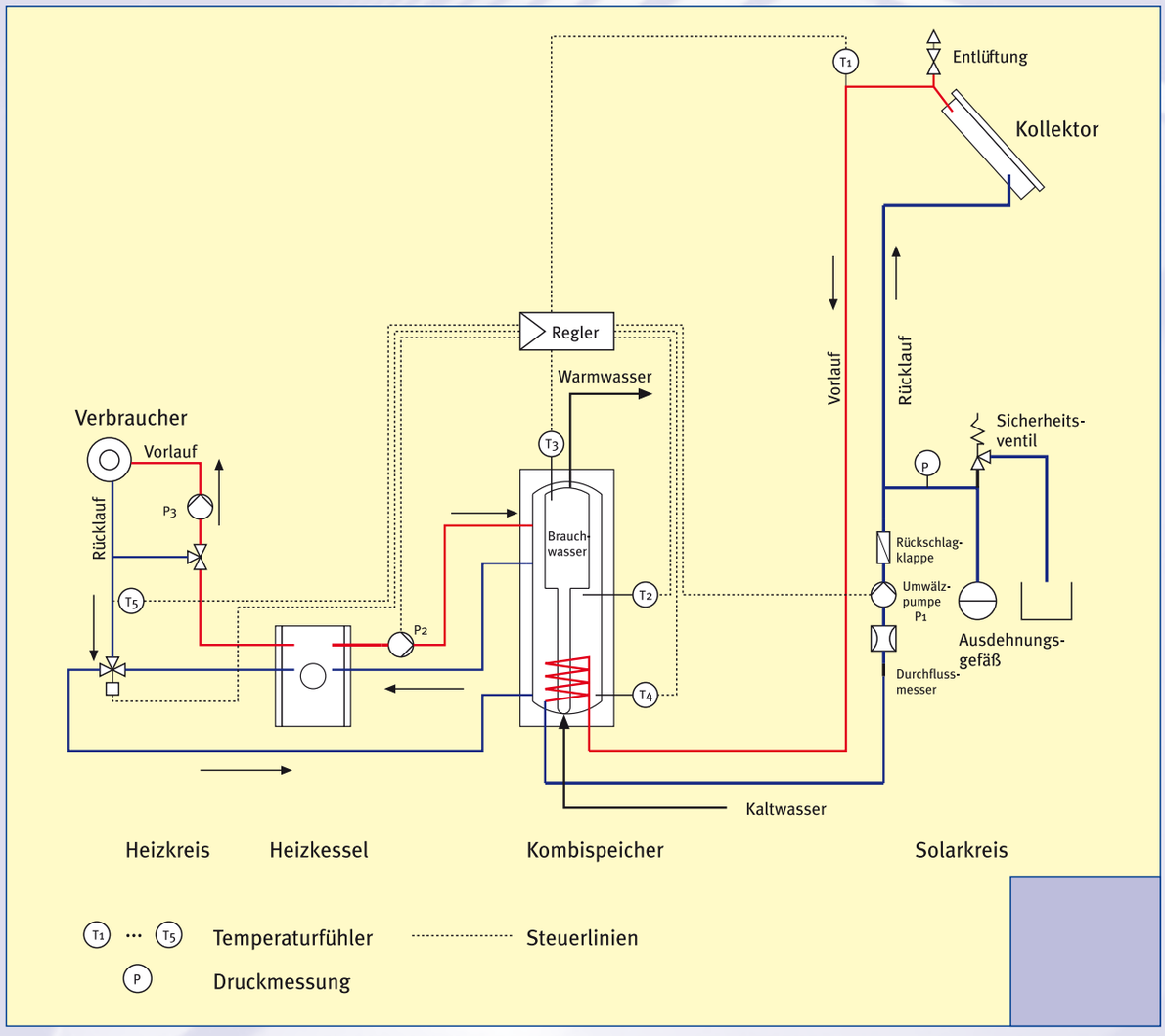


Bild 8: Kombianlage Einfamilienhaus – solare Brauchwassererwärmung mit Heizungsunterstützung

Sachverhalt

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/m² a nicht überschreiten. Zum Einsatz gelangt eine solare Warmwasserbereitung mit Kombispeicher. Der schematische Aufbau ist in Bild 8 dargestellt. Die Bestandteile der Anlage entsprechen der zuvor beschriebenen. Hinzu kommen Kombispeicher und Heizkreis.

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

Wärmebedarf

Raumheizung:

Der jährliche Wärmebedarf für Raumheizung ergibt sich als

Q_H = Wohnfläche x Wärmebedarf pro m² = 120 m² x 55 kWh/m²a = 6600 kWh/a

Warmwasserversorgung:

Der jährliche Wärmebedarf für die Brauchwassererwärmung beträgt für einen Vier-Personen-Haushalt

Q_{WW} = 26 l x 4 Personen x 365 Tage x 0,058 kWh/l = 2202 kWh/a

Gesamt:

Daraus resultiert ein Gesamtwärmebedarf für Warmwasser und Raumheizung von

$Q = Q_H + Q_{WW}$ = 6600 kWh/a + 2202 kWh/a = 8802 kWh/a

Kollektorfläche und Speichervolumen

Eine genaue Berechnung der Kollektorfläche ist schwierig, weil bei einer zusätzlichen Heizungsunterstützung viel Parameter zu berücksichtigen sind. Deshalb wird erfahrungsgemäß die Kollektorfläche etwa auf das Doppelte der Fläche ausgelegt, wie sie zur reinen Brauchwassererwärmung errechnet wurde.
Für den vorliegenden Anwendungsfall (Vier-Personen-Haushalt) wird eine Kollektorfläche von 10 m² und ein Speichervolumen von 700 l angesetzt.

Solarer Wärmeertrag

Nutzbare Solarstrahlung: 1197 kWh/m²
lt. Tabelle 9 (Kollektorneigung 30°; Südausrichtung).
Systemwirkungsgrad 0,30.

monatlicher Wärmeertrag = nutzbare Strahlung [Monatswert, kWh/m²] x Kollektorfläche [10 m²] x Systemwirkungsgrad [0,30]

(Berechnete Werte in Tabelle 15)

Als Jahressumme resultiert ein solarer Wärmeertrag von 3590 kWh/a.

Nutzbarer Wärmeertrag

Die gewonnene solare Wärmeenergie wird zur Brauchwassererwärmung genutzt. Der verbleibende Überschuss unterstützt die Raumheizung (Monate März, April, Mai und September). Die restliche solare Wärmeenergie geht verloren. In Tabelle 15 sind die errechneten monatlichen Werte zusammengestellt. Die Monatswerte für Raumheizung wurden aus den monatlichen Gradtagzahlen (langjährige Mittelwerte) für Chemnitz ermittelt. Die Gradtagzahl ist eine Kenngröße für den täglichen Heizbedarf in einer Heizperiode.

Das Diagramm 7 zeigt die Kurvenverläufe des Wärmebedarfs für die Warmwassererzeugung und für die Raumheizung sowie das solare Angeot.

Die Jahressummen des nutzbaren solaren Wärmeertrages betragen:

nutzbarer Wärmeertrag zur Warmwassererzeugung = 1.910 kWh/a
nutzbarer Wärmeertrag (solarer Überschuss) zur Raumheizung = 836 kWh/a

Die Ermittlung des nutzbaren Wärmeertrages erfolgte wie für den solaren Nutzwärmeertrag auf Seite 20 beschrieben.

	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	gesamt
nutzbare Strahlung in kWh/m² aus Tab. 6	36	70	113	125	181	171	152	143	89	65	33	19	1197
solarer Wärmeertrag (10 m²; Wirkungsgrad 0,30)	108	210	338	374	543	513	456	430	268	195	98	57	3590
Brauchwassererwärmung:													
Wärmebedarf für Warmwasser in kWh	187	169	187	181	187	181	187	187	181	187	181	187	2202
nutzbarer Wärmeertrag ohne Überschuss	108	169	187	181	187	181	187	187	181	187	98	57	1910
solarer Überschuss für Raumheizung in kWh	0	41	151	193	356	332	269	243	87	8	0	0	1680
Unterstützung Raumheizung:													
Wärmebedarf für Raumheizung in kWh	1080	948	877	635	400	0	0	0	304	563	797	996	6600
nutzbarer Wärmeertrag für Raumheizung in kWh	0	41	151	193	356	\	\	\	87	8	0	0	836

Tabelle 15: Kombianlage Einfamilienhaus - solarer Energiebetrag

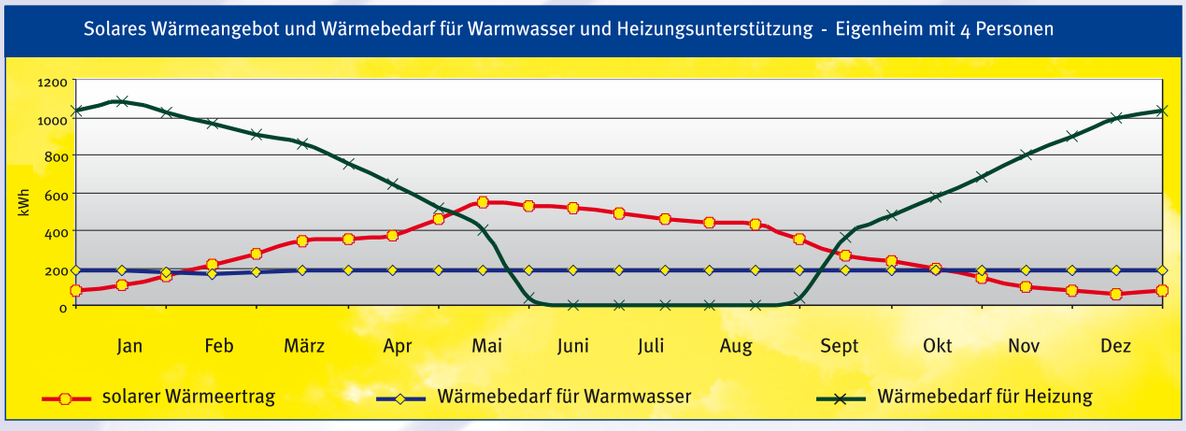


Diagramm 7: Kombianlage Einfamilienhaus - Wärmebedarf und solarer Ertrag

Solarer Deckungsgrad

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

$$\text{Jahresdeckungsgrad} = \frac{\text{solarer Ertrag für WW + solarer Ertrag für Heizung}}{\text{Bedarf für WW + Bedarf für Heizung}}$$

$$= \frac{1910\ \text{kWh} + 836\ \text{kWh}}{2202\ \text{kWh} + 6600\ \text{kWh}} = 31{,}2\%$$

Der solare Jahresdeckungsgrad der Kombianlage beträgt 31,2%.

Investitionskosten

Die Investitionskosten einer Heizanlage auf Gasbasis liegen bei ca. 7.000 € einschließlich Montage. Im Preis ist ein Warmwasserspeicher mit einer Kapazität von 120 l mit enthalten.
Die Investitionskosten der Solaranlage einschließlich einer Gaszusatzheizung betragen ca. 10.500 €.

Wirtschaftlichkeit

In Tabelle 16 ist in einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung der solare Wärmepreis (Kosten pro kWh solar erzeugter Wärme) ermittelt worden. Die Berechnungsgrundlagen wurden wie in Tabelle 14 gewählt.

Solaranlage zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Kombianlage) Einfamilienhaus; Kollektorfeld 10 m²	
Investkosten	10.500 €
Annuität	525 €
Wartungskosten	210 €
Hilfsenergiekosten	21 €
resultierende jährliche Kosten	756 €
Wärmebedarf für Brauchwassererwärmung	8802 kWh/a
solarer Nutzwärmeertrag	2746 kWh/a
Wärmepreis für solar erzeugte Wärme	0,28 €/kWh
konventionell aufzuwendende Wärme (ohne Heizkessel-Wirkungsgrad)	6056 kWh/a

Tabelle 16: Wärmepreis solar erzeugter Energie - Kombianlage Einfamilienhaus (Quelle wie Tabelle 14)

Auswirkungen

Durch den Einsatz der Solaranlage werden ca. 275 m³ Erdgas jährlich eingespart. Dieses entspricht einer CO_2-Reduzierung von 500 kg.
Der jährliche Gasgrundpreis beträgt 200 €/Jahr. Der Arbeitspreis beträgt gegenwärtig 4,5 Cent/kWh.

Durch die großzügige Bemessung der Kollektorfläche steht von März 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. Solare Warmwasserbereitung für Wohnblöcke

Nachfolgend werden die Ergebnisse des Einsatzes von Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung von Wohnblocks mit großer Mieterzahl dargestellt. Die betreffenden Wohnblocks stehen in der Stadt Oederan (ca. 20 km von Chemnitz). Für Chemnitz lag ein vergleichbarer Anwendungsfall nicht vor. Die Ergebnisse sind jedoch übertragbar, weil die Solarstrahlung beider Orte vergleichbar (Tabelle 17) und der untersuchte Gebäudetyp auch in Chemnitz vorhanden ist.

	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	gesamt
Oederan	39,4	70,3	98,3	119,1	164,3	147,3	161,5	155,9	103,2	90,2	42,5	18,3	1210,3
Chemnitz	36,0	70,6	112,5	124,6	181,1	171,1	151,9	143,2	89,4	65,1	32,7	18.9	1197,1

Tabelle 17: Vergleich der langjährigen monatlichen Solarstrahlung (nutzbare Strahlung) von Oederan und Chemnitz. Quelle: Deutscher Wetterdienst Dresden. (Werte in kWh/m²)

Sachverhalt

In einem 1983 errichteten Wohngebiet wurden im Jahr 1992 viergeschossige Wohnbauten renoviert. Es erfolgte eine Wärmedämmung und Umbau zur Zentralheizung. Die konventionelle Wärme wird seitdem in einem Heizhaus mit einer Gesamtleistung von 3,7 MW bereitgestellt und über ein neuinstalliertes Wärmenetz verteilt. In sieben Wohnblöcken mit je 32 Wohnungen wird die Warmwasserbereitung mit Flachkollektoren vom Typ SOLVIS F 60 unterstützt.

Warmwasserverbrauch

Im gemessenen Zeitraum bewohnten den Block 70 Mieter in 32 Wohneinheiten. Der mittlere Warmwasserverbrauch über ein Jahr in dem Wohnblock betrug:

Warmwasserverbrauch$_t$ = 1.390 l pro Tag

Daraus ergab sich ein spezifischer Warmwasserverbrauch von 19,85 l pro Person und Tag.

Das Warmwasser wurde mit durchschnittlich 55°C aus dem Bereitschaftsspeicher entnommen.
Die zeitliche Verteilung der Warmwasserentnahme ist im Diagramm 8 dargestellt.

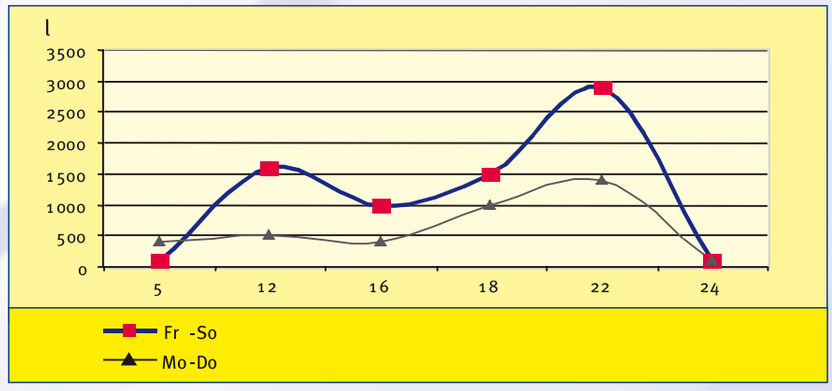


Diagramm 8: Tagesgangkennlinie des Warmwasserverbrauchs

Daraus ist zu erkennen, dass der Tagesverbrauch keineswegs ausgeglichen war, sondern Schwankungen unterlag. Am Wochenende war der Tagesverbrauch etwa 75% größer als an Wochentagen. Er schwankte zwischen 500 und 1.800 l/d an Wochentagen und zwischen 700 und 2.900 l/d am Wochenende. Zum Ausgleich der Verbrauchsunterschiede wurde ein relativ großes Speichervolumen gewählt.

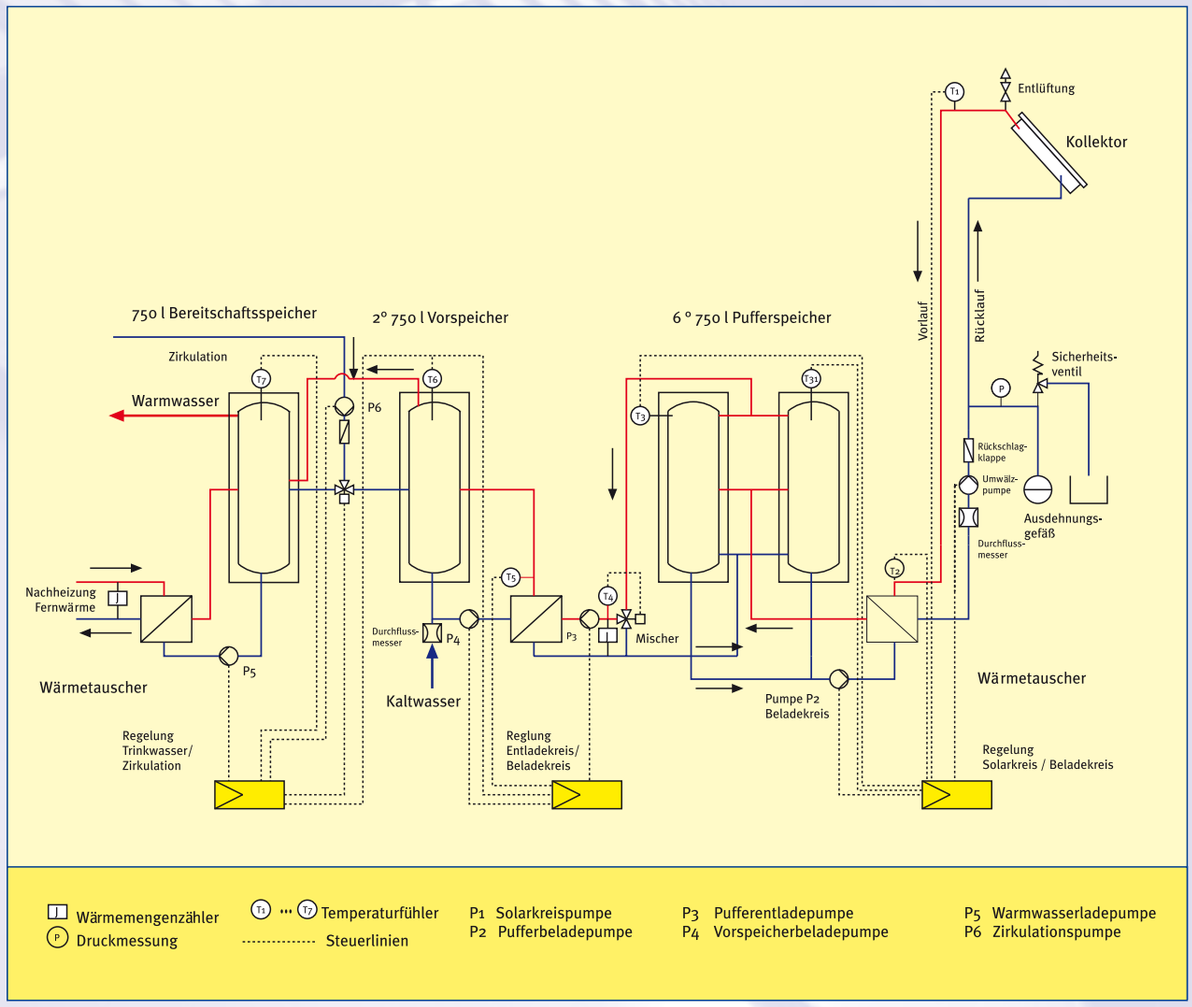


Bild 9: Prinzipschema der solaren Brauchwassererwärmung eines Wohnblocks in Oederan

Beschreibung der Anlage (Bild 9)

Je Block wurde ein 98,4 m² großes Kollektorfeld installiert, das von 1,2 m³/h Wärmeträgerflüssigkeit durchströmt wird. Da die Wärmeträgermenge gering ist, handelt es sich um eine sogenannte LOW-FLOW-Anlage.
Die vom Kollektorfeld bereitgestellte Wärmeenergie wird über die Wärmeträgerflüssigkeit an den Beladekreis, bestehend aus sechs Pufferspeichern von je 750 l, abgegeben. Die Be- und Entladung der Pufferspeicher erfolgt über externe Wärmetauscher.
Der Pufferspeicherkreis übergibt die Wärme an zwei mit Trinkwasser gefüllte Vorspeicher von jeweils 750 l Fassungsvermögen.
Den Vorspeichern nachgeschaltet ist ein Bereitschaftsspeicher mit ebenfalls 750 l Fassungsvermögen. In ihm kann das Trinkwasser mit Fernwärme nachgeheizt werden, bevor es zu den Verbrauchern gelangt. Im Bereitschaftsspeicher liegt damit ständig Warmwasser mit einer Temperatur von 55°C an.
Der Wärmetransport von den Vorspeichern zum Bereitschaftsspeicher erfolgt nur, wenn Warmwasser entnommen oder der Zirkulationsrücklauf in den Vorspeicher geführt wird.
Die Anlage ist mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet.

Verbrauchs- und technische Daten (bezogen auf einen Wohnblock)

Personenzahl	70 Personen
mittlerer Warmwasserverbrauch	1390 l/d (= 19,85 l/Person)
Entnahmetemperatur im Bereitschaftsspeicher	55°C
Kollektorfläche	98,4 m² (1,4 m²/Person
Pufferspeicher	4500 l (6 x 750 l, parallel geführt)
Trinkwasserspeicher	2250 l (3 x 750 l, in Reihe, davon zwei Vorspeicher und ein Bereitschaftsspeicher (mit Nachheizung)

Wärmeertrag und Wärmebedarf

Die meteorologischen Daten, Verbrauchs- und Ertragsdaten wurden 1995 bis 1997 messtechnisch erfasst. Nachfolgend werden die Ergebnisse des Jahres 1997 dargestellt:

	kWh/d	MWh/a
Solarstrahlung auf Kollektorfläche (98,4 m²)	328,8	120,0
solarer Ertrag (solare Nutzwärme vom Speicher)	57,1	20,8
Wärmebedarf zur Brauchwassererwärmung	70,1	25,6
Wärmebedarf zur Deckung von Zirkulationsverlusten	65,2	23,8

Die monatlichen Mittelwerte sind zahlenmäßig in Tabelle 18 sowie graphisch in Diagramm 9 und Diagramm 10 dargestellt.

Solarer Deckungsgrad

Die Einschätzung des solaren Deckungsgrades wurde an Hand der Zulauftemperatur zum Bereitschaftsspeicher vorgenommen. Die durchschnittliche solare Deckung des Wärmebedarfs zur Warmwasserbereitung lag mit 67% relativ hoch. Trotzdem wurde selbst in den Sommermonaten kein höherer monatlicher solarer Deckungsgrad als 90% erreicht. Das lag zum großen Teil an den hohen Wärmeverlusten der Speicher und des Warmwasser-Zirkulationssystems, so dass strahlungsarme Sommertage nicht kompensiert werden konnten. Der Wärmebedarf für die Zirkulationswärmeverluste wurde zu 19% solar gedeckt.

Systemwirkungsgrad

Der mittlere Systemwirkungsgrad (Anteil des solaren Ertrages von der Solarstrahlung auf die Kollektorfläche) erreichte nur 17,4%. Ursache dafür war hauptsächlich die Überdimensionierung der Anlage, die viel solaren Überschuss verursachte und zu häufigen Abschaltungen führte.

Messergebnisse 1997 Bezugsgröße: Ein Wohnblock, Kollektorfeldgröße 98,4 m², 70 Personen

	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Gesamt
durchschnittliche Solarstrahlung in kWh	5.038	6.118	9.440	12.000	15.593	15.570	12.710	16.058	13.410	8.054	3.672	2.356	120.018
solarer Ertrag (Nutzwärme) in kWh	1.166	1.383	2.052	2.148	2.204	2.334	1.959	2.663	2.289	1.355	834	465	20.852
Wärmebedarf für Warmwasser in kWh	2.452	2.307	2.449	2.445	2.102	2.016	1.832	1.708	1.881	2.024	2.127	2.226	25.569
Wärmebedarf für Zirkulationsverluste in kWh	2.359	2.013	2.285	1.995	1.807	1.575	1.637	1.857	1.719	2.040	2.112	2.412	23.811
Wärmebedarf gesamt in kWh	4.811	4.320	4.734	4.440	3.909	3.591	3.469	3.565	3.600	4.064	4.239	4.638	49.380
solarer Deckungsgrad:													
der Brauchwassererwärmung	46%	58%	71%	76%	90%	90%	82%	90%	79%	60%	39%	21%	67%
der Zirkulationswärmeverluste	2%	2%	14%	14%	17%	34%	28%	61%	47%	7%	0%	0%	19%

Tabelle 18: Wohnblock Oederan – Wärmebedarf und nutzbarer Wärmeertrag Brauchwassererwärmung (Messwerte 1997)

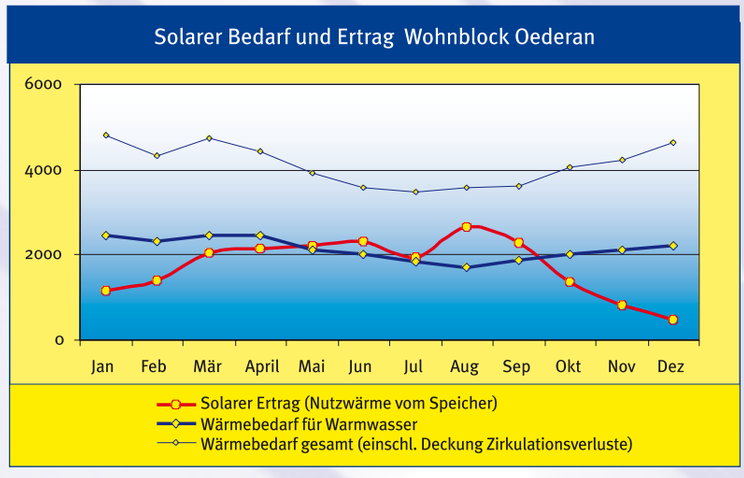


Diagramm 9: Wärmebedarf und solarer Wärmeertrag – Warmwasserbereitung Wohnblock Oederan (Messwerte 1997)

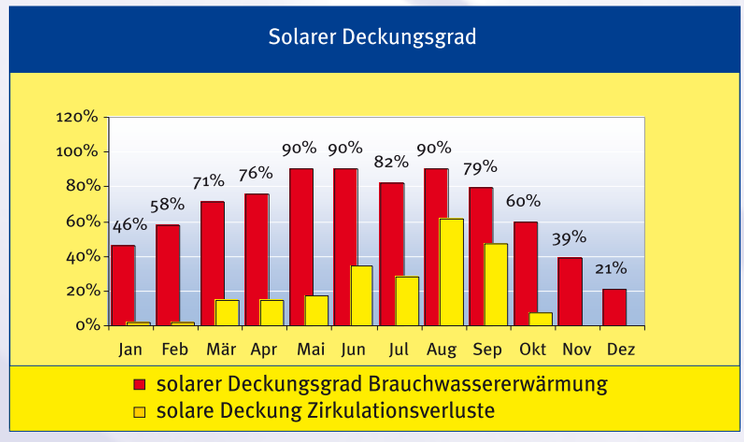


Diagramm 10: Solare Deckung des Wärmebedarfs zur Brauchwassererwärmung und der Zirkulationsverluste - Wohnblock Oederan (Messwerte 1997)

Kosten

Die Anlage von Oederan erforderte eine Investition von 46.600 € ohne MwSt. Damit ergibt sich bezogen auf die Absorberfläche ein spezifischer Preis von 475 €/m².

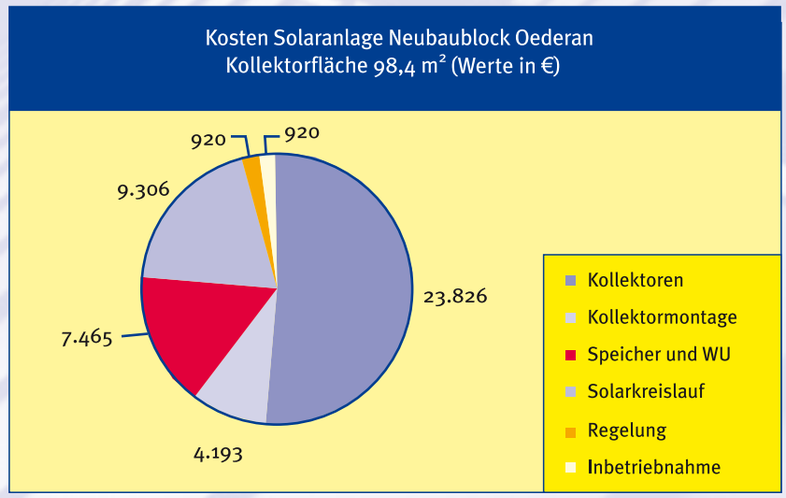


Diagramm 11: Kostenaufteilung Solaranlage Wohnblock Oederan

Bewertung der Anlage

Nach einer dreijährigen (Januar 1995 bis Dezember 1997) messtechnischen Überwachung der Solaranlage wurde festgestellt, dass die solarthermischen Anlagen zufrieden stellend arbeiten, aber deutlich überdimensioniert sind. Der Grund lag darin, dass es sich um ein Modellvorhaben handelte und zum damaligen Zeitpunkt noch keine Erfahrungswerte über das Verbrauchsverhalten in den neuen Bundesländern vorlagen.
Als Folge der Überdimensionierung ergaben sich auch in den Wintermonaten hohe solare Deckungsraten, dagegen in den Sommermonaten häufige Notabschaltungen wegen Überhitzung der Anlage. Die Zirkulationswärmeverluste fielen aufgrund unzureichender Dämmung der Speicher und Rohrleitungen in annähernd gleicher Höhe an, wie der Wärmebedarf zur Warmwassererzeugung.
Dadurch wurde auch in den Sommermonaten kein höherer mittlerer solarer Deckungsgrad als 90% erzielt. Die Ergebnisse bestätigen die Notwendigkeit einer präzisen Planung und guten Dämmung gerade bei Großanlagen.

7.4. Brauchwasservorwärmung und Unterstützung der Raumheizung

Sachverhalt

An einem sanierten viergeschossigen Wohnblock in Chemnitz (gleicher Gebäudetyp wie im Abschnitt 7.3. betrachtet) soll eine Solaranlage zur Wasservorwärmung und zur Unterstützung der Raumheizung installiert werden.
Der Heizenergiebedarf des sanierten Gebäudes darf maximal 70 kWh/m²a betragen. Die Gesamt-Wohnfläche beträgt 1.696 m².
Für den Warmwasserverbrauch wird ein Wert von 26 l/Person zu Grunde gelegt bei einer Speichertemperatur von 60°C und einer Mieterzahl von 68 Personen. Weiterhin sind Wärmeverluste auf der Brauchwasserseite zu berücksichtigen (Geräte- und Leitungsaufheizverluste, Zirkulationsverluste). Diese können für jeden Anwendungsfall an Hand der VDI 2.067 berechnet werden. Für das folgende Rechenbeispiel werden dafür 40% des Wärmebedarfes zur Brauchwassererwärmung angesetzt.

Wärmebedarf Raumheizung:
Der jährliche Wärmebedarf für Raumheizung ergibt sich als

Q_H = Wohnfläche x Wärmebedarf pro m² = 1.696 m² x 70 kWh/m²a = 118.720 kWh/a

Warmwassererzeugung

Der jährliche Wärmebedarf für die Warmwassererzeugung beträgt für das Wohngebäude mit 68 Personen

$$Q_{WW} = 26\ l \times 68\ Personen \times 365\ Tage \times 0{,}058\ kWh/l = 37.429\ kWh/a$$

Zirkulationsverluste

$$Q_{ZIR} = 37.429\ kWh/a \times 0{,}4 = 14.972\ kWh/a$$

Gesamt

Gesamtenergiebedarf für Warmwasser und Raumheizung:

$$Q = Q_H + Q_{WW} + Q_{ZIR} = 118.720\ kWh/a + 37.429\ kWh/a + 14.972\ kWh/a = 171.121\ kWh/a$$

Dimensionierung des Kollektorfeldes

Die Solaranlage soll keinen Überschuss erzeugen. Deshalb wird eine spezifische Kollektorfläche von 0,6 m² pro Person vorgesehen.

Die Kollektorfeldfläche ergibt sich mit 0,6 m² x 68 Personen = 40,8 m², gerundet = 40 m².

Solarer Wärmeertrag

Die nutzbare solare Strahlung beträgt 1.197 kWh/m²a (Tabelle 9).
Der durchschnittliche Systemwirkungsgrad der Solaranlage wird mit dem Wert 0,4 relativ hoch angesetzt, weil nur geringer solarer Überschuss zu erwarten ist. Der jährliche Nutzwärmeertrag ergibt sich wie folgt:

Wärmeertrag = nutzbare Jahresstrahlung [1197 kWh/m²a] x Kollektorfläche [40 m²] x Systemwirkungsgrad [0,4] = 19.152 kWh/a

Da praktisch kein Wärmeüberschuss erzeugt wird, kann der nutzbare solare Wärmeertrag dem errechneten solaren Wärmeertrag gleichgesetzt werden.

Solarer Deckungsgrad

Bezogen auf den Gesamt-Wärmebedarf für Brauchwasservorwärmung und Heizungsunterstützung ergibt sich ein mittlerer solarer Deckungsgrad von:

$$\text{Deckungsgrad} = \frac{\text{nutzbarer Wärmeertrag}}{\text{Gesamt - Wärmebedarf}} \times 100\% = \frac{19.152\ kWh/a}{171.121\ kWh/a} \times 100\% = 11{,}2\%$$

Dieser geringe Deckungsgrad ist gewollt, weil die Anlage keinen Überschuss produzieren soll.

Kosten

Die Kosten der Solaranlage betragen bei einem spezifischen Preis von 460 €/m² Solarfläche ca. 18.400 €.
Die Kosten der Gasheizanlage betragen ca. 60.000 € (Kessel, Speicher, Montage)

Wirtschaftlichkeit

In Tabelle 19 ist in einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung der solare Wärmepreis (Kosten pro kWh solar erzeugter Wärme) ermittelt worden. Die Berechnungsgrundlagen wurden wie in Tabelle 14 gewählt.

Solaranlage zur Brauchwassererwärmung Großblock mit 68 Mietern; Kollektorfeld 40 m²	
Investkosten	18.400 €
Annuität	920 €
Wartungskosten	368 €
Hilfsenergiekosten	37 €
resultierende jährliche Kosten	1.325 €
Wärmebedarf für Brauchwassererwärmung	52.401 kWh/a
solarer Nutzwärmeertrag	19.152 kWh/a
Wärmepreis für solar erzeugte Wärme	0,07 €/kWh
konventionell aufzuwendende Wärme (ohne Heizkessel-Wirkungsgrad)	33.249 kWh/a

Tabelle 19: Wärmepreis solar erzeugter Energie – Wasservorwärmung Großblock (Quelle wie Tabelle 14)

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 10. 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 Schwimmbeckenwassers. Ein Solarspeicher entfällt, da das Beckenwasser selbst als Kurzzeitspeicher dient.

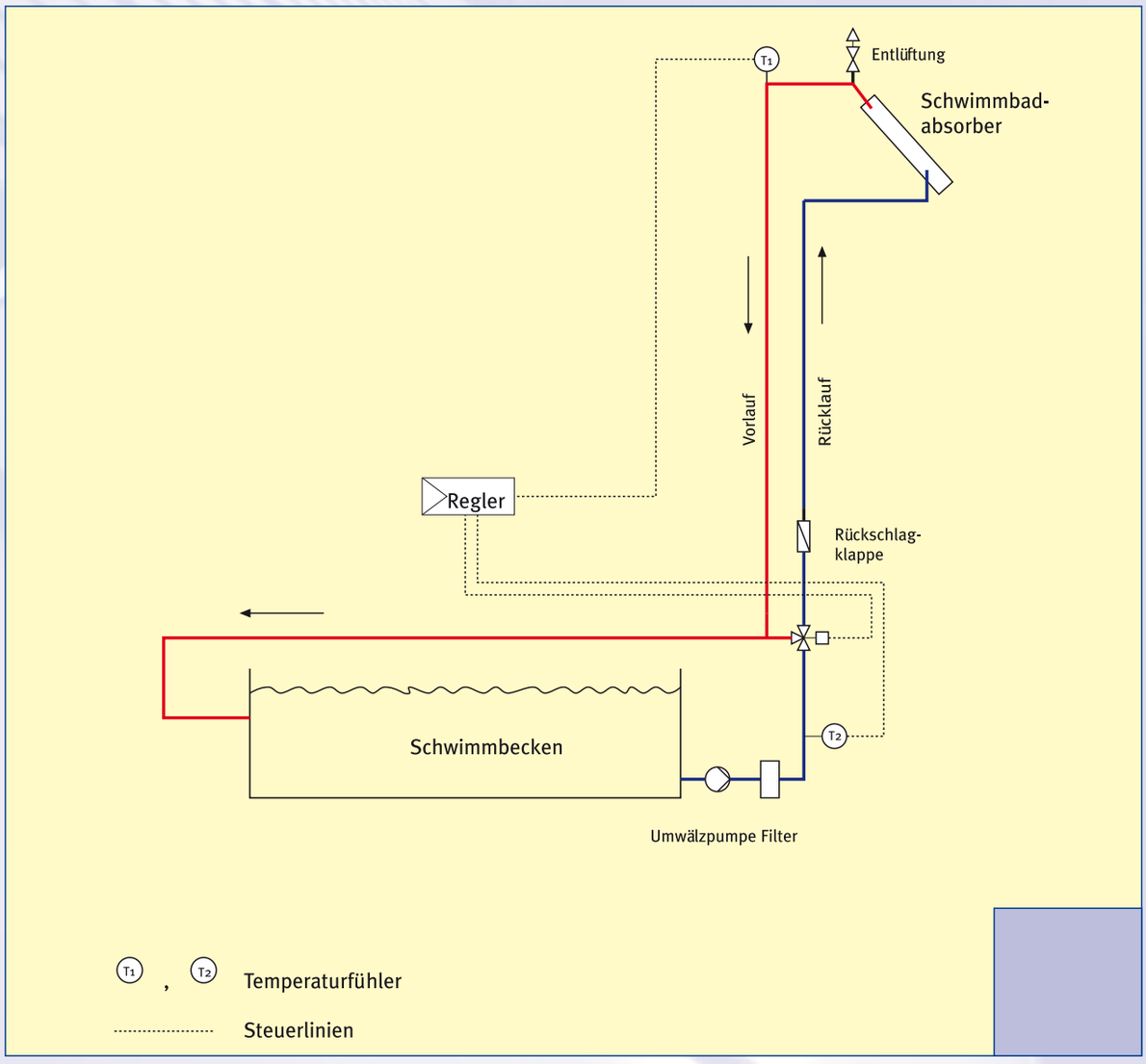


Bild 10: Solare Schwimmbadheizung

Dimensionierung

Energiebedarf

Den Berechnungen werden die folgenden Werte zugrunde gelegt :

Schwimmbeckenoberfläche A_{SBO}	30 m²
mittlere Tiefe	1 m
Schwimmbeckenvolumen VB	30 m²
nutzbare Strahlung G_K (Zeitraum Mai bis September) aus Tabelle 9	736 kWh/m²
Tage im Nutzungszeitraum t	153 Tage
Wirkungsgrad des Absorberfeldes A	70 %
Temperaturdifferenz zur Beckenerwärmung $\triangle T_B$	2 K

Spezifischer Nutzwärme-Energieertrag

Der spezifische Nutzwärme-Energieertrag qN ergibt sich wie folgt:

$$qN = GK \times A$$
$$= 736\ kWh/m^2 \times 0{,}7 = 515\ kWh/m^2$$

Bei einem Absorberwirkungsgrad von 70 % stehen 515 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 kJ/kgK (bei 20°C) = 1,16 Wh/kgK = 1,16 kWh/m²K

q_{BV} = Verlustwärme

$$q = \frac{30\ m^3 \times 1{,}16\ kWh/m^3\ K \times 2\ K \times 153\ Tage}{30\ m^2} + q_{BV} = 355\ kWh/m^2 + q_{BV}$$

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

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

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

Absorberfeldfläche

Die erforderliche Absorberfläche A_{AF} errechnet sich nach

$$A_{AF} = A_{SBO} \times \frac{q_B}{q_N}$$
$$= 30\ m^2 \times \frac{426\ kWh/m^2}{515\ kWh/m^2} = 25\ m^2$$

Im vorliegenden Berechnungsbeispiel ist eine Absorberfläche von 25 m² für ein 30 m²- Schwimmbecken ausreichend.

Kosten

Schwimmbadabsorber sind sehr kostengünstig. Ein Quadratmeter Kollektorfläche kostet zwischen 30,00 und 75,00 €/m² mit Montage.

7.6. 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. 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 Akteure (Architekten, Ingenieure, Planungsämter, Bauträger, Stadtwerke, usw.) möglichst zusammenarbeiten. So können die Anforderungen solcher Anlagen, z. B. Dachform, Ausrichtung Gebäude, Standort des saisonalen Speichers oder Verlauf der Nahwärmeleitungen rechtzeitig in den Bebauungsplan einfließen. Eine Anlage befindet sich in Chemnitz auf dem Solaris-Gelände.

8. Photovoltaik-Anlagen in der Praxis



Bild 11: Praxisbeispiel aus Chemnitz

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

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.

Nachfolgend wird die solare Stromversorgung eines Wochenendhauses beschrieben (Inselanlage).

8.1. Beschreibung einer Inselanlage

Den prinzipiellen Aufbau der Anlage zeigt Bild 12.
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.

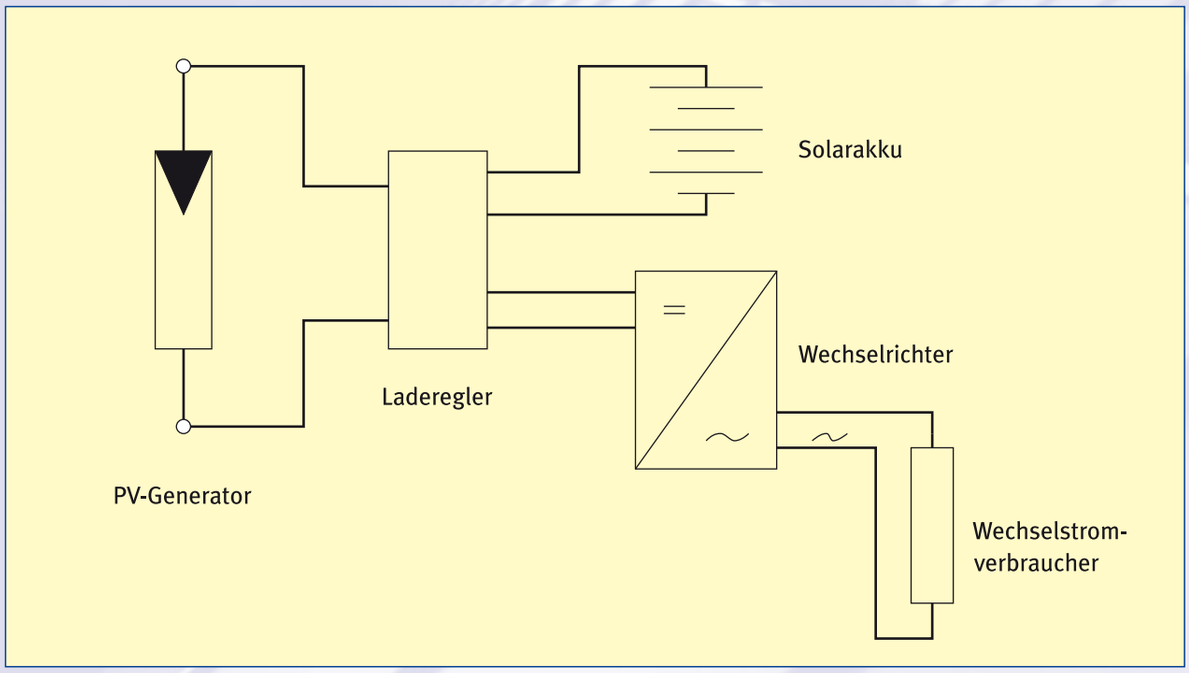


Bild 12: Funktionsprinzip einer solaren Stromversorgung

8.2. Abschätzung des Energiebedarfs einer Inselanlage

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 20: Abschätzung des Strombedarfs in einem Wochenendhaus

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

8.3. Auslegung der Anlage

Den Berechnungen wird die nutzbare Globalstrahlung für den Monat September aus Tabelle 9 zugrunde gelegt. Der Septemberwert wird verwendet, weil dieser Monat im Nutzungszeitraum (April bis September) die geringste nutzbare Strahlung aufweist. Die Solarmodule sind nach Süden mit einem Neigungswinkel von 30° ausgerichtet.
Die Anlage soll so bemessen sein, dass der Solarakku an allen Wochentagen (sieben Tage) gleichmäßig über einen Laderegler aufgeladen und am Wochenende (zwei Tage) wieder entladen wird.
Den Gleichstrom des Akkus wandelt ein Wechselrichter in 220 V Wechselstrom um. Da der Wechselrichter einen Wirkungsgrad von ca. 90% hat, liegt der Energieverbrauch entsprechend höher

nutzbare Strahlung im September:	89,4 kWh/m²
nutzbare Strahlung pro Tag:	2,98 kWh/m²
Energieverbrauch am Wochenende lt. Tabelle 20:	654 Wh
Energieverbrauch Wechselrichter Q_{ges} mit Wirkungsgrad 0,92:	654 Wh : 0,92
	= 710,9 Wh≈ 711 Wh

Bestimmung der benötigten Anzahl an Solarmodulen

- Vorgabe eines bestimmten Modultyps: z. B. SM 10 von Siemens mit

Nennleistung:	10 W
Nennstrom:	0,61 A
Nennspannung:	16,3 V

Die Berechnung erfolgt nach

$$n = \frac{Q \times S_{nenn}}{PR \times U_{nenn} \times I_{nenn} \times G_k}$$

n	Modulanzahl
Q	Energieverbrauch in Wh/d
S_{nenn}	1000 W/m²
PR	Performance Ratio (Faktor 0,7 bis 0,8)
U_{nenn}	Nennspannung in V
I_{nenn}	Nennstrom in A
G_k	nutzbare Globalstrahlung in Wh/m²d

Die Qualität von PV-Anlagen wird durch den PR-Faktor beschrieben. Gute Solaranlagen erreichen einen Wert von 75 bis 80%, d.h. 75% bis 80% der unter Standardbedingungen im Labor erzeugten Energie sind in der Praxis erzielbar. Für das Berechnungsbeispiel wird PR = 0,75 gewählt.
Der Wert S_{nenn} berücksichtigt die Tatsache, dass Nenndaten für Standardbedingungen angegeben sind.
Da der Generator am Laderegler angeschlossen ist, der 14 V zum Laden des Akkus abgibt, wird in die Gleichung anstelle der Nennspannung die Betriebsspannung UB = 14 V eingesetzt.

Tägliche Energiemenge

Da der PV-Generator gleichmäßig über die gesamte Woche Strom erzeugt, ist eine tägliche Energiemenge von

$$Q = \frac{Q\ ges.}{7\ Tage} = \frac{711\ Wh}{7} = 101{,}6\ Wh\ /d \approx 102\ Wh/d$$

erforderlich, um den Akku aufzuladen.

Modulanzahl

Die Anzahl der Module n errechnet sich aus:

$$n = \frac{102\ \text{Wh/d} \times 10^3\ \text{W/m}^2}{0{,}75 \times 14\text{V} \times 0{,}61\text{A} \times 2{,}98 \times 10^3\ \text{Wh/m}^2\text{d}} = 5{,}3$$

$n_{gewählt} = 5$ Solarmodule

Realbetrag der Module

Der Realbetrag der Module P_{real} errechnet sich aus:

$$P_{real} = PR \times n \times I_{nenn} \times U \times \frac{G}{S_{nenn}}$$

$$= 0{,}75 \times 14\ \text{V} \times 0{,}61\ \text{A} \times 14\ \text{V} \times \frac{2{,}98 \times 10^3\ \text{Wh/m}^2\text{d}}{10^3\ \text{W/m}^2}$$

$P_{real} = 95{,}4$ Wh/d

Bestimmung der notwendigen Akku-Kapazität

Der Akku wird an sieben Wochentagen geladen, aber nur an zwei Tagen entladen. Am Wochenende muss die gesamte Energiemenge zur Verfügung stehen. Die notwendige Akku-Kapazität ist aus dem Gesamtverbrauch in Amperestunden pro Tag, der Anzahl an Reservetagen und der zulässigen Entladetiefe des Akkus zu ermitteln.

$$\text{Gesamtleistung} = 95{,}4\ \text{Wh} \times 7\ \text{Tage} = 668\ \text{Wh/Woche}$$

$$\text{Gesamtverbrauch /Tag} = \frac{668\ \text{Wh}}{2\ \text{Tage}} = 334\ \text{Wh/d}$$

Für einen 12-V-Akku ergibt sich folgende Kapazität:

$$\text{Akku - Kapazität } C = \frac{Q/d}{U_{Batterie}} = \frac{334\ \text{Wh/d}}{12\ \text{V}} = 27{,}8\ \text{Ah/d}$$

Bei einer Entladetiefe von 70% beträgt die notwendige Kapazität

Es wird ein 100 Ah-Akku gewählt.

$$C = \frac{27{,}8\ \text{Ah/d}}{0{,}3} = 92{,}8\ \text{Ah/d}$$

Entladetiefe 70% bedeutet, dass nur 30% der Nennkapazität entnommen werden. Die Lebensdauer des Akkus wird durch Tiefe und Anzahl der Lade- und Entladevorgänge bestimmt. Entscheidend dabei ist die Entladetiefe.

Das Entladen auf Entladeschlussspannung muss vermieden werden. Durch den Laderegler wird der Verbraucher vom Akku getrennt, wenn die Entladeschlussspannung erreicht ist.

Auf Reservetage wird bei der Berechnung verzichtet, da das Wochenendhaus im Winter nicht genutzt wird und außerdem vom strahlungsärmsten Monat ausgegangen wurde.

Auswahl des Wechselrichters

Für die berechnete PV-Anlage des Wochenendhauses wird ein Sinuswechselrichter der Firma ASP für Inselbetrieb vom Typ TC DOMINO ausgewählt. Der Wechselrichter besitzt die folgenden Kenndaten:

Nennleistung:	400/600 W
max. Wirkungsgrad:	92%
Eingangsspannung:	12 V (10,5 bis 16 V) 24 V (21 bis 32 V)
Ausgangsspannung:	225 V (echte Sinusform)
Ausgangsfrequenz:	50 Hz
Eigenverbrauch:	20 mA
Überlastfähigkeit:	max. 250%
Gewicht:	4,6 kg / 6,4 kg

8.4. Anwendungsmöglichkeiten

Da die Speicherkosten (Akkumulatoren) bis zu 50% der gesamten Anlagekosten betragen können, bietet sich eine direkte Einspeisung in das Netz an. Ein wirtschaftlicher Einsatz ist vor allem bei Inselanlagen zur Versorgung von elektrischen Kleinverbrauchern und für spezielle Anwendungen gegeben.

- Kommunikationsanlagen (z. B. Notrufsäulen, Parkuhren, Signalanlagen)
- Kleingeräte (z. B. Uhren, Taschenrechner)
- netzunabhängige Versorgung für zeitweise genutzte Gebäude (z. B. Wochenendhäuser)
- Elektrifizierung ländlicher Gebiete (z. B. Ausflugslokale, abgelegene Gehöfte)
- Fassaden- und Dachgestaltung mit Photovoltaikelementen

Der Bereich der Anwendungsmöglichkeiten ist vielfältig. Photovoltaikanlagen können Leistungsbereiche von kW bis MW umfassen.

Mit dem Inkrafttreten des Erneuerbare-Energie-Gesetzes (EEG) wurden die Voraussetzungen für ein wirtschaftliches Betreiben von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen < 5 MW kWp, die auf bzw. an Gebäuden installiert werden, wesentlich verbessert. Der Investitionsanreiz wird mit einer 20-jährigen Abnahmegarantie zu einem Festpreis gegeben. Ziel des Gesetzes ist, den Anteil von Solarstrom auf 10 % bis zum Jahr 2010 zu steigern. Mit diesem Gesetz wurde der Durchbruch für die Investition in die Zukunft geschaffen.

9. Solare Anlagen – Baurecht – Energieberatung

Bei der Errichtung von Solaranlagen ist die jeweilige Rechtslage zu beachten. Nach der zurzeit geltenden Sächsischen Bauordnung vom 28. Mai 2004 sind Solarenergieanlagen und Sonnenkollektoren in und an Dach- und Außenwandflächen sowie gebäudeunabhängig mit einer Höhe bis 3 m und einer Gesamtlänge bis 9 m nach § 61 Abs. 2 Punkt b verfahrensfrei, d.h. es bedarf keines Bauantrages. Die Solarenergieanlage bzw. die Sonnenkollektoren müssen an der Dachhaut oder der Außenwandfläche anliegen. Ein völlig bündiger Abschluss ist nicht gefordert, Abstände bis 15 cm sind zulässig.
Stehende oder aufgeständerte Anlagen sind von der Verfahrensfreistellung nicht erfasst. Damit sind auch Solaranlagen, die in einem Winkel von der Dach- bzw. Außenwandfläche geneigt sind, baugenehmigungspflichtig.

Eine Beratung zu solarthermischen und Photovoltaik-Anlagen, zu Fördermittelanträgen sowie eine umfangreiche Firmenübersicht kann im Umweltamt der Stadt Chemnitz, Annaberger Straße 93, Zimmer 108, Ansprechpartner Herr Martin (Telefon 0371 488-3676) eingesehen werden. Literatur können Sie in der Stadtbibliothek Chemnit **www.stadtbibliothek-chemnitz.de** ausleihen. Die Deutsche Energie-Agentur dena bietet eine kostenlose Energie-Hotline 08000 736734, **www.thema-energie.de.** Basisinformationen sind erhältlich über den BINE Informationsdienst **www.bine.info** sowie über die Initiative „kostengünstig qualitätsbewusst bauen – umweltgerecht, innovativ, bezahlbar“ **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. Schadstoff–Reduzierung durch solarthermische Anlagen

In Tabelle 21 ist die Schadstoffreduzierung für verschiedene konventionelle Energieträger dargestellt. Zu Grunde gelegt wurde der solare Energieertrag der drei in den Abschnitten 7.1 , 7.2. und 7.4. dargestellten Anwendungsbeispiele. Erfasst sind die Schadstoffe Kohlendioxid (CO_2), Kohlenmonoxid (CO), Schwefeldioxid (SO_2), Stickoxide (NO_x), Staub und Benz(a)pyren.
Daraus ist ersichtlich, dass beispielsweise zur Brauchwassererwärmung anstelle Erdgas schon eine kleine Kollektoranlage auf einem Einfamilienhaus jährlich mit etwa 300 kg Kohlendioxidreduzierung zur Umweltverbesserung beiträgt.

Schadstoff	Energieträger	Einfamilienhaus Brauchwassererwärmung Kollektor 4,8 m²/ 1,54 MWh/a Solarertrag	Einfamilienhaus Kombi-Anlage Kollektor 10 m²/2,75 MWh/a Solarertrag	Großblock Brauchwasservorwärmung Kollektor 40 m²/19,15 MWh/a Solarertrag
CO_2-Emission [in kg]	leichtes Heizöl	404	720	5017
	Erdgas	294	525	3658
	Fernwärme	524	935	6511
CO-Emission [in kg]	leichtes Heizöl	0,388	0,693	4,83
	Erdgas	0,333	0,594	4,14
	Fernwärme	0,114	0,204	1,42
Staub-Emission [in kg]	leichtes Heizöl	0,006	0,01	0,069
	Erdgas	0,0005	0.0008	0.006
	Fernwärme	0,739	1,32	9,19
SO_2-Emission [in kg]	leichtes Heizöl	0,508	0,908	6,32
	Erdgas	0.006	0,01	0,067
	Fernwärme	0,031	0,055	0,383
NOX-Emission [in kg]	leichtes Heizöl	0,199	0,355	2,47
	Erdgas	0,177	0,316	2,20
	Fernwärme	1,494	2.668	18,6
Benz(a)pyren-Emission [in mg]	leichtes Heizöl	0.003	0.005	0,033
	Erdgas	0,00006	0,0001	0,0008
	Fernwärme	0,016	0,028	0,192

Tabelle 21: Schadstoffreduzierung durch Nutzung solarthermischer Anlagen. Emissionsfaktoren aus: Energiekonzept der Stadt Chemnitz

11. Staatliche Hilfen

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.foerderfibel.sachsen.de
www.bafa.de, www.bawi.de
www.bmwi.de
www.bmu.de

12. Erläuterung der Fachbegriffe

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.

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 Sicherungseinheit. 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 Volumenverringerung 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 spricht das Sicherheitsventil an. 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 Brauchwassererwärmung, 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 (Bild 8) gelangen zum Einsatz bei Solaranlagen, die zur Brauchwassererwärmung 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 emailliertem 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 Brauchwasserentnahme 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

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

- Brauchwassererwärmung mit Solarenergie
  Wenn zwischen Kollektortemperatur T_1 und Speichertemperatur T_4 eine Temperatudifferenz 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 Brauchwassererwärmung nicht ausreichend, so wird im unteren Teil des Kombispeichers das Brauchwasser 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 Heizkreisrücklauftemperatur 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-(Brauch)-Wassernetz 60°C nicht übersteigen darf. Da die Temperatur im Solarbrauchwasserspeicher 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.

PV-Generator

siehe Solarzellen

Pufferspeicher

Pufferspeicher kommen besonders bei Großanlagen zum Einsatz.
Die Pufferspeicher der im Abschnitt 7.3. beschriebenen Oederaner Anlage bestehen aus Stahlblech ohne Beschichtung. Sie sind mit Heizungswasser gefüllt, was eine Kalkablagerung ausschließt und höhere Speichertemperaturen ermöglicht.
Aus Platzgründen wurden sechs 750 l Pufferspeicher verwendet.
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 ≤ 0,04 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 dichterer Abschluss ist durch ein federbelastetes Rückschlagventil zu erzielen.

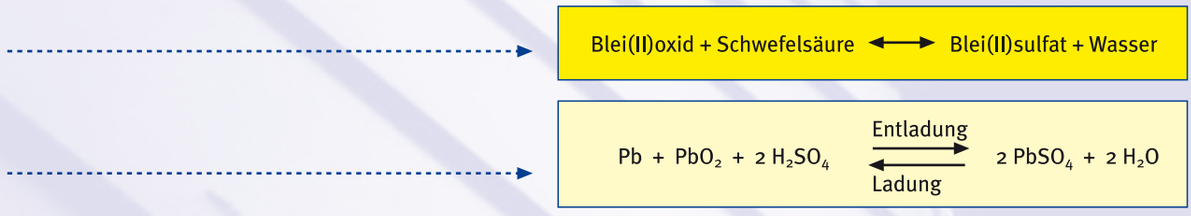
Schwimmbad-Absorber

siehe Absorber

Solarakku

Der Solarakku ist Bestandteil der Photovoltaik-(PV-)Anlagen.
Elektrische Energie lässt sich entweder in nicht wieder aufladbaren Batterien oder in aufladbaren Akkus speichern.
Der normale Bleiakku ist für die solare Energiespeicherung schlecht geeignet.
Der Solarakku muss vor allem eine hohe Lebensdauer, eine geringe Selbstentladung und gute Aufladbarkeit besitzen sowie beliebig oft beladen und entladen werden können.
Die Platten des Solarakkus bestehen aus einer speziellen Blei-Legierung.
Die gitterförmigen Elektroden tauchen in verdünnte Schwefelsäure ein. Die Kathode wird aus der Bleilegierung, die Anode aus Bleioxid gebildet.

Be- und Entladung :



Beim Laden entsteht Schwefelsäure. Die Schwefelsäurekonzentation steigt von 1,12 kg/l auf 1,28 kg/l und fällt beim Entladen entsprechend zurück. Aus der Kontrolle der Dichte kann somit auf den Ladezustand geschlossen werden.
Die Kapazität wird durch die Akkugröße, Bauart, Dichte der Säure und die Temperatur bestimmt. Die Temperatur hat einen gravierenden Einfluss. Wird bei niedriger Temperatur ein hoher Strom entnommen, ist der Akku rasch erschöpft. Eine Ladung bei niedriger Temperatur führt zu einer höheren Gasungsspannung. Abhilfe schafft ein Laderegler, der einen temperaturabhängigen Überspannungsschutz aufweist.
Eine hohe Lebensdauer des Akkus lässt sich erreichen, wenn nur 10 bis 40% von der Nennkapazität entnommen werden.

Solarkreis (Kollektorkreislauf)

Im geschlossenen Rohrsystem transportiert die durch thermische Steuerung in Gang gesetzte Umwälzpumpe das im Kollektor von der Solarstrahlung erwärmte flüssige Wärmeträgermedium mittels Wärmeübertrager in den Wärmespeicher.

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 Wärmedämmstoffen 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 (Bild 7) sind Temperatur-Regeleinrichtungen 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 ($T_{3\,max}$) 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 Brauchwassererwärmung nicht ausreichend, so wird im unteren Teil des Speichers das Brauchwasser 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 (Bild 7) werden die Absorber- als auch die Beckenwassertemperatur erfasst. Liegt die Absorbertemperatur 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 (Filtrierung 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 €.

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 wie der Oederaner Anlage (Bild 9) 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 Zirkulationspumpe geringer Leistung. Um die durch die Warmwasserzirkulation auftretenden Wärmeverluste in Grenzen zu halten, muss die Leitung gut wärmegedämmt 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 Solarkeislauf ausgleichen zu können, wird bei hoher Temperatur des Vorspeichers der Zirkulationsrücklauf durch automatische Regelung des Dreiwegestellventils in den Vorspeicher 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 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 m² / m² Kollektor

Rippenrohrwärmetauscher
0,35 m² / m² 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 Brauchwassererwärmung 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

Wechseltrichter 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.

Zirkulation

siehe Verrohrung

13. Quellenverzeichnis

- „Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung und Raumheizung“, BINE-Informationsdienst, Fachinformationszentrum Karlsruhe, 1985
- „Potenziale regenerative Energieträger in der BRD“, VDI Gesellschaft
- Deutscher Wetterdienst, Wetteramt Dresden
- Energiekonzept für die Stadt Chemnitz, 1993
- „Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG“, Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien, 2000
- H.-F. Hadamovsky, D. Jonas: „Solaranlagen“, Vogel Buchverlag Würzburg, 2000
- „Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung und Raumheizung“, BINE-Informationsdienst, TÜV-Verlag, 1998
- H. Ladener, F. Späte: „Solaranlagen“, Ökobuch Staufen, 1999
- „Messtechnische Überwachung der Solar- und Haustechnik im Wohngebiet Freiberger Straße in Oederan“, Abschlussbericht 1998, TU Dresden
- E. Holtkamp: „9160 m² Solarabsorber erwärmen 8 Hamburger Freibäder“. Sonnenenergie und Wärmepumpen“, Heft 1/1990
- Anwendungsbeispiel aus „Solaratlas Bayern“
- „Photovoltaik. Ein Leitfaden für Anwender“, BINE-Informationsdienst, Verlag TÜV Rheinland GmbH, 2000
- „Thermische Solaranlagen – Marktübersicht“, Öko-Institut e. V. Freiburg, 1995
- H. Weik: „Praxislexikon Sonnenenergie und solare Techniken“, Expert Verlag, 2000

14. Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Nutzbare Solarstrahlung in Chemnitz für verschiedene Kollektorausrichtungen

Anlage 2: Fragespiegel für die Dimensionierung und Anschaffung einer thermischen Solaranlage

Anlage 1:

Nutzbare Globalstrahlung für Chemnitz pro Monat und gesamt für ein Jahr
für verschiedene Kollektorneigungen zur Horizontalen
(0°, 30°, 45°, 60° und Ausrichtungen (Süd, Südwest, Südost, West, Ost)

Kollektor-neigung	Kollektor-ausrichtung	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	gesamt
0°	Süd	17	33	52	81	118	112	108	107	67	41	21	12	770
	SW / SO	17	33	52	81	118	112	108	107	67	41	21	12	770
	W / O	17	33	52	81	118	112	108	107	67	41	21	12	770
30°	Süd	36	71	112	124	181	171	152	143	89	65	33	19	1.196
	SW / SO	32	61	97	119	173	164	146	136	85	63	31	18	1.125
	W / O	24	42	67	97	142	134	139	129	80	53	27	16	950
45°	Süd	39	78	124	130	189	178	146	136	85	67	34	19	1.225
	SW / SO	34	67	106	119	173	164	139	129	80	63	31	18	1.123
	W / O	22	39	61	87	126	119	127	114	71	48	24	15	853
60°	Süd	40	81	129	124	181	171	130	122	76	64	32	18	1.168
	SW / SO	33	66	105	108	157	149	124	114	71	57	28	16	1.028
	W / O	19	32	51	70	102	97	105	93	58	40	20	13	700

Alle Werte in kWh pro m² Kollektorfläche

Anlage 2:

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? ☐

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

Wie alt ist meine Heizung? ☐

2. Welche Anlage ist die richtige für mich?

Ich möchte nur Brauchwasser solar erwärmen. ☐

Ich möchte eine Anlage zur Brauchwasser-erwärmung und Heizungsunterstützung. ☐

Waschmaschine und/oder Geschirrspüler sollen auch mit Solarwärme versorgt werden. ☐

3. Angaben zum Haus

Der Bau eines Hauses wird gesondert geplant. ☐

Im bestehenden Haus soll eine Solaranlage eingebaut werden. ☐

Es handelt sich um ein Einfamilien-/Mehrfamilienhaus. ☐

Sind Baupläne vorhanden? ☐

4. Angaben zur Warmwasserbereitung und Heizung

Wie wird das Warmwasser erhitzt? ☐

- zentral mit Gas, Öl, Strom
- dezentral mit Gas, Strom

5. Angaben zum Dach

In welche Richtung zeigt mein Dach? ☐

Welche Form hat das Dach (spitz, flach)? ☐

Wie groß ist das Dach (m^2)? ☐

Welche Neigung hat das Dach (Grad)? ☐

Wie viele Dachfenster sind vorhanden? ☐

Wie viele Schornsteine sind vorhanden? ☐

Verschatten Bäume Teile des Daches? ☐

Ich lasse mich vom Fachmann beraten. ☐

6. Finanzierung der Solarwärmeanlage

Eigenmittel/zusätzlich Fördermittel ☐

Impressum

Herausgeber:	**Stadt Chemnitz** Die Oberbürgermeisterin / Bürgermeisteramt
Ansprechpartner:	Umweltamt
Fotos:	Stadt Chemnitz / Stadtentwicklungsamt, Umweltamt
Gestaltung:	MDC Marketing Design Chemnitz GmbH
Illustration:	Rainer Bach
Druck:	Oskar Görner GmbH 12/2009