

Thomas Schabbach  
Pascal Leibbrandt

# Solar- thermie

Wie Sonne  
zu Wärme wird

SACHBUCH



Springer

---

# Technik im Fokus

Die Buchreihe Technik im Fokus bringt kompakte, gut verständliche Einführungen in ein aktuelles Technik-Thema.

Jedes Buch konzentriert sich auf die wesentlichen Grundlagen, die Anwendungen der Technologien anhand ausgewählter Beispiele und die absehbaren Trends.

Es bietet klare Übersichten, Daten und Fakten sowie gezielte Literaturhinweise für die weitergehende Lektüre.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/8887>

---

Thomas Schabbach  
Pascal Leibbrandt

# Solarthermie

Wie Sonne zu Wärme wird

2., aktualisierte Auflage

 Springer

Thomas Schabbach  
Institut für Regenerative  
Energietechnik  
Hochschule Nordhausen  
Nordhausen, Deutschland

Pascal Leibbrandt  
Institut für Regenerative  
Energietechnik  
Hochschule Nordhausen  
Nordhausen, Deutschland

ISSN 2194-0770

Technik im Fokus

ISBN 978-3-662-59487-2

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-59488-9>

ISSN 2194-0789 (eBook)

ISBN 978-3-662-59488-9 (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

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2014, 2021  
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 allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Einbandabbildung: © Firma Arcon-Sunmark GmbH

Lektorat/Planung: Michael Kottusch

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

---

## Vorwort

Seit den Arbeiten zur ersten Auflage dieses Buches im Jahr 2014 sind nun fast 7 Jahre vergangen – und bei Durchsicht der Texte stellt sich das Gefühl ein, dass sich entgegen eigener Erwartung doch Einiges verändert hat. Nicht nur die Corona-Pandemie beschäftigt die Menschheit seit Jahresbeginn 2020, auch der Klimawandel ist weltweit in das Bewusstsein der Menschen eingedrungen. Die Wetterextreme haben – wie von den Klimawissenschaftlern vorhergesagt – zugenommen, die Abnahme der sommerlichen Niederschlagsmengen stresst den Wald und die Landwirtschaft, die WHO erwartet bis 2050 eine Milliarde Klimaflüchtlinge.

In Deutschland streitet sich die Politik nicht mehr um die Frage, ob eine Energiewende notwendig ist (es gibt Ausnahmen), sondern um die Art und Weise der Umsetzung. Erste wichtige Gesetze sind erlassen, die Besteuerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch fossile Brennstoffe ist auf den Weg gebracht.

Und wie ist es der Solarthermie-Branche in den vergangenen Jahren ergangen? Nicht wirklich gut – der Zubau neuer Kollektoranlagen hatte Jahr für Jahr abgenommen. Aber auch hier gibt es jetzt Hoffnung – nach Überarbeitung des Marktanreizprogramms (MAP) belohnt der Staat den Einbau regenerativer und energieeffizienter Heiztechnik seit Beginn 2020 mit wirklich hohen Förderzuschüssen. Bei der Kombination z. B. eines neuen Gas-Brennwertgerätes mit Solarthermie erhält man die Solaranlage quasi dazu geschenkt. Im vergangenen Jahr 2020 konnten auch

erstmals seit fast 10 Jahren wieder positive Zubauraten von über 20 % erzielt werden.

Wir haben die aktuellen Entwicklungen und neuen Erkenntnisse bei der Überarbeitung des Buches einfließen lassen und auch die Fehler korrigiert – herzlichen Dank für alle Hinweise! Zudem wurde das Kap. 6 um weitere neue Anwendungsbeispiele ergänzt.

Und ja, wir sind noch immer begeistert von der solarthermischen Wärmenutzung, wie wir im Vorwort zur ersten Auflage geschrieben hatten. Vielleicht gelingt es uns auch bei Ihnen, liebe Leserin, lieber Leser, Ihr Interesse zu wecken?

Nordhausen, Deutschland  
April 2021

Thomas Schabbach  
Pascal Leibbrandt

---

## Vorwort zur 1. Auflage

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.

**Kap. 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.

**Kap. 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.



**Kap. 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.

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

**Kap. 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.

**Kap. 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.

**Kap. 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.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	1
1.1	Wie funktioniert Solarthermie?.....	1
1.2	Keine Energiewende ohne Solarthermie! .....	4
1.3	Wie heizen wir morgen? .....	10
1.4	Wo steht die Solarthermie heute? .....	11
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	15
2.1	Solarenergie .....	15
2.2	Strom aus Solarenergie .....	23
2.3	Wärme aus Solarenergie .....	25
<b>3</b>	<b>Bauteile der Solaranlage</b> .....	31
3.1	Kollektoren .....	31
3.2	Kollektorkreis .....	48
3.3	Speicher .....	55
3.4	Regelung.....	65
<b>4</b>	<b>Anlagen und Systeme</b> .....	67
4.1	Systemkennwerte .....	67
4.2	Trinkwassererwärmung .....	71
4.3	Heizungsunterstützung .....	77
4.4	Prozesswärme .....	80
4.5	Nah- und Fernwärme .....	83
4.6	Solares Kühlen .....	88
4.7	Solarthermische Kraftwerke .....	94

---

<b>5</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b> .....	101
5.1	Grundlagen der Investitionsrechnung .....	102
5.2	Die Barwertmethode .....	103
5.3	Solare Wärmekosten und Rendite .....	105
5.4	Fordern und Fördern .....	111
<b>6</b>	<b>Auslegung und Anwendungsbeispiele</b> .....	115
6.1	Auslegungshinweise .....	115
6.2	Mehrfamilienhaus .....	126
6.3	Krankenhaus.....	128
6.4	Solare Prozesswärme .....	130
6.5	Solares Kühlen .....	134
6.6	Solare Fernwärme.....	136
6.7	Solare Nahwärme .....	138
6.8	Gebäudeintegration .....	140
<b>7</b>	<b>Historie und Zukunft der Solarthermie</b> .....	143
7.1	Die Anfänge .....	144
7.2	Solarthermie auf dem Mars?.....	147
7.3	Die Zukunft.....	148
<b>8</b>	<b>Literaturauswahl</b> .....	151
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	153
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	159



*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. Abb. 1.1 zeigt beide Varianten nebeneinander.*

*Die Energiewende benötigt nicht nur erneuerbare elektrische Energie von der 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.*

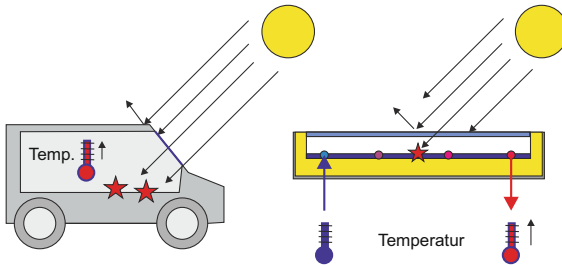
---

## 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



**Abb. 1.1** Photovoltaikmodule (links) und Solarthermiekollektoren (rechts) nutzen beide die Solarenergie



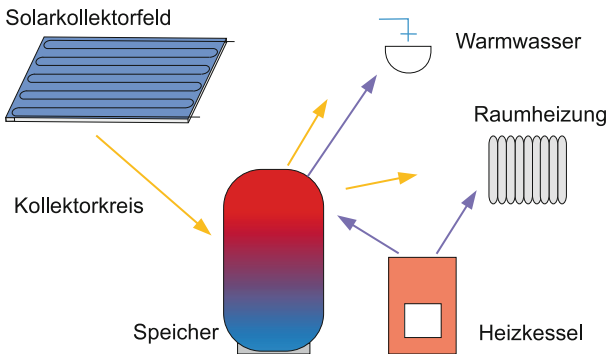
**Abb. 1.2** Solarthermische Wandlung im Wageninneren und in einem Solar-kollektor

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 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 thermische Energie 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 beigesetzt ist (bei Luftkollektoren Luft).

Abb. 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 zur 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 solar bereitstellen. Es sind aber auch höhere Deckungsanteile möglich, so gibt es Solaraktiv-Häuser, die bis zu 95 % ihres kompletten Wärmebedarfs solar decken.



**Abb. 1.3** Schematischer Aufbau einer Solaranlage

## 1.2 Keine Energiewende ohne Solarthermie!

Mit der „Energiewende“ wird der Umbau unseres Energiesystems zu einer nachhaltigen, auf erneuerbaren Energien fußenden Energieversorgung bezeichnet. Ziel ist es, zukünftig auf den Einsatz fossiler Energieträger wie Erdöl und Kohle weitestgehend zu verzichten, da diese nur begrenzt verfügbar sind und deren Verbrennungsprodukte (z. B. CO<sub>2</sub>) 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“, „steigende Strompreise“ und in jüngerer Zeit vor allem an „Kohleausstieg“. 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 elektrische Energie werden als *Endenergieträger* bezeichnet. Aus der Endenergie wird beim (End-)Verbraucher dann in einem letzten Um-

wandlungsschritt die *Nutzenergie* gewonnen, die bei der Erwärmung von Trinkwasser, für die Raumbeheizung, die Beleuchtung oder den Transport von Gütern verwendet 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 rund 2.500 TWh Endenergie verbraucht.<sup>1</sup> 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: 39,6 % der Endenergie werden zu mechanischer Energie v. a. für den Verkehrsbereich und in der Industrie umgewandelt, das zweitgrößte „Kuchenstück“ mit 25,3 % dient der Erwärmung von Räumen und 5,1 % der Trinkwassererwärmung.<sup>2</sup> Die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) benötigt 2,4 % und zur Beleuchtung werden 2,4 % der Endenergie eingesetzt.

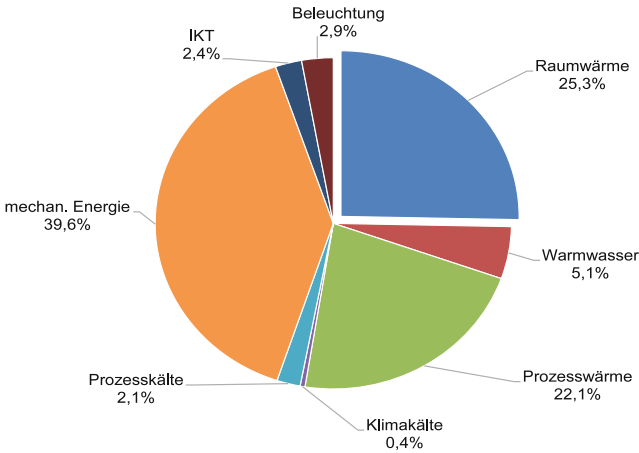
Welche Endenergieträger werden dazu benötigt? Laut Abb. 1.5 deckt elektrische Energie nur 19,4 % des Endenergieverbrauchs, die Kraftstoffe machen 30,3 % aus, der Rest wird von den

---

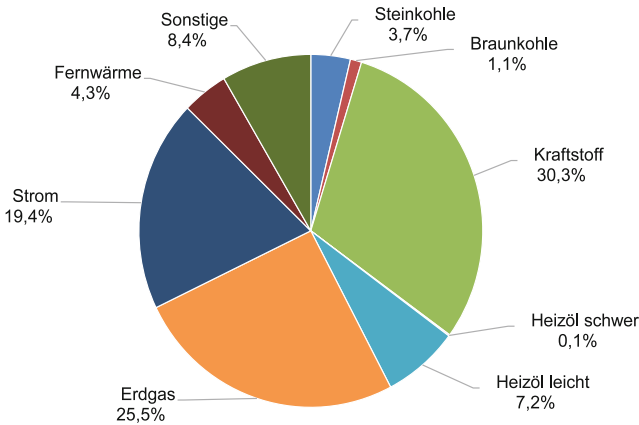
<sup>1</sup> 1 TWh entspricht  $10^9$  kWh, 1 kWh sind 3,6 Mio. J. Entsprechend ist 1 TWh so viel wie 3,6 PJ, die Vorsilbe Peta entspricht  $10^{15}$  J. Zur Definition der Einheiten siehe Abschn. 2.1.

<sup>2</sup>Die bundesdeutschen Haushalte, die mit 644 TWh insgesamt 26 % der Endenergie benötigen, verbrauchen davon ganze 68 % für die Raumheizung und 16 % zur Trinkwassererwärmung. Nur rund 10 % werden meist in Form von Strom für Anwendungen wie IKT, Beleuchtung oder mechanische Energie genutzt.





**Abb. 1.4** Endenergieverbrauch nach Nutzungsart (Anwendungsbereich), Gesamtverbrauch in Deutschland im Jahr 2019: 2490 TWh [11]



**Abb. 1.5** Endenergieverbrauch 2019 nach Energiearten [11]

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.