



TECHNIK IM FOKUS

DATEN FAKTEN HINTERGRÜNDE

Thomas Schabbach
Pascal Leibbrandt

Solarthermie

Wie Sonne zu Wärme wird



Springer Vieweg

Technik im Fokus

Konzeption der Energie-Bände in der Reihe Technik im Fokus: Prof. Dr.-Ing. Viktor Wesselak, Institut für Regenerative Energietechnik, Hochschule Nordhausen

Technik im Fokus

Photovoltaik – Wie Sonne zu Strom wird

Wesselak, Viktor; Voswinckel, Sebastian, ISBN 978-3-642-24296-0

Komplexität – Warum die Bahn nie pünktlich ist

Dittes, Frank-Michael, ISBN 978-3-642-23976-2

Kernenergie – Eine Technik für die Zukunft?

Neles, Julia Mareike; Pistner, Christoph (Hrsg.), ISBN 978-3-642-24328-8

Energie – Die Zukunft wird erneuerbar

Schabbach, Thomas; Wesselak, Viktor, ISBN 978-3-642-24346-2

Werkstoffe – Unsichtbar, aber unverzichtbar

Weitze, Marc-Denis; Berger, Christina, ISBN 978-3-642-29540-9

Werkstoff Glas – Alter Werkstoff mit großer Zukunft

Schaeffer, Helmut; Langfeld, Roland, ISBN 978-3-642-37230-8

3D-Drucken – Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert

Fastermann, Petra, ISBN 978-3-642-40963-9

Wasserstoff und Brennstoffzellen – Unterwegs mit dem saubersten Kraftstoff

Lehmann, Jochen; Luschtinetz, Thomas, ISBN 978-3-642-34667-5

Weitere Bände zur Reihe finden Sie unter

<http://www.springer.com/series/8887>

Thomas Schabbach · Pascal Leibbrandt

Solarthermie

Wie Sonne zu Wärme wird



Springer Vieweg

Thomas Schabbach
Institut für Regenerative
Energietechnik
Hochschule Nordhausen
Nordhausen, Deutschland

Pascal Leibbrandt
Institut für Regenerative
Energietechnik
Hochschule Nordhausen
Nordhausen, Deutschland

ISSN 2194-0770

ISBN 978-3-642-53906-0

DOI 10.1007/978-3-642-53907-7

ISBN 978-3-642-53907-7 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media

www.springer-vieweg.de

Vorwort

In der Wochenendausgabe der heimatlichen Tageszeitung fand sich eines Morgens ein vielversprechender Artikel zum Thema „Sonnenheizung fit machen – Tipps für den Solarwärmeanlagen-Check“. Der Text war mit dem Foto eines Fachmanns mit Helm und Warnweste illustriert, die Bildunterschrift wies auf deren Bedeutung für den Betrieb von Sonnenheizungen hin. Bedauerlicherweise posierte der „Experte“ mit Strommesskabeln in der Hand vor einer Photovoltaikanlage!

Dieses einführende Beispiel verdeutlicht das große Problem der Solarthermie – sie wird nur unzureichend wahrgenommen und dann auch noch mit der photovoltaischen Stromerzeugung verwechselt. Das noch immer geringe Interesse der Öffentlichkeit an der solarthermischen Wärmenutzung und unsere langjährige Begeisterung für diese Technologie gaben den Ausschlag, dieses Buch zu schreiben.

Kapitel 1: Was ist Solarthermie und wer braucht Sie? Gleich im ersten Teil des Buches erklären wir, warum eine Energiewende ohne Solarthermie unmöglich ist. Wir zeigen, an welcher Stelle die Solarthermie zukünftig gebraucht wird und wie die Wärmeversorgung der Zukunft aussehen könnte. Zu Beginn des Kapitels wird jedoch erst einmal gezeigt, wie Solarthermie überhaupt funktioniert.

Kapitel 2: Wie ist Solarstrahlung nutzbar? Solarthermie macht aus solarer Einstrahlung Wärme, Photovoltaik elektrischen Strom. Wie das jeweils geschieht, was die solare Einstrahlung und wie hoch sie ist, erläutern wir in Kap. 2.

Kapitel 3: Welche Bauteile werden benötigt? Eine Solaranlage besteht nicht nur aus dem auf dem Dach sichtbaren Kollektorfeld, sondern aus einer Vielzahl weiterer Bauteile; ebenso wichtig sind der Speicher und eine gute Anlagenregelung. In diesem Kapitel werden die Funktionen der Bauteile erklärt und Hinweise gegeben, was man beim Kauf und später bei der Nutzung beachten sollte.

Kapitel 4: Wie arbeiten Solaranlagen? Die beschriebenen Bauteile müssen für die unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten in bestimmter Anordnung und Dimensionierung zu kompletten Systemen zusammengefügt werden. Kapitel 4 zeigt, wie Solarthermie richtig eingesetzt wird – zur Trinkwassererwärmung, zur Raumheizung, aber auch in Industrie und Gewerbe, in Fernwärmenetzen und sogar beim Kühlen!

Kapitel 5: Was kostet Solarthermie? Solarthermische Anlagen können auch bei heutigen Energiepreisen wirtschaftlich betrieben werden. Dies rechnen wir Ihnen in diesem Abschnitt vor und geben eine Übersicht zu den Fördermöglichkeiten.

Kapitel 6: Wie gut funktionieren Solarthermieanlagen? Eine hohe Effizienz und damit ein wirtschaftlicher Betrieb der Solaranlage ist nur dann gewährleistet, wenn die Anlage fachgerecht geplant und installiert wurde: Wir stellen Ihnen in Kap. 6 anhand von Simulationsrechnungen dar, dass schon scheinbar kleine „Fehler“ zu Ertragseinbußen führen können. Anhand der nachfolgenden Beschreibung ausgeführter Anlagen wird deutlich, wie und wo Solarthermie sinnvoll eingesetzt werden kann.

Kapitel 7: Und die Zukunft der Solarthermie? Schon zu Beginn des Buchs hatten wir die wichtige Rolle der Solarthermie in unserer zukünftigen Wärmeversorgung beschrieben. Zum Ende schauen wir auf die historischen Anfänge, die erfolgreiche Nutzung der Solarthermie auf dem Mars (!) und geben abschließend einen Ausblick, was die Zukunft der Solarthermie uns Erdbewohnern noch bringen kann.

Nordhausen, September 2014

Thomas Schabbach
Pascal Leibbrandt

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Wie funktioniert Solarthermie?	2
1.2	Keine Energiewende ohne Solarthermie!	4
1.3	Wie heizen wir morgen?	10
1.4	Wo steht die Solarthermie heute?	11
2	Grundlagen	15
2.1	Solarenergie	15
2.1.1	Strahlung und Materie	16
2.1.2	Die Sonne als Strahlungsquelle	19
2.1.3	Strahlungsangebot auf der Erde	21
2.2	Strom aus Solarenergie	22
2.3	Wärme aus Solarenergie	25
3	Bauteile der Solaranlage	29
3.1	Kollektoren	29
3.1.1	Bauarten	30
3.1.2	Kollektorkenndaten	36
3.1.3	Kollektormontage	42
3.2	Kollektorkreis	43
3.2.1	Betriebsarten	45
3.2.2	Solarflüssigkeit	48
3.2.3	Rohrleitungen	49
3.3	Speicher	50
3.3.1	Bauarten	50
3.3.2	Dimensionierung	52

	3.3.3 Latentwärmespeicher	53
	3.3.4 Wärmeverluste des Speichers	54
	3.3.5 Wärmeübertrager	57
3.4	Regelung	59
4	Anlagen und Systeme	63
4.1	Systemkennwerte	63
4.2	Trinkwassererwärmung	67
4.3	Heizungsunterstützung	72
4.4	Prozesswärme	75
4.5	Nah- und Fernwärme	78
4.6	Solares Kühlen	82
4.7	Solarthermische Kraftwerke	88
5	Wirtschaftlichkeit	93
5.1	Grundlagen der Investitionsrechnung	94
5.2	Die Barwertmethode	95
5.3	Solare Wärmekosten und Rendite	97
5.4	Fördergelder	100
6	Auslegung und Anwendungsbeispiele	103
6.1	Auslegungshinweise	103
6.1.1	Ausgangssituation	104
6.1.2	Ausrichtung des Kollektorfelds	108
6.1.3	Kollektorfeldgröße	109
6.1.4	Einfluss der Speichergröße	111
6.1.5	Regler und Temperaturfühler	112
6.1.6	Systemertrag bei Kombianlagen	115
6.2	Mehrfamilienhaus	117
6.3	Krankenhaus	119
6.4	Industrie und Gewerbe	121
6.5	Solares Kühlen	123
6.6	Solare Fernwärme	124
6.7	Solare Nahwärme	126
7	Historie und Zukunft der Solarthermie	129
7.1	Die Anfänge	130

7.2	Solarthermie auf dem Mars?	133
7.3	Die Zukunft	134
	Literaturauswahl	137
	Literatur	139
	Sachverzeichnis	143

Zusammenfassung

Das Strahlungsangebot der Sonne kann auf vielerlei Weise genutzt werden. Photovoltaikmodule wandeln die Solarstrahlung in elektrische Energie um, Solarkollektoren dagegen wandeln die Energie der Sonne in Wärme um. Diese Nutzungsart wird als „Solarthermie“ bezeichnet. Abbildung 1.1 zeigt beide Varianten nebeneinander.



Abb. 1.1 Photovoltaik- (*links*) und Solarthermieanlagen (*rechts*) nutzen beide die Solarenergie

Die Energiewende benötigt nicht nur erneuerbare elektrische Energie aus Sonne, sondern auch sehr viel Wärme zum Heizen von Räumen, zur Trinkwassererwärmung oder als Prozesswärme in Gewerbe und Industrie. Das folgende Kapitel erklärt die Rolle der Solarthermie in der zukünftigen Energieversorgung. Doch zunächst soll kurz erläutert werden, was genau die Solarthermie ist.

1.1 Wie funktioniert Solarthermie?

Dahinter steckt der physikalische Vorgang der Strahlungsabsorption, der aus dem Alltag bekannt ist: Das Innere eines in der Sonne geparkten Fahrzeugs erwärmt sich auf unangenehm hohe Temperaturen, wenn die durch die Scheiben eindringende Solarstrahlung von den Oberflächen im Wageninneren absorbiert und in Wärme (thermische Energie) umgewandelt wird (Abb. 1.2). Ein gut fühlbares Maß für die Zunahme der thermischen Energie ist die Temperaturerhöhung. Die geschlossenen Fensterscheiben und das Blechkleid sorgen dafür, dass die „eingefangene“ thermische Energie nur langsam und zeitverzögert an die Umgebung abgegeben wird.

Dieser Effekt ist in Solarkollektoren technisch ausgereift umgesetzt. Geschützt unter einem besonders strahlungsdurchlässigen Spezialglas

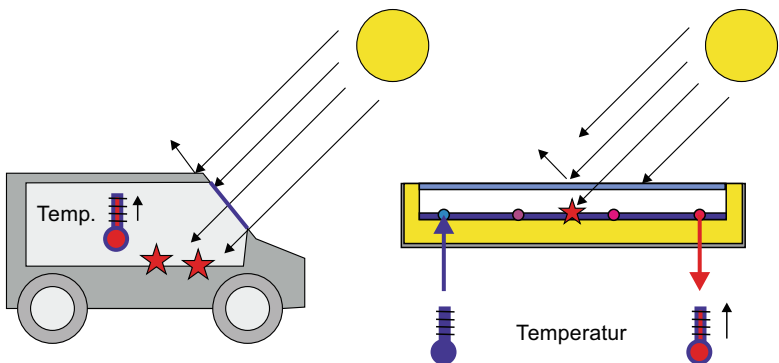


Abb. 1.2 Solarthermische Wandlung im Wageninneren und in einem Solarkollektor

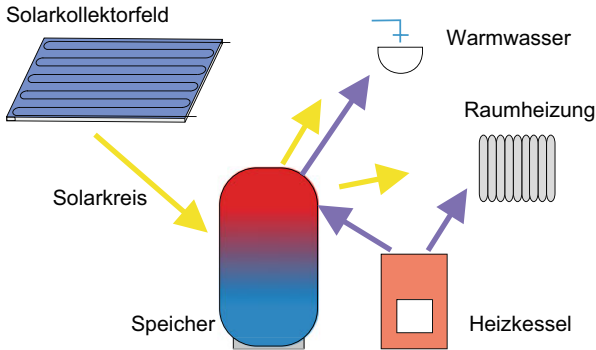


Abb. 1.3 Schematischer Aufbau einer Solaranlage

wandelt ein „Absorber“, gefertigt aus speziell beschichtetem Metall, die einfallende Strahlung in thermische Energie auf besonders hohem Temperaturniveau um (ohne Energieentnahme erreichen Flachkollektoren im Innern mehr als 200 °C, Vakuumröhrenkollektoren sogar über 300 °C). Diese wird mit einem Flüssigkeits- oder Luftstrom über den Kollektorkreislauf aus dem Kollektor ausgetragen und über Rohrleitungen an einen Speicher zur späteren Nutzung übergeben. Als Transportmedium dient Wasser, dem meist ein Frostschutzmittel beigegeben ist.

Abbildung 1.3 zeigt schematisch den Aufbau einer vollständigen Solaranlage. Die im Solarkollektorfeld gewonnene thermische Energie wird über den Kollektorkreislauf in einen Speicher verbracht. Ohne Solaranlage würde der Heizkessel die Energieversorgung zur Erwärmung des Trinkwassers und für die Raumbeheizung allein übernehmen. Ist eine Solaranlage eingebunden, wird über den Speicher zusätzlich solar erzeugte Energie mit eingebracht. Je nach Auslegung erreicht eine Solaranlage zur Trinkwassererwärmung Deckungsanteile von 30 bis 60 % an der dafür benötigten Energie. Solaranlagen mit Heizungsunterstützung können 10 bis 50 % der Raumwärme bereitstellen. Es sind aber auch höhere Deckungsanteile möglich, so gibt es Solaraktiv-Häuser, die bis zu 95 % ihres kompletten Wärmebedarfs solar decken.

Kapitel 4 wird die technischen Möglichkeiten zur Nutzung solarer Wärme ausführlich beschreiben, im Kap. 3 sind zuvor die einzelnen Bauteile solcher Anlagen erläutert.

1.2 Keine Energiewende ohne Solarthermie!

Mit der „Energiewende“ wird der Umbau unseres Energiesystems zu einer nachhaltigen und auf erneuerbaren Energien fußenden Energieversorgung hin bezeichnet. Ziel ist es, zukünftig auf den Einsatz fossiler Energien wie Erdöl und Kohle weitestgehend zu verzichten, da diese nur begrenzt verfügbar sind und deren Verbrennungsprodukte (z. B. CO₂) einen erheblichen Anteil an der Erderwärmung haben. Mit dem Begriff der Energiewende werden viele Assoziationen wachgerufen, man denkt vor allem an „Windstrom“, „Solarstrom“, vielleicht auch an „Ausstieg aus der Atomenergie“, an „Versorgungssicherheit“ und in jüngerer Zeit vor allem an „steigende Strompreise“. Alle Begriffe beziehen sich auf unsere elektrische Energieversorgung – die Energiewende wird nur selten mit unserer Wärmeversorgung oder dem Umbau unseres Verkehrssystems in Verbindung gebracht.

Energieverbrauch

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie veröffentlicht jährlich Bilanzen zum Energieverbrauch in Deutschland. Darin sind die benötigten Mengen an Kraftstoffen (Diesel, Benzin, Kerosin) für den Verkehrsbereich, Brennstoffen (v. a. Erdgas, Heizöl, Stein- und Braunkohle) zur Wärmeversorgung und elektrischer Energie zusammengestellt. Elektrische Energie wird vielfältig eingesetzt, so in der Informations- und Kommunikationstechnik, zur Beleuchtung, aber auch in Elektromotoren zur Bereitstellung mechanischer Energie, zum Antrieb von Wärmepumpen und Kältemaschinen und auch zur Erzeugung von industriell genutzter Wärme (Prozesswärme). Brennstoffe, Kraftstoffe und elektri-

sche Energie werden als *Endenergieträger* bezeichnet. Aus der Endenergie wird beim (End-)Verbraucher dann in einem letzten Umwandlungsschritt die *Nutzenergie* gewonnen, die bei der Erwärmung von Trinkwasser, für die Raumbeheizung, die Beleuchtung oder den Transport von Gütern verbraucht wird. *Primärenergie* ist die Vorstufe der Endenergie, also Energie in ihrem natürlichen, noch nicht technisch aufbereiteten Zustand. Fossile Primärenergie steht uns in Form von Kohle, Naturgas oder Rohöl zur Verfügung; Sonnenenergie, Wind und Erdwärme sind regenerative Primärenergie.

Allein in Deutschland werden jährlich fast 2500 TWh Endenergie verbraucht¹. Man würde 4,4 Mio. Eisenbahnwaggons mit insgesamt 290 Mio. Tonnen Steinkohle benötigen, um diese Energiemenge zu transportieren. Dieser Güterzug mit einer Gesamtlänge von fast 60.000 km würde sich 1,5-mal um den Äquator winden – nur für den deutschen Jahresendenergiebedarf!

Wozu wird diese unvorstellbar große Energiemenge benötigt? Das zeigt Abb. 1.4: 37 % der Endenergie werden zu mechanischer Energie v.a. für den Verkehrsbereich und in der Industrie umgewandelt, das zweitgrößte „Kuchenstück“ mit 28,5 % dient der Erwärmung von Räumen und 5,2 % der Trinkwassererwärmung. Die Informations- und Kommunikationstechnologie benötigt 2,3 % und zur Beleuchtung werden 3,4 % der Endenergie verbraucht.

Welche Endenergieträger werden dazu benötigt? Laut Abb. 1.5 deckt elektrische Energie nur etwas mehr als 20 % des Endenergieverbrauchs, die Kraftstoffe machen fast 28 % aus, der Rest wird von den Brennstoffen eingenommen. Gerade bei den fossilen Brennstoffen Erdgas und Heizöl, die wesentlich zu Heizzwecken verwendet werden, liegt ein enormes Einsparpotential, da zur Wärmeerzeugung eigentlich nur „minderwertige“ Energie notwendig ist.

¹ 1 TWh entspricht 10^9 kWh, 1 kWh sind 3,6 Mio. J. Zur Definition der Einheiten siehe Abschn. 2.1.

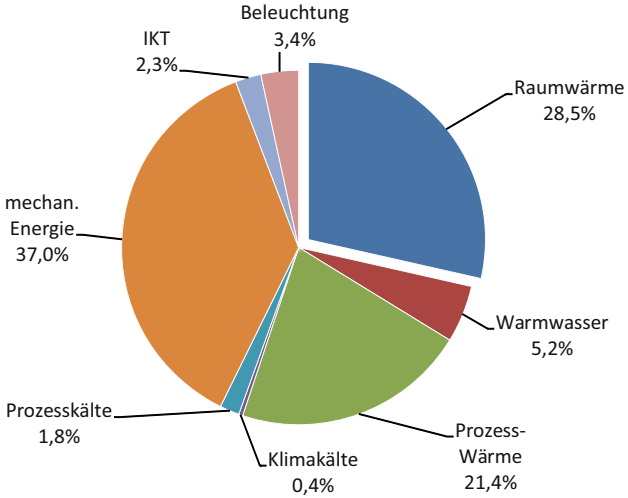


Abb. 1.4 Endenergieverbrauch nach Nutzungsart (Anwendungsbereich), Gesamtverbrauch in Deutschland im Jahr 2012: 2499 TWh [17]

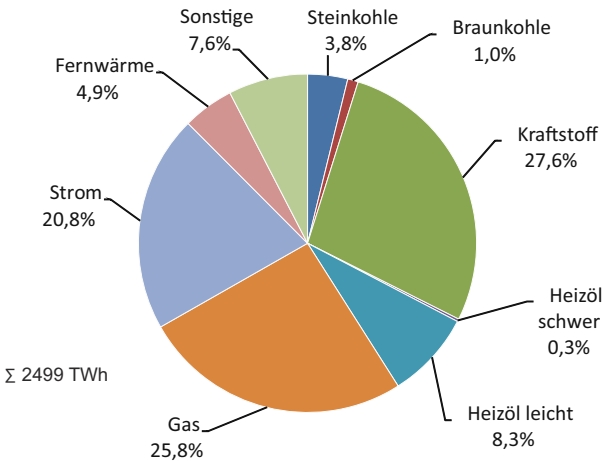


Abb. 1.5 Endenergieverbrauch nach Energiearten [17]