

**Bernhard Weyres-Borchert
Bernd-Rainer Kasper**

Solare Wärme

Technik – Planung – Hausanlage



BINE-Fachbuch

Bernhard Weyres-Borchert, Bernd-Rainer Kasper

Solare Wärme

BINE-Fachbuch

Solare Wärme

Technik – Planung – Hausanlage

Die Autoren:

Bernhard Weyres-Borchert

Bernd-Rainer Kasper

Kapitel zur Forschungsförderung:

Dr. Harald Drück

Herausgeber

 **FIZ Karlsruhe**

Leibniz-Institut für
Informationsinfrastruktur

Fraunhofer IRB  **Verlag**

 **BINE**
Informationsdienst

BINE Informationsdienst berichtet über Themen der Energieforschung: Neue Materialien, Systeme und Komponenten, innovative Konzepte und Methoden. BINE-Leser werden so über Erfahrungen und Lerneffekte beim Einsatz neuer Technologien in der Praxis informiert. Denn erstklassige Informationen sind die Grundlage für richtungweisende Entscheidungen, sei es bei der Planung energetisch optimierter Gebäude, der Effizienzsteigerung industrieller Prozesse oder bei der Integration erneuerbarer Energien in bestehende Systeme.

BINE Informationsdienst ist ein Service von FIZ Karlsruhe GmbH und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.

Für weitere Fragen steht Ihnen zur Verfügung:
Anna Durst (Redaktion)
BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe GmbH, Büro Bonn
Kaiserstraße 185–197, 53113 Bonn
Tel. +49 2 28 9 23 79-0, E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de, www.bine.info

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9149-2 | ISBN (E-Book): 978-3-8167-9150-8

Layout: Dietmar Zimmermann | Umschlaggestaltung: Martin Kjer | Herstellung: Angelika Schmid |
Satz: Fotosatz Buck, Kurnhausen | Druck: BELTZ, Bad Langensalza

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Titelbild: Kara / Fotolia.com
Umschlagrückseite: DGS Leitfaden Solarthermische Anlagen

© FIZ Karlsruhe – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH, 2015

Verlag und Vertrieb:
Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 7 11 9 70-25 00
Telefax +49 7 11 9 70-25 08
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	8
1 Bedeutung der Solarthermie in einem zukünftigen Strom-Wärme-System	9
2 Das Strahlungsangebot der Sonne	15
2.1 Jahreszeitliche und wetterbedingte Schwankungen	15
2.2 Einfluss von Ausrichtung und Neigung von Empfangsflächen	16
2.3 Einfluss von Verschattung	19
2.3.1 Temporäre Verschattung	19
2.3.2 Verschattungsanalyse	19
3 Wie funktioniert eine thermische Solaranlage?	23
3.1 Solare Trinkwassererwärmung	24
3.2 Solare Heizungsunterstützung	25
4 Komponenten	27
4.1 Kollektoren	27
4.1.1 Unverglaste Kollektoren	27
4.1.2 Flachkollektoren	28
4.1.3 Luftkollektoren	33
4.1.4 Vakuumröhrenkollektoren	33
4.1.5 Vakuumflachkollektoren	37
4.1.6 PVT-Kollektoren	38
4.2 Wärmespeicher	39
4.2.1 Arten der Wärmespeicherung	39
4.2.2 Trinkwasserspeicher	42
4.2.3 Kombispeicher	45
4.2.4 Heizungspufferspeicher	47
4.2.5 Speichermaterialien und -bauweisen	47
4.2.6 Wärmeübertrager	51
4.2.7 Kennwerte	52
4.2.8 Auslegung	53
4.3 Verrohrung und Regelung	54
4.3.1 Rohrleitungen	54
4.3.2 Regelung und Wärmemengenmessung	56
5 Solarthermische Systeme	59
5.1 Systeme zu Trinkwassererwärmung	59
5.2 Systeme zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung	62
5.2.1 Günstige Rahmenbedingungen	63
5.2.2 Systeme zur Heizungsunterstützung mit Kurzzeitspeicher	65
5.2.3 Systeme mit Saisonspeicher	70
5.3 Nachheizung	77

5.4	Gebäudesanierung und Solarthermie	78
5.5	Mehrfamilienhäuser, Geschosswohnungsbau und Gewerbe	80
5.5.1	Durchflusssysteme (Pufferspeicherentladung im Durchflussprinzip)	81
5.5.2	Speicherladesysteme.	82
5.5.3	Solare Energie-Zentrale (SEZ).	83
5.5.4	Solare Prozesswärme	84
6	Planung und Dimensionierung	87
6.1	Kundenwunsch und Einflussgrößen	87
6.1.1	Solarer Deckungsanteil und Systemnutzungsgrad	88
6.2	Faustformeln	90
6.3	Simulationsprogramme.	95
6.4	Häufige Planungsfehler.	96
7	Montage, Inbetriebnahme und Wartung	98
7.1	Kollektormontage.	98
7.1.1	Montage auf ein geneigtes Dach	98
7.1.2	Montage auf ein Flachdach	100
7.1.3	Verschattung durch mehrere Kollektorreihen	100
7.1.4	Montage an der Fassade.	101
7.1.5	Aufbau des Kollektorfeldes.	102
7.1.6	Montage der weiteren Anlagenkomponenten.	103
7.1.7	Montage der Messfühler und des Reglers	108
7.2	Häufige Montagefehler	108
7.3	Inbetriebnahme und Abnahme	114
7.3.1	Spülen des Solarkreises.	114
7.3.2	Dichtigkeitsprüfung	115
7.3.3	Befüllen mit Solarflüssigkeit und Entlüften	115
7.3.4	Einstellen von Pumpe und Regelung	116
7.3.5	Abnahme der Anlage	116
7.4	Wartungsarbeiten.	117
8	Kosten, Nutzen, Wirtschaftlichkeit	118
8.1	Systemkosten	118
8.2	Zu erwartende Energieeinsparung	119
8.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	121
8.3.1	Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung	121
8.3.2	Kostenarten	123
8.3.3	Die Verfahren im Einzelnen.	123
8.4	Energierücklaufzeit	126
8.5	Förderprogramme.	127
9	Qualitätssicherung	129
9.1	Prüfsiegel und Gütezeichen	129
9.2	Konzept »Garantierte Erträge«	130

10	Rechtliche Rahmenbedingungen	134
10.1	Energieeinsparverordnung (EnEV) 2013/14 – Wohngebäude	134
10.2	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG).	139
10.3	Öko-Design-Richtlinie	142
11	Praxisbeispiele	144
	Solarthermische Anlage zur Trinkwassererwärmung für ein Einfamilienhaus	145
	Solarthermische Anlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung für ein Einfamilienhaus (Beispiel 1).	146
	Solarthermische Anlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung für ein Einfamilienhaus (Beispiel 2).	147
	Sonnenhaus	148
	Konzept eTank	149
	Eisspeicher	150
12	Ziele der Forschungsförderung	151
12.1	Forschungsergebnisse	152
12.2	Forschungsförderung Solarthermie – Organisation und Budgets	153
12.3	Europäische Solarthermieforschung	154
13	Zitierte Literatur und Abbildungsverzeichnis	155
13.1	Zitierte Literatur	155
13.2	Abbildungsverzeichnis	156
14	Forschungsvorhaben der Bundesregierung	158
14.1	Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben	158
14.2	Forschungsberichte	161
15	Weiterführende Literatur	163
16	Autoren	168

Vorwort

Die Solarthermie erlebte 2008 einen regelrechten Boom. Danach entwickelte sie sich in Deutschland und in Europa nur langsam weiter. Das schwierige Marktumfeld für die Solarthermie: Die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Quellen führt seitdem ein Nischendasein. Ein Grund hierfür ist die Unkenntnis über die Entwicklungspotenziale der Solarthermie-Technik. Aber auch durch die starke Kostenreduktion von Photovoltaik-Modulen, günstige Förderbedingungen sowie niedrige Energiepreise konventioneller Wärmeerzeugung ist eine Konkurrenz entstanden.

Rund die Hälfte des Energiebedarfs fallen bei der Wärmeerzeugung an. Die Niedertemperatur-Solarthermie zur Trinkwassererwärmung, Raumheizung, Kühlung und Prozesswärme-Bereitstellung kann bis 2030 einen Anteil von etwa 50 Prozent an der Wärme- und Kälteversorgung übernehmen. Dies ist die Vision der Experten aus Forschung und Industrie, die in der Deutschen Solarthermie-Technologieplattform (DSTTP) zusammenarbeiten. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, bedarf es neben besseren Rahmenbedingungen auch vielfältigere Innovationen, eine deutliche Weiterentwicklung der bestehenden Technik und neue Anwendungen.

Die 1. Auflage dieses BINE-Fachbuchs gibt einen Überblick über Komponenten, Speichertechnik, Planung und Dimensionierung einer solarthermischen Anlage und bietet nützliche Tipps für Planer. Zusätzlich komplettieren Praxisbeispiele dieses BINE-Fachbuch. Die Autoren Bernhard Weyres-Borchert und Bernd-Rainer Kasper von der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie e. V. geben dem Leser alles Wissenswerte mit auf den Weg – von der Theorie bis zur Installation.

Im Kapitel zur Forschungsförderung geht Dr. Harald Drück vom Forschungs- und Testzentrums für Solaranlagen (TZS) des Instituts für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart auf die Ziele und Ergebnisse der Forschungsförderung in Deutschland und Europa ein.

FIZ Karlsruhe GmbH
BINE Informationsdienst

1 Bedeutung der Solarthermie in einem zukünftigen Strom-Wärme-System

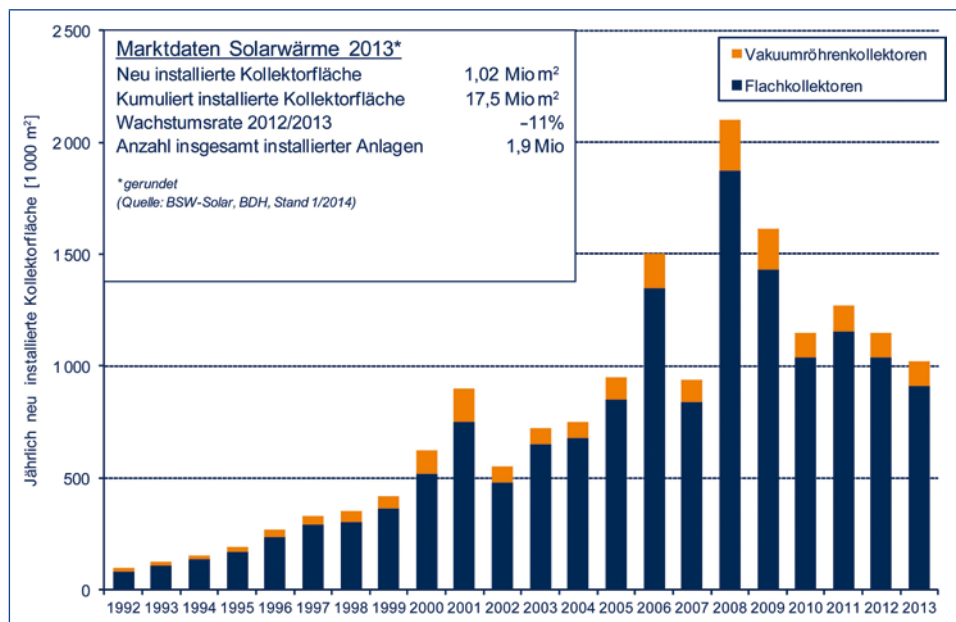
Die Installationsrate solarthermischer Anlagen in Deutschland erreichte im Jahr 2008 mit 2 Mio. m² Kollektorfläche ihren Höhepunkt. In den folgenden Jahren halbierte sich dieser Wert und pendelte sich dann bei ca. 1 Mio. m² Kollektorfläche pro Jahr ein. Für 2014 hat es einen ca. 12-prozentigen Rückgang gegenüber 2013 gegeben, sodass im vergangenen Jahr ca. 0,9 Mio. m² Kollektorfläche neu installiert wurde.

Damit sind in Deutschland mittlerweile solarthermische Anlagen mit einer Kollektorfläche von knapp 19 Mio. Quadratmeter installiert, dies entspricht bei einem Umrechnungsfaktor von 1 m² \triangleq 0,7 kW einer thermischen Leistung von etwas mehr als 13 GW.

Die Bundesregierung formulierte innerhalb des Energiekonzeptes 2010 als ein Ziel einen klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050. Das beinhaltet zum einen große Anstrengungen im Bereich Energieeffizienz von Gebäuden – insbesondere Wärmedämmung, energetisch verbesserte Fenster und Außentüren, optimierte Wärmebrücken –, zum anderen eine CO₂-neutrale bzw. CO₂-freie Wärmeerzeugung. Dabei stellt sich die Frage: Welche Möglichkeiten existieren an Wärmeerzeugungstechniken, die diesen Anforderungen entsprechen?

Es stehen nach heutigem Stand auf dem Markt zur Verfügung:

1. Biomasseheizungen,
2. Elektro-Wärmepumpen (»Power-to-heat«) mit erneuerbarem Strom,
3. Gasbrennwertkessel und Gasmotor-Wärmepumpen mit erneuerbarem Gas (Biogas und »Power-to-Gas«),
4. Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mit erneuerbaren »Brennstoffen«,



■ **Abb. 1:** Entwicklung des Solarthermie-Marktes in Deutschland

5. Solarthermie in Verbindung mit Kurzzeitspeichern bzw. Saisonspeichern, Wärmepumpen oder Holzheizungen,
6. Heizstäbe mit erneuerbarem Strom,
7. Wärmerückgewinnung.

Zu 1 – Biomasseheizungen

In Wohngebäuden gibt es Biomasseheizungen als Hackschnitzel-, Pellet- und Scheitholzheizungen. Holz ist zwar ein nachwachsender Rohstoff, aber mit einem begrenzten Potenzial. Es muss nachhaltig genutzt werden und es darf nur so viel verwendet werden, wie nachwächst, wenn die Substanz nicht geschädigt werden soll. Biomasse für Heizungszwecke sollte perspektivisch nur für die Deckung eines Restwärmebedarfs eingesetzt werden, da es sich prinzipiell um einen begrenzten Rohstoff handelt. Im Wärmebereich steht der Brennstoff Holz mit dem Nutzholz der Papier-, Möbelindustrie und dem Bausektor in Konkurrenz, die sonstige Biomasse konkurriert mit der Nahrungsmittelproduktion.

Zu 2 – Elektro-Wärmepumpen («Power-to-heat») mit erneuerbarem Strom

Erneuerbarer Strom aus Photovoltaik-Anlagen steht überwiegend im Sommer zur Verfügung, aus Windenergieanlagen überwiegend im Winter. Der kombinierte Einsatz von Photovoltaik und Wärmepumpe weist bei ausreichender Auslegung zwar übers Jahr eine ausgeglichene Bilanz auf, führt aber in der Heizperiode zu einer Erhöhung des Stromverbrauchs, der mangels ausreichender erneuerbarer Stromproduktion konventionell abgedeckt werden muss. Nur in Regionen mit Stromüberschüssen aus Windenergieanlagen kann bisher ein starker Zubau von Wärmepumpen erneuerbar versorgt werden, wie z. B. in Brandenburg oder Schleswig-Holstein.

Die Herabsetzung des Primärenergiefaktors von Strom in 2014 auf $f_p = 2,4$ und ab 1. Januar 2016 auf 1,8 (EnEV 2014) wird den Wärmepumpenabsatz beflügeln. Werden jedoch deshalb heute zusätzliche konventionelle Kraftwerke gebaut, sind sie erst in ca. 40 Jahren abgeschrieben. Solange werden sie aber bei dem heutigen Zubautempo von PV- und Windenergieanlagen gar nicht gebraucht. Die KWK kann hier die Lücke teilweise schließen (s. u.). Darüber hinaus erhöht neben dem Einsatz von Wärmepumpen auch die Elektromobilität den Stromverbrauch (Abb. 3).

Zu 3 – Gasbrennwertkessel und Gasmotor-Wärmepumpen mit erneuerbarem Gas (Biogas, synthetisches Gas)

Gasbrennwertkessel und Gasmotor-Wärmepumpen werden zurzeit fast ausschließlich mit Erdgas betrieben. Dieses kann ersetzt werden durch Biogas und synthetisches Gas. Letzteres wird in zwei Schritten hergestellt:

$2\text{H}_2\text{O} + \text{Energie} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ (Elektrolyse) und $2\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{O}_2$. Zur Elektrolyse werden Stromüberschüsse aus Photovoltaik- und Windenergieanlagen verwendet.

Aufbereitetes Biogas, das synthetisch hergestellte Methan, aber auch der aus der Elektrolyse frei werdende Wasserstoff können in das Erdgasnetz eingespeist werden, letzterer jedoch nur bis zu 8 %. Mit diesen Verfahren lassen sich erneuerbare Stromüberschüsse abbauen und speichern und damit eine ansonsten erforderliche Abschaltung von Windenergie- und/oder PV-Anlagen vermeiden. Die Methanisierung von Strom befindet sich aber noch im Entwicklungsstadium.

Zu 4 – Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mit erneuerbaren »Brennstoffen«

Die bei der Stromproduktion anfallende Wärme nutzen, statt sie wegzukühlen, verringert die Umwandlungsverluste und erhöht damit den Wirkungsgrad der Stromherstellung von rund 40 auf über 80 %. Darüber hinaus kann die KWK positive Regelenergie zur Verfügung stellen, um Schwankungen auszugleichen und das Netz stabil halten. Mit Brennstoff ist hier erneuerbares Gas gemeint, wie etwa Biogas, synthetisches Gas und Wasserstoff aus erneuerbaren Stromüberschüssen.

Zu 5 – Solarthermie in Verbindung mit Kurzzeitspeichern bzw. Saisonspeichern und Wärmepumpen

Der Einsatz von Solarthermie ist bisher gekennzeichnet durch Anlagen zur Trinkwassererwärmung (TWE) und Heizungsunterstützung (HU) mit Kurzzeitspeichern. Damit sind nur relativ geringe solare Deckungsanteile zu erreichen (TWE ca. 10 %, HU ca. 15 bis 30 % je nach Dämmstandard). Wenn es gelingt, die Solarwärme des Sommers mit Saisonspeichern wirtschaftlich in die Heizperiode zu bringen, kann im Gebäudebestand bis zu 50 % und im Neubau 70 bis 100 % solarer Deckungsanteil erzielt werden. Damit spielt die Solarthermie eine wichtige Rolle im zukünftigen Energiemix und deckt ca. 5 % vom gesamten Energiebedarf für Strom und Wärme ab (Abb. 3). Ansätze hierfür sind vorhanden und werden im Abschnitt 5.2.3 vorgestellt (Nutztemperatur-Saisonspeicher, Eisspeicher- und eTank-System, die beiden Letztgenannten als »kalte« Speicher mit Synergieeffekten durch die Kombination mit Wärmepumpen). Dieser Bereich muss verstärkt ausgebaut werden.

Eine weitere Möglichkeit, die Solarwärme zu nutzen, ist die Einspeisung aus großen Anlagen in Wärmenetze. Dies ist in Dänemark verstärkt zu beobachten und gewinnt auch in Deutschland im Rahmen von Quartiersentwicklungen zunehmend an Bedeutung.

Zu 6 – Heizstäbe mit erneuerbarem Strom

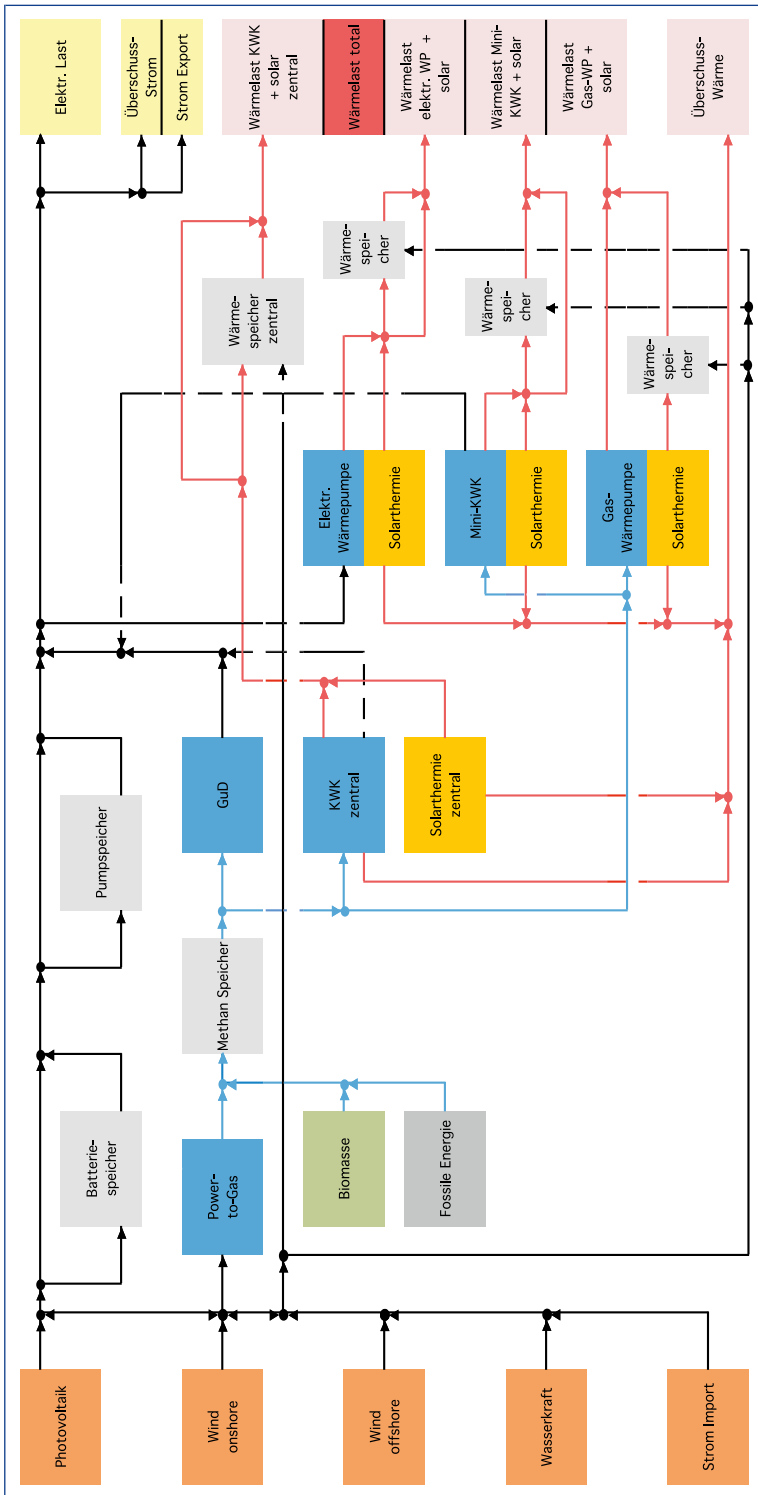
Werden erneuerbare Stromüberschüsse im Wärmesektor genutzt, erhöht sich die Effizienz des Strom-Wärme-Systems – beispielsweise über Heizstäbe in Warmwasserspeichern, und gehen somit nicht verloren.

Zu 7 – Wärmerückgewinnung

Die Wärmerückgewinnung ist keine Wärmeerzeugungstechnik, doch führt die teilweise Nutzbarmachung von Wärmeverlusten zu einer Reduzierung des Heizwärmebedarfs. So ist der Passivhausstandard ohne Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) nicht zu erreichen und ein 3-Liter-Haus ohne WRG nicht zu realisieren. Diese Art des »Recyclings« von Abwärme bietet ein nicht zu unterschätzendes Potenzial. Die Höhe der bereitzustellenden Wärme und die damit erforderliche Leistung hängt vom Umfang der Reduzierung des Heizwärmebedarfs ab.

Fazit

In den bisherigen Ausführungen ist ein Zusammenwachsen des Strom- und Wärmebereichs erkennbar. Früher funktionierte die Energiebereitstellung getrennt nach den Bereichen Strom und Wärme. In den kommenden Jahren werden sie sich im Zuge der Energiewende zu einem Gesamtsystem entwickeln. So kann erneuerbarer Strom entweder in Stromanwendungen fließen oder mit Elektro-Wärmepumpen zur Gebäudeheizung verwendet werden (negative Regelenergie). Auch kann er über Elektrolyse und Hinzufügung von CO₂ in Methan umgewandelt werden → Speicherfähigkeit, Gas- Wärmepumpen, Gasmotor für KWK (Abb. 2).



■ **Abb. 2:** Schematische Darstellung eines Strom-Wärme-Systems ohne Mobilität und Industrie

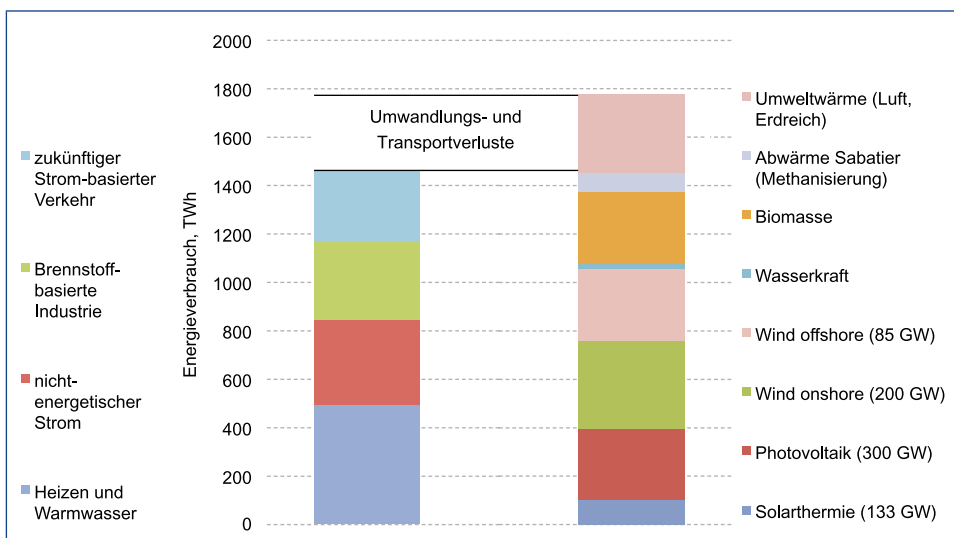
Der Stromverbrauch in Deutschland beträgt etwa 600 TWh/a (2013). Dieser wird derzeit durch erneuerbaren Strom zu einem Anteil von ca. 25 % abgedeckt. Im Jahr 2050 sollen es 90 bis 100 % sein. Dies ist ein hochgestecktes Ziel, zumal auch das Speicherproblem zu lösen ist. Der Wärmeverbrauch (private Haushalte) liegt bei ca. 723 TWh/a (2013), der erneuerbare Anteil zurzeit bei etwa 9 %.

Das Fraunhofer ISE hat in einer Studie aus dem Jahr 2012 Systeme für eine 100-prozentige Versorgung für Strom und Wärme berechnet [1]. Zielgrößen waren die geringsten Gesamtkosten. Berücksichtigt wurden verschiedene Reduzierungen des Heizwärmebedarfs im Gebäudebereich (-35 %, -50 % und -60 % bezogen auf 2010). Daraus ergeben sich unterschiedlich hohe Wärmelasten. Die Werte der Abbildung 3 beziehen sich auf eine 50-prozentige Reduzierung des Heizwärmebedarfs bezogen auf den Wert von 2010:

Dies bedeutet für die Solarthermie eine Leistung von 133 GW (ca. 190 Mio. m²) in 2050. Zurzeit sind ca. 19 Mio. m² installiert, was einer Leistung von gut 13 GW entspricht. Bei einer Installationsrate von 1 Mio. m² pro Jahr bzw. 700 MW/a würden es eine Differenz von ca. 120 GW über 170 Jahre brauchen. Wenn bis 2050 zu 100 % auf erneuerbare Energien umgestellt wurde, muss der Bereich Solarthermie die heutige Installationsrate verüfffachen. Bei diesen zu installierenden Mengen wird es Probleme mit ausreichend Fachfirmen und den erforderlichen Rohstoffen – wie z.B. Kupfer – geben, sodass rechtzeitig die erforderlichen Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Die bisher beschriebenen Techniken und Entwicklungstendenzen beinhalten mögliche Ausprägungen einer Energiewende in Deutschland. Wie können die Verbraucher dies unterstützen?

Eine Umstellung unseres heutigen, im Wesentlichen auf der Verbrennung von fossilen Energien basierenden Energiesystems mit hohen Energieverlusten erfordert zunächst einmal die Erkenntnis möglichst Vieler, dass es so nicht weitergehen kann, wenn uns eine überlebens-



■ **Abb. 3:** Bilanzielle Deckung eines reduzierten zukünftigen Energieverbrauchs mit erneuerbaren Energien

werte Zukunft am Herzen liegt: Die begrenzten fossilen Energievorräte müssen geschont und unser Klima durch starke CO₂-Emissionsreduzierungen geschützt werden.

Nach dieser Erkenntnis ist die Bereitschaft gefordert, etwas dafür zu tun. Daher sollten alle Teil der »Energiewende von unten« werden! Die Energiewende ist eine Herkules-Aufgabe und kann nur gelingen, wenn neben einer Senkung unseres Energieverbrauchs und zentraler Energieerzeugungsanlagen auch unendlich viele dezentrale, umweltfreundliche Energieerzeugungsanlagen installiert werden. Die eigene thermische Solaranlage ist ein Beitrag dazu.

Neben dem Nutzen für die Allgemeinheit hat aber auch der Einzelne persönliche Vorteile dank einer thermischen Solaranlage:

- Der eigene Energieversorger werden bedeutet: Sich von zukünftigen Engpässen bei Energielieferungen unabhängig zu machen.
- Eine thermische Solaranlage ist eine gute Altersvorsorge. Die Reduzierung von Energiekostensteigerungen erleichtert ein angenehmeres und sorgenfreieres Leben im Rentenalter.
- Es macht Freude, die Leistungsfähigkeit heutiger thermischer Solaranlagen zu beobachten und anderen zu demonstrieren.
- Stolz sein auf die eigene Solaranlage: Reden kann jeder, Sie haben gehandelt. Es gibt nichts Gutes, außer man tut es (Erich Kästner).

Dieses Buch soll die Möglichkeiten aufzeigen, die allein mit der thermischen Solartechnik realisiert werden können – von der Anlage zur Trinkwassererwärmung, über die solare Heizungsunterstützung bis zum Sonnenhaus mit einem solaren Deckungsanteil von 100 %.

2 Das Strahlungsangebot der Sonne

Das Strahlungsangebot der Sonne ist starken räumlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen und abhängig von:

- der Jahreszeit,
- der Tageszeit,
- der geografischen Breite,
- der Trübung der wolkenlosen Atmosphäre und
- den Bewölkungsverhältnissen.

2.1 Jahreszeitliche und wetterbedingte Schwankungen

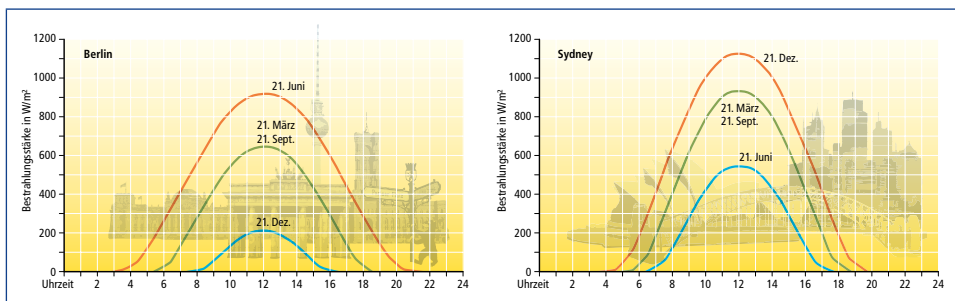
Bestrahlungsstärke

Aufgrund der Bahnbewegung der Erde um die Sonne sowie der Schrägstellung der Erdoberfläche ist das Sonnenenergieangebot nicht nur abhängig von der Jahres- und Tageszeit, sondern auch von der geografischen Breite: je näher ein Ort am Äquator liegt, desto höher steht die Sonne mittags am Himmel und umso größer ist die sogenannte Bestrahlungsstärke E [W/m^2 , kW/m^2]. Ist diese Größe auf eine horizontale Empfangsfläche bezogen, wird sie mit dem Index »G« versehen und man spricht dann von globaler Bestrahlungsstärke E_G [W/m^2 , kW/m^2].

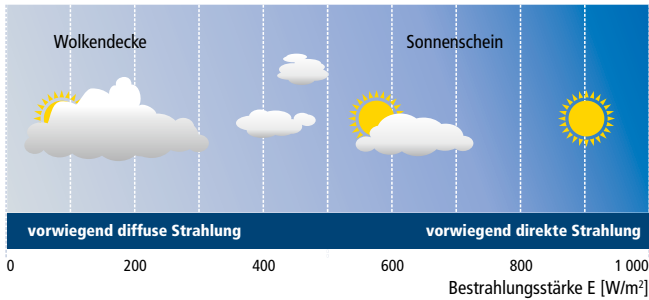
Beispielhaft für Berlin und Sydney zeigt die Abbildung 4 den typischen Tagesverlauf der globalen Bestrahlungsstärke auf eine Empfangsfläche von 1 m^2 an vier ausgewählten wolkenlosen Tagen eines Jahres.

Der Strahlungsanteil, der durch Streuung an den Luftmolekülen und Dunstteilchen oder Reflexion an den Wolken und der Erdoberfläche das Auge des Betrachters erreicht, wird als diffuse Strahlung E_{diff} oder auch als Himmelsstrahlung bezeichnet. Die ohne Richtungsänderung von der Sonne auftreffende Strahlung wird als direkte Strahlung E_{dir} bezeichnet. Die Summe aus direkter und diffuser Strahlung ergibt die Bestrahlungsstärke E .

$$E = E_{\text{dir}} + E_{\text{diff}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$



■ **Abb. 4** Tagesgänge der globalen Bestrahlungsstärke in Berlin und Sydney



■ **Abb. 5:** Die Bestrahlungsstärke bei unterschiedlicher Bewölkung

Selbst bei klarem, wolkenlosem Himmel wird aufgrund der mehr oder weniger starken Trübung der Atmosphäre ein Teil der Sonnenstrahlung gestreut und kommt nicht direkt von der Sonne. Dies verstärkt sich mit zunehmender Bewölkung.

Globalstrahlung

Die Einstrahlung auf eine Fläche mit der Bestrahlungsstärke E über einen bestimmten Zeitraum (Tag, Monat, Jahr) wird mit Bestrahlung H (Globalstrahlung) angegeben, hier z.B. für einen Tag [d].

$$H = H_{dir} + H_{diff} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot d} \right]$$

Die Globalstrahlung ist in der thermischen Solartechnik in Verbindung mit der Planung und Auslegung der Größe einer Kollektorfläche von zentraler Bedeutung. Sie stellt die gesamte Energiemenge dar, die eine Kollektorfläche in einem betrachteten Zeitraum empfängt.

Jahressummen der Globalstrahlung in Deutschland

Aufgrund der genannten Zusammenhänge ergibt sich für die Verteilung der Globalstrahlung in Deutschland ein Bild, das durch einen Nord-Süd-Anstieg gekennzeichnet ist.

Während die Jahressumme der Globalstrahlung in Norddeutschland bei ca. 1000 kWh/m² liegt, beträgt sie in den sonnenscheinreichen Regionen Süddeutschlands etwa 1200 kWh/m². Damit entspricht die Einstrahlungsmenge auf nur einen Quadratmeter dem Energieinhalt von ca. 100 bis 120 Litern Heizöl bzw. 100 bis 120 Kubikmetern Erdgas.

2.2 Einfluss von Ausrichtung und Neigung von Empfangsflächen

Die bislang genannten Größen bzw. Zahlen bezogen sich jeweils auf eine horizontale Empfangsfläche, z. B. ein Flachdach. Aufgrund der unterschiedlichen Einfallswinkel der Sonne im Laufe eines Tages und des gesamten Jahres ergeben sich in unseren Breiten je nach Orientierung und Neigung unterschiedliche Einstrahlungssummen.

Der Cosinus-Faktor

Die Strahlungsleistung auf eine Fläche mit einer bestimmten Bestrahlungsstärke ist bei senkrechtem Einfall am größten. Sie verringert sich bei Abweichungen vom senkrechten Einfall um