

Bo Hanus

Solar-Dachanlagen selbst planen und installieren



Leicht gemacht, Geld und Ärger gespart!

- ▶ Die richtige Auswahl der Solaranlage
- ▶ Geld zurück durch 230-V-Netzankopplung
- ▶ Solarmodule und Wechselrichter richtig auswählen

Bo Hanus
Solar-Dachanlagen



Bo Hanus

Solar-Dachanlagen

selbst planen und installieren

Leicht gemacht, Geld und Ärger gespart!

Mit 114 farbigen Abbildungen

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Wichtiger Hinweis

Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar.

Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben.

Evtl. beigefügte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2007 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

Satz: PC-DTP-Satz u. Info. GmbH

art & design: www.ideehoch2.de

Druck: Legoprint S.p.A., Lavis (Italia)

Printed in Italy

ISBN 3-7723-4146-5

Inhaltsverzeichnis

1	Die Sonne als Energiespender	8
2	Solarelektrische Anlagen (Fotovoltaik-Anlagen)	11
2.1	Tipps zur richtigen Planung	17
3	Solarthermische Anlagen	21
4	Solarelektrische Dachmodule	35
4.1	Mechanischer Aufbau der Module	41
4.3	Technische Parameter handelsüblicher Module	45
4.4	Die wichtigsten Unterschiede in der mechanischen Ausführung	48
4.5	Die besten Module für Ihr Vorhaben	50
4.6	Beschattungs-Unempfindlichkeit	53
4.7	So können Sie Solarmodule testen	61
4.8	Schutzdioden (Schottky-Dioden)	66
5	Aufstellung und Montage der Solarzellenmodule	69
5.1	Optimale Ausrichtung der Module	71
5.2	Integration der Module im Dach	75
5.3	Flachdach-Solaranlagen	82
5.5	Jahreszeitbezogene Verstellung des Neigungswinkels	85
6	Der Wechselrichter (Inverter)	89
6.1	Wahl des Wechselrichters	93
6.2	Die elektrischen Leiter	99
6.3	Kontrolle der Netzeinspeisung	101
7	Solarzellen – Grundbausteine der Fotovoltaik	103
7.1	Wie funktioniert eine Solarzelle?	105
7.2	Welche Solarzellen sind gut?	106
7.3	Wichtige technische Daten einer Solarzelle	108
7.4	Licht-/Leistungsverhältnis der Solarzellen	112
7.5	Temperaturabhängigkeit der Solarzellen	114
8	Berechnung des Jahresertrags	117
9	Erhöhung des Ertrags bei bestehenden	123

1 Die Sonne als Energiespender

1 Die Sonne als Energiespender

Alles, was auf unserem Planeten lebt, wächst und gedeiht, macht sich naturbedingt die Sonnenenergie zu Nutze. Sie hält unsere Mutter Erde warm und erwärmt unsere Lebensräume, ohne dass wir dafür etwas tun müssen – vorausgesetzt wir geben uns mit diesen Energiespenden zufrieden.

Zu den herkömmlichen Vorrichtungen, die eine zusätzliche Nutzung der Sonnenenergie ermöglichen, gehören Gewächshäuser und Frühbeete. Zu den „modernen“ Vorrichtungen dieser Art gehören Solaranlagen. Bei aufwendi-



Abb. 1.1 – Bei solarelektrischen (fotovoltaischen) Anlagen wird die Sonnenenergie in elektrische Energie umgewandelt (Foto Siemens)



geren Solaranlagen ist jedoch das Preis/Leistungs-Verhältnis nicht mehr so leicht kalkulierbar wie bei der Anschaffung eines Gewächshauses oder Frühbeetes. Die Investition in eine Solaranlage sollte daher gut durchdacht, durchgerechnet und individuell richtig geplant werden.

Abb. 1.2 – Bei solarthermischen Anlagen wärmt die Sonne im Dachkollektor ein „Wärmeträgermedium“ auf, das mit Hilfe von isolierten Rohrleitungen in eine zusätzliche Heizspirale in den Warmwasser-Behälter geleitet wird. Dort wird die gespeicherte Wärme an das Wasser abgegeben und dieses somit aufgewärmt (Foto AEG)

1 Die Sonne als Energiespender

Gute Vorkenntnisse auf dem Gebiet der Solartechnik sind in diesem Fall sehr wichtig. Sowohl für eine optimale Planung als auch für einen eventuellen Selbstbau bzw. Selbstbau-Anteil.

Fundierte Vorinformationen dürften Ihnen viele Kosten und Enttäuschungen ersparen, denn nur Sie selber können maßgerechte Planungsüberlegungen

treffen, die Ihrem Bedarf und Ihren Erwartungen optimal entsprechen. Ansichten oder Tipps eines Außenstehenden können Sie sich zwar auch anhören, aber grundsätzlich nur mit einer gesunden Portion Vorbehalt. Sie wissen ja: Einer, der als Unternehmer an Ihr Geld kommen will, oder der als „stolzer Solaranlagen-Besitzer“ sein Image nicht in Frage stellen möchte, wird



Abb. 1.3 – Beispiel einer kombinierten Solaranlage: auf dem oberen Teil des Daches befindet sich eine Reihe von zehn solarthermischen Kollektoren, links und rechts unten am Dach sind Fotovoltaik-Module angebracht



Abb. 1.4 – Was man hat, das hat man, könnte hier der stolze Besitzer dieser Fotovoltaik-Dachanlage sagen, die aus 72 Solarzellenmodulen besteht (Foto AEG)

1 Die Sonne als Energiespender

Sie kaum unvoreingenommen über diverse Schwachstellen solcher Systeme aufklären.

Die ersten Planungsüberlegungen fangen oft mit der Frage an, ob eine solarelektrische (fotovoltaische)

oder eine solarthermische Anlage errichtet werden sollte bzw. ob eine Kombination von beiden Systemen zu erwägen sei.



Abb. 1.5 – Fotovoltaik-Dachanlagen können – wie hier in Berlin-Kreuzberg – auch auf den Dächern von größeren Häuserblöcken errichtet werden (Foto Siemens)

3 Solarthermische Anlagen

Solarthermische Anlagen nutzen die Sonnenwärme zum direkten Aufwärmen von Wasser, Luft oder anderen Flüssigkeiten und Gasen. Dazu werden üblicherweise Sonnenkollektoren angewendet, die als Dachkollektoren, Fassadenkollektoren oder auch freistehend installiert sind.

Sonnenkollektoren haben viel Ähnlichkeit mit einem Radiator der Zentralheizung. Die Funktionsweise



Abb. 3.1 – Kleinere thermische Solarkollektoren am Hausdach werden als einzelne Module auf eine beliebige Art und Weise auf dem Dach zusammengestellt und meist zum Aufwärmen von Trinkwasser im Warmwasserbehälter genutzt (Foto Sunset-Energietechnik)

3 Solarthermische Anlagen

ist hier jedoch umgekehrt: Dem Radiator einer Zentralheizung wird heißes Wasser zugeführt, das die „Rippen“ des Radiators aufwärmt. Diese geben die Wärme weiter an die umliegende Luft ab. Bei einem Sonnenkollektor werden dagegen seine „Rippen“ (Absorber) von der Sonne erwärmt, diese geben die Wärme an ein „Wärmeträgermedium“ weiter, das irgendwo irgendwas aufwärmen kann. In den meisten Fällen wird das Brauchwasser im Warmwasser-Speicher nach Abb. 3.2 bis 3.5 aufgewärmt.

Traditionell wird bei einer Öl- oder Gas-Zentralheizung das Brauchwasser im Warmwasserbehälter nach

Abb. 3.2 – Das Prinzip einer solarthermischen Anlage für das Aufwärmen des Wassers im Warmwasserspeicher ist einfach: Eine Umlaufpumpe (Umwälzpumpe) pumpt zirkulierend das Wasser aus der Solar-Heizspirale des Warmwasserspeichers in einen Dachkollektor, in dem die Sonne das Wasser aufwärmt

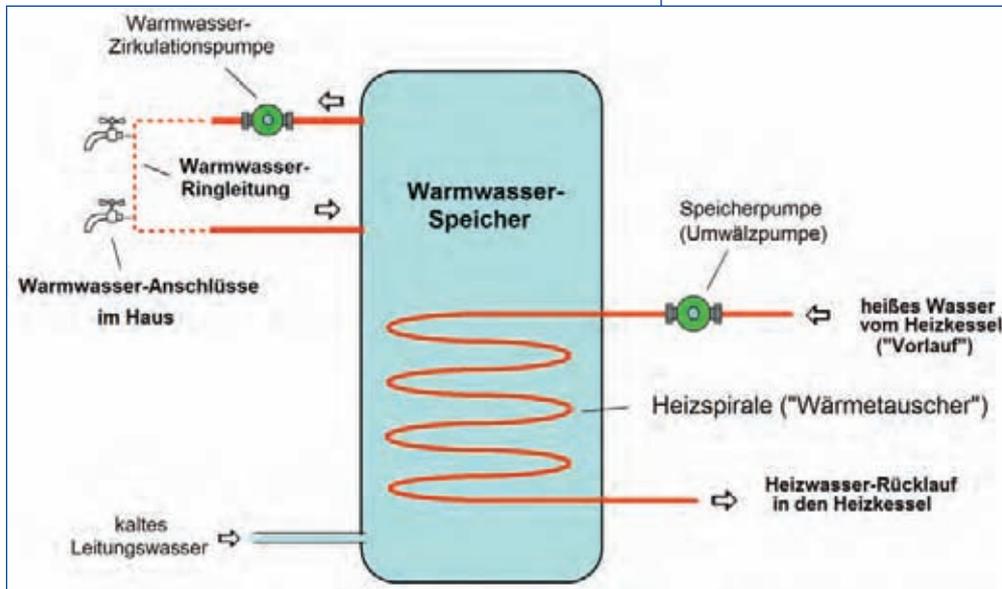
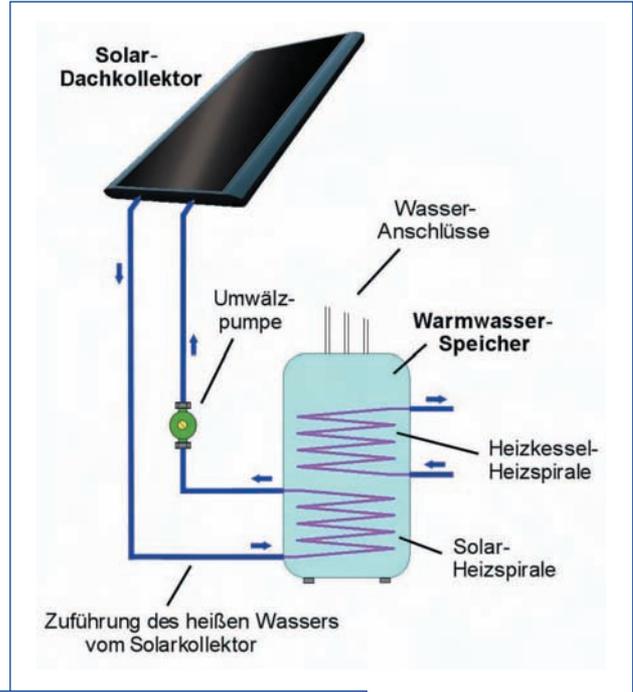


Abb. 3.3 – Die Funktion eines herkömmlichen Warmwasserspeichers ist sehr einfach: Das Wasser wird hier – ähnlich wie in einem elektrischen Wasserkocher – mittels einer Heizspirale erwärmt, durch die das heiße Wasser (Heizwasser) aus einem Öl- oder Gas-Heizkessel umlaufend gepumpt wird

3 Solarthermische Anlagen

dem Prinzip in Abb. 3.2/3.4 mittels einer Wärmespirale (Wärmetauschers) aufgeheizt: Durch diese „Heißwasser-Spirale“ fließt dasselbe heiße Wasser durch, dass

auch in den Kreislauf der Radiatoren oder der Fußbodenheizung über eine Heizkreispumpe (Umwälzpumpe) hineingepumpt wird.

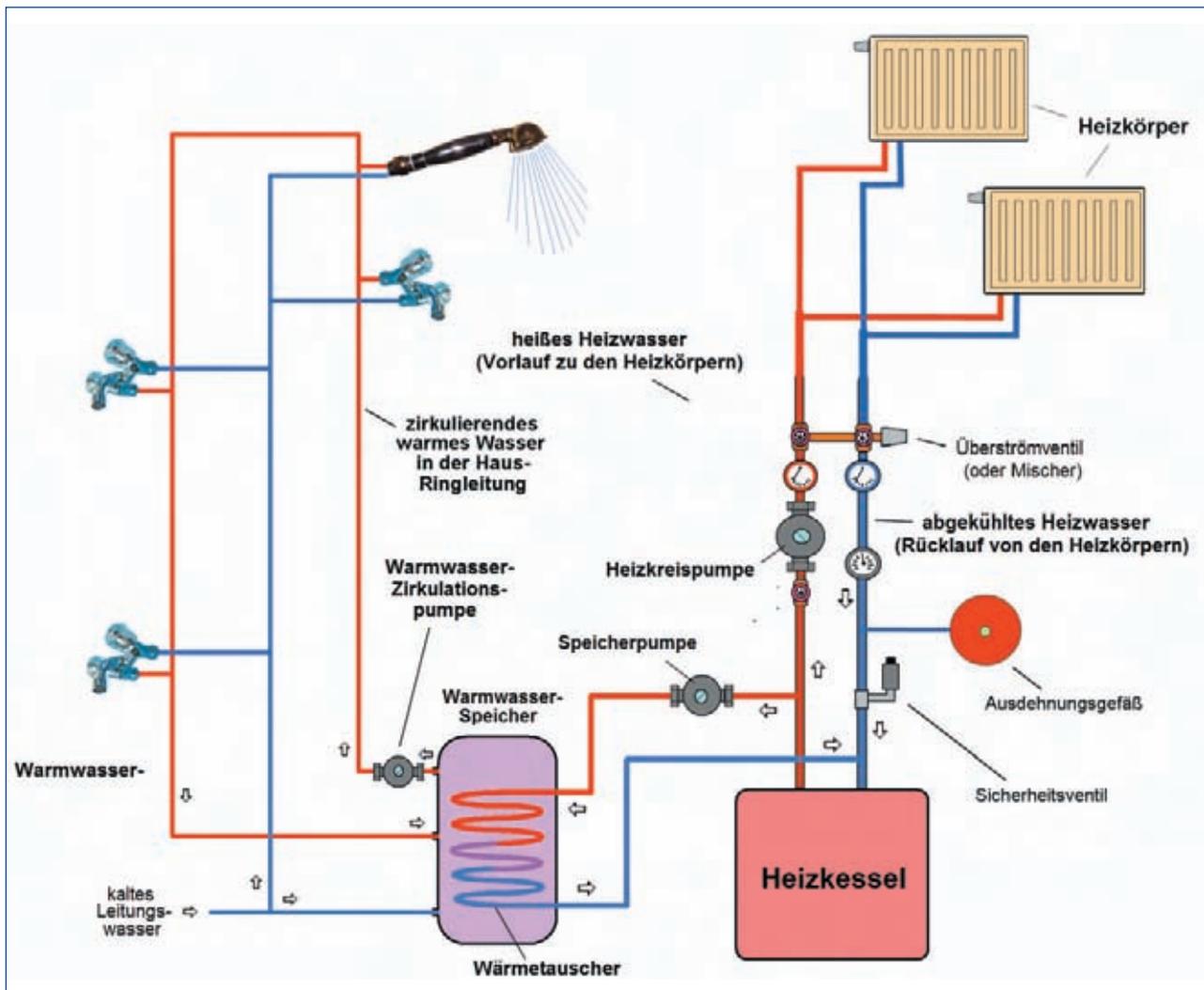


Abb. 3.4 – Gut zu wissen: auch die ganze Öl- oder Gasheizungs-Anlage eines Einfamilien-Hauses besteht nur aus wenigen Bausteinen, deren Funktion diese bildliche Darstellung erläutert

3 Solarthermische Anlagen

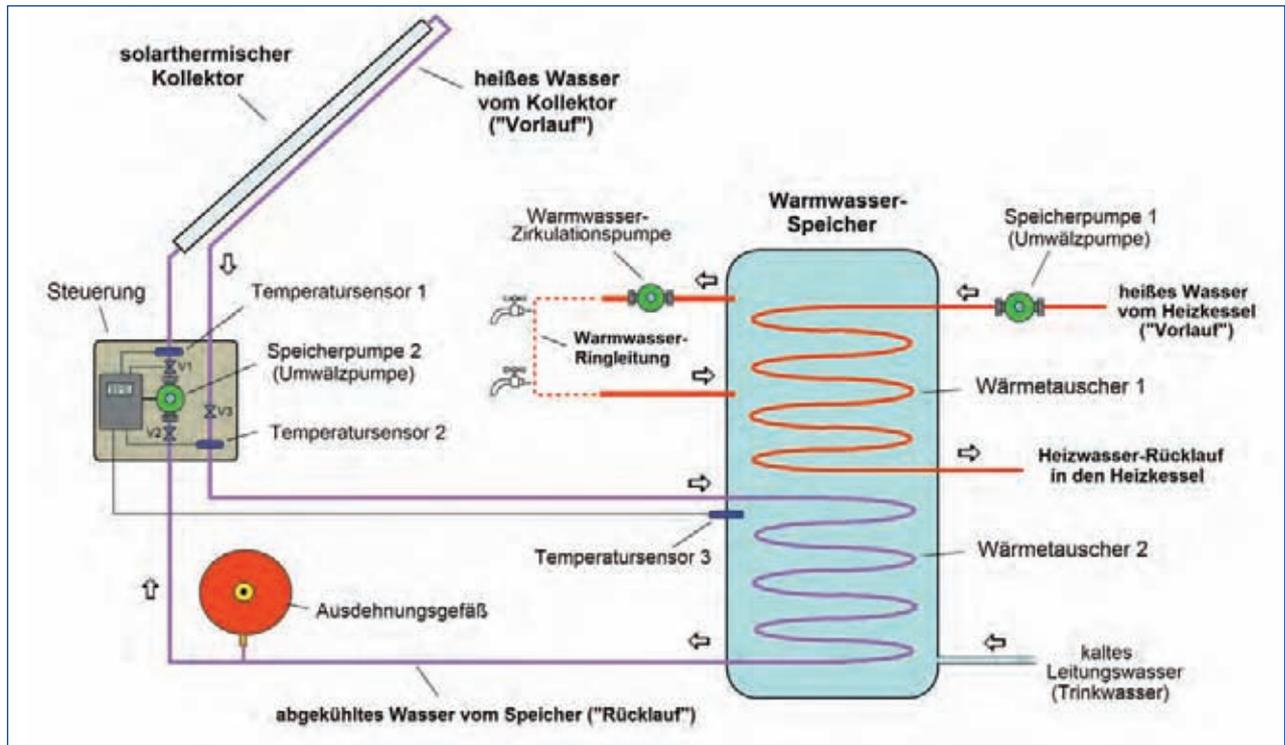


Abb. 3.5 – Eine solarthermische Anlage benötigt eine eigene elektronische Steuerung mit Zubehör, zu dem auch eine zusätzliche Umwälzpumpe (Speicherpumpe 2) gehört

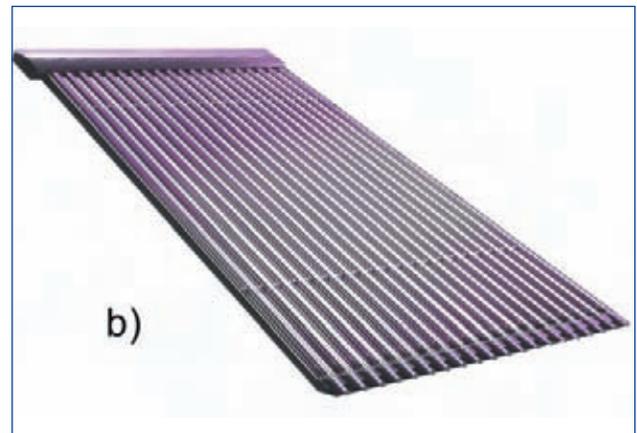
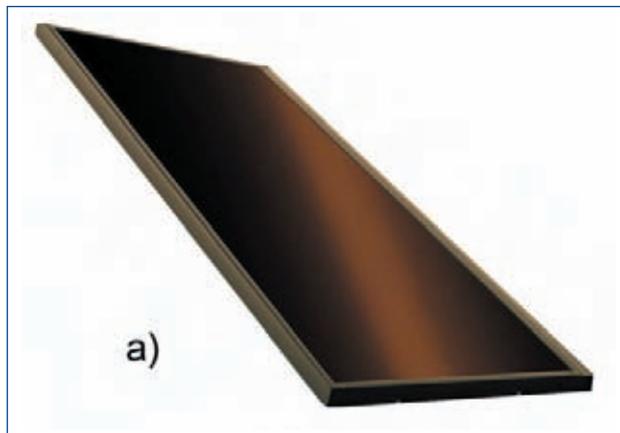


Abb. 3.6 – Solarthermische Kollektoren sind üblicherweise in zwei Ausführungen erhältlich: **a)** als Flachkollektoren; **b)** als Röhrenkollektoren

3.1 Tipps zur richtigen Planung

Wird eine solarthermische Anlage installiert, benötigt der Warmwasser-Speicher eine zweite Wärmespirale (Wärmetauscher 2), die in *Abb. 3.5* im Warmwasserspeicher *unten* eingezeichnet ist. Durch diesen Wärmetauscher zirkuliert an sonnigen Tagen das im Dachkollektor aufgewärmte Was-

ser oder eine andere Flüssigkeit, die technisch elegant als *Wärmeträgermedium* bezeichnet wird. Für den Umlauf sorgt eine kleine Umwälzpumpe. Eine zusätzliche Elektronik steuert dann automatisch das ganze thermische System so, dass – soweit möglich – die Sonnenwärme für das Aufwärmen des Wassers im

Wasserbehälter genutzt wird.

Der Begriff „soweit möglich“ bezieht sich dabei nicht nur auf die jeweiligen Wetterbedingungen, sondern auch auf den jeweiligen tatsächlichen Bedarf. Darunter ist zu verstehen, dass die solarthermische Anlage das Wasser im Warmwasserbehälter nur in dem Umfang



Abb. 3.7 – Badepools und Planschbecken erfreuen sich zunehmender Beliebtheit, sind sehr preiswert geworden und das Badewasser kann kostengünstig mit Hilfe eines einfachen „Sonnenkollektors“ Marke Eigenbau auch an etwas kühleren Tagen aufgewärmt werden

3.1 Tipps zur richtigen Planung

aufwärmen kann, der sich jeweils aus dem „Nachholbedarf“ ergibt.

Das eigentliche Prinzip ist auf den ersten Blick leicht zu durchschauen, aber eben nur das Prinzip als solches. In Wirklichkeit hat das ganze System sehr viele Schwachstellen, die im Allgemeinen „diskret“ verschwiegen werden und über die man bereits im Planungsstadium in Bilde sein sollte:

Das Problem fängt damit an, dass sich bei solarthermischen Anlagen – im Gegensatz zu den photovoltaischen Anlagen – die Energie nicht mit Hilfe eines einfachen und preiswerten Elektrokabels zum Verbraucher bringen lässt. Sie muss zu ihm mit wärmeisolierten Rohren geleitet werden. Wenn es sich dann um das Aufwärmen von Brauchwasser (bzw. Trinkwasser) handelt, dessen Behälter im Keller neben einem Ölheizkessel steht, wird die Installation der Leitungsrohre zu einer kostspieligen Angelegenheit.

Wesentlich einfacher und kostengünstiger lässt sich die Solarthermik im privaten Bereich zum Aufwärmen von Badewasser im Gartenpool oder Planschbecken (Abb. 3.7) benutzen. Schon deshalb, weil sich hier die Nachfrage (nach Baden im Freien) mit dem Angebot (an Sonnenenergie) optimal deckt.

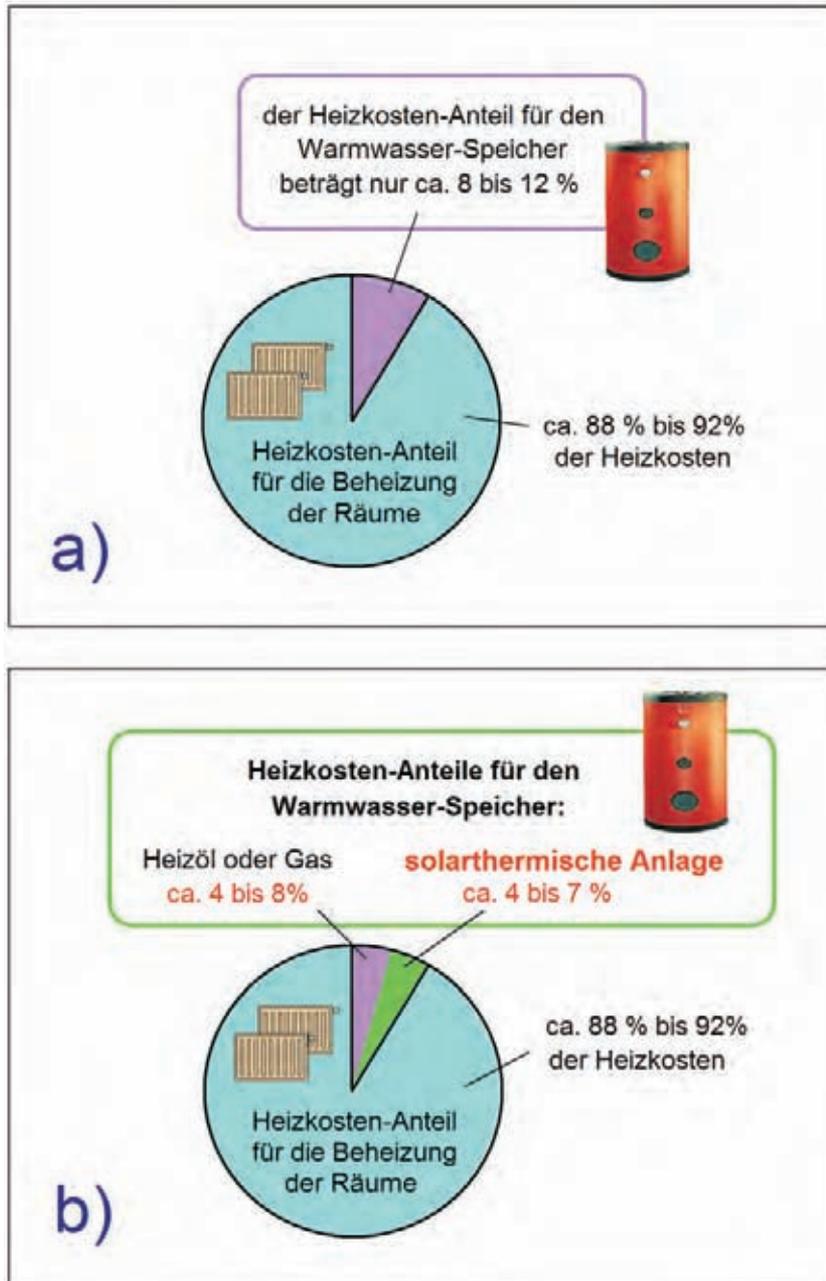
In den letzten Jahren hat es einige sehr warme Sommer gegeben, die sich möglicherweise in der Zukunft wiederholen könnten. Ein kleines Planschbecken im Gar-

ten dürfte dann die Lebensqualität steigern. Eine einfache solarthermische Selbstbau-Anlage kann zum Aufwärmen des Poolwassers wirkungsvoll beitragen. Als ein preiswerter Solarkollektor kann dabei entweder ein Gartenschlauch (in dunkler Farbe) oder ein flexibles schwarzes Elektroinstallations-Kunststoffrohr angewendet werden, was nach *Abb. 3.7* spiralförmig einfach auf den Boden gelegt werden kann. Um eine ausreichende Wärmeleistung zu erhalten, sollte jedoch diese Spirale aus einem etwa 100 Meter langem Schlauch oder Installationsrohr bestehen – was probeweise auf die Größe des Planschbeckens und die herrschenden Wetterbedingungen abgestimmt werden kann.

Wenn Sie zu diesem Zweck ein Elektroinstallations-Kunststoffrohr (bevorzugt mit einem Durchmesser von 16 mm) verwenden, können die Verbindungen mit den dazu gehörenden Verbindungsmuffen mit einem Bau- oder Fugensilikon „wasserdicht“ verklebt werden.

Die in *Abb. 3.7* eingezeichnete Pumpe ist oft als Filterpumpe oder als aufwändigere „Sandfilteranlage“ mit dem Becken erhältlich und kann wahlweise (je nach der Ausführung) von einem Solarmodul, von einem Akku (Autobatterie) oder aus der Steckdose (230 V~) betrieben werden. Anstelle einer Filterpumpe eignet sich auch eine Springbrunnenpumpe oder eine beliebige kleine Umwälzpumpe für die erforderliche Umwälzung des Becken-Wassers.

3.1 Tipps zur richtigen Planung



Ansonsten sollte fairnesshalber darauf hingewiesen werden, dass die eigentliche Wasseraufwärmung mit Hilfe der Gas- oder Ölzentralheizung bei weitem nicht so energiefressend ist, wie es manche Solartechnik-Anbieter ihren Kunden gerne schmackhaft machen möchten (siehe hierzu Abb. 3.8).

Die vorgesehene Energieeinsparung kann „projektbezogen“ am einfachsten ermittelt werden, wenn während der Sommermonate der Gas- oder Ölverbrauch für das Aufwärmen des Wassers notiert und in Kosten umgerechnet wird. Ein evtl. Einsatz von Solarkollektoren, die hier (bei etwas Glück) etwa 50 % bis 60 % der benötigten Energie für das Aufwärmen des Brauchwassers einsparen könnten, lässt sich danach anhand von konkreten Zahlen „projektbezogen“ realistischer bewerten und mit dem Kostenaufwand vergleichen.

An sich ist bei einer gängigen solarthermischen Dachanlage die Einsparung von „nicht regenerativen“ Brennstoffen bedauerlicher-

Abb. 3.8 – Wenig bekannt, aber leider wahr: der Beitrag einer solarthermischen Anlage zur Senkung der Heizkosten ist in Wirklichkeit nur relativ gering

3.1 Tipps zur richtigen Planung

weise ziemlich gering, denn die Öl- oder Gas-Zentralheizung eines Einfamilienhauses verbraucht durchschnittlich nur etwa 8 % bis 12 % des Brennstoffes für das eigentliche Aufwärmen des Brauchwassers. Der restliche Brennstoffverbrauch entfällt üblicherweise auf das Beheizen des Hauses. Individuell kann natürlich der Warmwasserverbrauch von diesen Angaben ziemlich abweichen.

Im „Landesdurchschnitt“ darf nüchtern kalkuliert werden, dass auch ein optimal dimensionierter Sonnenkollektor nur eine Einsparung von etwa 4 % bis 6 % des gesamten Öl- oder Gasverbrauches der Zentralheizung erbringt.

Das sind jedoch alles nur rein informative Angaben, die nicht unbedingt überall zutreffen müssen. Individuelle Lebensgewohnheiten oder Wetterbedingungen können sehr unterschiedliche Ergebnisse aufweisen.

Eine Familie, die z. B. während der wärmsten Jahreszeit einige Wochen im Urlaub verbleibt und ihr eigenes Haus nicht bewohnt, wird verständlicherweise proportional etwas weniger von der Solartermik profitieren, denn diese ist gerade während des Sommers am ergiebigsten.

Ähnlich ist es mit der Frage der Badegewohnheit. Wer überwiegend abends oder sehr früh am Morgen badet oder duscht, dessen Wasser wird gleich anschließend vom Öl- oder Gas-Heizkessel auf den „Soll-Wert“ aufgewärmt. Dies lässt sich schwierig umgehen. Das solarthermische System kommt somit erst nur dann wieder zum Zug, wenn im Laufe des Tages das Wasser

im Warmwasserbehälter kühler wird und das sonnige Wetter ein Nachwärmen erlaubt. Hier kann es in der Praxis oft vorkommen, dass der wirkliche energetische Beitrag einer solarthermischen Anlage quasi nur tröpfchenweise zu dem tatsächlichen Aufwärmen des Brauchwassers (Trinkwassers) beiträgt.

Eine solche Behauptung ist erklärungsbedürftig, aber zum Glück leicht nachvollziehbar: In einem *konventionellen* Warmwasserbehälter (Warmwasserspeicher) einer Öl- oder Gas-Zentralheizung wird nach *Abb. 3.4* das Wasser von einer „Heizspirale“ (Wärmetauscher) aufgewärmt. Diese Heizspirale funktioniert im Prinzip ähnlich wie die Heizspirale eines elektrischen Wasserkochers. Allerdings mit dem Unterschied, dass sie als eine Hohlspirale nur vom durchlaufenden heißen Heizkessel-Wasser des Heizsystems aufgeheizt wird. Eine elektrische *Umwälzpumpe* (Speicherpumpe) pumpt das heiße Wasser aus dem Heizkessel „umlaufend“ jeweils automatisch solange durch, bis das Wasser im Warmwasserbehälter die eingestellte Temperatur erreicht. Während dieses Vorgangs kühlt das Wasser im Heizkessel ab. Der Heizkessel hat aber auch einen internen Thermostat, der den Kessel jeweils „startet“, wenn das „Heizwasser“ unter das eingestellte Niveau abkühlt und wieder abschaltet, wenn sich das Wasser im Kessel auf das voreingestellte Maximum aufgewärmt hat.

Aus *Abb. 3.4* geht hervor, dass eine zweite *Pumpe* (Heizkreispumpe) für die Heizungsradiatoren des Hauses zuständig ist. Beide Pumpen arbeiten unabhängig

3.1 Tipps zur richtigen Planung

voneinander. Die Speicherpumpe schaltet der *Warmwasser-Thermostat* jeweils nur für die Dauer des Aufwärmens bzw. Nachwärmens ein. Die Heizkreispumpe für die Zentralheizungs-Radiatoren (bzw. für die Fußbodenheizung) läuft dagegen während der ganzen Heiz-

periode ununterbrochen, bleibt jedoch abgeschaltet, wenn der Heizkessel auf „Sommerbetrieb“ umgeschaltet wird.

Während der Heizperiode versorgt der Zentralheizungs-Heizkessel das ganze Heizsystem – darunter sowohl die Heizradiatoren bzw. die

Fußbodenheizung als auch die Heizspirale im Warmwasserbehälter mit heißem Wasser, das z. B. auf einer fest eingestellten Temperatur von 65 °C gehalten wird (der Hausbesitzer kann nach eigenem Ermessen diese Temperatur auch höher einstellen bzw. verstellen).

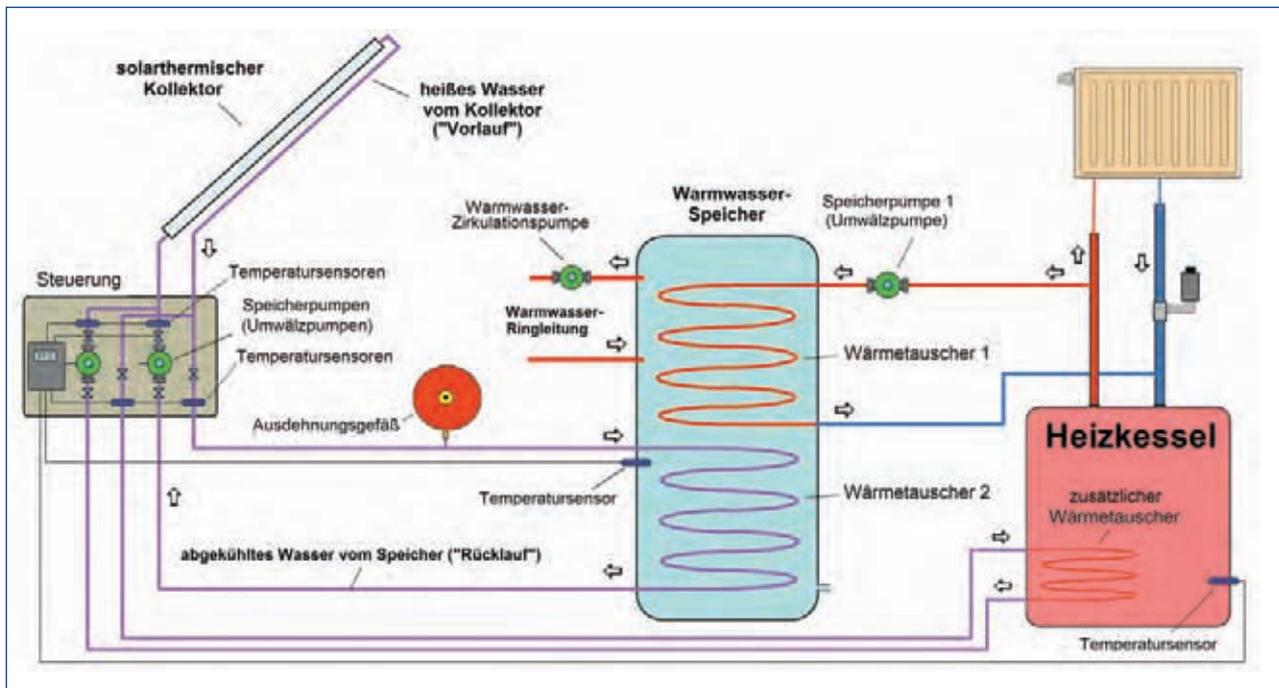


Abb. 3.9 – Einige solarthermische Anlagen sind auch noch für die Unterstützung der Wassererwärmung im Heizkessel ausgelegt, aber der tatsächliche Beitrag einer solchen Lösung zur Brennstoffeinsparung ist leider nur sehr gering

3.1 Tipps zur richtigen Planung

Außerhalb der Heizperiode arbeitet derselbe Heizkessel nur für das kontinuierliche Aufwärmen des Wassers im Warmwasserspeicher. Dies ohne Rücksicht darauf, ob der Warmwasserspeicher eventuell über eine zweite solarthermische Heizspirale verfügt oder nicht.

Einige Warmwasserspeicher verfügen auch bei herkömmlichen Zentralheizungs-Systemen über einen Heizstab der während der Sommermonate rein elektrisch das Brauchwasser warm hält. Er funktioniert auf dieselbe Art wie die elektrische Heizspirale eines Wasserkochers und bietet den Vorteil, dass man während der wärmeren Jahreszeit den Öl- oder Gasheizkessel ganz abstellen kann. Diese Lösung wird jedoch in der Praxis nur selten angewendet, obwohl sie auch ihre Vorteile hat.

Womit aber auch das Wasser während der wärmeren Jahreszeit aufgewärmt wird, eine reine solarthermische Anlage kommt ohne eine zweite „Wärmequelle“ nicht aus. Die ganze Automatik der Warmwasseraufbereitung ist dabei verständlicherweise so konzipiert, dass sie die Temperatur des warmen Wassers quasi *unter allen Umständen* immer auf dem eingestellten Niveau (von z. B. 65 °C) hält.

Der Warmwasserspeicher ist fest an die Wasserleitungszufuhr (nach Abb. 3.3 bis 3.5) angeschlossen. In dem Moment, wenn an der oberen Seite des Speichers das warme Wasser abgenommen wird, füllt sich der Speicher unten vom *Kaltwasserzulauf* automatisch mit kaltem Leitungswasser nach. Dadurch kühlt das Wasser im Warmwasser-Speicher entsprechend ab, wird jedoch

– wie bereits erläutert – ständig automatisch laufend nachgewärmt.

Wird z. B. abends die Badewanne mit warmen Wasser eingelassen, füllt sich – diesem „Aderlass“ zufolge – das Wasser im Speicher mit kaltem Leitungswasser „laufend“ nach, kühlt dadurch zunehmend ab und der Öl- oder Gasheizkessel muss prompt anspringen, um das Wasser schnellstens wieder aufzuwärmen. Dass zu diesem Zeitpunkt auch eine solarthermische Dachanlage nicht mehr zum Zuge kommt, ist logisch, denn die Sonne ist entweder ganz weg oder steht schon derartig tief, dass ihre Solarenergie zum Nachwärmen des Wassers nicht mehr ausreicht.

Dass zu diesem Zeitpunkt der Heizkessel also sowie so einspringen muss, hat seine Richtigkeit und seine Logik, denn aus einem ordentlichen Warmwasserhahn soll ja in einem Haushalt jederzeit warmes Wasser fließen. Wer bereits Erfahrung mit solchen kleinen „haus-eigenen“ Zentralheizungsanlagen hat, dem ist zudem auch bekannt, dass das Wasser in einem Warmwasserspeicher nicht ewig heiß bleibt und auch dann kontinuierlich abkühlt, wenn kein warmes Wasser bezogen wird.

Ein guter Warmwasserspeicher ist zwar ordentlich wärmeisoliert, womit sich die Wärmeverluste in zumutbaren Grenzen halten. Die eigentliche Wärmeisolierung kann allerdings auch keine Wunder vollbringen. Vor allem nicht in Kellern, deren Mauern aus kalten Betonsteinen bestehen. In solchen Kellern ist es oft so

3.1 Tipps zur richtigen Planung



Abb. 3.10 – Ausführungsbeispiel eines Hochleistungs-Vakuum-Röhrenkollektors: Ein solcher kostspieliger – und technisch sehr eindrucksvoller – Kollektor kann vor allem während der kalten Wintermonate etwa doppelt so viel wie ein Flachkollektor zum Aufwärmen des Brauchwassers beitragen. Der Pferdefuß liegt jedoch darin, dass dadurch z. B. während der kältesten Jahreszeit leider nur etwa 3 bis 4 Euro pro Monat und tatsächlich nur ca. 150 bis 200 Euro jährlich insgesamt an Gas- oder Heizöl-Kosten eingespart werden können (ausgehend von Heizstoffpreisen im Dezember 2006 und einem durchschnittlichen Warmwasser-Verbrauch in einem Einfamilien-Haus)

kalt wie in den Kellern alter Burgen, und der Warmwasserspeicher, der in so einem Keller steht, hat es physikalisch bedingt nicht gerade leicht, die Temperatur des aufgewärmten Wassers gegen die umgebende kalte Luft ewig lange aufrecht zu erhalten.

Abgesehen davon wartet das heiße Wasser im Warmwasserspeicher nicht unbeweglich auf einen gelegentlichen Abruf, sondern wird durch eine (*dritte*) Warmwasser-Zirkulationspumpe ständig durch alle Warmwasser-Leitungen im Haus gepumpt. Diese Lösung ist erforderlich, da man andernfalls sehr lange warten müsste, bis nach dem Aufdrehen eines Warmwasserhahns aus der Leitung warmes Wasser herausströmt (sonst käme erst lange nur kaltes Wasser heraus).

Wichtig zu wissen: Das warme Wasser zirkuliert „Tag und Nacht“ durch alle Warmwasserleitungen des Hauses ähnlich wie das Blut in unserem Körper. Dass sich dabei das warme Wasser auch in gut wärmeisolierten Leitungen laufend abkühlt, ist technisch unvermeidlich.

Viele gewerbliche Anbieter behaupten zwar, dass gerade *ihre* Warmwasserbehälter quasi wie Thermosflaschen funktionieren. Das muss man eigentlich nicht einmal bestreiten, denn in vielen handelsüblichen Thermosflaschen kühlt ein heißes Getränk bereits nach etwa 8 Stunden aus. Das ist zwar kein ausgesprochen technisch eleganter Vergleich, aber immerhin ein richtungsweisendes Indiz für diejenigen, die sich manchmal mit Behauptungen zufrieden geben, die bestenfalls nur als eine „modifizierte“ Wahrheit klassifiziert werden dürften.

Ein gut isolierter Warmwasserspeicher kann unter günstigen Umständen einen soliden Teil der aufgefangenen Solarenergie erfolgreich nutzen. Fairnesshalber ist jedoch darauf hinzuweisen, dass sich solche „günstigen Umstände“ nur bedingt vorprogrammieren lassen.

3.1 Tipps zur richtigen Planung

Was darunter zu verstehen wäre, dürfte man sich an folgendem Beispiel „durchspielen“:

An einem Nachmittag wurde das Wasser im Warmwasserspeicher auf das eingestellte Maximum aufgewärmt. Vor und nach dem Abendessen wird etwas warmes Wasser für das Händewaschen und eventuell auch für das Geschirrspülen oder Putzen verbraucht. Später am Abend bzw. am nächsten Morgen wird gebadet oder geduscht. Das verbrauchte warme Wasser wird im Warmwasserspeicher durch kaltes Leitungswasser (vom Kaltwasserzulauf nach Abb. 3.5) automatisch nachgefüllt. Dadurch kühlt das Wasser im Speicher vor allem im Winter ziemlich schnell ab, da das Leitungswasser eiskalt ist. Wenn zu diesem Zeitpunkt das solarthermische Dachmodul nicht unmittelbar einspringen kann (oder „noch nicht“ einspringen kann), schaltet der Speicher-Thermostat den Öl- oder Gasheizkessel sowie auch die Speicherpumpe (Abb. 3.9) ein, um das Wasser nachzuwärmen. Falls der Heizkessel gerade in Betrieb ist, wird zusätzlich nur die Speicherpumpe 1 eingeschaltet.

Sobald danach die Sonne kräftig genug ist, um mit ihren Strahlen das solarthermische Modul aufzuheizen, ist unter diesen Umständen das Wasser im Warmwasserspeicher bereits ausreichend warm (bzw. heiß), da es gleich nach dem abendlichen oder morgendlichen Baden oder Duschen vom Öl- oder Gasheizkessel aufgewärmt wurde.

Die Preisfrage lautet dann: Auf welche Weise kann man an solchen Tagen tagsüber das „bestehende“ warme Wasser sinnvoll verbrauchen, um der thermischen Solaranlage die Chance zu geben, dass sie auch ihren Beitrag zum Aufwärmen des Wassers leistet?

Hypothetisch ließe sich zwar in dieser Hinsicht die Anwendung von warmem Wasser etwas „umorganisieren“. Um die solarthermische Anlage optimal nutzen zu können, müsste man beispielsweise an sonnigen Tagen den Verbrauch von warmem Wasser schwerpunktmäßig nur auf den Vormittag oder frühen Nachmittag verschieben. Damit bekäme zumindest an sonnigen Tagen die Sonne noch genügend Zeit, ihren Beitrag zum Aufwärmen des Wassers zu leisten. Das wäre allerdings ein ziemlich brutaler Eingriff in die Lebensgewohnheiten, die sich dann der Solartechnik unterordnen müssten. Dies wäre kaum im Sinne eines Menschen, der durch die Nutzung der Solarenergie der Natur näher kommen möchte. Hier wäre genau das Gegenteil erreicht: Der Mensch müsste sich von der Technik und ihren Macken manipulieren lassen.

Alle diese Überlegungen weisen objektiv auf die Schwachstellen hin, die jeder einzelne „Interessent“ nüchtern bis zum Ende durchdenken und mit allen beteiligten Familienmitgliedern auch gut überdenken und in die Planungsüberlegungen einbeziehen sollte.

Leider handelt es sich bei solchen solarthermischen Anlagen um eine schwer nachvollziehbare Solarenergie-Verwertung, da es keine zuverlässigen, universal anwendbaren Daten gibt, die genau auf die individuelle Situation einer Familie zutreffen könnten. Die Benutzer einer solchen Anlage haben auch im Nachhinein kaum eine technisch fundierte Übersicht über die genauere Größenordnung der Leistung, die die solarthermischen Kollektoren zum Energieverbrauch tatsächlich beisteuern (was als ein großes Glück für viele Errichter oder Befürworter dieser Systeme bezeichnet werden

3.1 Tipps zur richtigen Planung

dürfte, denn sie können dann der Dichtung Vorrang vor der Wahrheit geben).

Wesentlich einfacher ist es mit der Bewertung einer solarthermischen Anlage nur dann, wenn diese völlig selbstständig und unabhängig von anderen Energiequellen arbeitet – oder wenn sich die zusätzlichen Energiequellen nicht automatisch, sondern ausschließlich manuell einschalten lassen. Dafür kommen eigentlich nur Anlagen in Frage, die *nicht* mit einem Zentralheizungs-Heizkessel verbunden sind, sowie Schwimmbäder, Warmwasserbereitung im Ferienhaus usw.

Moderne Sonnenkollektoren sind inzwischen derartig ausgetüftelt, dass bereits relativ wenig Sonnenwärme ausreicht, um das „Wärmeträgermedium“ aufwärmen zu können. Dennoch kann dieses System verständlicherweise keinen kontinuierlichen Wärmeschub aufrecht erhalten. Nachts, früh am Morgen, am Abend oder während sonnenarmer Tage – an denen es besonders im Winter nicht mangelt – muss also der Öl- oder Gasheizkessel bedarfsbezogen einspringen.

Wie bereits angesprochen wurde, ist für die Arbeitsteilung zwischen dem Heizkessel und der solarthermischen Dachanlage eine elektronische Steuerung zuständig, die als Umwälzpumpen-Steuerung fungiert. Sie schaltet dann u. a. die Umwälzpumpe des solarthermischen Systems ab, sobald die Temperatur des „Wärmeträger-Mediums“ in den Dachkollektoren niedriger wird als die Temperatur des Wassers im Warmwasserbehälter (andernfalls würde das warme Wasser nicht aufgewärmt, sondern gekühlt).

Als „Wärmeträgermedium“ kann unter Umständen nur ganz normales Wasser benutzt werden. Bei Sonnenkollektoren, die üblicherweise das ganze Jahr in Betrieb bleiben, wird jedoch eine frostsichere Flüssigkeit benötigt. Im einfachsten Fall kann es sich bloß um Wasser mit etwas Frostschutzmittel handeln, das auch im Kühlsystem unserer Autos verwendet wird. Manche Hersteller präferieren andere Flüssigkeiten oder primär sogar Gase, die sich im Vergleich zum Wasser etwas schneller aufwärmen (sie heizen erst sekundär eine Wärmeleitfähigkeit auf). So wird ein höherer Wirkungsgrad erreicht.

Wir haben darauf hingewiesen, dass Sonnenkollektoren auch direkt das Schwimmbadwasser aufwärmen können, wenn eine Umlaufpumpe die benötigte Zirkulation besorgt. Zu diesem Zweck gibt es u. a. spezielle dehnbare Kunststoffkollektoren und Kunststoffleitungen, in denen auch normales Wasser einfrieren darf, ohne dass es Beschädigungen zur Folge hat.

Es gibt auch Sonnenkollektoren, in denen direkt nur Luft aufgeheizt wird, die dann ins Haus als „Warmluftheizung“ hineingeblasen wird oder die nach Bedarf irgendetwas aufwärmt, entfeuchtet, lüftet usw. Andere Kollektoren arbeiten z. B. auch mit Methanol, das unter Vakuum in Glasrohre gefüllt wird. Es verdampft mit Hilfe von zusätzlichen wärmeleitenden, metallischen Absorbern schon ab 25 °C und wärmt auf eine etwas aufwendige Weise über einen Alu-Wärmeblock das Wasser im Speicher oder im Schwimmbad auf.

Thermische Solarsysteme erreichen theoretisch einen wesentlich höheren Wirkungsgrad als photovoltaische Systeme. Demgegenüber geben sie sich – im Vergleich zu

3.1 Tipps zur richtigen Planung

den fotovoltaischen Solarzellen – nicht nur mit dem Licht als solchem zufrieden, sondern benötigen in der Regel auch eine gewisse „Portion“ an echter Sonnenwärme. Das reduziert wiederum ihren Jahres-Wirkungsgrad.

Der Selbstbau von solarthermischen Anlagen hat sich vor allem in einigen Teilen Österreichs zu einer Art „Sportdisziplin“ entwickelt, die auch gut organisiert und betreut wird. Einem Einsteiger fehlt es dann weder an praktischen Ratschlägen noch an Bezugsquellen für speziellere Bauteile, Vorrichtungen oder Hilfsmitteln, die das Arbeiten am Dach erleichtern und absichern.

In Deutschland und in der Schweiz gibt es eine vergleichbar organisierte oder von Vereinen betreute Selbstbau-Initiative nicht. Ein Einsteiger muss sich ziemlich schwer durch die Problematik durchbeißen und oft eine Kompromisslösung finden, bei der er zum Beispiel einen Teil der erforderlichen Arbeiten selber ausführt und den Rest erfahrenen Handwerkern überlässt, die sich für so eine Zusammenarbeit kooperativ zeigen.

„Da haben wir den Salat“, würden Sie sich vielleicht jetzt denken. Und Sie haben Recht! Die moderne Technik kann uns das Leben sehr erleichtern – was sie auch tatsächlich tut, insofern sie nicht von Stümpfern entwickelt ist, was leider auch viel zu oft vorkommt. Es wäre aber ein falscher Weg, wenn man sich freiwillig sein Haus mit Vorrichtungen ausstattet, die das Leben komplizieren oder die die Bewohner auf irgendeine Weise manipulieren und somit versklaven.

Die Technik sollte uns so dienen, wie es uns passt. Und wenn ihr das nicht gelingt – oder *noch nicht* gelin-

gen kann, lässt man besser die Finger davon. Ganz gewiss von einer solarthermischen Anlage, die bei etwas Glück jährlich um die 150 bis 200 Euro an Öl- oder Gaskosten einsparen kann.

Somit dürfte eine solche Investition nüchtern nur mit der Investition in ein Hobby verglichen werden: Nur der Spaß an der Sache könnte hier ausschlaggebend sein, denn was Spaß macht, hat in unserem Leben sicherlich eine Berechtigung, die nicht verteidigt zu werden braucht – solange sie anderen Menschen keinen Schaden zufügt.

Diese Überlegungen beziehen sich jedoch vor allem auf aufwendigere solarthermische Anlagen, die speziell für das Aufwärmen von Trinkwasser vorgesehen sind. Als wesentlich „selbstbau- und anwendungsfreundlicher“ dürfte dagegen eine solarthermische Anlage in Betracht gezogen werden, die zum Aufwärmen des Wassers in einem kleinen Garten-Pool oder Planschbecken dient. Sie kann vor allem dort sehr einfach im Selbstbau angelegt werden, wo ein Garagen-Flachdach oder ein anderes niedrigeres Dach zur Verfügung steht, denn wer nicht gerade in einem Zirkus groß geworden ist, der wird sich mit der Arbeit an einem höheren Dach nicht unbedingt anfreunden können.

Für Selbstbau-Projekte dieser Art können beliebige handelsübliche solarthermische Kollektoren bzw. Dachkollektoren verwendet werden, die zu diesem Zweck auch als Bausätze erhältlich sind

5 Aufstellung und Montage der Solarzellenmodule

5 Aufstellung und Montage der Solarzellenmodule

Für eine optimale energetische Ausbeute der Solarzellen ist es erforderlich, dass die Solarzellenfläche möglichst genau gegen Süden ausgerichtet ist und dass auch der „Neigungswinkel“ (bzw. die Dachneigung) zwischen ca. 25° und 45° liegt. Zwischen dem theoretischen Optimum und einer praktischen Montage gibt es fast immer Unterschiede, die eine Kompromisslösung erfordern.

Es bleibt eine reine Ermessensfrage, wie und wo solarelektrische Module oder solarthermische Kollektoren aufgestellt bzw. angebracht werden und welche Aspekte dabei Priorität verdienen. In den folgenden Kapiteln werden wir verschiedene Möglichkeiten der Installation beschreiben, die sich an praktischen Erfahrungen orientieren.



Abb. 5.1 – Eine Dachfläche, die kompassgenau gegen den Süden ausgerichtet ist und einen Neigungswinkel von etwa 30° bis 40° hat, eignet sich für das Anbringen von Solarmodulen optimal (Foto Siemens)

5.1 Optimale Ausrichtung der Module

Bei fest montierten Solarzellenflächen, die weder über eine Nachführung noch über eine Neigungswinkel-Verstellung verfügen, wird die optimale Positionierung durch zwei Achsen bestimmt. Die eine Achse ist identisch mit der kompassgenauen Ausrichtung zum Süden, die andere Achse bezieht sich auf den optimalen Neigungswinkel.

Eine kompassgenaue Ausrichtung nach Süden dürfte bei den normalen Anwendungen als ein Optimum gelten, von dem nur gewzungenermaßen abgewichen werden sollte. Derartige Abweichungen werden sicherlich bei den meisten der zum Süden gerichteten Hausdächern vorkommen, die kaum kompassgenau in der Nord/Süd-Achse unserer Mutter Erde aufgestellt wurden bzw. werden.

Da in den letzten Jahren Mitteleuropa mit wachsender Vorliebe von gewalttätigen Stürmen heimgesucht wurde, sollte man bei der Planung der Solarflächen sturmgefährdete Konstruktionen lieber vermeiden. Eine Solarfläche, die sich an das Dach anschmiegt, ist verständlicherweise weniger sturmgefährdet als eine Solarfläche, die wie das Segel eines Segelschiffes dem Sturm aus-

gesetzt ist. Ein Tornado oder eine kräftige Windhose kann allerdings auch das ganze Dach, samt der im Dach perfekt integrierten Solarmodule, wegtragen.

Was den eigentlichen Neigungswinkel der Solarzellenmodule am Dach eines Wohnhauses anbelangt, wird er in der Regel an die bestehende Dachneigung angepasst. Ausnahmen bilden hier nur Häuser bzw. andere Objekte mit Flachdächern. Hier werden Solarzellen-

module oft an zusätzliche Konstruktionen (*Abb. 5.6*) montiert, um einen günstigen Neigungswinkel zu erhalten.

Bei einer vom Hausdach unabhängigen Aufstellung der Solarzellen orientiert sich der Neigungswinkel an den jahreszeitbezogenen Prioritäten. Ist es erforderlich, dass eine „Solarzellenfläche“ bevorzugt auch während der Wintermonate (nach Möglichkeit) Strom liefert, wäre hypothetisch ein großer Nei-



Abb. 5.2 – Die geometrische Einteilung der Solarmodule am Dach bleibt dem Hausbesitzer überlassen und unterliegt normalerweise keiner behördlichen Anordnung (Foto Siemens)

5.1 Optimale Ausrichtung der Module



Abb. 5.3 – Bei landwirtschaftlichen Objekten werden Solarzellen für Stromerzeugung an Standorten verwendet, die über keinen Netzanschluss verfügen (Foto FÜW)

gungswinkel (von z. B. bis zu 70°) zu empfehlen – vorausgesetzt die baulichen Gegebenheiten erlauben es.

Eine solche Lösung dürfte unter Umständen bei Objekten angestrebt werden, die über keinen Netzanschluss verfügen und die auch während der Wintermonate elektrischen Strom benötigen – wie z. B. Ferienhäuser oder Berghütten. Liegt bei einer *netzunabhängigen* Fotovoltaik-Anlage der Schwerpunkt des Energieverbrauchs bei anderen Jahres-Zeitspannen, sollte der Neigungswinkel die jeweilige Sonnenbahn berücksichtigen.

Bei *netzgekoppelten* photovoltaischen Anlagen wird dagegen eine maximale Jahresausbeute ange-

strebt. Die höchsten Energiegewinne sind dabei während der wärmsten Sommermonate erzielbar und daher sollte auch der Neigungswinkel der Solarzellenfläche zwischen ca. 30° und 45° betragen.

In der Praxis wird man oft mit der Frage konfrontiert, inwieweit die vom bestehenden Hausdach „diktierte“ Ausrichtung der Solarzellen von dem theoretischen Optimum abweichen darf.

Das hängt maßgeblich von der Art der Entspiegelung der eigentlichen Solarzellen wie auch von der



Abb. 5.4 – Solarthermische Dachmodule (oben Mitte) unterscheiden sich nur wenig von solarelektischen Modulen und können auf dieselbe Weise auf Dächer montiert werden (Foto Schüco)

5.1 Optimale Ausrichtung der Module

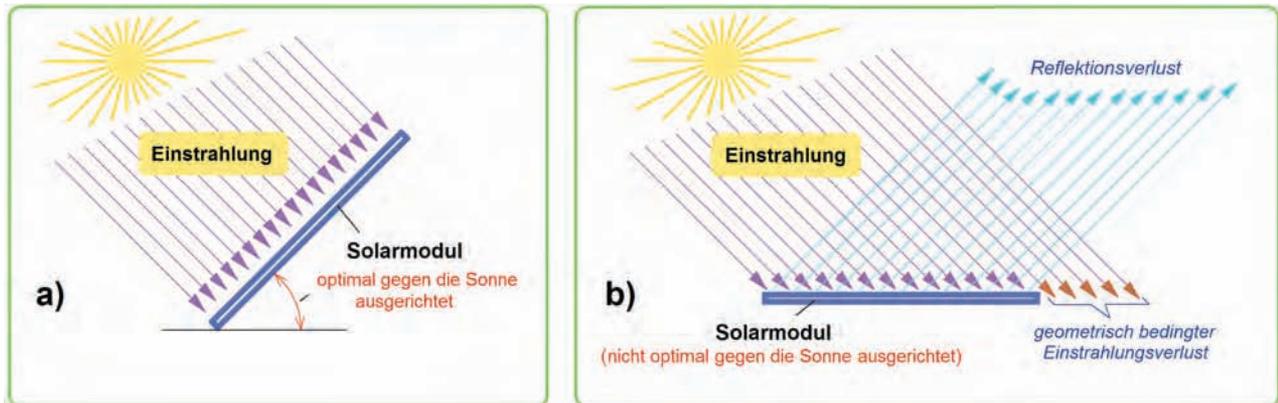


Abb. 5.5 – Je genauer die Solarzellen-Fläche gegen die Sonne ausgerichtet ist, um so geringer ist der Einstrahlungs- und Reflektionsverlust



Abb. 5.6 – Ausführungsbeispiel einer Solaranlage, bei der die Solarmodule an einer speziellen Stahlkonstruktion montiert sind, und die im Sinne einer optimalen ganzjährigen Energieausbeute gegen die sommerliche Laufbahn der Sonne ausgerichtet sind

5.1 Optimale Ausrichtung der Module

evtl. Entspiegelung der Modul-Schutzscheibe ab. In der Praxis darf davon ausgegangen werden, dass eine Abweichung von ca. 10° bis 15° von der kompassgenauen südlichen Position nur einen geringen Einfluss auf die energetische Ausbeute hat. Dasselbe gilt auch für die Abweichung vom optimalen Neigungswinkel.

Bei größeren Unterschieden ist der Leistungsrückgang zwar etwas größer, aber er setzt sich stärker vor



Abb. 5.7 – Kleinere Solarzellen-Flächen können vor der endgültigen Montage aufs Dach auch nur auf ein provisorisches Holz- oder Metallgestell freistehend montiert werden, um den Einfluss von der Ausrichtung (gegen die Sonne bzw. gegen den Süden) und von dem Neigungswinkel auf den Energiegewinn zu testen

allem während der kühleren Jahreszeit durch (da liegt die Bahn der Sonne niedriger). Zudem hängt die Richtungsempfindlichkeit auch von der typenbezogenen Entspiegelung der Solarzellen bzw. Solarmodule ab.

Da jedoch während der Wintermonate die energetische Ausbeute ohnehin wesentlich schwächer zu der gesamten Jahresausbeute einer netzgekoppelten Anlage beiträgt, halten sich die Leistungsverluste in Grenzen. Dennoch dürfte eine maximale Abweichung von ca. 15 % von der Nord-/Süd-Achse als ein „gerade noch akzeptables“ Maximum für eine fotovoltaische Anlage betrachtet werden. Das ist jedoch eine Frage des individuellen Ermessens.

Genau genommen hängt von der Art der Modulen-Entspiegelung ab, inwieweit noch schräg einfallende Lichtstrahlen aufgefangen und in elektrische Energie umgewandelt werden können. Leider handelt es sich bei der Richtungsempfindlichkeit um eine Eigenschaft, die in den technischen Daten handelsüblicher Module (vorläufig) nicht definiert wird. Andererseits gibt es in dieser Hinsicht ohnehin keine technischen Wunderwerke, die aus dem handelsüblichen „Standard“ hervorgehoben werden dürften. Dies auch aus dem Grund, dass eine jede „Modulen-Entspiegelung“ physikalisch bedingt auch einen gewissen Rückgang der solarelektrischen Empfindlichkeit bei optimalem Einfall der Photonen auf die Zellenfläche zufolge hat (siehe hierzu Kapitel 8).

7 Solarzellen – Grundbausteine der Fotovoltaik

Wer intensiver die Berichterstattungen über Solarzellen und Fotovoltaik verfolgt, könnte leicht den Eindruck gewinnen, dass es auf der Welt eine unübersehbare Vielfalt an Solarzellen gibt.

Es gehört zwar zu den wichtigsten Aufgaben der Medien, dass sie den Leser über die neuesten Entwicklungen oder Laborversuche auf dem Laufenden halten. Ein Außenstehender kann dabei aber nur schwer beurteilen, welche der Solarzellen für sein Vorhaben zum Zeitpunkt seiner Planung auf dem Markt auch zur Verfügung stehen bzw. kurzfristig erhältlich sein werden.



Abb. 7.1 – Ausführungsbeispiel einer *monokristallinen* Solarzelle (Abmessungen ca. 103 x 103 x 0,3 mm, Nennspannung ca. 0,46 bis 0,48 Volt, Nennstrom ca. 3,1 Ampere, Nennleistung ca. 1,43 bis 1,49 Watt); die Zellenoberfläche ist – je nach Lichteinfall – einheitlich bläulich-grau; die dekorativen Gittermuster bilden die Anschlüsse (Pole) der Zelle

7 Solarzellen – Grundbausteine der Fotovoltaik

Die Sachlage ist zum Glück sehr einfach: Die Auswahl an Solarzellen als Grundbausteine beschränkt sich immer noch auf kristalline und amorphe (Dünnschicht) Solarzellen.

Für die meisten langlebigen Anwendungen im Außenbereich kommen bevorzugt kristalline Silizium-Solarzellen in Frage.

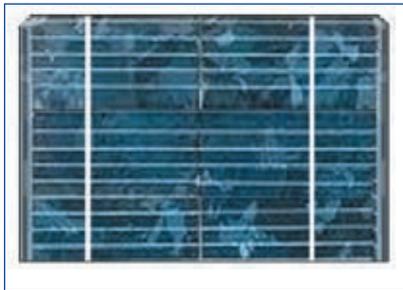
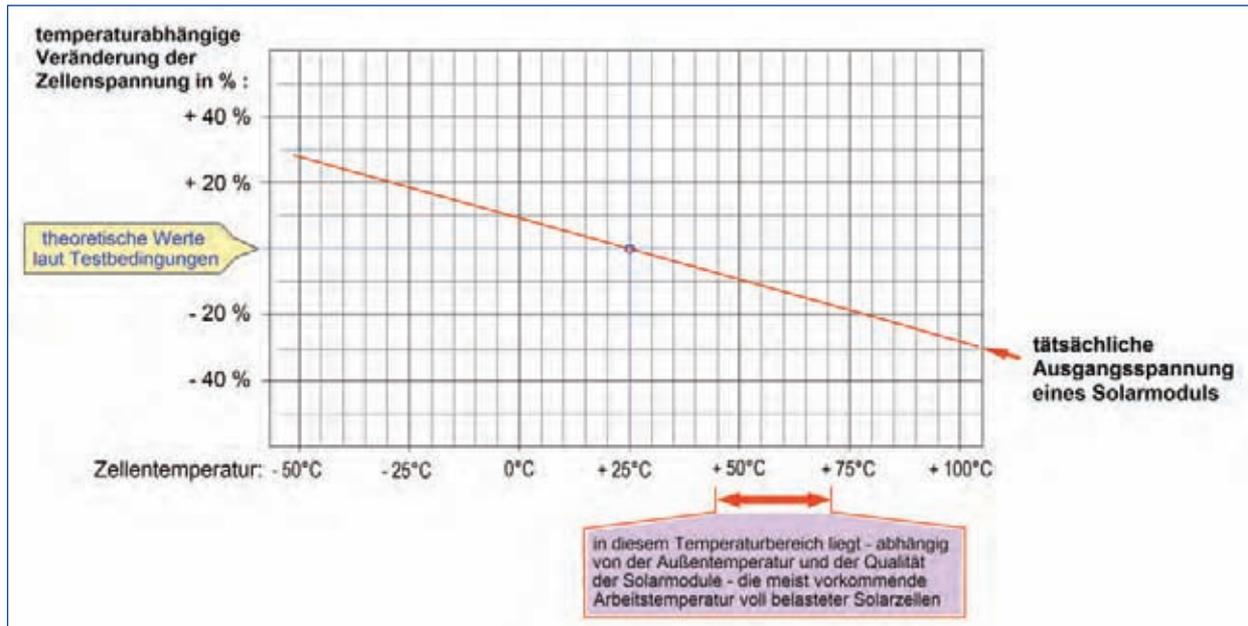


Abb. 7.2 – Ausführungsbeispiel einer *polykristallinen* (*multikristallinen*) Solarzelle: Die Abmessungen variieren bei diesen Zellen zwischen ca. 100 x 100 x 0,3 mm und etwa 150 x 150 x 0,4 mm. Ihre Nennspannung liegt zwischen ca. 0,45 und 0,48 Volt, ihre Nennleistung pro dm² Fläche bei etwa 1,2 bis 1,4 Watt. Die Zellenoberfläche weist eine marmorierte Eisblumenstruktur auf, die – je nach Lichteinfall – von blau bis zu silbrig glänzend variiert



Wenig bekannt, aber wichtig zu wissen: die Nennspannung, die in den technischen Daten der kristallinen Solarzellen und Solarzellen-Module angegeben wird, gilt – laut offiziellen Testbedingungen – nur für eine Innentemperatur der Zellen von + 20 °C. In der Praxis wärmt sich jedoch eine voll belastet Solarzelle stark auf, und ihre tatsächliche Ausgangsspannung – sowie auch ihre Ausgangsleistung - sinken mit steigender Betrieb- und Außentemperatur insbesondere an heißen Sommertagen ziemlich tief unter die vom Hersteller angegebenen Werte

7.1 Wie funktioniert eine Solarzelle?

Der Aufbau einer kristallinen Silizium-Solarzelle ist vom Prinzip her identisch mit dem Aufbau einer Siliziumdiode: Eine dünne *n-Schicht* (Negativschicht) und eine *p-Schicht* (Positivschicht) bilden nach *Abb. 7.3* zwei unterschiedlich dotierte Halbleiterteile, die bei Belichtung zu Potentialfeldern werden.

Die *n-Schicht* verhält sich dann ähnlich wie der Minuspol und die *p-Schicht* wie der Pluspol einer Batterie. Die Spannung und die Leistung der Zelle hängt von der Lichtintensität ab, der die obere Zellschicht ausgesetzt ist. Bei absoluter Dunkelheit weist die Solarzel-

le kein Potential auf und kann daher keine elektrische Energie liefern.

Theoretisch spielt es an sich keine Rolle, welche der Zellschichten als die obere „Sonnenseite“ präferiert wird. Auf jeden Fall muss aber die obere Schicht sehr dünn sein (ca. 0,02 mm), denn der funktionell wichtige n/p-Übergang darf nicht zu tief unter der vom Licht bestrahlten Oberfläche liegen.

Die „Sonnenseite“ der Zelle wird üblicherweise mit einer zusätzlichen Antireflex-Schicht versehen (z. B. mit Titandioxyd) um Reflektionsverluste zu vermeiden.

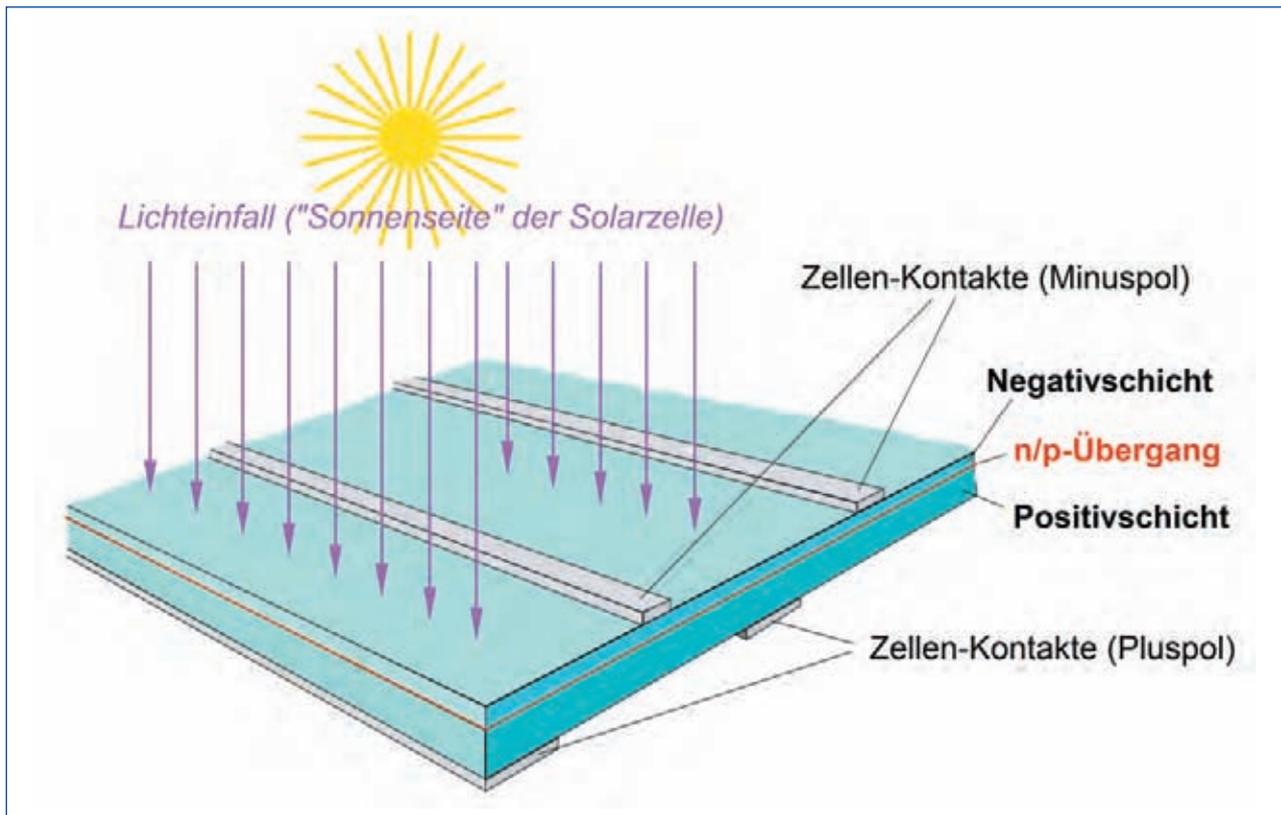


Abb. 7.3 – Der prinzipielle Aufbau einer kristallinen Solarzelle im Schnitt (stark vergrößert)

7.2 Welche Solarzellen sind gut?

Handelsübliche kristalline Solarzellen, die für Dachmodule geeignet sind, gibt es in zwei Ausführungsarten: **monokristalline** Zellen und **polykristalline** (multi-kristalline) **Zellen**.

Bei der Herstellung von **monokristallinen** Zellen werden monokristalline Blöcke „gezogen“ und mit etwa 0.5 mm dünnen Diamantsägen (oder Laserstrahlen) wie die

Wurst beim Metzger in dünne Scheiben zersägt. Dasselbe monokristalline Grundmaterial wird bereits traditionell in der Halbleitertechnik bei der Herstellung von Dioden, Transistoren und integrierten Schaltungen (Chips) verwendet.

Ausgangsmaterial ist hier Quarzsand oder auch natürliche Quarzkristalle. In einem Ofen wird aus dem Grundmaterial durch

Reduktion mit Kohle ein metallurgisch reines Silizium gewonnen. Dieses weist allerdings immer noch etwa 2 % Verunreinigungen auf, die noch durch ein weiteres aufwendiges Verarbeiten (Reduktion mit Salzsäure und Destillation) ausgeschieden werden müssen. Erst danach hat man ein hochreines Silizium zur Verfügung, das jedoch „noch“ *polykristallin* ist.

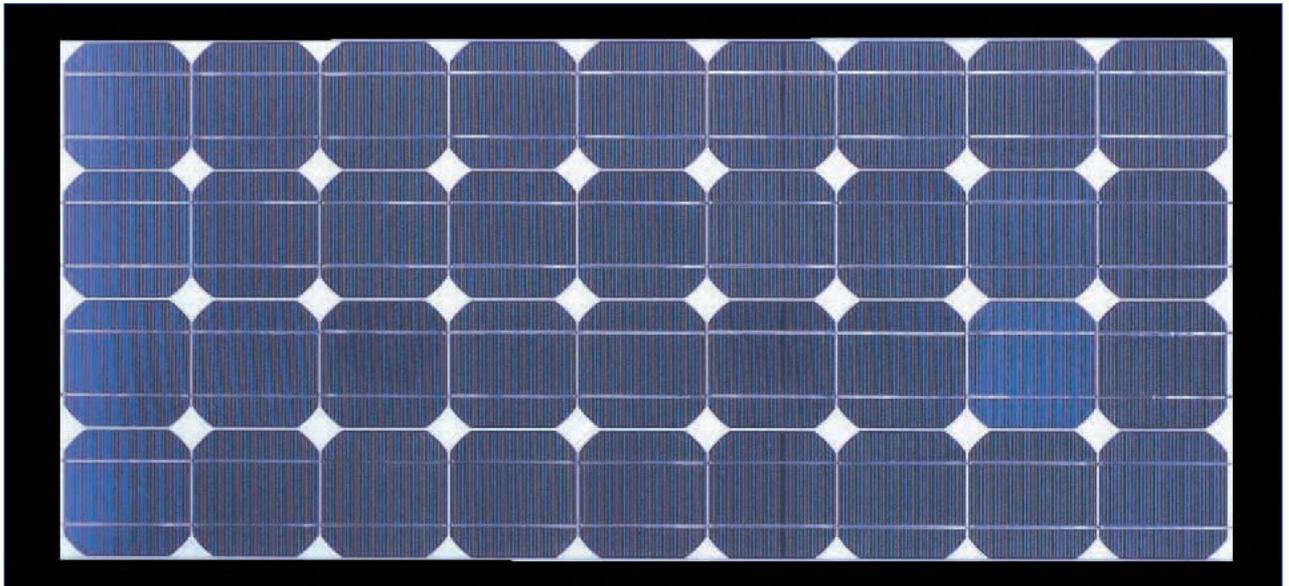


Abb. 7.4 – Module, die mit *monokristallinen* Solarzellen bestückt sind, weisen eine einheitliche bläulich-graue Oberflächenstruktur auf

7.2 Welche Solarzellen sind gut?

Dies bedeutet, dass hier sehr viele kleine ungeordnete Kristalle die eigentliche Substanz des Silizium-Materials bilden. Wenn man daraus eine monokristalline Struktur haben will, müssen diese polykristallinen „Barren“ in einem Tiegel nochmals eingeschmolzen werden und unter langsamem axialen Drehen wird aus dieser Schmelze ein *monokristalliner* „Balken“ gezogen. So ein Stab oder Balken besteht danach nur aus einem einzigen Kristall (daher die Bezeichnung *monokristallin*) und kann beispielsweise eine Länge bis zu 2 m haben.

Bei der Herstellung der **polykristallinen** Zellen (die manche Hersteller als „**multikristalline**“ bezeichnen) wird flüssiges Silizium

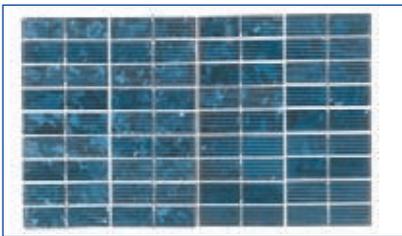


Abb. 7.5 – *Multikristalline* Solarzellen verleihen den Modulen eine eindrucksvoll marmorierte Eisblumen-Struktur, die – je nach Lichteinfall – von blau bis zu silbrig glänzend variiert

in Stahlformen gegossen. Es bildet nach der Erstarrung die typische marmorisierte Eisblumenstruktur. So entstehen auch hier Siliziumblöcke, die ebenfalls in dünne Scheiben geschnitten werden.

Amorphe Dünnschicht-Zellen, die sich – wie bereits an anderer Stelle erwähnt – nur evtl. für experimentelle Zwecke eignen, werden auf die Weise hergestellt, dass auf eine Glas-, Kunststoff- oder auf eine plastifizierte Stahlplatte eine nur wenige Tausendstel-Millimeter dünne Siliziumschicht aufgedampft wird.

In den letzten Jahren wurden die Herstellungsverfahren bei kristallinen Zellen weitgehend modernisiert und zum Teil vereinfacht.

So gibt es momentan hersteller- oder lieferantenbezogen so manche polykristalline Solarzellen, die es vom Wirkungsgrad her mit den monokristallinen Zellen aufnehmen können. Das muss nicht immer nur eine Frage des Herstellungsverfahrens, sondern auch einer kundenbezogenen Vorselektion sein.

Trotzdem weisen auch „vorselektierte“ Solarzellen gewisse parametrische Unterschiede auf. Bei etwas Glück halten sich die Parameter in Grenzen von 5 %, manche

Hersteller geben sogar 10 % an.

Oft hängt die sogenannte „Streuung der technischen Zellenparameter“ auch davon ab, ob der eine oder andere Hersteller die Möglichkeit hat, seine „minderwertigeren“ Zellen abseits des Standardangebotes abzustoßen.

Auch in teuren Solarmodulen befinden sich ab und zu einige schwächere Solarzellen, die sich auf den Modulen-Ausgangsstrom – und somit auf die Modulen-Ausgangsleistung – „drosselnd“ auswirken, wie bereits an anderer Stelle erläutert wurde. Solche Module müssten eigentlich mit der Bezeichnung „minderwertige B-Qualität“ verkauft werden, aber in der Praxis wird dies leider nicht so gehandhabt. Es bleibt einfach im Ermessen des Zwischenhändlers (oder Versandhauses), wie – und an wen – er solche minderwertige Module anbietet. Aus diesem Grund ist es von Vorteil, wenn man sich Solarmodule bevorzugt bei einem vertrauenswürdigen örtlichen Anbieter mit schriftlich spezifiziertem Vorbehalt kauft, diese gut prüft und bei Bedarf die ausselektierten Module als „mangelhafte Ware“ reklamiert und auf einem Umtausch besteht.

8 Berechnung des Jahresertrags

Bei solarthermischen Anlagen ist es mit einer brauchbaren vorhergehenden Berechnung des Jahresertrags sehr schwierig bzw. kaum möglich (siehe hierzu auch Kapitel 3.1). Dies vor allem bei Anlagen, die sich beim Aufwärmen des Wassers im Warmwasserbehälter ihre Aufgabe mit dem herkömmlichen Öl- oder Gasheizkessel teilen, wobei der jeweilige solarthermische Bei-

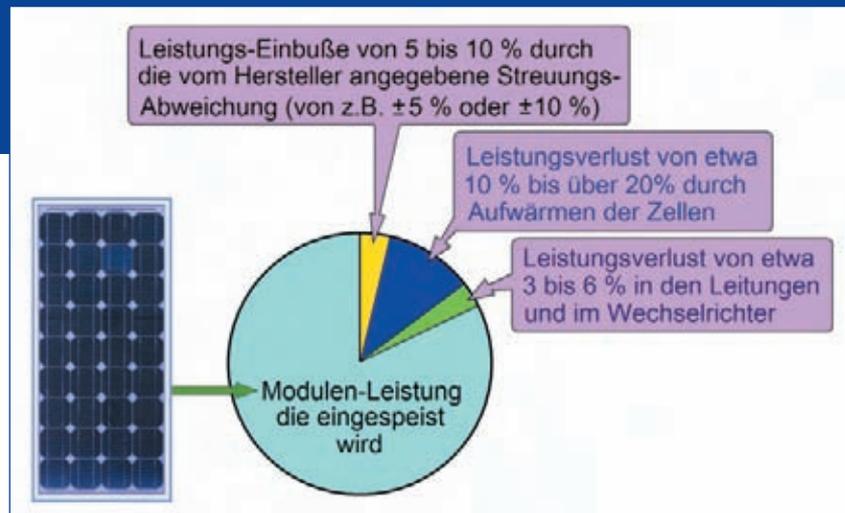


Abb. 8.1 – Die tatsächliche energetische Ausbeute eines Solarmoduls ist durch Verluste immer viel niedriger, als es den offiziellen technischen Daten entspricht

8 Berechnung des Jahresertrags

trag nicht eindeutig separat ermittelt werden kann.

Bei **solarelektrischen** Anlagen (Fotovoltaik-Anlagen) ist es mit der Berechnung der Jahresausbeute dagegen wesentlich einfacher. Schon deshalb, weil die Leistung des elektrischen Stroms (und somit auch des Solarstroms) messbar, nachvollziehbar und zudem auch eindeutig definierbar ist.

Wenn ein Solarzellen-Modul beispielsweise nach



Abb. 8.2 – Der tatsächliche maximale Nennstrom, den eine Zellenkette liefern kann, wird durch die schwächste Zelle bestimmt, die z. B. in einem Solarmodul durch die Herstellungsstreuung in der Zellenreihe den niedrigsten Strom aufbringt

Monat:	Tagesertrag pro 1 qm Solarmodulenfläche:	Ertrag pro Monat pro 1 qm Solarmodulenfläche:
Januar	126 Wattstunden	3 906 Wattstunden
Februar	240 Wattstunden	6 780 Wattstunden
März	360 Wattstunden	11 160 Wattstunden
April	510 Wattstunden	15 300 Wattstunden
Mai	575 Wattstunden	17 825 Wattstunden
Juni	775 Wattstunden	23 250 Wattstunden
Juli	763 Wattstunden	23 653 Wattstunden
August	588 Wattstunden	18 228 Wattstunden
September	498 Wattstunden	14 940 Wattstunden
Oktober	308 Wattstunden	9 548 Wattstunden
November	150 Wattstunden	4 500 Wattstunden
Dezember	105 Wattstunden	3 255 Wattstunden
Jahresertrag pro 1 qm Solarmodulenfläche: 152 345 Wattstunden (= 152,3 kWh)		

Tabelle 8.1 – Durchschnittlicher Energie-Ertrag der modernen kristallinen Solarmodule

Abb. 8.1 für eine bestimmte *Nennleistung* (Maximale Leistung) ausgelegt ist, darf man davon ausgehen, dass es bei einer optimalen Bestrahlung diese Leistung auch zumindest annähernd aufbringen wird. Laut Herstellerangaben darf allerdings die Modulen-Leistung im Rahmen von ca. $\pm 5\%$ (bei machen Herstellern bis zu $\pm 10\%$) von dem offiziellen Nennwert abweichen.

Eine Leistungsabweichung in die positive Richtung ist bei so einem Solarmodul im Prinzip kaum zu erwarten, denn dies würde voraussetzen, dass alle Solarzellen im Modul entsprechende „Plus-Abweichungen“ im individuellen Nennstrom aufweisen.

8 Berechnung des Jahresertrags

Mit anderen Worten: Eine einzige Solarzelle im Modul – bzw. in einer ganzen Modulkette – kann zwar den maximalen Ketten-Nennstrom „nach unten ziehen“, aber eine einzige hervorragende Solarzelle im Modul hat auf die „Ausgangs-Nennleistung“ keinen Einfluss. Sie verdirbt zwar nichts, aber bringt auch nichts, denn – wie bereits im Kapitel 4 erläutert wurde – ist aus dieser Sicht für die Qualität einer jeden Kette nur ihr schwächstes Glied bestimmend. Das kann bei einer Modulkette beispielsweise eine von 36 bis 60 Solarzellen pro Modul sein, bzw. eine von z. B. **550** Solarzellen in einer Dachmodul-Kette (die z. B. aus zehn Modulen besteht).

In der Praxis ist es nicht so einfach, die jeweilige Intensität der Sonneneinstrahlung zu messen und zu protokollieren. Es gibt zwar zu diesem Zweck etliches Spezialzubehör, das neben einem Außensensor für die laufende Messung der Sonnenstrahlungs-Intensität auch noch weitere Messgeräte und Software beinhaltet. Auch eine grafische Darstellung auf dem Bildschirm eines PCs oder Fernsehers ist bei manchen dieser Systeme möglich. Eine derartige Ausstattung ist jedoch kostspielig und nur für echte „Technik-Fans“ geeignet.

Abgesehen davon ist es bei derartigen Projekten wichtig, dass man

bereits im Planungsstadium alles optimal durchdenkt und so vorbereitet, wie es in den vorhergehenden Kapiteln empfohlen wurde. Fehlplanungen, die als solche erst bei einer bereits installierten Fotovoltaik-Anlage „entlarvt“ werden, lassen sich oft nur mit erheblichem Aufwand und Kosten beheben – falls man sich damit nicht einfach abfindet.

Wieviele Stunden in den nächsten Monaten und Jahren die Sonne ausreichend kräftig scheinen wird, ist nicht berechenbar. Im Prinzip könnte da eigentlich nur ein Wahrsager helfen. Eine relativ brauchbare Information können an Stelle eines Wahrsagers die sogenannten „Erfahrungswerte“ bieten, die in den vergangenen Jahren angesammelt wurden. Sie ergeben trotz allen Schwankungen ein brauchbares Bild über die Sonnenstrahlenspenden, die für die Prognosen des Jahresertrags als informative Richtwerte angewendet werden dürfen.

In den Prospekten diverser Anbieter von Fotovoltaik-Anlagen finden sich oft Informationen über die erzielbare Jahresausbeute der Solarenergie, die häufig „verkaufsfördernd“ geschönt sind und daher als Grundlage für seriöse Kalkulationen nur bedingt taugen.

Wir haben daher im Rahmen unserer internen Entwicklungs- und Forschungsarbeiten eigene objektive

Daten gesammelt und ausgewertet. Daraus ergibt sich eine relativ brauchbare Tabelle 8.1, die sich auf die erzielbare Tagesausbeute an den Solarmodulen *in der geografischen Mitte* der Bundesrepublik Deutschland bezieht und die zumindest annähernd als eine Indizien-Basis bei der Größenordnung für Planungsüberlegungen dienen kann.

Gebiets- und lagenbezogen werden allerdings solche Werte variieren und sie hängen zudem selbstverständlich auch davon ab, inwieweit sich so ein „statistisches“ Schema der „sonnenreichen“ Tage in den nächsten Jahren wiederholen wird. In südlicher liegenden Gebieten – darunter in Süddeutschland, in Österreich, in der Schweiz usw. – kann die Tagesausbeute um etwa 5 bis 10 % höher, in Norddeutschland dagegen um bis zu etwa 5 % tiefer liegen. Zumindest hypothetisch.

Die hier angegebene Tagesausbeute pro Quadratmeter Solarmodulfläche bezieht sich auf die Solarenergie, die von Solarmodulen mit einem **Wirkungsgrad ab ca. 13,5 bis 14 %** ausgangsseitig (an ihren Anschlussklemmen) geliefert wird.

Bei netzgekoppelten Anlagen verringert sich die Ausbeute um Verluste, die in dem Wechselrichter und in den Zuleitungen (darunter auch

8 Berechnung des Jahresertrags

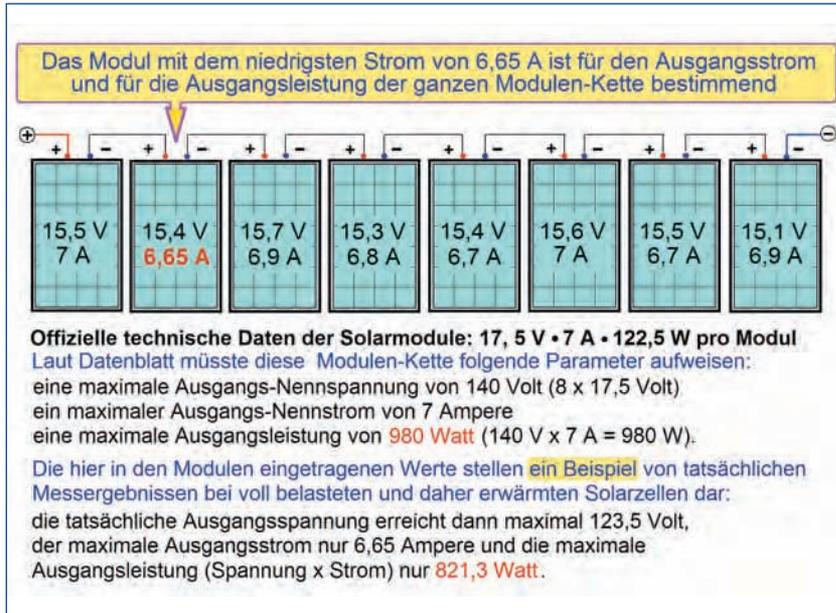


Abb. 8.3 – Die tatsächliche Ausgangs-Nennleistung einer Modulen-Kette weicht von der theoretischen Nennleistung meistens nur „nach unten“ ab, was durch eine einzige Solarzelle in einem der Module verursacht werden kann (denn eine einzige „schwache“ Zelle bestimmt den maximalen Solarstrom des Moduls – und somit der ganzen Modulen-Kette)

an evtl. Schutzdioden) entstehen. Diese Verluste betragen bei gut konzipierten Anlagen in der Praxis durchschnittlich etwa 3 bis 6 %.

Wenn wir nun einfachheitshalber bei den Planungsüberlegungen mit „Einspeisungs-Verlusten“ von 5 % rechnen, verringert sich die jährliche Summe der Solarleistung aus *Tabelle 8.1* auf ca. **144,7 kWh** (152,3 kWh minus 5 % = 144,7 kWh). Diese **144,7 kWh** könnten somit – allerdings nur hypothetisch – über den Wechselrichter ins

öffentliche Netz **pro Jahr pro Quadratmeter Solarmodulen-Fläche** geliefert (eingespeist und „durchverkauft“) werden. Vorausgesetzt, das Wetter spielt im Rahmen der „statistisch fundierten“ Erwartungen mit und der Standort der Fotovoltaik-Anlage liegt nahe der geografischen Mitte Deutschlands. Andernfalls dürften Korrekturen positiver oder negativer Art in Betracht gezogen werden.

Aus der *Tabelle 8.1* geht jedenfalls hervor, dass der Ertrags-

Schwerpunkt in den Monaten Mai bis August liegt. Dies hängt auch damit zusammen, dass diese Tage „lang“ sind – wie *Tabelle 8.2* zeigt.

Die Tatsache, dass die Sonne täglich aufgeht – und irgendwann auch täglich untergeht – ist zwar an sich beruhigend, sagt aber nichts darüber aus, an welchen Tagen der Himmel bewölkt oder „sonnenklar“ ist. Es gibt auch niemanden, der Ihnen sagen könnte, wie es mit dem Spenden der Sonne in den nächsten Tagen, Wochen oder Jahren aussehen wird. Einige Meteorologen sind der Ansicht, dass sich während der nächsten Jahre die warme Jahreszeit etwas ausdehnt, wodurch der Sommer länger andauern wird. Dadurch könnte sich auch der Ertrag einer Fotovoltaik-Anlage erhöhen.

Das sind aber alles nur Spekulationen. Sie können sich jedoch auch ganz individuell Ihre eigene Prognose der Ausbeute einer vorgesehenen Fotovoltaik-Anlage erstellen. Nähere Angaben über die Anzahl der Sonnentage bzw. Sonnenstunden, die es in den vergangenen Jahren in Ihrem Wohngebiet (bzw. in Ihrer Gegend) gegeben hat, erhalten Sie beim zuständigen Wetteramt.

In Hinsicht auf die Angaben in der *Tabelle 8.2* darf jedoch nicht automatisch angenommen wer-

8 Berechnung des Jahresertrags

Tag:	Sonnenaufgang – Sonnenuntergang:	Sonnenlichtdauer:
15. Januar	8,21 – 16,42 Uhr	8 Std. 21 Min.
14. Februar	7,38 – 17,35 Uhr	9 Std. 57 Min.
15. März	6,35 – 18,28 Uhr	11 Std. 53 Min.
15. April	5,28 – 19,18 Uhr	13 Std. 50 Min.
15. Mai	4,32 – 20,06 Uhr	15 Std. 34 Min.
15. Juni	4,05 – 20,40 Uhr	16 Std. 35 Min.
15. Juli	4,23 – 20,32 Uhr	16 Std. 9 Min.
15. August	5,07 – 19,45 Uhr	14 Std. 38 Min.
15. September	6,56 – 18,38 Uhr	11 Std. 42 Min.
15. Oktober	6,45 – 17,30 Uhr	10 Std. 45 Min.
15. November	7,40 – 16,33 Uhr	8 Std. 53 Min.
15. Dezember	8,20 – 16,14 Uhr	7 Std. 54 Min.

installierten Solarmodulen (die über keine verstellbare Ausrichtung zur Sonne verfügen) wird die erzeugte Solarleistung einige Stunden vor dem Sonnenuntergang wieder gleitend sinken.

Die Bahn der Sonne verläuft bekannterweise im Sommer einfach formuliert „hoch über unseren Köpfen“, im Winter umschreibt sie dagegen nur einen flachen und kurzen Bogen in südlicher Richtung. Dadurch ist auch die Strahlungsdichte der Photonen, mit

Tabelle 8.2 – Sonnenaufgang/Sonnenuntergang in der geografischen Mitte Deutschlands (Jahr 2003)

den, dass die Solarzellen an einem sonnigen Tag sofort nach Sonnenaufgang ihre volle Leistung aufbringen. Eine Zeitlang (etwa die erste Stunde) nach dem Sonnenaufgang werden alle „normalen“ Solar-Dachmodule nur von sehr schrägen Sonnenstrahlen bestrahlt, wodurch der Einfluss der *direkten* Sonnenbestrahlung fast bei Null liegt.

Durch das diffuse Licht (das in dem Fall ziemlich schnell an Kraft gewinnt) beginnen Solar-Dachmodule dennoch ziemlich schnell, eine „verwertbare Spannung“ zu liefern. Erst nur „alibiweise“, aber einige Stunden nach Sonnenaufgang zunehmend kräftiger. Bei fest

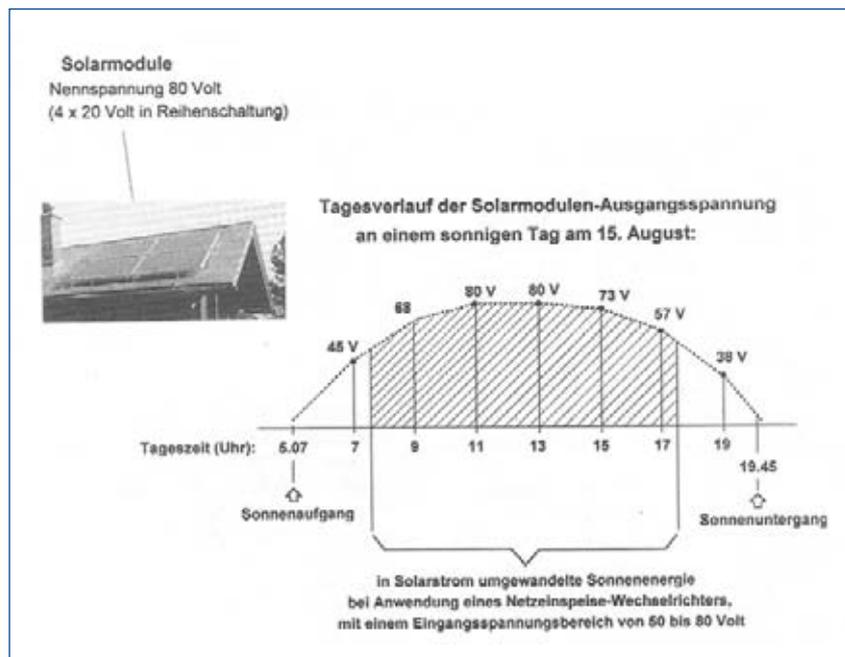


Abb. 8.4 – Die energetische Ausbeute einer Solaranlage hängt auch davon ab, wie gut die Solarmodulen-Nennspannung auf den Eingangsspannungsbereich des angewendeten Wechselrichters abgestimmt ist

8 Berechnung des Jahresertrags

denen die Sonne die Solarzellen „beschießt“, während der kälteren Jahreshälfte deutlich geringer als während der wärmeren Jahreshälfte. Es dauert dann im Winter wesentlich länger als im Sommer, bevor nach dem Sonnenaufgang die Solarzellen eine brauchbare elektrische Energie liefern können.

Logischerweise sinkt im Winter auch am Nachmittag die Solarspannung und Solarleistung bereits etliche Stunden vor Sonnenuntergang auf einen „nicht mehr verwertbaren“ Wert herab. Da sich z. B. im Spätherbst und im Winter wetterbedingt auch das diffuse Licht nicht so kräftig durchsetzen kann wie im Sommer, trägt es entsprechend weniger zu der gesamten Energieausbeute der Solarmodule bei.

Weil wir es bei diesem Anliegen mit vielen unkalkulierbaren Einflüssen und Launen der Natur zu tun haben, spielt ein sensibles Gefühl für die Natur bei allen Planungsüberlegungen eine sehr wichtige Rolle.

Wenn Sie sich vorerst nur sozusagen auf die Schnelle über die ganze Problematik informieren möchten, dürfte die Frage „was kostet mich so etwas und was bringt es mir?“ am besten folgendes einfaches Planungsbeispiel beantworten:

Klipp und klar

Der Teil der hier aufgeführten Daten und Hinweise zu den Berechnungen des Jahresertrages einer Fotovoltaik-Anlage, die auf der statistisch erfassten jährlichen Sonnenscheindauer beruhen, hat selbstverständlich nur einen wahrsagerischen Charakter. So lange unsere Meteorologen nicht einmal des Wetter zwei Tage vorher solide vorhersagen können, ergibt es wenig Sinn, wenn sie zu schätzen versuchen, wie viele sonnige Tage es in den nächsten zwanzig Jahren geben wird oder geben könnte. Das gilt auch für alle Tabellen mit den statistisch erfassten Sonnenscheinspenden, die Sie auch von den Banken und Umweltministerien kostenlos erhalten. Sie dürfen sich vorerst eigentlich nur darauf verlassen, dass sowohl die Fördermittel als auch die Einspeise-Vergütungen von der Regierung so ausgetüfelt wurden, das sich die Errichter von Fotovoltaik-Anlagen nicht eine goldene Nase verdienen können.

Wer das Glück hat, dass seine Anlage während ihres „Daseins“ nur wenig Wartung und wenige Ersatzteile benötigt, der wird vielleicht nach 18 oder 20 Jahren möglicherweise gerade noch genügend Geld übrig behalten, dass er für die ziemlich aufwendige Demontage und Entsorgung der Anlage, sowie auch für eine ordentliche Wiederherstellung des Hausdachs aufbringen muss. Vielleicht bleibt ihm auch noch etwas Geld für eine eventuelle Wiederherstellung seines von einem Baukran zerfahrenem Gartens übrig. Das dürfte in den meisten Fällen ungefähr auch schon alles sein, was von der finanziellen Ausbeute bei einer kleineren Dachanlage in Wirklichkeit zu erwarten ist.

Es geht allerdings bei solchen Vorhaben nicht immer nur um das Geld. Wenn Sie aber nicht Geld zu verschenken haben, ist es dennoch wichtig, dass Sie bei der Planung einer Fotovoltaik-Anlage einen gehobenen Wert auf die Wahl der optimalen Solarmodule und Wechselrichter legen und nach Möglichkeit dies **unbedingt** vor der Installation **testen und vorselektieren**. Ein anderer wird das für Sie kaum tun, denn für solche „Späßchen“ sind die meisten Installateure weder eingerichtet noch ausgebildet und montieren die Anlage einfach nur ähnlich zusammen, wie z. B. Deckenleuchten in einem Büro. Wenn sich dann bei der Inbetriebnahme die Fotovoltaik-Anlage nicht ausgesprochen tot stellt, reicht es den meisten Handwerkern aus, um das ganze „Kunstwerk“ dem Kunden als vollendet zu übergeben.

Bo Hanus

Solar-Dachanlagen selbst planen und installieren

Sie wollen Geld sparen und die notwendigen Installationsarbeiten selbst vornehmen?

Dann haben Sie mit diesem Buch die richtige Entscheidung getroffen.

Hier finden Sie alle wichtigen Tipps und Tricks zur Planung einer Solar-Dachanlage. Sie werden hersteller- und verkäuferneutral beraten.

Auch wenn Sie alles lieber einem Fachmann überlassen wollen, wird Ihnen das Buch viele Vorentscheidungen abnehmen.

Aus dem Inhalt

- Installieren Sie Ihre Solar-Dachanlage selbst
- Was können Sie alles selbst machen?
- Wie können Sie den Kosten-Nutzen-Faktor verbessern?
- Solarmodule und Wechselrichter richtig auswählen
- Welche und wie viele Solarmodule brauchen Sie?

Zum Autor

Bo Hanus zählt zu den erfahrensten Autoren von „Do-it-yourself“-Büchern. Mit seinen über 40 Ratgebern zu den verschiedensten Themen hat er wohl manchem aus der sprichwörtlichen Patsche geholfen.

Das Buch beschreibt Schritt für Schritt die Vorgehensweise bei der Planung und Installation Ihrer Solar-Dachanlage.

Anhand vieler konkreter Installationsbeispiele erfahren Sie, welche Solaranlage für Ihre Gegebenheiten am besten ist und wie Sie ein hohes Kosten-Nutzen-Verhältnis erzielen.

Wenn Sie eine Solar-Dachanlage nicht selbst montieren und sich nur über die bestehenden Möglichkeiten informieren wollen, hilft Ihnen eine zielgerechte Planung und Kostenberechnung, Fehler zu vermeiden und Geld zu sparen.

Nach dem Studium dieses Buches können Sie sehr gut zwischen Werbeprospekt und Wahrheit unterscheiden und tappen nicht in jede Falle.

Leicht gemacht, Geld und Ärger gespart!

Besuchen Sie uns im Internet: www.franzis.de

ISBN 978-3-7723-4146-5



9 783772 341465

EUR 14,95 [D]