



Deutscher Wetterdienst



# ***Globalstrahlung***

***Die Energie  
der Sonne***



# Allgemeines zur Globalstrahlung

Die Globalstrahlung ist die am Boden von einer horizontalen Ebene empfangene Sonnenstrahlung und setzt sich aus der direkten Strahlung (der Schatten werfenden Strahlung) und der gestreuten Sonnenstrahlung (diffuse Himmelsstrahlung) aus der Himmelshalbkugel zusammen. Bei Sonnenhöhen von mehr als  $50^\circ$  und wolkenlosem Himmel besteht die Globalstrahlung zu ca.  $\frac{3}{4}$  aus direkter Sonnenstrahlung, bei tiefen Sonnenständen (bis etwa  $10^\circ$ ) nur noch zu ca.  $\frac{1}{3}$ .

## Extraterrestrische Strahlung

Die Sonnenstrahlung trifft als extraterrestrische Strahlung auf den Rand der Erdatmosphäre und wird auf dem Weg durch die Atmosphäre abgeschwächt. Die extraterrestrische Spektralverteilung entspricht der Ausstrahlung eines sogenannten Schwarzen Körpers mit einer Temperatur von etwa 6.000 K. 98 % der extraterrestrischen Sonnenstrahlung entfallen auf den Wellenlängenbereich  $0,29 \mu\text{m}$  bis  $4,0 \mu\text{m}$ , und zwar:

- 7 % auf den Bereich  $0,29 \mu\text{m} - 0,40 \mu\text{m}$  (Ultraviolettstrahlung),
- 42 % auf den Bereich  $0,40 \mu\text{m} - 0,73 \mu\text{m}$  (Sichtbare Strahlung),
- 49 % auf den Bereich  $0,73 \mu\text{m} - 4,00 \mu\text{m}$  (Infrarotstrahlung).

Das Energiemaximum liegt bei  $0,48 \mu\text{m}$  im grün-blauen Bereich des sichtbaren Lichtes. Der Mittelwert der Bestrahlungsstärke der extraterrestrischen Sonnenstrahlung beträgt an der Obergrenze der Atmosphäre nach neueren Messungen  $1.367 \text{ W/m}^2$  und variiert im Laufe des Jahres um  $\pm 3,3 \%$ .



### **Abschwächung der Sonnenstrahlung durch die Erdatmosphäre**

Beim Durchgang durch die Erdatmosphäre erfährt die extraterrestrische Strahlung eine Abschwächung (Extinktion) durch Streuung an Luftmolekülen, durch Streuung, Absorption und Reflexion an Wolken- und Aerosolpartikeln, durch Absorption an Wasserdampf, Kohlendioxid, Ozon und anderen atmosphärischen Spurengasen. Die Extinktion hängt ab vom Sonnenstand, der atmosphärischen Trübung, der Dichte der atmosphärischen Medien und damit auch von der Höhe über dem Meeresspiegel.





### **Pyranometer**

Die Globalstrahlung wird mit dem horizontal justierten Pyranometer gemessen. Als Messfühler dient eine aus hintereinander geschalteten Thermoelementen bestehende geschwärzte Thermosäule.

Geschwärzte Empfangsflächen von aktiven Lötstellen der Thermoelemente absorbieren die einfallende Strahlung und erwärmen sich gegenüber passiven Lötstellen innerhalb des Gerätes. Die auftretenden Temperaturdifferenzen erzeugen Thermospannungen, die ein Maß für die empfangene Bestrahlungsstärke sind. Gegen Witterungseinflüsse wird der Messfühler durch zwei halbkugelförmige Glashauben geschützt.



Die Messung der diffusen Sonnenstrahlung erfolgt ebenfalls mit einem Pyranometer, das zum Ausblenden der Sonne mit einem Schattenring ausgerüstet ist. Dieser Schattenring deckt jedoch je nach Jahreszeit einen mehr oder weniger großen Streifen des Himmels ab. Deshalb werden die Messwerte nachträglich mit Hilfe eines geeigneten Verfahrens korrigiert. Bei guter Wartung ist die Messunsicherheit eines Pyranometers kleiner als 3 %.

Die Messgeräte sind in der Regel horizontfrei aufgestellt. Eine eventuelle Horizonteinschränkung durch Bäume, Gebäude oder Berggrücken soll einen Höhenwinkel von 5° nicht überschreiten.

Bisher umfasst das Strahlungsmessnetz des DWD etwa 40 Stationen. Es wird zur Zeit stark erweitert.

*Frau Kerstin Kagermann (DWD) reinigt ein mit einem Schattenring ausgestattetes Pyranometer zur Messung der diffusen Sonnenstrahlung vor der historischen Kulisse Potsdams. Die regelmäßige Wartung der Messgeräte ist nach wie vor eine der wichtigsten Voraussetzungen für verlässliche Daten.*



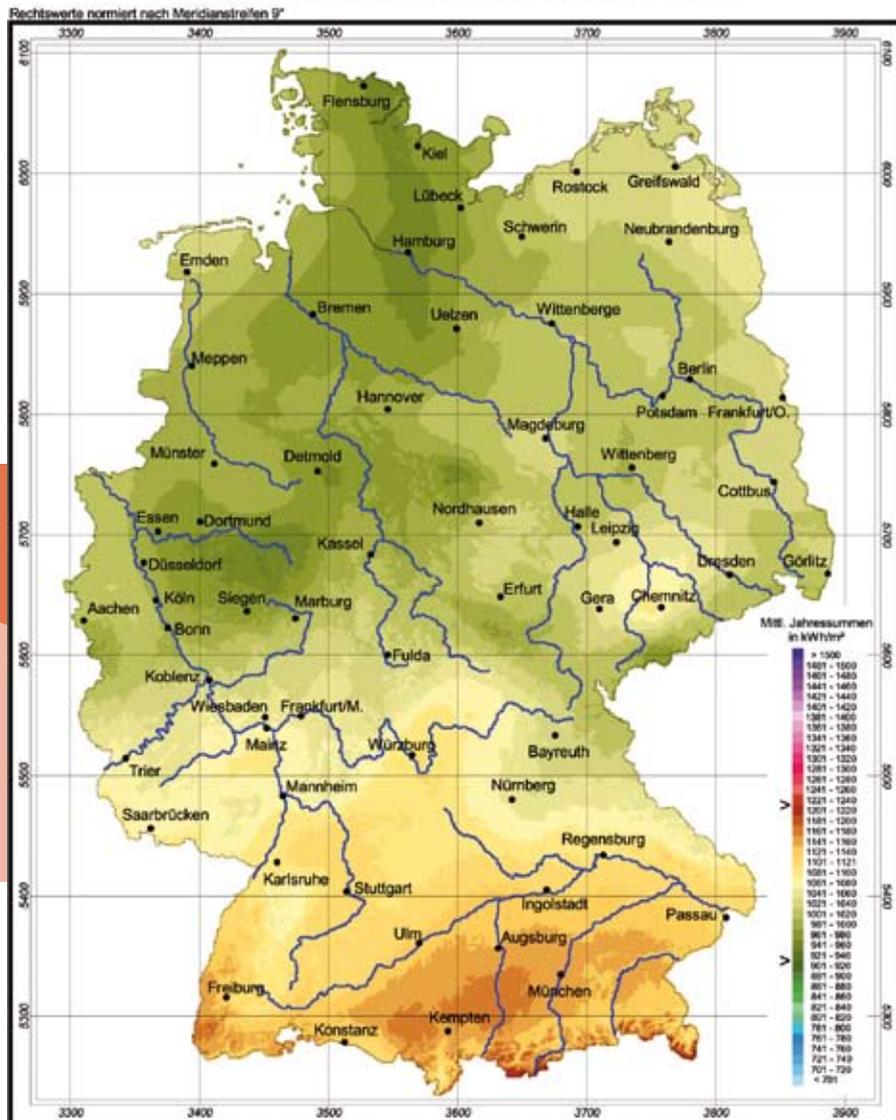
# *Strahlungsklima in Deutschland*

Die mittlere Jahreskarte der Globalstrahlung (siehe rechts) zeigt grob eine Dreiteilung des Strahlungsklimas in Deutschland: Eine Zone besonders hoher Einstrahlung erstreckt sich von Bayern über Baden-Württemberg bis nach Rheinhessen. Sie entsteht durch die südliche Breitenlage und das wolkenärmere, kontinentalere Klima. Eine zweite Zone hoher Einstrahlung beginnt in Sachsen und erstreckt sich über das östliche Brandenburg bis an die Küste Mecklenburg-Vorpommerns. Einflussfaktoren sind in diesem Raum die geringere konvektive Wolkenbildung im Frühjahr und Frühsommer über dem noch kalten Wasser der Ostsee und die stärkere Kontinentalität.

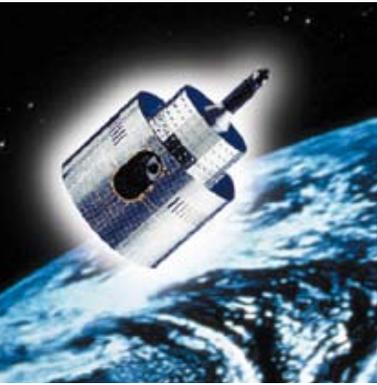
Eine strahlungsärmere Zone reicht von den Mittelgebirgen bis nach Schleswig-Holstein. Ursache für die niedrige Einstrahlung ist hier die häufige Zufuhr von feuchten Meeres-Luftmassen, die das typisch wolkenreiche, maritime Klima Nordwest-Deutschlands prägt. Durch Stau an den Hügel-/Bergketten der Mittelgebirge wird die Wolkenbildung zusätzlich verstärkt. Lediglich die strahlungsbegünstigten Nordseeinseln bilden eine Ausnahme.

# Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland

## Mittlere Jahressummen, Zeitraum: 1981 - 2000

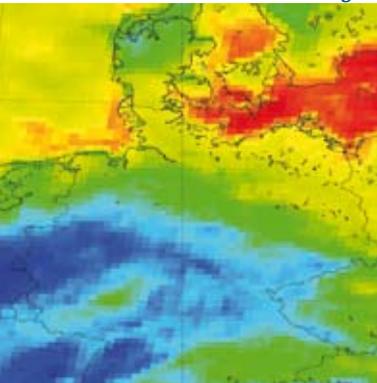


# Globalstrahlung in Zahlen: Messdaten und Rasterdaten



*Der Satellit METEOSAT  
beobachtet unser Wetter aus  
36.000 km Höhe.*

*Globalstrahlung aus  
Satellitenmessungen*



## **Bodenmessstationen**

Die bodenständige Grundlage der Globalstrahlungsprodukte des DWD sind bisher die etwa 40 Strahlungsmessstationen im Messnetz des Deutschen Wetterdienstes. Sie liefern Messwerte, die zu Stunden-, Tages-, Monats- und Jahreswerten verdichtet werden.

Die Station Potsdam weist mit einem Beginn im Jahr 1937 die älteste Strahlungsmessreihe auf. Ein großer Teil der bestehenden Stationen wurde in den 70er Jahren eingerichtet. Zur Zeit wird dieses Messnetz stark erweitert; demnächst wird es 137 Messstellen umfassen. Natürlich gehen beim Deutschen Wetterdienst auch in großem Umfang weltweite Wetterdaten ein. Inzwischen unterhält der Deutsche Wetterdienst ein umfangreiches Archiv mit weltweiten Strahlungsdaten.

Stationsbezogene Messdaten können vom Deutschen Wetterdienst in Hamburg (siehe Rückseite) bezogen werden.

In anschließende Berechnungen werden darüber hinaus Aufzeichnungen der Sonnenscheindauer von rund 200 DWD-Stationen einbezogen.

## **Satellitendaten**

Neben diesen örtlichen Messwerten liefert der geostationäre Satellit METEOSAT Strahlungsinfo-

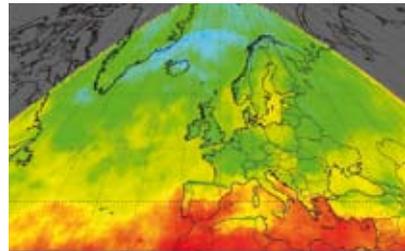
mationen. Der große Vorteil der Einarbeitung der Satellitendaten liegt in flächendeckenden Strahlungsangaben für das gesamte Bundesgebiet.

### **Geostatistische Verfahren**

In geeigneter Weise werden die unterschiedlichen Daten miteinander verknüpft; dabei wird auch die Höhenabhängigkeit der Globalstrahlung bestimmt. Mittels geostatistischer Verfahren wird die Globalstrahlung auf die Gitterpunkte eines Rasters interpoliert. Die Gitterpunkte haben einen Abstand von nur 1 km und decken die gesamte Bundesrepublik ab.

### **Rasterdaten**

Als Ergebnis dieser Berechnungen stehen flächendeckende Rasterdaten der Globalstrahlung für Deutschland zur Verfügung. Damit können wir für jeden beliebigen Ort in Deutschland mittlere Monatssummen der Globalstrahlung und ab 1998 auch aktuelle Monatssummen liefern. Bitte wenden Sie sich an den Deutschen Wetterdienst in Hamburg (siehe Rückseite).



*Globalstrahlung aus  
Satellitenmessungen*



# Globalstrahlungskarten



Der Deutsche Wetterdienst erzeugt Rasterdaten der Globalstrahlung flächendeckend im 1-km-Abstand. Sie werden mit geostatistischen Verfahren aus Bodenmessungen und Satellitendaten ermittelt. Ein Rechenprogramm setzt diese Rasterdaten in Bilder um: die Globalstrahlungskarten.



## **Aktuell und als Durchschnitt**

Globalstrahlungskarten erstellt der Deutsche Wetterdienst für jeden einzelnen aktuellen Monat und für jedes einzelne Jahr. Damit wird die Strahlung für aktuelle Zeiträume übersichtlich dargestellt.

Außerdem gibt es auch eine Darstellung der mittleren Globalstrahlung. Sie basiert auf den 20-jährigen Mittelwerten aus dem Zeitraum 1981 – 2000 und bildet die "normalen", durchschnittlichen Strahlungsverhältnisse ab. Ein Vergleich der Strahlungskarten aktueller Zeiträume mit diesen Mittelwerten zeigt, wo, wann und um wieviel die tatsächliche Globalstrahlung von den "üblichen" Werten abgewichen ist.



## **Strahlungskarten – online oder gedruckt**

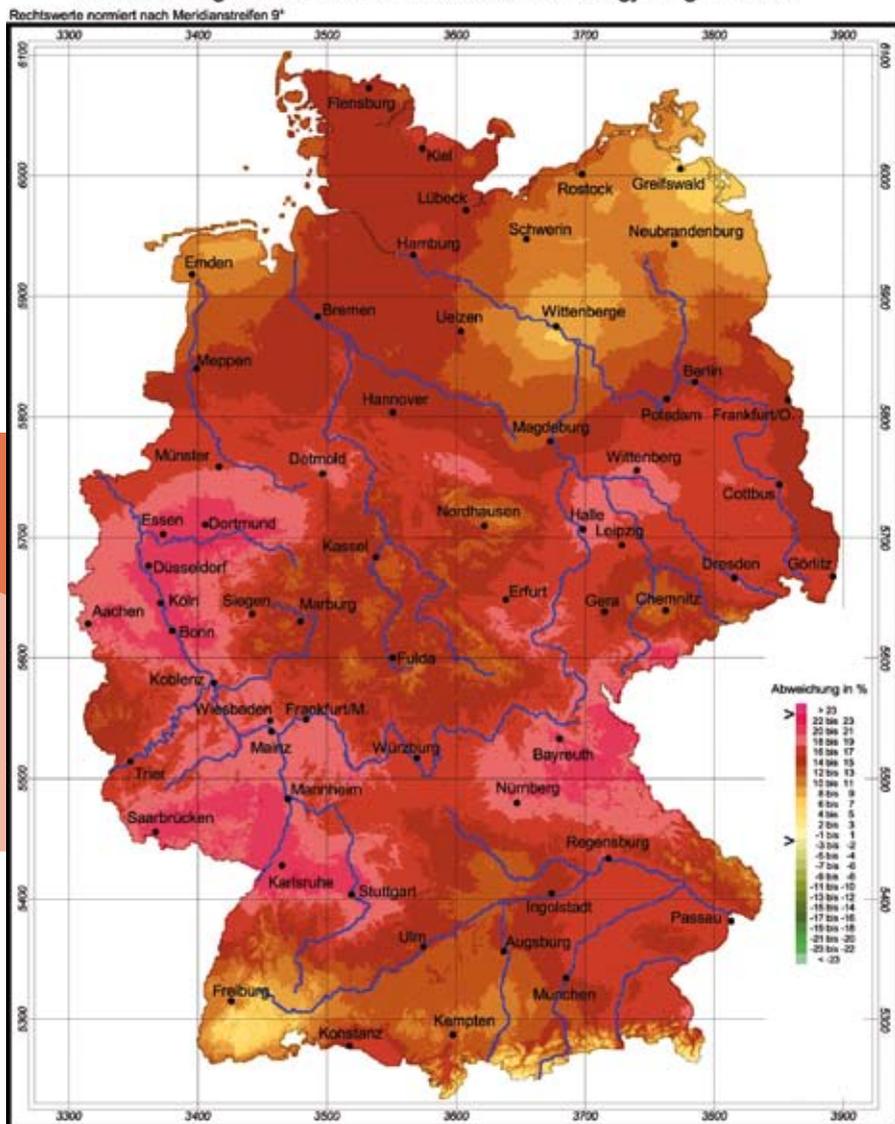
Die Globalstrahlungskarten erhalten Sie in verschiedenen Formaten vom Deutschen Wetterdienst in Hamburg (siehe Rückseite).

Besonders schnell gibt es die Karten als PDF-Dateien im WetterShop des DWD ([www.dwd-shop.de/klima](http://www.dwd-shop.de/klima)). Dort können Sie sich Strahlungskarten aus vielen Jahren zu einem günstigen Preis sofort herunterladen.

Schließlich stehen einige Globalstrahlungskarten auf den Internetseiten des Deutschen Wetterdienstes entgeltfrei bereit ([www.dwd.de/solarenergie](http://www.dwd.de/solarenergie)).

# Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland

## Abweichung der Jahressumme 2003 zum langjährigen Mittel



# Ertragsgutachten für Photovoltaik-Anlagen



Welchen Ertrag wird die geplante Anlage liefern? Mit welchen Einstrahlungsverhältnissen ist am Aufstellort zu rechnen? Genau diese grundsätzlichen Fragen beantwortet Ihnen der DWD mit seinen Ertragsgutachten. Es wird dabei von der Annahme ausgegangen, dass sich die Globalstrahlung über einen ausreichend langen Zeitraum kaum ändert. In den Einzeljahren kann das Strahlungsangebot erheblich variieren. Eventuelle durch einen Klimawandel verursachte Änderungen bleiben unberücksichtigt.

Der DWD rechnet für jeden beliebigen Ort in Deutschland auf der Grundlage des 20-jährigen Messzeitraumes 1981–2000 die mittlere Globalstrahlung aus. Basis hierfür bilden die Rasterdaten der Globalstrahlung, die der Deutsche Wetterdienst monatlich flächendeckend im 1-km-Abstand erzeugt. Die Daten gelten für horizontale Flächen. Sie werden auf die Flächenneigung und -ausrichtung der geplanten Photovoltaik-Anlage umgerechnet. Mit der Performance Ratio und der Peak-Leistung der geplanten Anlage wird dann der mittlere monatliche bzw. jährliche Energieertrag berechnet. Diese Angaben beziehen sich auf horizontalfreie, nicht beschattete Standorte.

Nennen Sie uns Ihren Wunsch-Standort, Neigung und Ausrichtung der geplanten Anlage, deren Performance Ratio sowie die Peak-Leistung Ihrer Anlage! Wir berechnen individuell für Ihren Standort die im langjährigen Mittel zu erwartenden Energieerträge.

Der Deutsche Wetterdienst, Abteilung Klima- und Umweltberatung ist für die Bestimmung der Globalstrahlung und des zu erwartenden mittleren Stromertrags an einem Photovoltaik-Standort nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 akkreditiert.



**Mittlere monatliche Tagessummen und mittlere Jahressumme der Globalstrahlung G und des Stromertrags E**

bezogen auf eine um 30° geneigte und nach 180° ausgerichtete Photovoltaik-Fläche  
Strahlungshausen, PLZ 99999, 50° 00' N / 10° 00' E - (1981 - 2000)

Mittlere monatliche Tagessummen

	G (0°) kWh/m <sup>2</sup>	G (30°/180°) kWh/m <sup>2</sup>	E (PR=80,5%) - 1kWp kWh
JANUAR	0,738	1,084	0,9
FEBRUAR	1,485	2,070	1,7
MÄRZ	2,499	3,076	2,5
APRIL	3,828	4,234	3,4
MAI	4,860	4,943	4,0
JUNI	5,302	5,201	4,2
JULI	5,394	5,399	4,3
AUGUST	4,669	5,038	4,1
SEPTEMBER	3,115	3,704	3,0
OKTOBER	1,749	2,309	1,9
NOVEMBER	0,907	1,291	1,0
DEZEMBER	0,564	0,825	0,7

Mittlere Jahressumme

Jahr	1071	1194	961
------	------	------	-----

# Schwankungen, Trends, Änderungen

195

Wie variabel die Globalstrahlung tatsächlich ist, das lässt sich nur an Daten aus einem möglichst langen Zeitraum feststellen. Im Deutschen Wetterdienst stehen für einige Messstellen Daten der Globalstrahlung zur Verfügung, die viele Jahrzehnte zurück reichen. Für Potsdam wurde die Zeitreihe mit Messungen der Sonnenscheindauer bis 1893 rückwirkend erweitert. Sie wird heute noch fortgeführt (siehe nebenstehende Abbildung).

Der unruhige Verlauf der einzelnen Werte zeigt kurzzeitige Fluktuationen. Es ist aber deutlich zu sehen, dass eine Schwingung mit einer Periode von rund 70 Jahren überlagert ist. In neuerer Zeit zeigt sie einen Rückgang bis etwa 1982. Dieses Jahr markiert eine Trendwende, denn seitdem steigt die mittlere jährliche Globalstrahlung wieder an.

Diese Trends können nicht nur in Potsdam, sondern mindestens deutschlandweit beobachtet werden. Von den 50er Jahren bis in die 80er Jahre war die Globalstrahlung sogar weltweit zurückgegangen; dies wird als „Global Dimming“ bezeichnet. Der ansteigende Trend der Globalstrahlung beträgt zur Zeit zwischen ca. 0,2 % und ca. 0,4 % je Jahr. Dem sind die bereits erwähnten jährlichen Schwankungen überlagert, die eine mittlere Variationsbreite von etwa +/- 15 % des langjährigen Durchschnittswertes zeigen.

Ursache dieser Schwankungen und Trends sind zum einen astronomische Einflüsse, wie z. B. Änderungen der Sonnenaktivität; diese lassen sich gut

1990

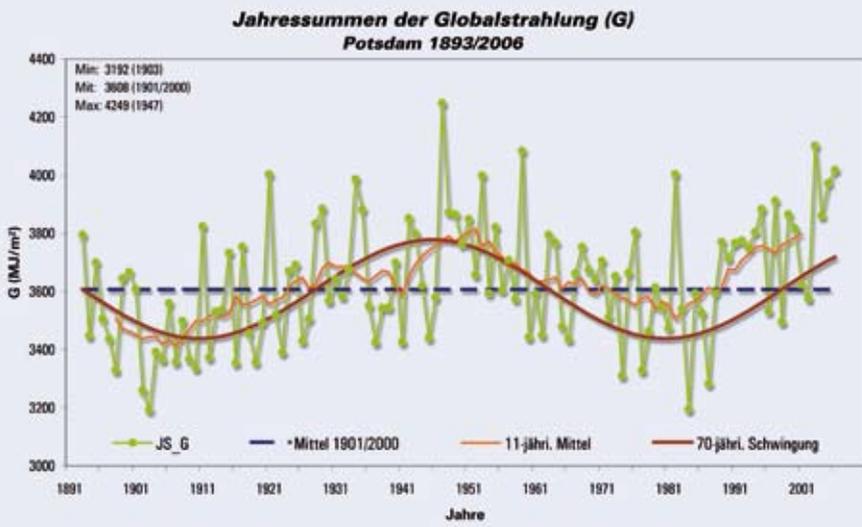
2007

1910

1893

berechnen. Zum anderen wird die Globalstrahlung bei ihrem Weg durch die Atmosphäre verändert, und diese Einflüsse sind sehr variabel. Veränderungen in der Bewölkung (Bedeckungsgrad, „optische Dicke“) spielen dabei eine große Rolle.

Die Auswirkungen der zur Zeit stattfindenden Klimaänderung auf die Globalstrahlung sind weitestgehend ungeklärt. Es ist deshalb heute kaum möglich, einen Trend für die weitere Entwicklung der Globalstrahlung anzugeben. Wir müssen die Ursachen und die Vorgänge, die zur Änderung der Globalstrahlung führen, noch genauer erforschen.



# *CO<sub>2</sub>-Ausstoß vermindern ...*

## *Effektive Nutzung durch Bündelung regenerativer Energieressourcen*

In Deutschland hat die Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen in kurzer Zeit eine relevante Größenordnung erreicht. Bei einer Fortführung der enormen Wachstumsraten der vergangenen zwei Jahre wird die Photovoltaik (PV) einen festen Platz in der elektrischen Energieversorgung einnehmen. Daher wird die Kenntnis der Stromeinspeisung durch Photovoltaik ein wichtiger Faktor für den Betrieb des Stromnetzwerks sein. Für die Integration des Solarstroms bei hoher installierter Kapazität sind die Überwachung bzw. die Vorhersage von PV-Stromeinspeisung sehr wichtig.

Die Berechnung des eingespeisten Solarstroms ist jedoch keine triviale Frage. Die folgenden drei grundlegenden Probleme erschweren die Berechnung der Solareinspeisung:

- (1) Der PV-Park besteht aus einer sehr großen Anzahl von relativ kleinen Anlagen, deren Messdaten nicht online zur Verfügung stehen.





- (2) Die PV-Anlagen sind extrem dezentralisiert und über ganz Deutschland verteilt.
- (3) Photovoltaik ist eine fluktuierende Energie, die von meteorologischen Bedingungen abhängig ist.

*Wartung einer  
Photovoltaik-Anlage  
(Bild: BP)*

Innerhalb eines bereits seit 2006 von führenden Wirtschaftsunternehmen initiierten Projektes wurde untersucht, ob es zu jeder Zeit möglich ist durch eine Kombination von verschiedenen erneuerbaren Energieträgern (EE) den Bedarf an elektrischer Energie zu decken. Zu diesem Zweck wurden Wind-, Solar- und Biogaskraftwerke zu einem virtuellen Kraftwerk mit einer Leistung von 23,1 MW zusammengeschlossen. Die Auswahl der Anlagen erfolgte dabei unter Einbeziehung realistischer Ausbauszenarien. Das Gesamtszenario bildete den Energiebedarf und einen realistischen Ausbau von regenerativen Energieerzeugern in Deutschland im Verhältnis 1:10.000 ab.

*Ansicht einer  
Biogas-Anlage*





Das Institut für solare Energietechnik aus Kassel (ISET) entwickelte eine zentrale Steuerungseinheit (ZSE) für die einzelnen Komponenten. Die ZSE bestimmt mittels eines Regelungsalgorithmus zu jeder Zeit den optimalen Energiemix. Auf Basis von zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Wind- und Strahlungsprognosen des Deutschen Wetterdienstes werden Lastgänge von Windanlagen und Solarparks ermittelt und so die Einsatzplanung von steuerbaren Biogaskraftwerken erstellt. (siehe auch: [www.Kombikraftwerk.de](http://www.Kombikraftwerk.de))

Im Oktober 2007 wurden die Ergebnisse in Berlin Vertretern der Bundesregierung vorgestellt und stießen auf breites Interesse in Politik und Wirtschaft.

Durch den starken Zubau von PV-Anlagen werden gegenwärtig große Anstrengungen auf Seiten der Energieversorger unternommen, Verfahren zu entwickeln, die enorm zunehmenden Energiemengen für die eigenen Versorgungsgebiete zu bestimmen und damit planbarer zu machen.

Der Deutsche Wetterdienst unterstützt diese Vorhaben mit der Lieferung von Messwerten, Rasterdaten, Gutachten oder präzisen Prognosen verschiedener strahlungstechnischer Größen.

In Verbindung mit intensiver Projektarbeit leistet der Deutsche Wetterdienst damit seit Jahren einen wichtigen Beitrag mit hohem volkswirtschaftlichen Nutzen.



*Das Bild zeigt eine größere Solaranlage zur Stromerzeugung (Photovoltaik) in Berlin, Regierungsviertel, Stadtteil Mitte. Im Hintergrund ist das Bundeskanzleramt zu sehen.*

*Quelle:*

*BSW-Solar/Langrock*

## *Ihre Ansprechpartner:*

### **Wettervorhersage**

Tel.: 0 69 / 80 62 - 26 72

Fax: 0 69 / 80 62 - 36 82

E-Mail: [vorhersage@dwd.de](mailto:vorhersage@dwd.de)

### **Klimaberatung**

Tel.: 0 40 / 66 90 - 19 22

Fax: 0 40 / 66 90 - 19 33

E-Mail: [klima.hamburg@dwd.de](mailto:klima.hamburg@dwd.de)

*Besuchen Sie uns doch einmal im Internet.*

**[www.dwd.de](http://www.dwd.de)**



**Deutscher Wetterdienst  
Klima- und Umweltberatung**

Bernhard-Nocht-Str. 76, 20359 Hamburg

Telefon: 0 40 / 66 90 - 19 22, Telefax: 0 40 / 66 90 - 19 33

E-Mail: [klima.hamburg@dwd.de](mailto:klima.hamburg@dwd.de), Internet: [www.dwd.de/klima](http://www.dwd.de/klima)