

Wie viel Ertrag können Sie von einer Photovoltaik-Anlage erwarten?

Photovoltaik-Planungsleitfaden

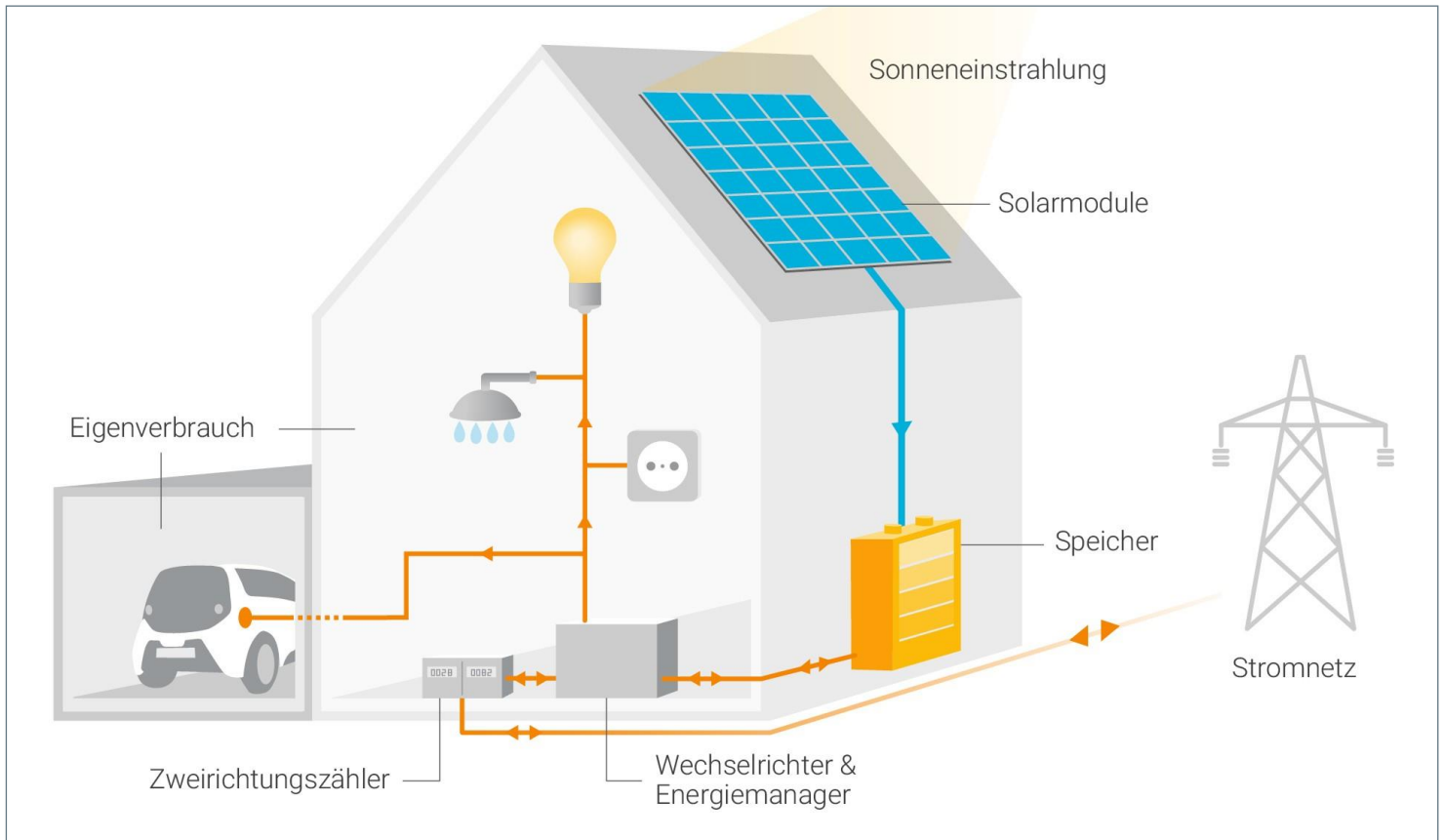


Abb. 1: Funktionsweise einer Photovoltaikanlage

Funktionsweise von Photovoltaikanlagen

Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) erzeugen Strom aus Sonnenlicht und bestehen im Wesentlichen aus den PV-Modulen, auf denen viele einzelne Solarzellen miteinander in Strings verbunden sind; einem Montagesystem bzw. einer Unterkonstruktion zur Befestigung an Dach oder Fassade; der Verkabelung und dem Wechselrichter zur Umwandlung des erzeugten Gleichstroms in Wechselstrom. Da die PV-Anlage der Stromerzeugung dient, wird sie auch als Generator bezeichnet. Der Betrag der Einspeisung von Solarstrom ins Stromnetz wird durch einen Zähler gemessen.

Wichtige Kenngrößen?

Die jährlich produzierbare Strommenge einer Photovoltaik-Anlage bezeichnet man als ihren Ertrag, der in Kilowattstunden (kWh) gemessen wird. Die Nennleistung von Photovoltaikanlagen wird zum Beispiel in Kilowattpeak (kW_{peak} bzw. kW_p) angegeben und bezieht sich auf die

Leistung bei Testbedingungen, die in etwa der maximalen Sonnenstrahlung in Deutschland entsprechen. Die Testbedingungen dienen zur Normierung und zum Vergleich verschiedener Solarmodule. Die Nennleistung wird unter Standardtestbedingungen im Labor (Sonneneinstrahlung: 1.000 Watt/m² Modulfläche, Modultemperatur: 25°C, etc.) ermittelt. Für die Spitzenleistung von 1 kW_p wird je nach Modulart und -qualität etwa 6 bis 10 m² Fläche benötigt. Der spezifische Ertrag (kWh/kW_p) zeigt das Verhältnis von Nutzertrag und installierter Modulleistung in Kilowatt Peak.

Um möglichst hohe Erträge zu erwirtschaften, sind bereits in der Planungsphase alle Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Die Einflussgrößen können in zwei Gruppen aufgeteilt werden:

1. Nicht beeinflussbare, am Standort gegebene Faktoren (die Menge an verfügbarer Sonnenenergie)
2. Technische Faktoren (Umwandlung der Sonnenenergie in nutzbaren Strom)

Globalstrahlung

Als Globalstrahlung wird die gesamte auf eine horizontale Fläche auftreffende Solarstrahlung im Laufe eines Zeitraums bezeichnet, die sowohl die direkte als auch die indirekte Sonneneinstrahlung umfasst. Sie wird in z.B. in Kilowattstunden pro Quadratmeter (kWh/m²) gemessen. Eine wichtige Eingangsgröße für die Planung einer Photovoltaik-Anlage ist die durchschnittliche Jahressumme der Einstrahlung auf eine horizontale Fläche („Globalstrahlung“), die in Deutschland ca. 1.050 kWh pro m² und Jahr beträgt.

Sonnenstunden in Deutschland

Die Anzahl der Sonnenstunden in Deutschland beträgt jährlich je nach Standort rund 1.300 bis 1.900 Stunden.

Dachausrichtung und Dachneigung

Ein wesentlicher Faktor für den bestmöglichen Ertrag ist der Winkel, in dem die Sonnenstrahlen auf die Fläche fallen. Den höchsten Ertrag erzielen Photovoltaik-Module, wenn die Sonne im rechten Winkel auf die Solarmodule trifft. Die Neigung der Module bei Steildächern entspricht in der Regel der Dachneigung; das heißt, es werden dachparallele Anlagen gebaut. Die aufgeständerten Anlagen auf Flachdächern können hingegen beliebig geneigt und zur Sonne ausgerichtet werden.

Für einen optimalen Sonnenlichteinfallswinkel werden für Deutschland Neigungswinkel von ca. 30° bis 36° empfohlen. Die Ausrichtung der Modulfläche sollte im Idealfall nach Süden zeigen.

Jedoch zeigen die Praxiserfahrungen, dass leichte Abweichungen den Ertrag nur unwesentlich mindern.

Die Ost-West-Ausrichtung erhöht den Solarstrom-Ertrag in den verbrauchsstarken Stunden am Morgen und am Abend.

Auf Flachdächern können die Module aufgeständert werden; die Himmelsrichtung und Neigung sind frei wählbar. Allerdings ist darauf zu achten, dass sich die Module nicht gegenseitig verschatten. Die notwendigen Abstände zwischen den Modulen bedeuten eine deutlich größere Installationsfläche gegenüber einer horizontalen Belegung der Dachfläche, um den gleichen Ertrag zu erzielen.

Verschattung

Als kritischer, standortabhängiger Faktor ist die Abschattung der Modulfläche (z.B. durch Bäume, Nachbargebäude, Schornsteine, Dachaufbauten) zu sehen. Die Verschattung im Wechsel der Tages- bzw. Jahreszeiten, des Sonnenstands und des Einfallswinkels muss bei der Planung unbedingt geprüft und berücksichtigt werden. Denn auch ein kleinerer, verschatteter Bereich auf der Modulfläche kann die gesamte Leistung des Strings stark vermindern.

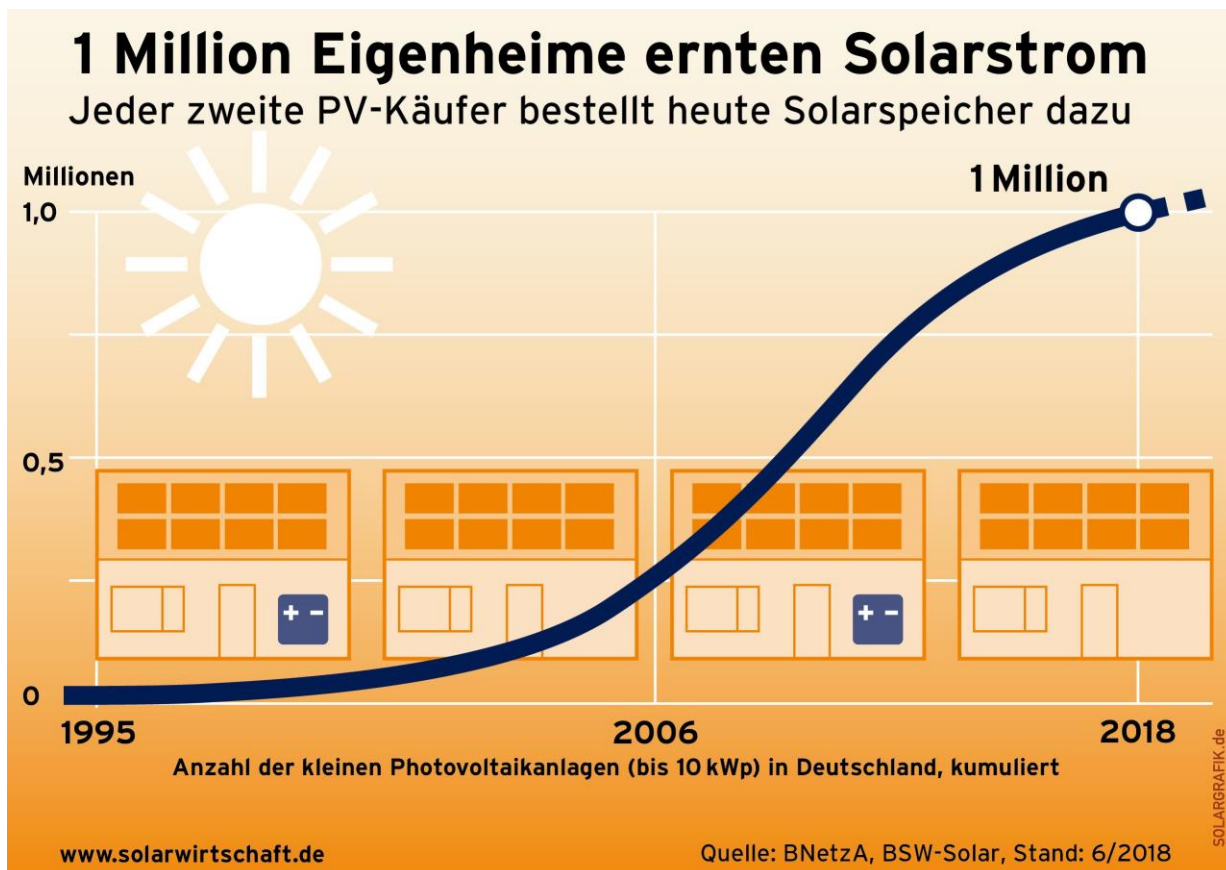


Abb. 2: Verbreitung von Photovoltaik-Anlagen

Qualität der Planung und der Technik-Komponenten

Anlagenwirkungsgrad

Die Leistung einer Solaranlage wird entscheidend vom Wirkungsgrad der Solarmodule und den Verlusten bei Wechselrichter und Verkabelung beeinflusst.

Der Modulwirkungsgrad ist je nach Art der Solarzellen unterschiedlich. Marktübliche Module mit monokristallinen Zellen kommen auf Wirkungsgrade von 20 bis 22%. Polykristalline Zellen mit 15 bis 19% und Dünnschichtmodule mit 6 bis 7% Wirkungsgrad bringen bei gleicher Modulfläche einen geringeren Ertrag.

Wenn Solarzellen der Sonne ausgesetzt sind, verlieren sie mit der Zeit an Leistungsfähigkeit („Degradation“). In Wirtschaftlichkeitsrechnungen wird bei kristallinen Zellen pro Jahr ein geringerer Ertrag von ca. 0,5 Prozent angesetzt. In der Praxis zeigen Untersuchungen aber eine durchschnittliche Degradation von nur 0,1 % pro Jahr. Unter Lichteinwirkung haben neue PV-Anlagen eine Anfangsdegradation; bei Modulen mit mono- oder polykristallinen Zellen entspricht diese 1-2%. Bei Dünnschichtmodulen aus amorphen Siliziumzellen nimmt die Leistung in den ersten 1.000 Sonnenstunden ab; danach nur noch wenig. Da sich Alterungseffekte von Solaranlagen kaum beeinflussen lassen, geben die Hersteller häufig einer der jeweils maximal zu erwartenden Degradation entsprechende Leistungsgarantie auf ihre Module von 20 bis 25 Jahren; manche sogar 30 Jahre.

Auch die Modultemperatur beeinflusst den Ertrag. Im Sommer, bei optimalen Strahlungsangebot nimmt die Leistung der Anlage durch hohe Lufttemperaturen und die Erwärmung der Zellen ab. Eine gute Hinterlüftung kann die Kühlung der Module sicherstellen.

Die richtige Dimensionierung und Verschaltung des Wechselrichters ist für das Ergebnis von entscheidender Bedeutung. Mit fachkundiger Planung können die Umwandlungsverluste minimiert und die Leistung optimiert werden.

Durch richtige Verkabelung (Leitungsführung, Kabelquerschnitt und Länge der Kabelverbindungen) können Leitungsverluste reduziert werden.

Qualitätsfaktor – Performance Ratio

Die Performance Ratio (=Leistungsverhältnis) bezeichnet für Photovoltaikanlagen das Verhältnis zwischen dem tatsächlich erreichten Ist-Ertrag (Wechselstromertrag) und den theoretischen Soll-Ertrag (Produkt aus Einstrahlungssumme auf die Modulfläche und nominellem Modulwirkungsgrad).

PV-Anlagen haben im Betrieb neben Wandlungsverlusten der Anlagenkomponenten (Module, Wechselrichter) zusätzliche Verluste, wie z.B. Leitungsverluste, Verluste durch erhöhte Betriebstemperatur, durch Verschattung, durch Verschmutzung der Module oder durch variierende Einstrahlung. Diese werden in der Performance Ratio (PR) berücksichtigt. Sie ist einer der wichtigsten Kenngrößen zur Bewertung der Effizienz einer Photovoltaik-Anlage. Dabei gilt: je näher der ermittelte PR-Wert an 100% liegt, desto besser ist die Qualität des Systems. Durchschnittswerte liegen zwischen 70% und 80%; gut geplante Anlagen erreichen 85% bis 90%.

Der Solarstrom-Ertrag einer Photovoltaik-Anlage

Bei Einsatz kristalliner Module wird für die Installation von 1 kWp (Kilowatt peak) nomineller Leistung ca. 7 bis 9 m² Modul-Fläche benötigt.

Unter optimalen Bedingungen können in Deutschland, abhängig von der Region, durchschnittlich 800 bis 1050 kWh pro kWp installierter Leistung pro Jahr erzielt werden. In München ist mit über 1.000 kWh pro kWp zu rechnen.

Grob gesagt, erzeugen 4 bis 5 kWp installierter Leistung im Jahr 3.500 bis 5.000 kWh Solarstrom; ausreichend für einen Vierpersonenhaushalt in einem Einfamilienhaus.

Optimale Bedingungen sehen folgendermaßen aus:

- Eine nach Süden ausgerichtete PV-Anlage, die um 30 bis 35 Grad geneigt ist
- Fachgerechte Planung und Dimensionierung des PV-Generators mit dem Wechselrichter und Verkabelung
- Performance Ratio 85 bis 90 %
- Geringe Betriebstemperatur – gute Hinterlüftung
- Verschattungsfreie Lage
- Keine Verringerung des Ertrags durch Schneeeinlagerung oder Verschmutzung

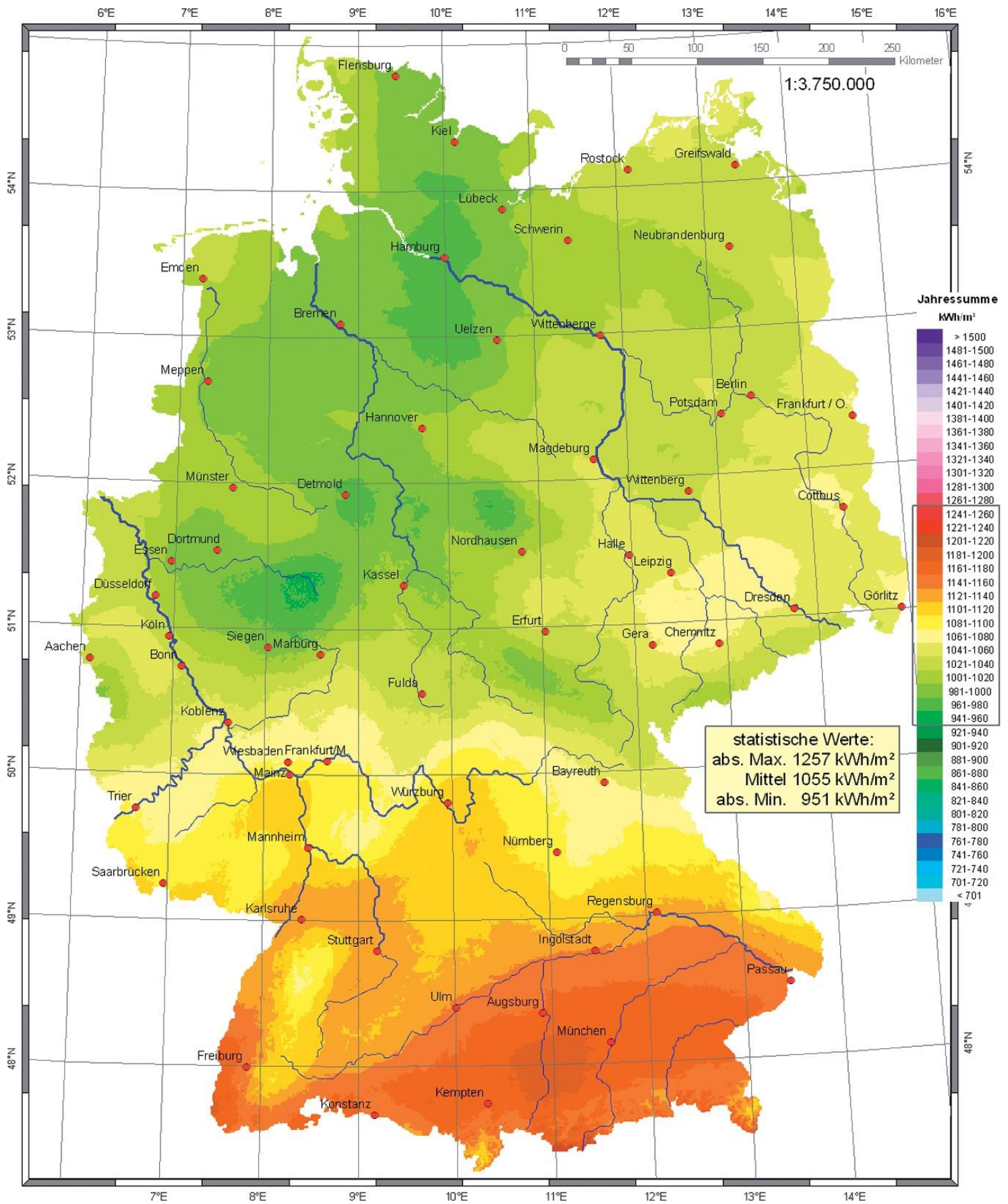


Abb. 3: Jährliche Sonneneinstrahlung in Deutschland (Daten DWD, 1981-2010)

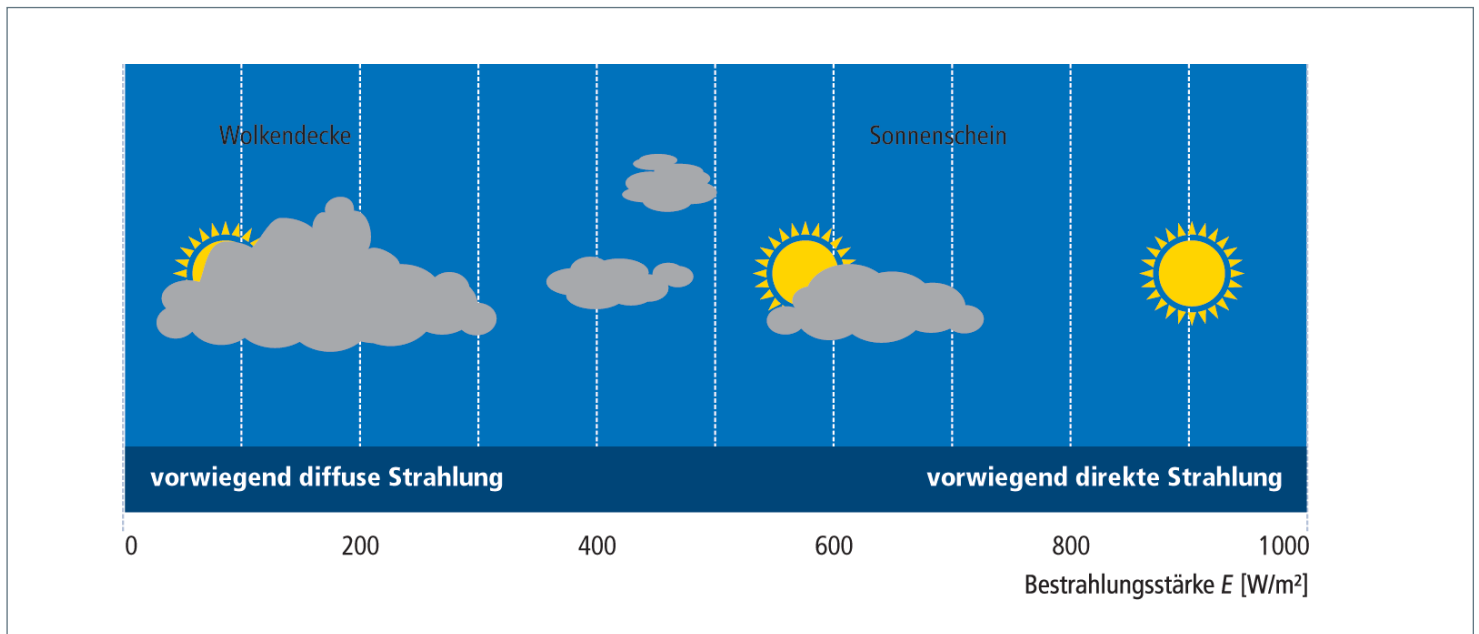


Abb. 4: Typischer Verlauf der Tagessummen der Direkt- und Diffusstrahlung in Berlin

Mit welchen Maßnahmen lässt sich der Solarertrag Anlage steigern?

Durch technische Innovationen können die Erträge weiter optimiert werden, zum Beispiel durch:

- Innovative Systemkomponenten (bifaziale Modultechnologien, Verringerung von Moduldegradation, Modul-Leistungsoptimierer, Wechselrichter-Innovationen, usw.)
- Nachführungssysteme („Tracking“)
- Energiemanagementsysteme – Überwachung mit Apps und Internet

Den Ertragssteigerungen stehen allerdings in der Regel höhere Investitionskosten gegenüber. Die Berücksichtigung aller Faktoren ist eine komplexe Angelegenheit. Fachkundige Beratung ist zu empfehlen; vor allem, wenn keine Standardtechnik verbaut wird. Solarberater*innen weisen auch auf Anforderungen hin, an die Hauseigentümer*innen nicht immer denken: Statik, Blitzschutz etc. Professionelle Auslegungs- und Simulationsprogramme können die Berechnungen zeitsparend und zuverlässig unterstützen und sollten hinzugezogen werden.

Folgende Fragen helfen für eine erste Abschätzung:

Wie viel kWp gehen auf mein Dach?

7-9 m² Netto-Dachfläche werden benötigt je kWp

Wie viel kWp brauche ich?

1 kWp produziert ca. 1.000 kWh/Jahr.

Was macht Sinn?

Bei einem Stromverbrauch von 5.000 kWh/Jahr gilt:

- PV-Anlage > 5 kW
- Akku-Speicher (optional) > 5 kWh

Ausnutzung der Dachfläche

Neben dem möglichen Ertrag der PV-Anlage selbst kann auch die potenzielle Solarstromernte auf der gesamten Dachfläche ermittelt werden. Bei größeren Flachdächern werden aktuell vorwiegend flachgeneigte Module mit max. 10 Grad Neigung installiert, um Verschattungen durch Module zu minimieren. Dies ist mit einer Minderung des Anlagenertrags von ca. 8-9% verbunden. Die Ost-West-Ausrichtung erhöht den Solarstrom-Ertrag in den verbrauchs- starken Stunden am Morgen und am Abend. Aufgrund der gesunkenen Einspeisevergütung von Solarstrom ins Strom- netz empfiehlt sich ohnehin die Auslegung der PV-Anlage auf Eigenverbrauch im Gebäude.

Den Ertragseinbußen

im Vergleich zu einer nach Süden ausgerichteten Anlage mit größerem Anstellwinkel (siehe oben) steht bei dieser Lösung ein höherer Ertrag der Dachfläche aufgrund der größeren realisierbaren Modulfläche gegenüber.

Bildverzeichnis:

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS e.V.)

Autorin: Cigdem Sanalmis

Herausgeberin:

Landeshauptstadt München Referat für Klima- und Umweltschutz

Bayerstraße 28a

80335 München

muenchen.de/rku

Foto Referentin: Gerd Krautbauer Stand:

Mai 2019