

Frank Konrad

Planung von Photovoltaik-Anlagen

Haustechnik

von Thomas Laasch

Energieausweis – Das große Kompendium

von Andreas Weglage | Thomas Gramlich | Bernd Pauls | Stefan Pauls | Ralf Schmelich | Iris Pawliczek

Vieweg Handbuch Bauphysik Teil 1

von Wolfgang M. Willems | Kai Schild | Simone Dinter

Vieweg Handbuch Bauphysik Teil 2

von Wolfgang M. Willems | Kai Schild | Simone Dinter

Planung von Photovoltaik-Anlagen

von Frank Konrad

Bausanierung

von Michael Stahr (Hrsg.)

Bauentwurfslehre

von Ernst Neufert

Estriche

von Harry Timm

Sichtbeton-Planung

von Joachim Schulz

Sichtbeton-Mängel

von Joachim Schulz

Architektur der Bauschäden

von Joachim Schulz

Frank Konrad

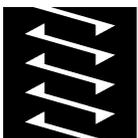
Planung von Photovoltaik-Anlagen

Grundlagen und Projektierung

2., erweiterte und aktualisierte Auflage

Mit 59 Abbildungen und 16 Tabellen

PRAXIS



VIEWEG+
TEUBNER

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

1. Auflage 2007
- 2., erweiterte und aktualisierte Auflage 2008

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008

Lektorat: Karina Danulat | Sabine Koch

Technische Redaktion: Annette Prenzer

Vieweg+Teubner ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.viewegteubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Wilhelm & Adam, Heusenstamm

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0586-7

Vorwort zur 2. Auflage

Erneuerbare Energien gewinnen, erneut angeschürt durch die permanente Erhöhung der Energiepreise, immer größere Bedeutung. Explizit die Photovoltaik bietet eine gute Strategie einen Grundbeitrag zum Energiemix der erneuerbaren Energien beizutragen. Durch neue technische Möglichkeiten und die Weiterentwicklung bestehender Systeme wird der spezielle Einsatz in der Gebäudehülle baukonstruktiv vereinfacht. Vor allem eine große Anzahl von ästhetischen Lösungen können in Gebäudeentwürfen verwirklicht werden. Photovoltaik wird flexibel. Ein immer wichtiger werdender Markt der Zukunft.

Holzheim, Juni 2008

Frank Konrad

Vorwort zur 1. Auflage

Der Schock der Ölkrise hat 1974 eine Entwicklung in Gang gesetzt, an deren Ende wir noch lange nicht angekommen sind.

Angesichts globaler Klimaänderungen im Zusammenhang mit der Verbrennung fossiler Brennstoffe bieten erneuerbare Energieträger eine interessante Perspektive der umweltschonenden Energieversorgung. Dazu zählt auch die Photovoltaik, welche die Möglichkeit der direkten Wandlung von Sonnenstrahlung in Strom bietet.

Die Notwendigkeit der Einsparung fossiler Energien führte in der Bundesrepublik zu einer Reihe zunehmend strengerer Wärmeschutzverordnungen (1976, 1980, 1995, 2001).

2001 trat als zentrales Element der Energie- und Klimaschutzpolitik die Energieeinsparverordnung (EnEV) in Kraft. Der Niedrigenergiestandard, der sich in den letzten Jahren bereits auf freiwilliger Basis etabliert hatte, wurde dadurch planerische Notwendigkeit. Der zulässige Heizenergiebedarf wurde gegenüber der WSV von 1995 um weitere 30 % gesenkt. Darüber hinaus wurde erstmals der gesamtenergetische Aspekt eines Gebäudes beurteilt. Zur Erleichterung des Vergleichs und der Bewertung von Immobilien erhielt seitdem jedes neue Gebäude einen „Energiebedarfsausweis“. 2008 wird nunmehr der lang umstrittene „Energiepass“ eingeführt. Erneuerbare Energien werden, besonderst unter dem Gesichtspunkt der steigenden Energiekosten, immer bedeutsamer in der Architektur.

Solarenergie in der Architektur

Solarenergie in der Architektur – eine Modeerscheinung? Oder eine Notwendigkeit? Eine Infrastrukturmaßnahme wie Abwasserrohre und Parkplätze? Obligatorisch oder obsolet? Stil bildend oder Stil vernichtend? Wirklich wichtig oder eine Nebensache?

"Solar Architecture is not about fashion - it is about survival"

Lord Norman Foster

Eine anspruchsvolle Gestaltung und Formgebung für diese neue solare Anforderung an die Gebäudehüllflächen ist eine wichtige Aufgabe für Architekten. Wenn die vorhandenen Solarenergiepotenziale an den Gebäudehüllen genutzt werden, wird sich auch das Gesamtbild unserer Städte verändern. Wir stehen am Beginn eines solaren Zeitalters, das von Architekten und Designern mit gestaltet wird.

Bereits im März 1996 wurde von führenden Architekten die *"Europäische Charta für Solarenergie in Architektur und Stadtplanung"* verfasst. Zu den Erstunterzeichnern gehörten:

- Ralph Erskine, Stockholm S
- Lord Norman Foster, London GB
- Nicholas Grimshaw, London GB
- Thomas Herzog, München D
- Françoise Jourda, Lyon F
- Frei Otto, Leonberg D
- Gustav Peichl, Wien A
- Renzo Piano, Genua I
- Sir Richard Rogers, London GB
- Otto Steidle, München D

Diese fordern:

"(...) Das Ziel künftiger Arbeit muss deshalb sein, Stadträume und Gebäude so zu gestalten, dass sowohl Ressourcen geschont, als auch erneuerbare Energien - speziell Solarenergie - möglichst umfassend genutzt werden, wodurch die Fortsetzung der genannten Fehlentwicklungen vermieden werden kann.

Zur Durchsetzung dieser Forderungen sind die derzeit bestehenden Ausbildungsgänge, Energieversorgungssysteme, Finanzierungs- und Verteilungsmodelle, Normen und Gesetze den neuen Zielsetzungen anzupassen. (...)"

Somit gehören solare Konzepte wie Wärmegewinnung durch Einstrahlung, Solarthermische Anlagen, kontrollierte Belüftung, Erdwärmepumpen, Photovoltaik oder aber auch der Einsatz von Biomasse zum zukünftigen Planungsbereich der Architekten.

Dank

Das vorliegende Werk entstand auszugsweise im Rahmen meines Architekturstudiums an der Fachhochschule Wiesbaden. Hiermit möchte ich mich nochmals bei dem Dekan, Herrn Prof. Dipl.-Ing. Alfram R. Edler von Hoessle bedanken, der mir diese Studienarbeit ermöglichte.

Ein besonderer Dank gilt meiner Frau Melanie Konrad, die sich immer aktiv für mich einsetzte und mich in jeder Situation im großen Umfang voll unterstützte. Danke für das Verständnis und die Hilfe.

Des Weiteren möchte ich mich bei all den Firmen, die mich bei der Entstehung dieses Buches unterstützt haben für die gute Zusammenarbeit bedanken. Besonderer Dank gilt der Shell Solar GmbH und der Sunways AG.

Inhalt

Vorwort	V
Inhalt	VII
1 Grundlagen	1
1.1 Sonnenstrahlung	4
1.1.1 Standort/Ausrichtung	7
1.1.2 Verschattung	8
1.2 Generator/Module	10
1.2.1 Standard- oder Sonderlösungen	13
1.2.2 Kühlung und Hinterlüftung	17
1.2.3 Belastbarkeit und Begehbarkeit	17
1.3 Wechselrichter	17
1.3.1 Installation (Wechselrichter)	18
1.3.2 Kabelführung	19
2 Förderungen/Genehmigungen	21
2.1 Genehmigungen	21
2.2 Förderungen	21
2.2.1 Einspeisevergütung	21
2.2.2 Kreditfinanzierung	24
2.3 Steuern/Abschreibung	29
2.4 Energie-Einspeise-Gesetz (EEG) 2005	31
3 Investition	33
3.1 Anschaffung	33
3.2 Nutzung von Synergien	34
3.3 Betriebskosten	34
3.3.1 Wartung	35
3.3.2 Versicherung	36

4 Bauliche Anforderungen	39
4.1 Entwürfe zur Nutzung der Globalstrahlung	39
4.1.1 Integrierte Photovoltaik für Membran-Architektur	46
4.2 Installation	54
4.2.1 Flachdach	54
4.2.2 Fassade	59
4.2.3 Freiflächenanlagen	73
4.2.4 Nachgeführte Solar-Systeme	74
4.3 Blitzschutz	77
4.3.1 Brandschutz	78
4.3.2 Diebstahlschutz	79
4.3.3 Wärme- und Feuchteschutz	79
4.4 Anlagen-Dimensionierung	79
4.5 AVA	80
5 Wirtschaftlichkeit	93
5.1 Systemleistung	93
5.1.1 Wirkungsgrad	93
5.1.2 Nennleistung	94
5.1.3 Performance Ratio	94
5.2 Amortisationsberechnungen	95
5.3 Checkliste zur Errichtung einer Photovoltaikanlage	106
6 Schlussbetrachtung und Ausblick	107
7 Anhang	109
7.1 Musterverträge	109
7.1.1 Stromeinspeisungsvertrag	109
7.1.2 Wartungsvertrag	117
7.1.3 Nachunternehmervertrag	123
7.1.4 Projektsteuerervertrag	129
7.1.5 Dachflächennutzungsvertrag	141
Abkürzungsverzeichnis	147
Quellennachweis	149
Literaturverzeichnis	153
Verzeichnis der Begriffe und Definitionen	155
Sachwortverzeichnis	161

1 Grundlagen

Fossile Rohstoffe zur Energiegewinnung und Produktion sind sehr begrenzt. Die Menschheit sollte, auch im Hinblick auf unsere Nachkommen, behutsam damit umgehen, denn einmal abgebaute Ressourcen können nicht mehr ersetzt werden. Diese sind für immer verloren.

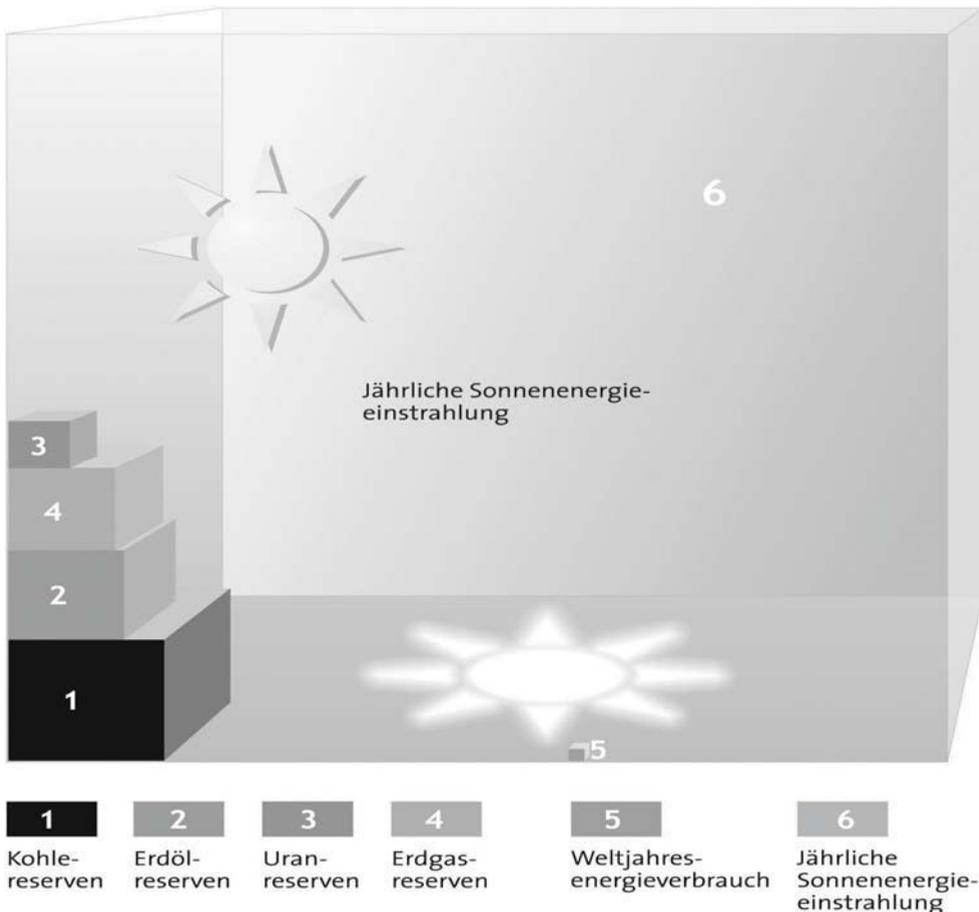


Abb. 1-1 Rohstoffressourcen

Ein riesiges Potential unbegrenzter Energie durch Solarstrahlung steht uns weltweit kostenlos zur Verfügung. Zu viele Entwicklungsgelder wurden damals in die Atomenergie investiert. Wie sich sehr schnell herausstellte, war dies eine Fehlentscheidung, da diese Art der Energiegewinnung mit sehr großen Problemen und Gefahren (Tschernobyl, Endlagerung, etc.) verbunden ist.

Neue High-Tech-Entwicklungen wie z. B. Solar- und Geothermiekraftwerke könnten in Zukunft den größten Teil an benötigter Energie erzeugen, nachhaltig und umweltschonend. Denn im Erdinneren ist ein 1000faches des benötigten Weltenergiebedarfs gespeichert.

Derzeit werden lediglich nur ca. 4 % des europäischen Energiebedarfs durch regenerative Energien erzeugt. Bis ins Jahr 2015 soll der Anteil laut EU bis auf 25 % angehoben werden.

Die Nutzung alternativer Energiequellen muss ausgebaut und die Technik optimiert werden. Bereits heute sind die Rohstoffe ein kostbares Gut. Weltweit schwinden die Rohstoffreserven. Mit der Verknappung aller fossilen Energieträger steigen die Preise. Das ist die Chance für solare Systeme, denn sie werden sich in Zukunft besser rechnen.

Architekten, Planer und Ingenieure werden in Zukunft unweigerlich immer häufiger mit dem Thema „Solartechnik“ und „Energieeinsparung“ konfrontiert werden.

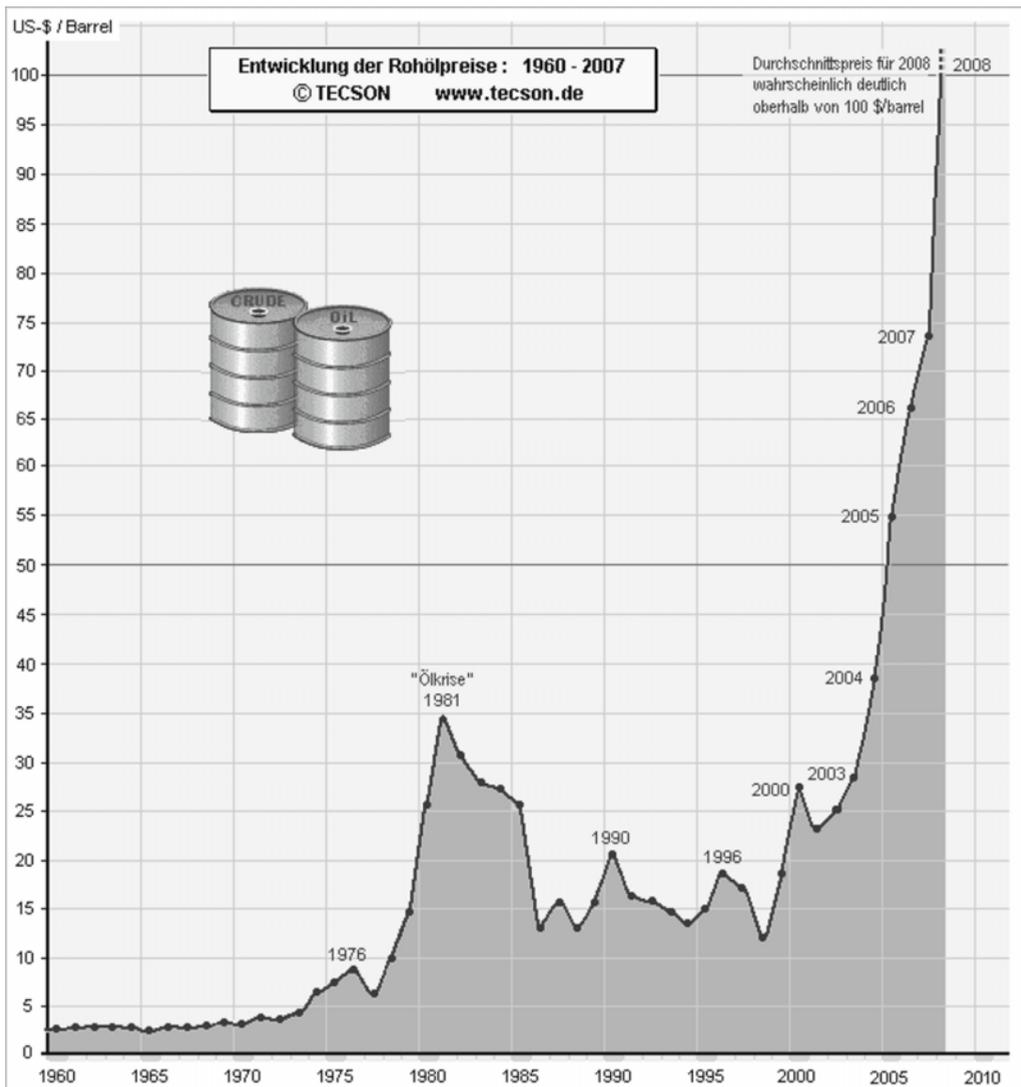


Abb. 1-2 Rohölpreisentwicklung 1960 - 2007

Die Entstehung der Photovoltaik

Die photovoltaische Stromerzeugung stellt eine weite Form der direkten Nutzung der Globalstrahlung dar. Der Begriff Photovoltaik leitet sich aus dem griechischen Wort *phos*, photo = Licht und dem italienischen Physiker Graf Volta, dem Namensgeber für die Einheit der elektrischen Spannung, ab. Photovoltaik bezeichnet damit den Vorgang einer direkten Stromerzeugung aus (Sonnen-) licht. Die Entdeckung des „photovoltaischen Effekts“ reicht bis in das 19. Jahrhundert zu den Arbeiten des Physikers Becquerel zurück. Dennoch wurden erst Mitte des 20. Jahrhunderts anwendungsreife Photovoltaiksysteme entwickelt, die für den Einsatz technischer Systeme im Weltraum konzipiert waren. In den 70er Jahren wurden dann die ersten Pilotanlagen und zum Teil auch schon gebäudeintegrierte¹ Anlagen installiert. Durch diverse Förderprogramme gibt es seit 2003 eine rasante Entwicklung der Photovoltaik. Dieser Begriff umfasst zwei Möglichkeiten der aktiven Nutzung von Sonnenenergie.

1. Solarthermie

Hierbei wird durch die Nutzung der Solarstrahlung eine Flüssigkeit, die durch einen separaten Kreislauf geleitet wird, erwärmt. Ermöglicht wird dies durch die Verwendung unterschiedlicher Kollektoren wie z. B. Flach- oder Vakuumkollektoren.

Die dadurch gewonnene Energie erwärmt wiederum einen Solarspeicher, der an das Brauchwassernetz und / oder an die Heizungsunterstützung angeschlossen ist. Bei gut dimensionierten Anlagen kann dadurch in den Monaten April – September auf eine Heizungsunterstützung verzichtet werden.

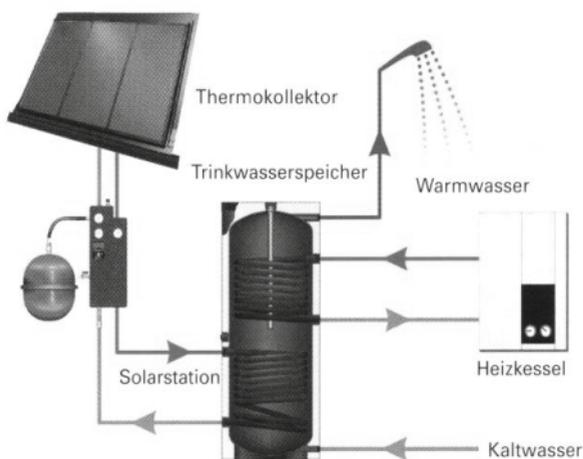


Abb. 1–3 Solarkreislauf

¹ vgl. Stark 2000

2. Photovoltaik

Die Photovoltaik nutzt die direkte und die diffuse Strahlungsenergie der Sonne zur Erzeugung von Strom mit Hilfe von Solarzellen. Siliziumzellen wandeln Sonnenlicht in elektrischen Strom um. Es gibt die Möglichkeit zur Installation einer „Insellösung“, bei der der gewonnene Strom direkt selber verwendet wird. Aufgrund der derzeitigen Einspeisevergütung ist es allerdings wirtschaftlicher, netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen² zu realisieren. Beide Systeme sind für eine Integration in der Gebäudehülle geeignet, ideal ist es, beide Solar-Anlagen-Typen zu berücksichtigen.

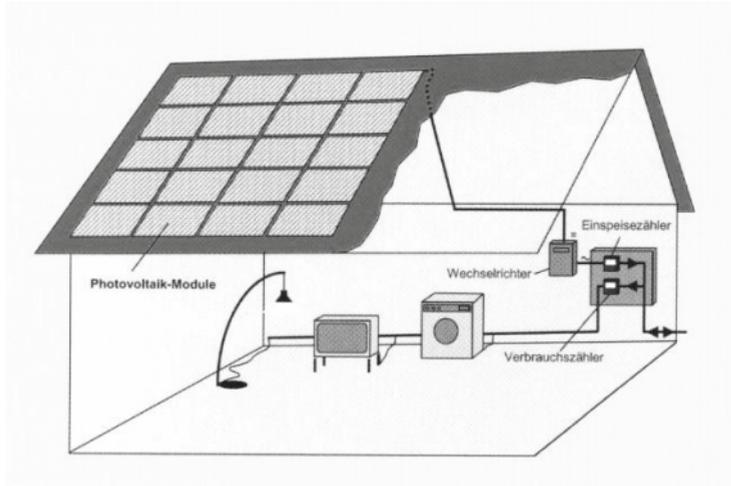


Abb. 1-4 Prinzipskizze Photovoltaik

1.1 Sonnenstrahlung

Die Lufthülle unserer Erde, die Meere und die Landmassen saugen quasi die Sonnenstrahlung auf und wandeln sie in Wärme um. Dadurch wird die Erdoberfläche auf etwa 15 °C erwärmt. Diese Temperatur ist die Grundvoraussetzung für alles Leben.

Wir, die Menschen, Tiere und Pflanzen verdanken daher der Sonne die Existenz. Selbst der natürliche Wasserkreislauf und das Entstehen von Wind werden von dieser Sonnenstrahlung ausgelöst und in Bewegung gehalten.

Bereits seit gut vier Milliarden Jahren versorgt die Sonne schon unseren Planeten mit Wärme und Licht. Und sie wird dies mit Sicherheit auch die nächsten vier Milliarden Jahre tun.

Die Erde dreht sich um die eigene Achse und gleichzeitig um die Sonne. Die Position der Erde zur Sonne bestimmt die Jahreszeiten und ist somit entscheidend für die solaren Strahlungsgewinne. Der tägliche Sonnenlauf beginnt mit dem Sonnenaufgang im Osten und endet mit dem Sonnenuntergang im Westen.

² BSI, Photovoltaik Kraftwerk 2004 (Kundenbroschüre)

Sonnenhöchststand ist der 21. Juni
 Sonnentiefststand ist der 21. Dezember

Der Azimutwinkel wird dazu benötigt, anzugeben wie weit das Projekt aus der Nord- bzw. Südachse „herausgedreht“ ist. In diversen Softwareprogrammen wird oftmals auch der Süden als 0° definiert. In diesem Fall ist Osten (-90°) und Westen ($+90^\circ$).

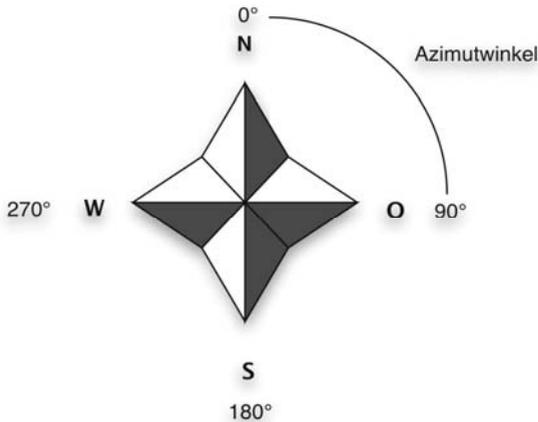


Abb. 1-5 Azimutwinkel

Der Zenitwinkel gibt die Position der Sonne als Höhenposition an. Ausgangspunkt ist der Zenit. Dieser liegt 90° zur Horizontalen gemessen. Steht die Sonne also hoch am Himmel, ist der Zenitwinkel klein. Steht die Sonne am Abend oder im Winter niedrig, so ist dieser Winkel größer.

Die Strahlung der Sonne, die auf die Erde trifft, liefert im Jahr über 219.000 Billionen kWh Energie. Das ist 2.500 mal mehr, als die gesamte Weltbevölkerung verbraucht.³

In Deutschland beträgt die durchschnittliche Globalstrahlung etwa $1.000 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$, was circa 50 % der Strahlungsintensität entspricht, die auf die Sahara trifft. Dazwischen, im Süden Spaniens und in Nordafrika, liegt der Wert bei $1.750 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$

Daraus ergibt sich für Deutschland bei Umwandlung in

Strom	100 kWh	im Jahr
Wärme	300–600 kWh	im Jahr.

³ Bundesverband der Solarindustrie, Berlin

Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland Mittlere Jahressumme, Zeitraum: 1981 – 2000 (Quelle: DWD, Hamburg)

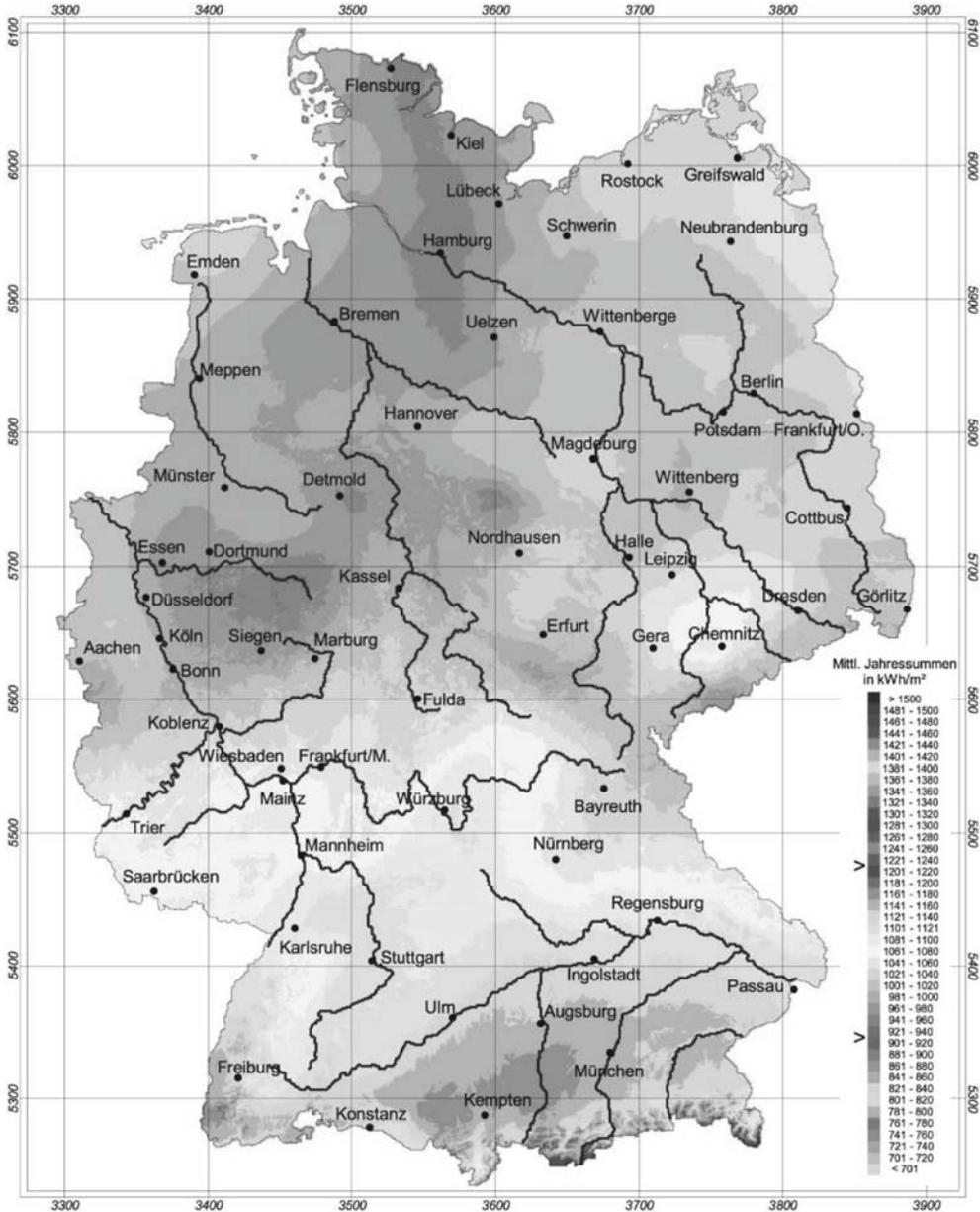


Abb. 1-6 Globalstrahlung

1.1.1 Standort/Ausrichtung

Die Position und der Standort des Projektes haben großen Einfluss auf die Rentabilität des Bauvorhabens. Es ist gar nicht so entscheidend, welche Ausrichtung die Module aufweisen, sondern vielmehr beeinflusst die Modulneigung den Wirkungsgrad. Optimale Energieerträge erzielt man in Deutschland mit einer ca. 30° zur horizontalen nach Süden geneigten Fläche, z. B. einem schrägen Hausdach.

Von allen Schrägdächern sind solche in Pultform am besten, weil sie ein gutes Verhältnis zwischen Ertrag und Ausnutzung der Grundfläche des Hauses bieten. Ein Satteldach mit 30° Neigung und Südausrichtung steht hingegen gar nicht einmal so gut da, es nutzt nur 57,7 Prozent der Grundfläche eines Hauses mit quadratischem Grundriss.

Erstaunliche Werte ergeben sich bei Satteldächern mit einer West-Ost-Ausrichtung. Zwar kann man auf Grund der ungünstigen Ausrichtung nur mit 70 bis 87 Prozent des Ertrages rechnen, doch die nutzbare Dachfläche ist mit bis zu 200 Prozent im Vergleich zur Grundfläche extrem hoch. Wenn die Preise für Solaranlagen weiter fallen, werden auch größere Flächen bezahlbar sein und die Zahl der infrage kommenden Dächer wird wachsen.

Tab. 1-1 Einstrahlung

Modulneigung	10°	30°	90°
Ost-Ausrichtung	90 %	85 %	60 %
Süd-Ausrichtung	90 %	100 %	75 %
West-Ausrichtung	90 %	85 %	60 %
Nord-Ausrichtung	90 %	70 %	30 %

Den Einstrahlungsgewinn kann man projektspezifisch über diverse Simulationsprogramme exakt berechnen. Der Markt für diese Software ist zwischenzeitlich umfangreich geworden. Je nach gewünschten Anforderungen ist ein Vergleich lohnenswert, da nicht jeder Planer alle Informationen, die ein Programm erstellt, benötigt.

Zur Planung einer Anlage wird nicht immer die genaue Einstrahlung benötigt. Gerade bei kleinen Bauvorhaben ist oftmals der Aufwand zur Ermittlung der Solarstrahlung auf die Mo-

duloberfläche zu groß. Zudem muss man, wenn man es genau nimmt, auch noch die Umgebungsreflexionen berücksichtigen.

Um dennoch im frühen Vorfeld den zu erwartenden Ertrag abschätzen zu können, ist die nachfolgende Grafik dienlich.

Die beste Ausrichtung in unseren Breitengraden für Photovoltaik-Module ist Süden mit einem Modulneigungswinkel von ca. 30°.

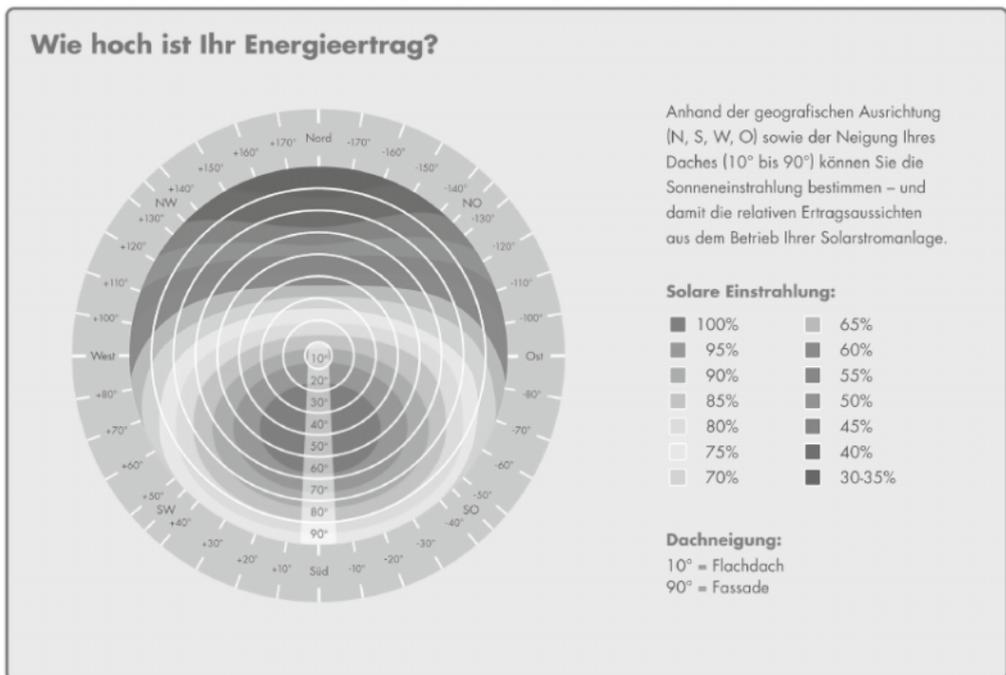


Abb. 1-7 Einstrahlung (Quelle: Shell Solar GmbH)

1.1.2 Verschattung

Grundsätzlich unterscheidet man in der Photovoltaik und Solartechnik drei verschiedene Schattenarten:

- Temporäre Schatten
- Standortbedingte Verschattung
- Entwurfsbedingte Verschattung