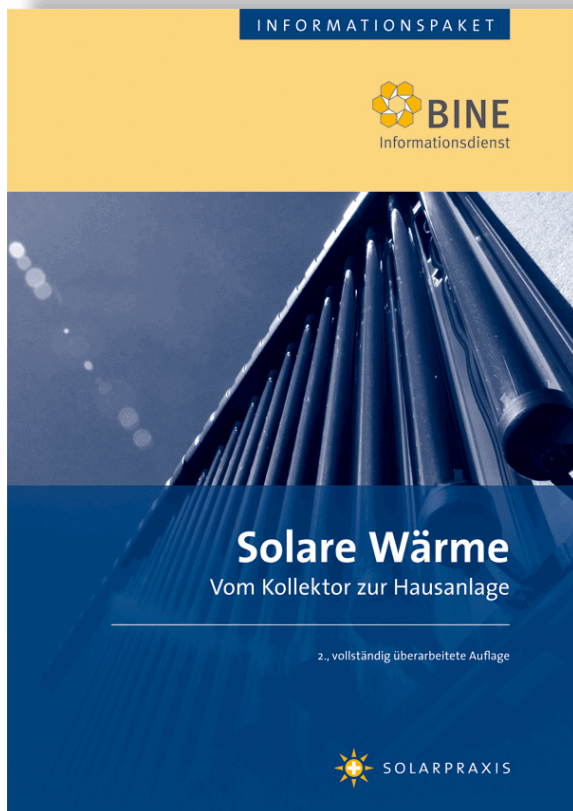


Leseprobe

Mit

Inhaltsverzeichnis, Vorwort und dem ersten Kapitel

Die Graphiken liegen in reduzierter Auflösung vor und der Text ist nicht ausdrückbar.



BINE Informationspaket

Solare Wärme – vom Kollektor zur Hausanlage

Dr. Sonne Team

Klaus Oberzig

2., vollständig überarbeitete Auflage

ISBN 978-3-934595-73-6

Hat Sie die Leseprobe überzeugt?

Dann profitieren Sie vom kompletten Buch für nur 24,80 Euro zzgl. Versand.

Eine Bestellmöglichkeit finden Sie [hier](#).

BINE-Informationspaket

Solare Wärme

Vom Kollektor zur Hausanlage

Dr. Sonne Team
Klaus Oberzig

Die vorliegende 2. Auflage entstand auf der Grundlage
der von Ulrich Luboschik und Dr. Jean-Marc Suter
verfassten 1. Auflage dieser Publikation

Herausgeber

 FIZ Karlsruhe

 SOLARPRAXIS

 **BINE**
Informationsdienst

Der BINE Informationsdienst bietet Kompetenz in neuen Energietechniken. Der intelligente Umgang mit knappen, wertvollen Energieressourcen, insbesondere in Gebäuden und der Gebäudetechnik, sowie die Nutzung erneuerbarer Energien sind die BINE-Kernthemen. Zu diesen Inhalten vereinen wir vielfältiges Know-how aus Forschung, Technik und Anwendung. Eine Übersicht über unser komplettes Produkt- und Dienstleistungsangebot finden Sie unter www.bine.info. Gerne senden wir Ihnen die Informationen auch zu.

BINE ist ein Informationsdienst von FIZ Karlsruhe und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

Für weitere Fragen stehen Ihnen zur Verfügung:
Uwe Milles (Redaktion)
BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
Kaiserstr. 185–197, 53113 Bonn
Tel. 0228 / 92379-0, E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de, www.bine.info

Verlag: Solarpraxis AG
Zinnowitzer Straße 1, 10115 Berlin
Tel.: 030 / 726296300, E-Mail: verlag@solarpraxis.de, www.solarpraxis.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Inhalte dieses Werkes werden von Verlag, Herausgeber und Autoren nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet und zusammengestellt. Eine rechtliche Gewähr für die Richtigkeit der einzelnen Angaben kann jedoch nicht übernommen werden. Gleiches gilt auch für Websites, auf die verwiesen wird. Es wird betont, dass wir keinerlei Einfluss auf die Inhalte und Formulierungen dieser Seiten haben und auch keine Verantwortung für sie übernehmen. Grundsätzlich gelten die Wortlaute der Gesetzestexte und Richtlinien und die einschlägige Rechtsprechung.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

ISBN 978-3-934595-73-6

© by FIZ Karlsruhe, 2008

Gestaltung: Solarpraxis AG

Hinweis zu den Abbildungen: Soweit nachfolgend keine anderen Quellen genannt werden, stammen die Abbildungen vom Autor.



1	Thermische Solaranlagen – eine ausgereifte Technologie	7
2	Sonnenstrahlung in Wärme wandeln	14
2.1	Das Strahlungsangebot auf der Erdoberfläche	14
2.2	Jahreszeitlicher Verlauf der Sonnenstrahlung	16
2.3	Optimierung der Kollektorausrichtung	17
2.4	Solare Wärmeerzeugung	18
2.5	Anwendungsgebiete solarer Wärme	19
3	Der Kollektor	21
3.1	Energiebilanz des Kollektors	21
3.2	Wirkungsgrade und Kennlinien	23
3.3	Qualitätsprüfungen von Sonnenkollektoren – Labels und Zertifikate	27
3.4	Übliche Absorbermaterialien und -bauarten	29
3.5	Verglasung	31
3.6	Isolierung	31
3.7	Bauformen von Kollektoren	32
3.8	Aufstellung und Dachintegration	37
3.9	Fassadenintegration – Manufaktur auf Bestellung	39
4	Speicherung und Übertragung von Wärme	41
4.1	Wasser als Speichermedium	41
4.2	Andere Speichermedien	45
4.3	Wärmetauscher	48
4.4	Legionellen – eine Gefahr?	49
4.5	Speicher für Solaranlagen	50
4.6	Wärmeübertragung vom Kollektorfeld zum Speicher	51
5	Solare Wärme und Energieeinsparverordnung (EnEV)	61
6	Häusliche Warmwasserbereitung	64
6.1	Potenzial solarer Trinkwassererwärmungsanlagen	64
6.2	Anlagen für Ein- und Zweifamilienhäuser	65
6.3	Einsatz von Simulationsprogrammen	73
6.4	Auswahl des Speichersystems	74
6.5	Einbindung in die Haustechnik	75
6.6	Einholen und Auswerten von Angeboten	76
7	Kombi-Anlagen für Warmwasserbereitung und Raumheizung	77
7.1	Die solare Raumheizung	77
7.2	Kriterien für den Einsatz von solaren Kombisystemen	83
7.3	Auslegungskriterien für Kombi-Anlagen	85
7.4	Zwei Gebäudebeispiele	88
7.5	Solare Luftheizungen	89



8	Solaranlagen im Geschosswohnungsbau	93
8.1	Mietnebenkosten	93
8.2	Warmwassersysteme in Mehrfamilienhäusern	94
8.3	Allgemeines zu Solaranlagen im Geschosswohnungsbau	96
8.4	Zur Auslegung von Solaranlagen im Geschosswohnungsbau	97
9	Solaranlagen für Gebäude und Produktion in Klein- und mittleren Unternehmen	101
9.1	Solar beheizte Industriehallen	101
9.2	Solare Prozesswärme für die Industrie	103
10	Gewährleistung, Ertragsgarantie und Anlagenkontrolle	107
10.1	Gewährleistungsfristen	107
10.2	Leistungsüberprüfung	107
10.3	Funktionskontrolle durch elektronische Regler	111
10.4	Anlagenkontrolle	113
10.5	Wartung	114
10.6	Sicherheitsvorschriften	114
11	Solar beheizte Schwimmbäder	116
11.1	Freibäder	116
11.2	Hallenbäder	120
12	Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen	121
12.1	Bemerkungen zum Thema Wirtschaftlichkeit und individuelle Werte	122
12.2	Finanztechnische Methoden	125
12.3	Berechnung des Energiepreises nach der Vollkostenmethode	126
13	Ökobilanz und energetische Amortisation	133
14	Solarwärme in der Energieforschung und weitere Perspektiven	136
14.1	Ergebnisse und Ziele der Forschung	136
14.2	Die „Solar Thermal Vision 2030“ der europäischen Solarwirtschaft	140
15	Zitierte Literatur und Abbildungsverzeichnis	142
15.1	Zitierte Literatur	142
15.2	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	144
16	Laufende und abgeschlossene Forschungsvorhaben aus der Energieforschung der Bundesregierung	146
16.1	Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben	146
16.2	Forschungsberichte	147
17	Weiterführende Literatur	148
17.1	Literatur	148
17.2	BINE Informationsdienst	153
18	Autorenangaben	154



Vorwort

Ende 2007 waren weltweit rund 120 Gigawatt solarthermischer Anlagen installiert und der Zuwachs gegenüber dem Vorjahr lag bei stolzen 25 %. Bereits mehr als 50 Millionen Anlagen auf allen fünf Kontinenten versorgen Haushalte mit solarem Warmwasser. Deutschland verfügt mit knapp 7 Gigawatt – verteilt auf mehr als eine Million Anlagen und nahezu 10 Millionen Quadratmeter Kollektorfläche – über rund 40 % der in Europa installierten Leistung. Deutsche Firmen sind europaweit weiterhin Markt- und Technologieführer.

In Deutschland ist diese erfreuliche Entwicklung auch einer kontinuierlichen staatlichen Forschungsförderung zu verdanken, die unabhängig von der Tagesform des Ölpreises gehandelt hat. Einen großen Beitrag haben auch die öffentlichen Förderprogramme, besonders herauszustellen ist das Marktanreizprogramm, geleistet. Für viele Menschen wurde der Weg zur solaren Zukunft durch diese Investitionshilfen leichter. Mit Blick auf das Jahr 2020 haben die Europäische Union und die Bundesregierung ambitionierte Ziele. Allein in Deutschland soll sich bis 2020 der Beitrag der erneuerbaren Energien zur Wärmeversorgung mehr als verdoppeln. Hierzu werden Solaranlagen einen großen Beitrag leisten müssen. Die bisherigen Erfolge der Solarthermie sind erst ein Anfang und im Hinblick auf die sich abzeichnenden globalen Klimaveränderungen muss Solarwärme noch weit stärker genutzt werden.

Innerhalb der Haustechnik sind solarthermische Anlagen zuverlässige und bewährte Standardprodukte. Ein heutiger Bauherr kann für seinen Neubau oder für eine grundlegende Altbausanierung auf dem Markt aus einer Fülle von solarthermischen Anlagen wählen. Soll die Anlage nur der Warmwasserversorgung dienen oder konsequenterweise auch die Heizung unterstützen? Wie ist das optimale Speicherkonzept für den individuellen Bedarf? Welche Konzepte und Erfahrungen gibt es für den Geschosswohnungsbau, für komplette Siedlungen oder den Bereich der Industrie- und Gewerbebauten? Auf diese und viele anderen Fragen bietet dieses Buch Antworten. Mit einer wohl dosierten Mischung aus Grundlagen und ganz praktischen Tipps hilft das Buch interessierten Bauherren und Investoren, Anwender zu werden.

FIZ Karlsruhe
BINE Informationsdienst



1 Thermische Solaranlagen – eine ausgereifte Technologie

Solare Wärme ist den meisten Menschen aus alltäglichen Erfahrungen vertraut: Im Frühjahr und Herbst nimmt man die durch Fenster ins Haus einfallende Sonnenstrahlung als wohltuende Wärme wahr. Im Sommer klagen Träger dunkler Kleidung bei starkem Sonnenschein schneller über Hitzegefühle als die, die helle Kleidung tragen. In der heißen Jahreszeit kann auch in unseren Breitengraden die Erwärmung dunkler Asphaltflächen so intensiv sein, dass barfuß Laufen zur Mutprobe wird.

Seit etwa 5 Milliarden Jahren schickt die Sonne ihre Strahlen auf die Erde. In einer halben Stunde liefert sie mehr Energie als alle Menschen zusammen in einem Jahr verbrauchen können. Und das auch noch in den nächsten 4 Milliarden Jahren. Und sie präsentiert für Ihre Energielieferung keine Rechnung. Die Sonne liefert auch in Deutschland genügend Energie: Jährlich rund 1.000 kWh pro Quadratmeter, was in etwa dem Energieinhalt von 100 Liter Öl entspricht.

Thermische Solaranlagen nutzen solare Wärme zur Unterstützung bzw. Deckung des häuslichen Warmwasserbedarfs und der Raumheizung. Zentrales Bauteil einer thermischen Solaranlage (Abb. 1) ist der Sonnenkollektor. Das „Herz“ des Kollektors, wir sprechen hier erst einmal von einem Flachkollektor, sind die Absorber. Das sind schwarze Metallflächen, auf deren Rückseite in einem System von kleinen Röhren eine Flüssigkeit zirkuliert, die durch die Wirkung der Sonnenstrahlung erwärmt wird. Damit ein möglichst großer Teil der im Absorber erzeugten Wärme genutzt werden kann, sind Kollektoren auf der Rückseite und an den Seitenwänden wärmegeämmt. Die im Absorber erwärmte Flüssigkeit gibt die gesammelte Wärme über einen Wärmetauscher an das Warmwasser-

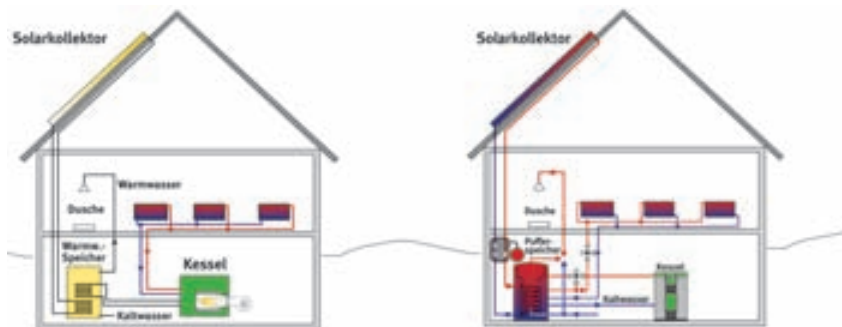


Abb. 1a) Thermische Solaranlage für die Warmwasserbereitung

Abb. 1b) Kombinierte solare Raum- und Warmwasserheizung

und/oder das Heizungssystem des Hauses ab. Die solare Wärme steht den Nutzern je nach System an Warmwasserhahn und Heizkörper oder für Schwimmbecken zur Verfügung.

Die direkt von der Sonne gewonnene Wärme reicht an manchen Tagen für den aktuellen Nutzwärmebedarf eines Hauses nicht aus, wenn z. B. Wolken oder eine Schlechtwetterperiode die Sonne verdecken. Zur Überbrückung derartiger Perioden werden Wärmespeicher in Solaranlagen integriert. Diese werden aufwändiger, wenn nicht nur ein paar Regentage im Sommer überbrückt werden sollen, sondern die solare Wärme des Sommerhalbjahres noch in der winterlichen Heizperiode einen Beitrag leisten soll (saisonale Speicherung). Dauert die Schlechtwetterperiode zu lange an, sinkt die solar erzeugte Nutzwärme im Wärmespeicher so weit ab, bis sie für die Warmwasserbereitstellung nicht mehr ausreicht. Dann übernimmt eine weitere Wärmequelle – meist eine Zusatzheizung mit Öl- oder Gaskessel, eine Wärmepumpe, eine Holzfeuerung oder ein elektrisches Heizelement – die Erwärmung des Speicherinhalts.

Sonnenlicht lässt sich nicht nur in Wärme umwandeln, sondern man kann hiermit auch elektrischen Strom gewinnen. Die zugrunde liegende Technik heißt Photovoltaik (Solarstrom). Die zentrale Komponente in photovoltaischen Solaranlagen ist das Solarmodul. Diese Module bestehen aus einem Halbleitermaterial, meist Silizium, und enthalten keine beweglichen Teile, keine Flüssigkeiten für den Wärmetransport und keine Pumpen. Photovoltaikanlagen speisen ihren Strom in der Regel in das öffentliche Stromnetz ein. Die Vergütung erfolgt in Deutschland über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).



Abb. 2: Sonnenkollektoren für die Wärmeerzeugung (Solarthermie)

Das vorliegende Buch befasst sich ausschließlich mit Sonnenkollektoren und thermischen Solaranlagen für Wärme im Haushalt. Im Nachfolgenden werden wir unter Solaranlagen immer nur thermische Solaranlagen verstehen.

Daneben gibt es noch weitere Prinzipien, um die Strahlungsenergie der Sonne direkt auf der Erde für die Energieversorgung zu nutzen, wie zum Beispiel:

- Photosynthese der Pflanzen (z. B. Biokraftstoffe)
- Photochemie (Nutzung des Prinzips der Photosynthese in photochemischen Wandlern)
- Hochtemperatur-Solarchemie (chemische Reaktionen in der konzentrierten Sonnenstrahlung)
- solarthermische Stromerzeugung (Umwandlung in Hochtemperatur-Wärme, Stromerzeugung in thermischen Kraftwerken).

Auch andere erneuerbare Energien hängen indirekt von der Sonneneinstrahlung ab, wie zum Beispiel:

- Wasserkraft
- Windenergie
- Biomassegewinnung (z. B. Holz)
- Biogas in der Landwirtschaft
- Erdwärmenutzung mit Wärmepumpen (oberflächennahe Geothermie)

Vorteile thermischer Solaranlagen

Thermische Solaranlagen sind technologisch ausgereift. Durchgängig werden heute Qualitätsprodukte angeboten, die den Anforderungen der europäischen Normung entsprechen [1]. Aus den Vergleichstests der Prüflaboratorien kann der potenzielle Kunde die nötige Markttransparenz gewinnen. Qualitätssicherung sollte Standard sein. Bei einer geprüften Solaranlage, die von einer erfahrenen Installationsfirma geplant und installiert worden ist, besteht für den Käufer die gleiche Sicherheit wie bei anderen Heizungstechniken.

Umwelt- und Klimaschutz sowie eine nachhaltige Energieversorgung sind Gebote der Stunde. Die Vision der ESTTP (Europäische Solarthermie Plattform) ist umsetzbar, in 2030 eine hundertprozentige Wärmeversorgung unserer Gebäude mit erneuerbaren Energien zu erreichen. Dabei reichen Fortschritte bei Wirkungsgrad und der Reduktion des Schadstoffausstoßes von fossilen Energieträgern nicht aus. Die Nutzung der Solarenergie ist Stand der Technik und muss heute selbstverständlicher Bestandteil eines modernen Heizungssystems sein.

Nur durch eine konsequente Anwendung von Energiespartechniken und Nutzung erneuerbarer Energien kann der weitere Anstieg der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen (Abb. 3) gestoppt und der weltweite Verbrauch fossiler Energieträger zurückge-
drängt werden.

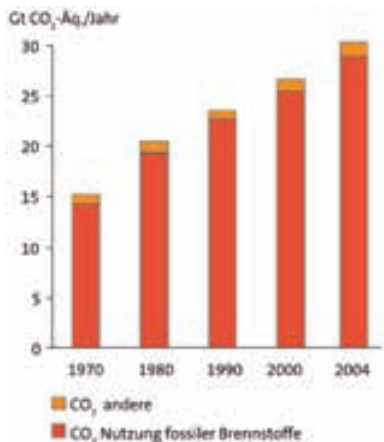


Abb. 3: Von fossiler Energieerzeugung verursachte Entwicklung der CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre 1970 – 2004.

Von der gesamten Endenergie, die in Deutschland im Jahr 2005 verbraucht wurde (9.299 PJ), flossen 28,6% in die Haushalte. Davon wurden für Raumwärme 75% und für Warmwasser 11,5% genutzt [2]; diese verursachten also fast gänzlich die CO₂-Emissionen im Haushaltssektor. Die Emissionen haben sich zwischen 1990 und 2003 nur um ca. 0,5% p. a. vermindert. Betrachtet man die anderen Teilbereiche, dann macht Raumwärme bei Gewerbe und Dienstleistung 46,7% und in der Industrie 8,9% aus. Mit einer Solaranlage kann jeder Einzelne zur effizienten Energienutzung, zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz beitragen.

Neben einem angemessenen Nutzerverhalten gibt es viele technische Wege, um Energie intelligenter zu nutzen und den Energieverbrauch für die Raumwärme – bei gleichem Wohnkomfort – zu senken. Diese liegen in der Verbesserung der Bauhülle (z. B. stärkere Wärmedämmung, Luftdichtigkeit), der gesteigerten Effizienz der Wärmeerzeugung (z. B. Brennwertkessel, Regelung, energiesparende Pumpen) und der Erschließung erneuerbarer Energiequellen, wie z. B. durch thermische Solaranlagen.



Abb. 4: Solartechnik verbindet.

Ein guter Planer schlägt Bauherren eine ausgewogene, für das einzelne Haus maßgeschneiderte Kombination von Energiesparmaßnahmen und der Nutzung der Sonnenenergie vor. Es macht wenig Sinn, mit einer Solaranlage gegen ungedämmte Wände und zugige Fenster anzuheizen. Bei bestehenden Bauten ist es vorteilhaft, wenn die energetische Sanierung und der Einbau einer Solaranlage

mit ohnehin fälligen Maßnahmen zum Gebäudeunterhalt (z. B. Dach- oder Fassadenarbeiten) kombiniert wird (Abb. 4).

Moderne Energiespartechnologien senken nicht nur den Energieverbrauch und die Heizkosten, sondern erhöhen zugleich auch den Wohnkomfort. Zwei Beispiele: Durch die konsequente Wärmedämmung der Außenwände „steigt“ während der Heizperiode auch die Wandtemperatur im Innenraum. Für die Bewohner nimmt die Behaglichkeit zu, weil der Temperaturunterschied zwischen Wand und Innenraum geringer geworden ist und „die Wände keine Kälte mehr abstrahlen“. Der Einbau einer sogenannten kontrollierten Lüftungsanlage reduziert nicht nur die Wärmeverluste beim Lüften, sondern garantiert eine Frischluftversorgung mit großer hygienischer Qualität (z. B. Vermeidung von Schimmelpilzbildung). An verkehrsreichen Straßen helfen sie, die Frischluft rein und den Verkehrslärm draußen zu lassen.

11

Solaranlagen haben Qualitäten jenseits der eigentlichen Energiegewinnung. Die Nutzer werden ein ganzes Stück unabhängiger bei der Energieversorgung. Sie können dem Anstieg der Brennstoffpreise gelassener entgegensehen. Die Sonne schickt Ihnen keine Rechnung.

Solaranlagen steigern den Wert einer Liegenschaft. Sie signalisieren der Öffentlichkeit, dass hier ein zukunftsorientierter, dem Gedanken der Nachhaltigkeit verpflichteter Baustandard verwirklicht worden ist. Durch eine geschickte Integration der Anlage ins Gebäude kann auch die architektonische Gestaltung des Hauses aufgewertet werden. Kollektoren bilden einen Blickfang und regen zu öffentlichem Interesse, Anerkennung und Nachahmung an (Abb. 5).



Abb. 5: Solarkollektoren geben einem Haus die besondere Note.

Volkswirtschaftlich gesehen sprechen viele weitere Argumente für die Nutzung von Solarenergie. Anstatt wie bisher das Gros der fossilen Energieträger auf dem Weltmarkt zu kaufen und mit großen Umwandlungs- und Verteilsystemen für den Endverbraucher bereitzustellen, fördert die dezentralere Solarenergie die inzwischen entstandene einheimische Solarindustrie, Klein- und mittelständische Betriebe im Handel sowie Handwerker vor Ort.

Das Potenzial der Energiequelle „Sonne“ ist gewaltig: In nur 20 Minuten trifft auf der Erde genau so viel solare Energie ein, wie rein rechnerisch die gesamte Menschheit in einem Jahr verbraucht. Solaranlagen nutzen die Sonnenstrahlung, aber verbrauchen sie nicht. Solange die Sonne scheint, ist diese Energiequelle aus Sicht der Menschheit unerschöpflich. Solaranlagen vermindern den Rohstoffverbrauch der Erde und reduzieren die Umweltbelastungen. Damit wird ein Beitrag geleistet, um den politischen, ökonomischen und ökologischen Entscheidungsspielraum künftiger Generationen zu erhalten und die Auswirkungen des Klimawandels in Grenzen zu halten.

Thermische Solaranlagen – zehn gute Gründe für ihren Einsatz

- bewährte Technik
- Qualität durch europäische Normen und deren Prüfung gesichert
- Erschließung einer unerschöpflichen Energiequelle
- Reduktion der CO₂-Emissionen aus fossiler Energiegewinnung
- Keine Schadstoffemissionen vor Ort
- Eine parallele Sanierung der Bauhülle und der Energietechnik vermindert den baulichen und finanziellen Aufwand und ist förderfähig
- Wohnkomfort und Wert der Liegenschaft steigen
- Die Energieversorgung wird unabhängiger von den Krisenregionen der Welt
- Die Volkswirtschaft wird von teuren Importen entlastet
- Impulse für die einheimische Wirtschaft, d. h. Arbeitsplätze bei Herstellern, Handel und Handwerk vor Ort

Technologie mit Zukunft

Ende 2006 waren nach Angaben des Bundesverbandes der Solarwirtschaft (BSW) insgesamt 940.000 solarthermische Anlagen in Deutschland installiert. Damit werden jährlich rund 500 Millionen Liter Öl oder Kubikmeter Gas eingespart. Nach Angaben des Verbandes kamen in 2006 rund 58 % mehr neue Kollektoren auf die Dächer als 2005. Der Umsatz der Branche in Deutschland stieg auf 1,2 Mrd. Euro. Die rund 4.000 deutschen Solarunternehmen beschäftigten Ende 2006 rund 19.000 Mitarbeiter, das sind 6.500 Beschäftigte mehr als im Vorjahr.

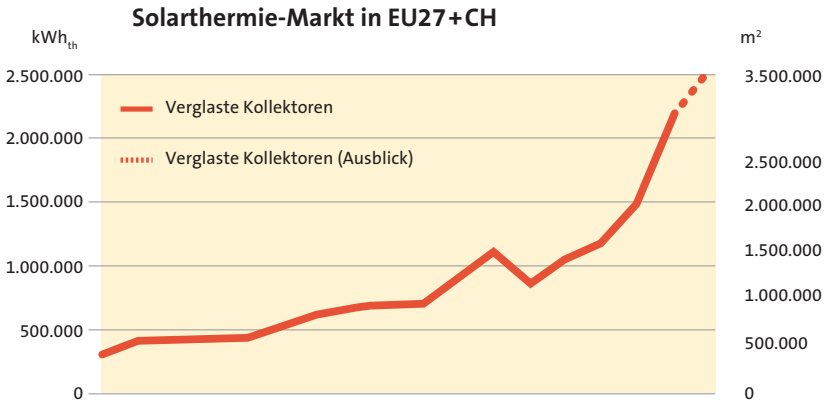


Abb. 6: Solarwärme-Marktvolumen der EU-27 plus Schweiz hat sich seit 2000 verdoppelt.

Auch die europäische Solarthermie-Branche kann inzwischen auf ein beeindruckendes Wachstum zurückblicken: Der Solarwärme-Markt in der EU 27 plus Schweiz wuchs nach Zahlen des Industrieverbandes ESTIF 2006 um 47%. 2,1 Gigawatt Solarwärme-Leistung wurden neu installiert, entsprechend einer Kollektorfläche von rund drei Millionen Quadratmetern. Insgesamt sind mittlerweile 13,6 GW_{th} installiert. Nach Einschätzung des Schweizer Bankhauses Sarasin ist weltweit bis 2010 ein jährliches Wachstum bei der neu installierten Leistung von 25 bis 30% zu erwarten.



Abb. 7: Der Boom steht noch bevor: Wachstumsszenario für die Solarthermie in Europa

2 Sonnenstrahlung in Wärme wandeln

2.1 Das Strahlungsangebot auf der Erdoberfläche

Physikalisch gesehen gibt die Sonne als Kernfusionsreaktor Energie in Form von elektromagnetischen Wellen ab. Nach einem verlustfreien Weg durch den Weltraum trifft die Strahlung auf die äußere Hülle der Erde. Sie wird dort u. a. absorbiert, zurückgestrahlt oder löst chemische Reaktionen aus. An der Außenhülle der Erdatmosphäre liegt die "Intensität" der Sonnenstrahlung (= Bestrahlungsstärke) bei rund 1.370 W/m^2 . Dies nennt man auch die Solarkonstante. Beim Durchgang durch die Atmosphäre wird diese Strahlung durch Reflexion und Absorption an den verschiedenen Bestandteilen der Luft (z. B. Wasserdampf, Ozon) „geschwächt“. Zusätzlich treten Streueffekte auf, die für die Entstehung der diffusen Strahlung verantwortlich sind (Abb. 8). Durch diese Mechanismen wird die Bestrahlungsstärke an der Erdoberfläche bei wolkenlosem Himmel auf etwa 1.000 W/m^2 reduziert. An Wintertagen mit schlechtem Wetter und einer geschlossenen Wolkendecke kann dieser Wert bis auf 50 W/m^2 absinken.

14



Abb. 8: Globalstrahlung besteht in Mitteleuropa je nach Jahreszeit zu 50–70% aus diffuser Strahlung.

Die Sonnenstrahlung wird jedoch nicht nur durch ihre Bestrahlungsstärke, sondern auch durch ihr Spektrum gekennzeichnet. Dieses liegt in einer Wellenlängen-Bandbreite von ca. $0,3 \mu\text{m}$ (ultraviolett) bis zu etwa $3 \mu\text{m}$ (infrarot). Das für unser Auge sichtbare Licht liegt im Bereich von $0,38$ bis $0,78 \mu\text{m}$. Da nicht alle Wellenlängenbereiche der einfallenden Strahlung gleichermaßen von den genannten Abschwächungsmechanismen betroffen sind, wird das Spektrum der Strahlung – je nach der Länge des Weges durch die Atmosphäre – mehr oder weniger stark verändert. In Abb. 9 ist das Spektrum der

Sonnenstrahlung in Meereshöhe bei Zenitstand der Sonne dem der extraterrestrischen Strahlung gegenübergestellt. Deutlich sind die starken Intensitätseinbrüche bei bestimmten Wellenlängen zu erkennen, die auf die selektiv wirkenden Mechanismen bestimmter Luft-Inhaltsstoffe zurückzuführen sind. So schützt uns z. B. die Ozonschicht vor zu starker UV-Einstrahlung und der natürliche CO_2 -Gehalt der Atmosphäre reduziert die Abstrahlung von Wärme in den Weltraum. Bedingt durch die Zunahme der fossilen Verbrennungsvorgänge seit Beginn der Industrialisierung steigt der CO_2 -Gehalt menscheitsbedingt von Jahr zu Jahr weiter an. Hierdurch wird die Wärmeabstrahlung der Erde reduziert und der Treibhauseffekt verstärkt.

Spürbare Veränderungen des Erdklimas haben infolge dieser Erwärmung bereits eingesetzt. Der Weltklimarat „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC), ein zwischenstaatlicher Ausschuss mit Sitz in Genf, der 1988 vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (Unep) und der World Meteorological Organization (WMO, die ebenfalls zur UN gehört), gegründet wurde, geht in seinen Berichten des Jahres 2007 („Mitigation of Climate Change“) davon aus, dass der Klimawandel eindeutig von Menschenhand verursacht sei. Die Temperaturzunahme der letzten 50 Jahre sei doppelt so hoch wie in den letzten 100 Jahren. Es müsse konsequent gehandelt werden, damit die globale Erderwärmung nicht stärker als zwei Grad gegenüber vorindustriellen Werten ansteige, urteilt das IPCC klarer denn je. Vor allem der CO_2 -Ausstoß müsse bis 2015 drastisch gesenkt werden. Nicht die Kosten seien das Problem, sondern die Zeit, postuliert IPCC, und mahnt einen strikten Zeitplan an. Spätestens in acht Jahren dürften die weltweiten Kohlendioxidemissionen nicht weiter ansteigen und müssten bis Mitte des Jahrhunderts um 50 bis 85 % sinken verglichen mit den Werten des Jahres 2000.

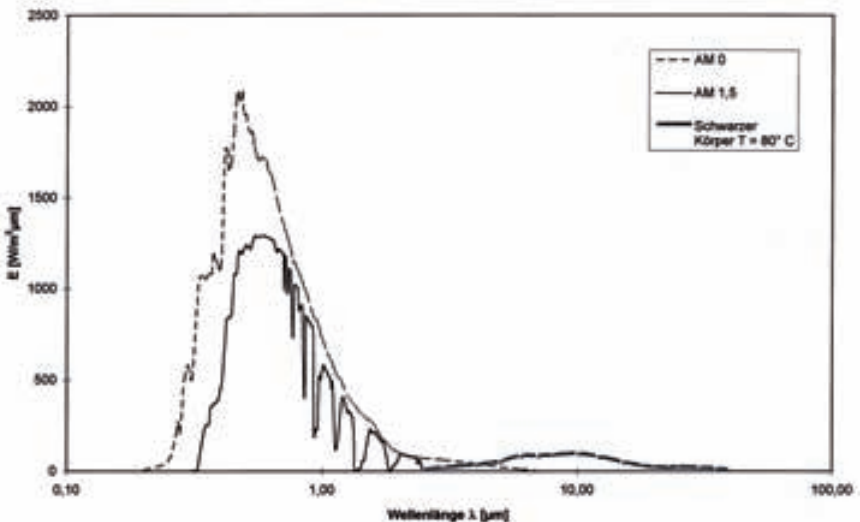


Abb. 9: Wellenlänge und Intensität der Solarstrahlung

In Deutschland steht die Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche mit einem jährlichen Energieangebot von 900–1.200 $\text{kWh/m}^2\text{a}$ zur Verfügung. Pro Quadratmeter fällt so viel Sonnenenergie pro Jahr ein, wie es rein rechnerisch dem Heizwert von 90–120 l Heizöl entspricht. In der Sahara oder in vergleichbaren Gebieten sind dies etwa 2.500 $\text{kWh/m}^2\text{a}$, also etwas mehr als das Doppelte.

Bezogen auf die Gesamtfläche Deutschlands liegt das theoretische Angebot der Strahlungsenergie etwa um den Faktor 100 höher als der jährliche Primärenergiebedarf. Die Nutzung dieses gewaltigen Potenzials ist eine der technisch-wirtschaftlichen Herausforderungen des begonnenen Jahrhunderts. Wenn es gelänge, die Solarenergie des Sommerhalbjahres verlustarm über längere Zeiträume kostengünstig zu speichern, könnte der komplette häusliche Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser solar gedeckt werden. Um diesem Ziel näher zu kommen, ist es notwendig, in einzelnen Schritten vorzugehen.

2.2 Jahreszeitlicher Verlauf der Sonnenstrahlung

Deutschland erstreckt sich in etwa von $46,3^\circ$ (Allgäuer Alpen) bis $54,9^\circ$ nördlicher Breite (dänische Grenze). Die dadurch bedingten niedrigen Sonnenhöchststände – verbunden mit der Bewölkung – vermindern die Jahressumme der Sonnenstrahlung.

16

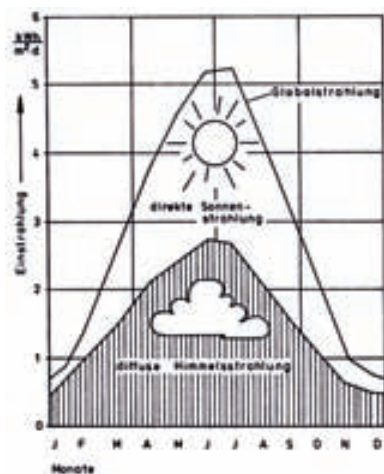


Abb. 10: Globalstrahlung für den Standort München

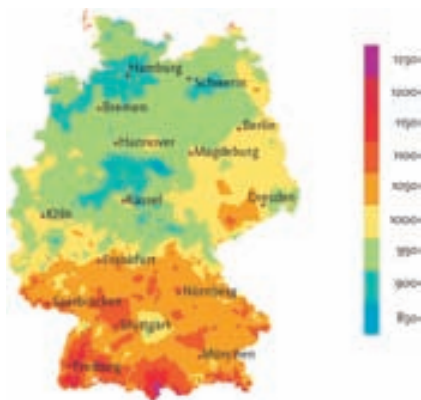


Abb. 11: Regionale Verteilung der Intensität der Sonnenstunden in Deutschland

Abb. 10 zeigt für den Standort München das langjährige Mittel der Tagessummen (Monatsmittel) des Globalstrahlungsangebotes, aufgeteilt nach direkter und diffuser Strahlung. Bei bedecktem Himmel erhalten wir das Tageslicht als diffuse Strahlung. Diese Lichtverhältnisse sind einfach daran zu erkennen, dass Gegenstände keine Schatten werfen. Im Jahresmittel beträgt der Anteil diffuser Strahlung etwas mehr als 50%, in den Wintermonaten sogar 70–80%. Alle nicht konzentrierenden Kollektoren setzen diffuses Licht genauso gut in Wärme um wie das direkte. Abb. 11 veranschaulicht die regionale Verteilung der Tagessummen der Globalstrahlung in Deutschland.

2.4 Solare Wärmeerzeugung

Treffen elektromagnetische Wellen auf einen Körper, so erwärmt sich dieser durch Absorption bis zu der Temperatur, bei der die absorbierte zur abgegebenen (emittierten) Energiemenge im Gleichgewicht ist. Man spricht dann von der Stagnationstemperatur des entsprechenden Körpers. Ein dunkler Körper erwärmt sich dabei stärker als ein heller.

Welche Energieverluste gibt es an einem Kollektor?

- Abstrahlung gegen die Umgebung, d. h. die Halbkugel, die über dem Absorber liegt
- Reflexion: die Strahlung wird reflektiert und erwärmt den Körper nicht
- Transmission: Erwärmung des umgebenden Mediums, also Luft bzw. Untergrund
- Konvektion: Abtransport der Wärme durch Luftströmung; die Luft an sich ist ein hervorragender thermischer Isolator.

18

Im Sonnenkollektor wandelt sich am Absorber die Sonnenstrahlung in Wärme um. Die Glasabdeckung des Kollektors begrenzt die Wärmeverluste durch Transmission und Konvektion, während sie die Sonnenstrahlung möglichst vollständig durchlässt. Innerhalb des Kollektors steigt das Temperaturniveau weit über die Temperatur der umgebenden Luft an. Diese von der Solaranlage „eingesammelte“ Wärme wird dann zur Warmwasserversorgung oder Heizungsunterstützung genutzt (Abb. 13).

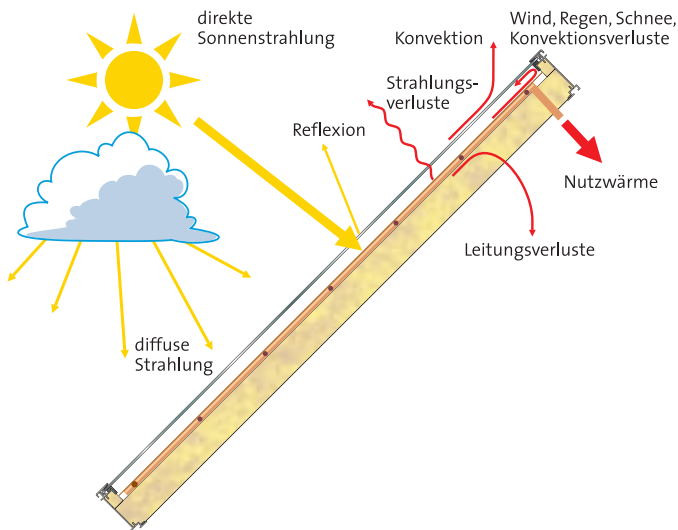


Abb. 13: Energieflüsse in einem Flachkollektor

2.5 Anwendungsgebiete solarer Wärme

Bei der Umwandlung von Sonnenstrahlung in Wärme (thermische Energie) zur Unterstützung der Raumheizung oder Wassererwärmung werden drei Konzepte unterschieden:

Passive Systeme: Die Umwandlung der Sonnenstrahlung in Wärme erfolgt an geeigneten Baustoffen und Bauteilen eines Gebäudes (z. B. südorientierte Fensterflächen oder Wintergärten). Diese Wärmergewinnung erfolgt ohne Hilfsenergieverbrauch für Pumpen oder Ventilatoren.

Aktive Systeme: Darunter fallen Solaranlagen, die mit Absorbern oder Kollektoren die Sonnenenergie in thermische Energie umwandeln. Für den Wärmetransport vom Ort der Wärmeerzeugung zum Ort der Wärmenutzung wird Hilfsenergie (Strom) für Pumpen oder Ventilatoren benötigt.

Hybride Systeme: Dies sind erweiterte passive Systeme, meistens mit Luft als Wärmeträger, bei denen kleine Ventilatoren den Wärmetransport unterstützen.

Die folgende Matrix gibt einen Überblick über die Arbeitstemperaturen des jeweiligen Solarenergiewandlers beim Einsatz für unterschiedliche Anwendungsfälle.

Arbeitstemperatur in °C	Anwendungsgebiet	Solarenergiewandler ¹	Nutzbare Strahlungsenergie
20 – 40	Wassererwärmung im Schwimmbad	Freiliegende Absorber	Direkte und diffuse Strahlung
20 – 30	Raumheizung (Luftsysteme)	Luftkollektoren, Gebäudeteile (passive und hybride Systeme)	Direkte und diffuse Strahlung
30 – 80	Raumheizung (Niedertemperaturwassersysteme)	Flachkollektoren, Vakuumkollektoren	Direkte und diffuse Strahlung
20 – 80	Warmwasser	Flachkollektoren, Vakuumkollektoren	Direkte und diffuse Strahlung
60 – 130	Prozesswärme bei niedrigen Temperaturen, Kühlung	Vakuumkollektoren, leicht fokussierende Systeme	Direkte und diffuse Strahlung
100 – 1.100	Prozesswärme, Dampferzeugung, Stromerzeugung	Fokussierende Systeme (Strahlungskonzentration durch Spiegel)	Nur direkte Strahlung

Abb. 14: Arbeitstemperaturen für Solarenergiewandler

¹ Die verschiedenen Kollektortypen werden in Kapitel 3 beschrieben.

Thermische Solaranlagen werden bereits vielfältig zur Brauchwassererwärmung, zur Unterstützung der Raumheizung und – wirtschaftlich sehr erfolgreich – zur Erwärmung des Schwimmbeckenwassers (vornehmlich in Freibädern, aber auch in Hallenbädern) eingesetzt.

Der prinzipielle Aufbau der oftmals sehr unterschiedlich ausgeführten Anlagen folgt einem einheitlichen Muster (siehe Abb. 1):

- Zentrale Komponente ist der Kollektor, in dem die solare Strahlungsenergie absorbiert und in Wärme umgewandelt wird.
- Ein Wärmetransportsystem führt die Wärme über einen Wärmetauscher einem Speicher zu. In einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert, von einer Solarkreispumpe angetrieben, ein frostsicheres Wärmeträgermedium. Dazu kommt eine Sicherheitsgruppe mit Ausdehnungsgefäß.
- Für die Versorgungssicherheit bei Schlechtwetter sorgt die Zusatzheizung, die mit konventioneller oder erneuerbarer Energie (Gas, Öl, Holz, Strom) betrieben wird.
- Die Anlagensteuerung regelt – in Abhängigkeit von Sonneneinstrahlung und Energiebedarf – das Zusammenspiel der Solaranlage (über das Wärmetransportsystem) und der Zusatzheizung. Ziel ist die möglichst effiziente Nutzung der solaren Wärme.

Thermische Solaranlagen mit Kollektoren

- nutzen auch den diffusen Anteil der Sonnenstrahlung (> 50 %)
- funktionieren bei verschiedenen Dachausrichtungen und Neigungen zwischen 10 und 45° oder an der Fassade (90°)
- Konzept und Wahl des Kollektortyps hängen vom Anwendungsgebiet ab
- Anlagensteuerung soll einfach sein, möglichst automatisch und möglichst wenig Zusatzenergie erfordern