

Frank Konrad

**Planung von  
Photovoltaik-Anlagen**

## Aus dem Programm

### Bauwesen

#### **Vieweg Handbuch Bauphysik Teil 1**

von W. M. Willems, S. Dinter und K. Schild

#### **Vieweg Handbuch Bauphysik Teil 2**

von W. M. Willems, S. Dinter und K. Schild

#### **Planung von Photovoltaik-Anlagen**

von F. Konrad

#### **Bausanierung**

vom M. Stahr (Hrsg.)

#### **Bauentwurfslehre**

von E. Neufert

#### **Estriche**

von H. Timm

#### **Sichtbeton-Planung**

von J. Schulz

#### **Sichtbeton-Mängel**

von J. Schulz

#### **Architektur der Bauschäden**

von J. Schulz

Frank Konrad

# **Planung von Photovoltaik- Anlagen**

**Grundlagen und Projektierung**

Mit 51 Abbildungen und 16 Tabellen



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 April 2007

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2007

Lektorat: Günter Schulz / Karina Danulat

Der Vieweg Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.

[www.vieweg.de](http://www.vieweg.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.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, [www.CorporateDesignGroup.de](http://www.CorporateDesignGroup.de)

Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0106-7

## Vorwort

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 WSVO 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

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

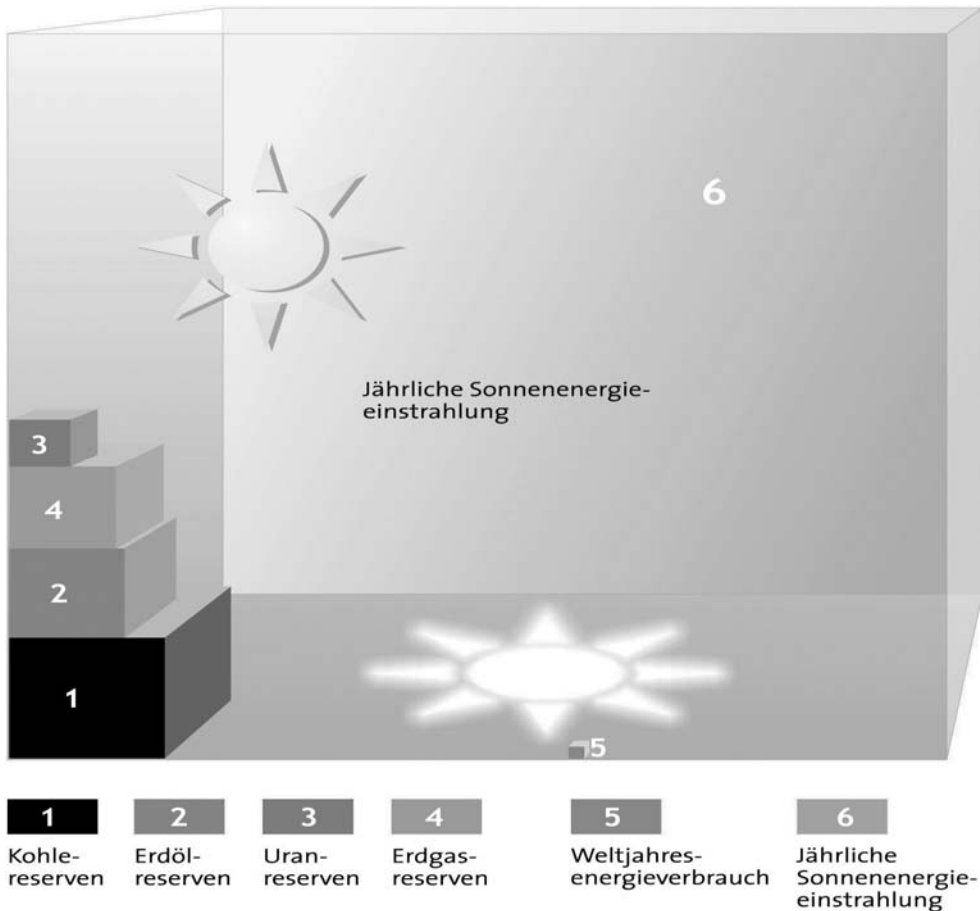
---

<b>4 Bauliche Anforderungen</b> .....	39
<b>4.1 Entwürfe zur Nutzung der Globalstrahlung</b> .....	39
<b>4.2 Installation</b> .....	46
4.2.1 Flachdach .....	47
4.2.2 Fassade .....	51
4.2.3 Freiflächenanlagen .....	65
4.2.4 Nachgeführte Solar-Systeme .....	66
<b>4.3 Blitzschutz</b> .....	69
4.3.1 Brandschutz .....	70
4.3.2 Diebstahlschutz .....	71
4.3.3 Wärme- und Feuchteschutz .....	71
<b>4.4 Anlagen-Dimensionierung</b> .....	71
<b>4.5 AVA</b> .....	72
<b>5 Wirtschaftlichkeit</b> .....	85
<b>5.1 Systemleistung</b> .....	85
5.1.1 Wirkungsgrad .....	85
5.1.2 Nennleistung .....	86
5.1.3 Performance Ratio .....	86
<b>5.2 Amortisationsberechnungen</b> .....	87
<b>5.3 Checkliste zur Errichtung einer Photovoltaikanlage</b> .....	98
<b>6 Schlussbetrachtung und Ausblick</b> .....	101
<b>7 Anhang</b> .....	103
<b>7.1 Musterverträge</b> .....	103
7.1.1 Stromeinspeisungsvertrag .....	103
7.1.2 Wartungsvertrag .....	111
7.1.3 Nachunternehmervertrag .....	117
7.1.4 Projektsteuerervertrag .....	123
7.1.5 Dachflächennutzungsvertrag .....	135
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	141
<b>Quellennachweis</b> .....	143
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	147
<b>Verzeichnis der Begriffe und Definitionen</b> .....	149
<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	155



# 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 1000-faches 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.

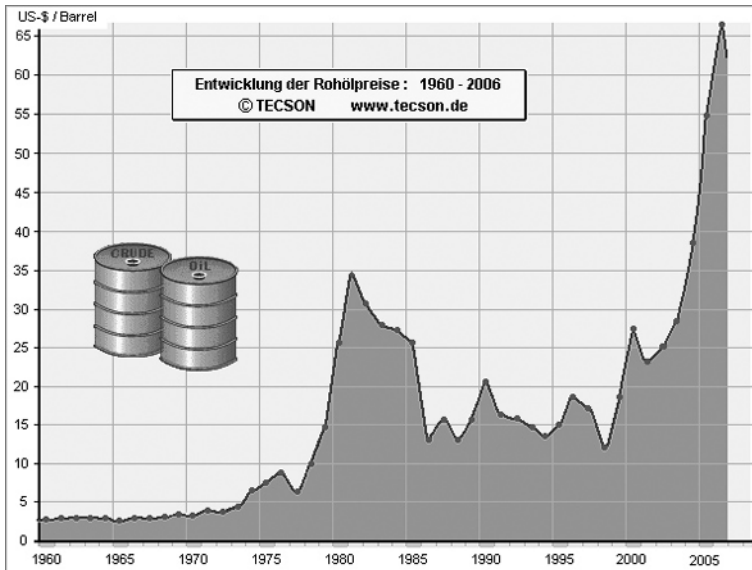


Abb. 1–2 Rohölpreisentwicklung 1960 - 2006

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

### 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 70-er Jahren wurden dann die ersten Pilotanlagen und zum Teil auch schon gebäudeintegrierte<sup>1</sup> Anlagen installiert. Durch diverse Förderprogramme gibt es seit 2003 eine rasante Entwicklung der Photovoltaik. Dieser Begriff umfasst zwei Möglichkeiten der aktiven Nutzung von Sonnenenergie.

<sup>1</sup> vgl. Stark 2000

### 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.

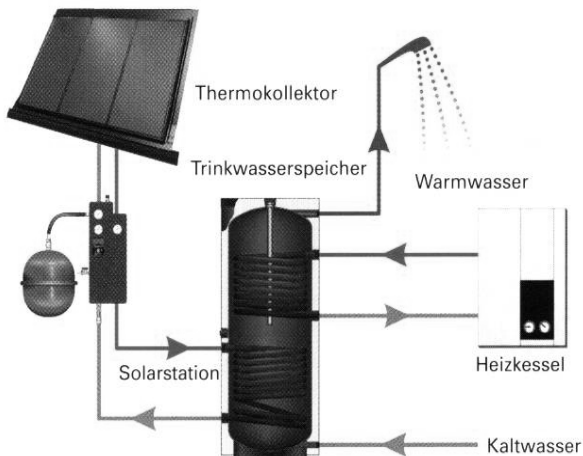


Abb. 1-3 Solarkreislauf

### 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-Anlagen<sup>2</sup> zu realisieren. Beide Systeme sind für eine Integration in der Gebäudehülle geeignet, ideal ist es, beide Solar-Anlagen-Typen zu berücksichtigen.

<sup>2</sup> BSI, Photovoltaik Kraftwerk 2004 (Kundenbroschüre)

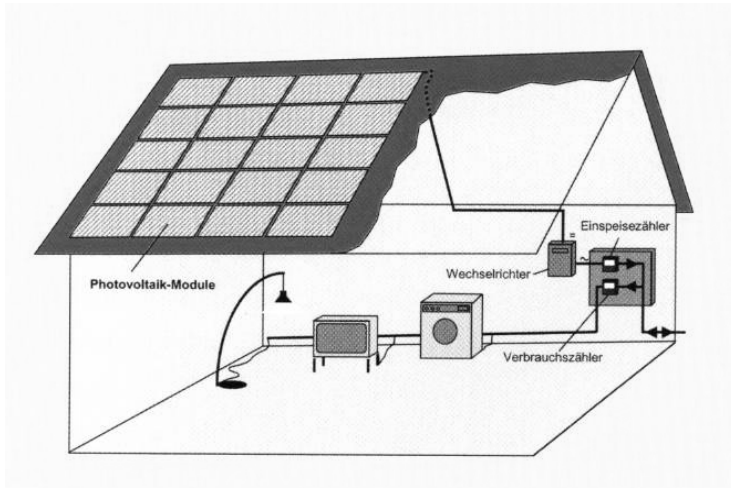


Abb. 1-4 Prinzipskizze Photovoltaik

## 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.

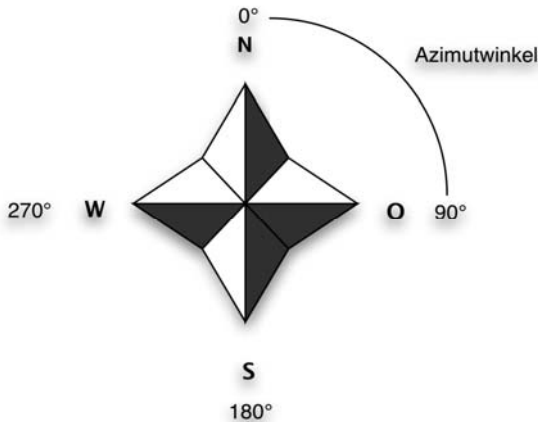
Bereits seit gut vier Milliarden Jahren versorgen die Sonne schon unseren Planeten mit Wärme und Licht. Und sie wird dies mit Sicherheit auch die nächsten vier Milliarden Jahre tun.

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.

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  $0^\circ$  definiert. In diesem Fall ist Osten ( $-90^\circ$ ) und Westen ( $+90^\circ$ ).



**Abb. 1-5** Azimutwinkel

Der Zenitwinkel gibt die Position der Sonne als Höhenposition an. Ausgangspunkt ist der Zenit. Dieser liegt  $90^\circ$  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<sup>3</sup>.

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.

<sup>3</sup> Bundesverband der Solarindustrie, Berlin

### Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland

Mittlere Jahressumme, Zeitraum: 1981 – 2000

(Quelle: DWD, Hamburg)

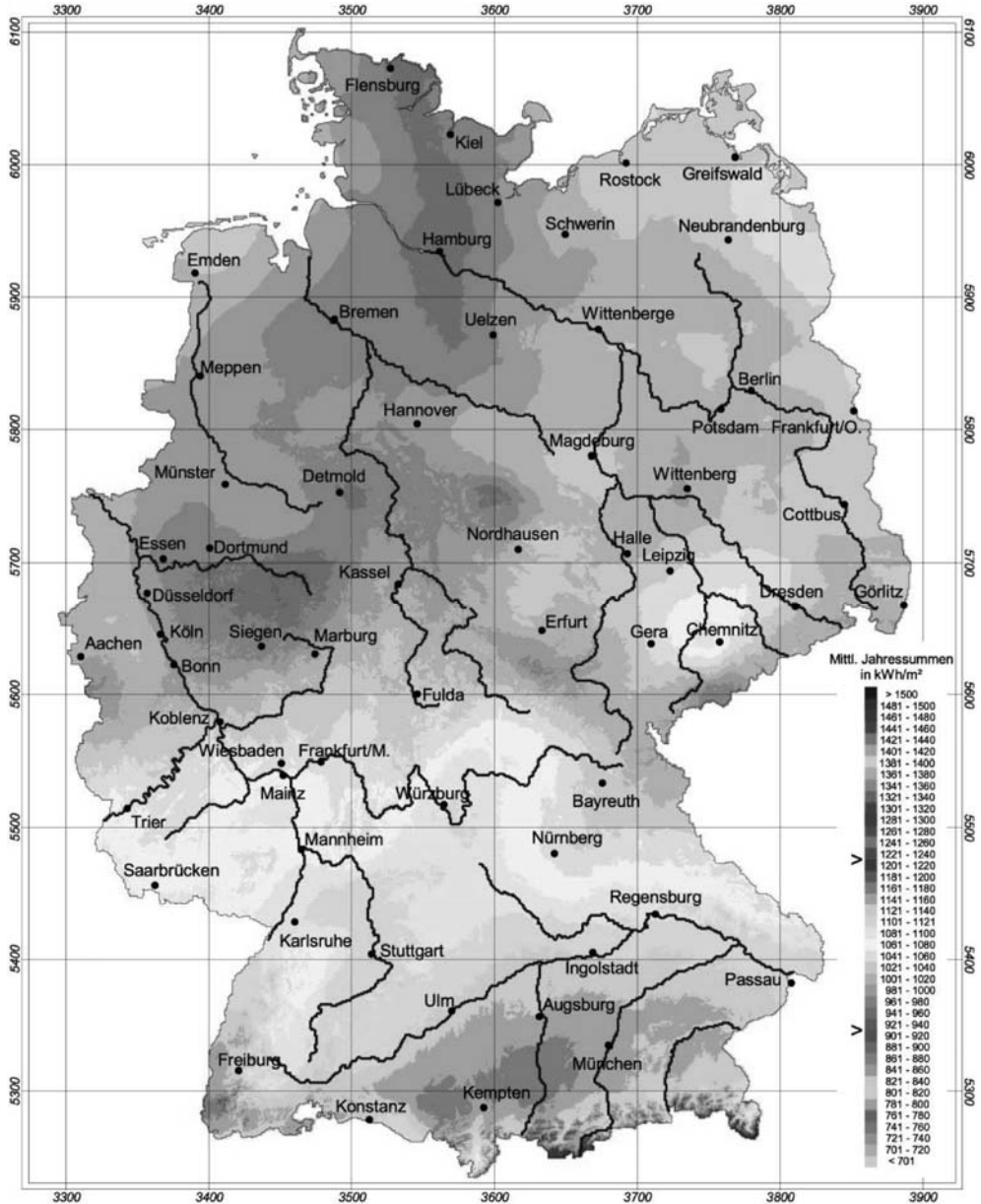


Abb. 1-6 Globalstrahlung

### 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

<b>Modulneigung</b>	<b>10°</b>	<b>30°</b>	<b>90°</b>
<b>Ost-Ausrichtung</b>	90%	85%	60%
<b>Süd-Ausrichtung</b>	90%	100%	75%
<b>West-Ausrichtung</b>	90%	85%	60%
<b>Nord-Ausrichtung</b>	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 Moduloberfläche 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°.

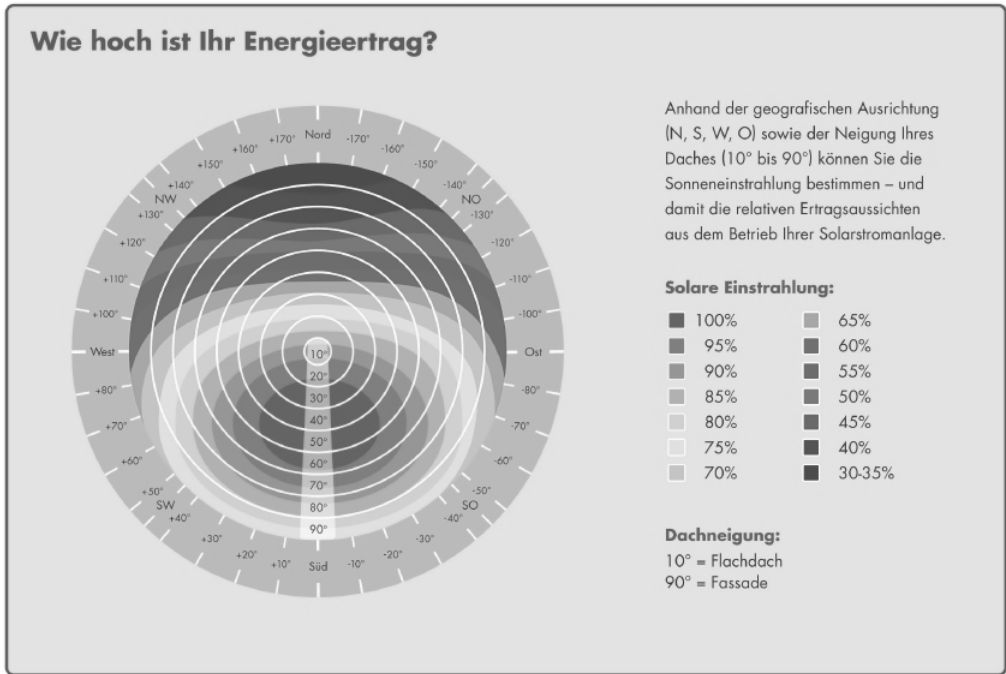


Abb. 1–7 Einstrahlung (Quelle: Shell Solar GmbH)

### 1.1.2 Verschattung

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

- Temporäre Schatten
- Standortbedingte Verschattung
- Entwurfsbedingte Verschattung