Kenndaten von PV-Wechselrichtern

H. Buers, Berlin

Solaranlagenplaner sollten ihr Augenmerk nicht nur auf die standortbedingten Einflüsse bei einer Photovoltaikanlage und die spezifischen Merkmale von Solarmodulen richten, sondern auch auf die Wirtschaftlichkeit des Wechselrichters. Zur Beurteilung sind die Herstellerangaben heranzuziehen, wobei vor allem verschiedene Arten von Wirkungsgraden und andere Kenndaten von Bedeutung sind.

1 Wirkungsgrade

Grundlegende Aufgabe eines modernen Solarwechselrichters ist es, den vom Solargenerator erzeugten Gleichstrom in einen netzkonformen Wechselstrom umzuformen. Weitere Funktionen sind die Anpassung des Arbeitspunktes des Wechselrichters an den Maximum Power Point (MPP) des Solargenerators (siehe Kasten) sowie die Betriebsdatenerfassung und -signalisierung.

Die Wirkungsgrade eines Wechselrichters bestimmen neben der Zell- und Modultechnologie sowie einigen standortbedingten Faktoren in nicht unerheblichem Maße den Ertrag einer Photovoltaikanlage. Die meisten Hersteller nennen auf ihren Datenblättern als Nennwirkungsgrad den **Umwandlungswirkungsgrad,** der für den Betrieb mit Nennspannung und Nennstrom gilt. Häufig geben sie auch den **maximalen Umwandlungswirkungsgrad** an, der im Teillastbereich, meist bei 80 bis 50 % der Nennleistung, erreicht wird.

Einige Hersteller nennen neben dem Umwandlungswirkungsgrad oder auch allein den **Europäischen Wirkungsgrad,** wobei in der Regel die Nennspannung zu Grunde gelegt wird. Fast nie sind in der Dokumentation zum Wechselrichter Europäische Wirkungsgrade zu finden, die auf zwei oder mehr verschiedenen Spannungen (U_{MPP}) fußen. Für die Planung einer optimal dimensionierten Photovoltaikanlage wären solche Daten jedoch eine große Hilfe. Neben den genannten wären noch der **Anpassungswirkungsgrad** und der **statische Wirkungsgrad** zu nennen. Darüber hinaus der **totale** und der **MPP-abhängige dynamische Wirkungsgrad,** mit dem in jüngerer Zeit Forscher aus der Schweiz auf sich aufmerksam gemacht haben.

1.1 Umwandlungswirkungsgrad

Die Umformung von Gleich- in Wechselstrom in Wechselrichtern verursacht Verluste, deren Ausmaß durch den Umwandlungswirkungsgrad η_{UM} wiedergegeben wird. Die Verluste entstehen im Leistungsschalter und im Transformator (falls der Wechselrichter einen solchen besitzt) sowie in den Komponenten für die Steuerung, Regelung und Datenerfassung der Photovoltaikanlage. Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis der Ausgangswirkleistung zur Eingangswirkleistung. Als Formel:

$$\eta_{UM} = \frac{P_{AC}\,[\text{Ausgangswirkleistung}]}{P_{DC}\,[\text{Eingangswirkleistung}]}$$

Eine wechselnde Sonneneinstrahlung führt dazu, dass der Wechselrichter oft im Teillastbereich und nur sehr selten im Nennbetrieb arbeitet. Das bedeutet aber, dass der Umwandlungswirkungsgrad – in Datenblättern auch angegeben als Nennwirkungsgrad (bei Nennspannung und -strom) oder als der maximale Wirkungsgrad – nur bei bestimmten Einstrahlungs- und Temperaturverhältnissen erreicht wird. Dieser Zusammenhang wird in der oben genannten Berechnungsformel für η_{UM} nicht berücksichtigt. Da er aber für den solaren Ertrag über das gesamte Jahr entscheidend ist, sollten Planer für Energieertragsberechnungen auf Wirkungsgradkennlinien der Hersteller zurückgreifen, die in den Datenblättern allerdings nur selten zu finden sind. Wirkungsgradkennlinien gelten bei einer bestimmten Umgebungstemperatur des Wechselrichters und sind von der Eingangsspannung abhängig.

1.2. Anpassungswirkungsgrad

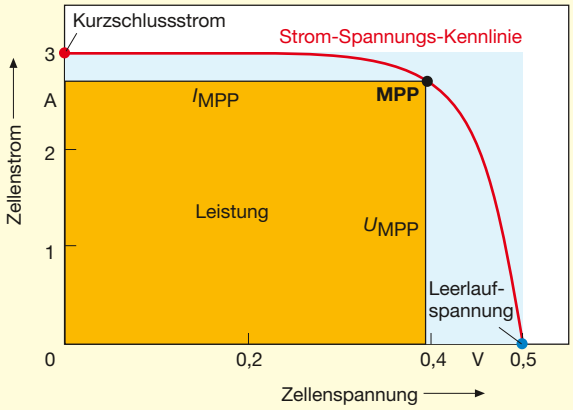
Der Maximum Power Point (MPP) einer Photovoltaikanlage ist eine variable Größe, die sich im Tagesverlauf den unterschiedlichen Einstrahlungs- und Temperaturverhältnisse entsprechend ständig ändert und den Energieertrag mindert. Moderne Solarwechselrichter sind aber in der Lage, das weitgehend zu verhindern, indem sie immer den optimalen Arbeitspunkt auf der I-U-Kennlinie einzustellen versuchen (MPP-Tracking). Das Maß, in dem das gelingt, wird ausgedrückt durch den Anpassungswirkungsgrad η_{AN}, der seinerseits das Verhältnis von momentaner Eingangswirkleistung zur maximalen momentanen Generatorleistung wiedergibt. Die entsprechende Formel sieht so aus:

$$\eta_{AN} = \frac{P_{DC}\,[\text{momentane Eingangswirkleistung}]}{P_{PV}\,[\text{max. momentane Generatorleistung}]}$$

Ein guter Anpassungswirkungsgrad ist in hohem Maße von der Geschwindigkeit abhängig, mit der der MPP-Regler den Maximum Power Point einstellt. Schnelles MPP-Tracking sorgt also dafür, dass auch kurzzeitige Einstrahlungsspitzen, wie sie an Tagen mit wechselnder Bewölkung auftreten, genutzt werden

Maximum Power Point (MPP) und MPP-Tracking

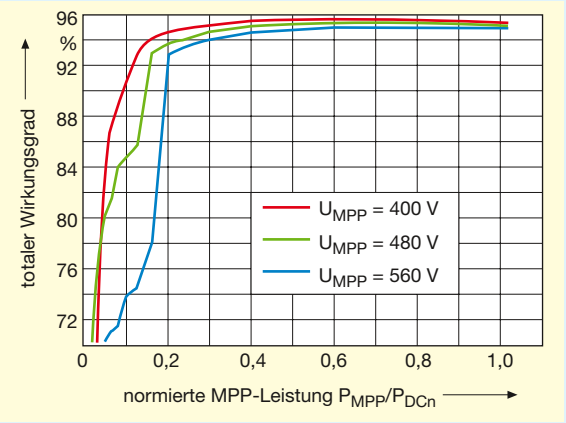
Der Maximum Power Point (MPP) ist der Punkt der Modulkennlinie, in dem der Solargenerator seine maximale Leistung erzeugt. Diese ergibt sich aus dem Produkt der Solarzellenspannung U_{MPP} multipliziert mit dem Solarzellenstrom I_{MPP} und hat die Einheit Watt$_{peak}$ (W_P). Ihre Größe wird maßgeblich vom Solarzellenstrom I_{MPP} bestimmt. Da der MPP von der Sonneneinstrahlung und der Temperatur abhängig ist, muss er immer neu eingestellt werden, um die größtmögliche solare Leistung zu erzielen. Das geschieht über einen MPP-Tracker, einer Regelelektronik im Wechselrichter, die den MPP überwacht und über eine Änderung des Lastwiderstands kontinuierlich so justiert, dass der Solargenerator immer optimal arbeitet.



Strom-Spannungs-Kennlinie einer Silizium-solarzelle mit Maximum Power Point (MPP)

Autor
Hermann Buers ist freier Fachjournalist, Berlin.

❶ Messungen der Gesamtwirkungsgrade (totale Wirkungsgrade) bei einem trafolosen Wechselrichter bei unterschiedlichen Eingangsspannungen



können. Zu hohe Leistungsspitzen (weit über 1000 W/m^2) werden übrigens in der Regel durch eine Leistungsbegrenzungselektronik des Wechselrichters abgeschnitten.

Bei transformatorlosen Wechselrichtern können EMV-Probleme auftreten, die dann eine Schwankung des MPP bewirken. Hervorgerufen werden sie durch eine unerwünschte Einkopplung der Netzspannungsfrequenz auf die Gleichstromseite. Durch den Einbau von Filtern oder durch den Einsatz eines Wechselrichters mit einer weniger EMV-gefährdeten Schaltungstopologie lassen sich solche Probleme weitgehend ausschalten.

1.3 Statischer Wirkungsgrad

Der statische Wirkungsgrad η_{WR} (Gesamtwirkungsgrad) macht eine Aussage zur Gesamthöhe der Wechselrichterverluste und wird gebildet aus dem Produkt von Umwandlungs- und Anpassungswirkungsgrad:

$$\eta_{WR} = \eta_{UM} \cdot \eta_{AN}$$

Dieser statische Wirkungsgrad lässt sich für verschiedene Belastungsfälle ermitteln.

1.4 Eurowirkungsgrad

Der Wirkungsgrad eines Wechselrichters hängt von der aktuellen Eingangsleistung und damit von der Sonneneinstrahlung ab. Diese schwankt jedoch in unseren Breitengraden recht häufig. Um dennoch zu einer hinlänglich aussagekräftigen Angabe zum Wirkungsgrad zu kommen, werden verschiedene Teillastwirkungsgrade und der Volllastwirkungsgrad nach der Häufigkeit und der Intensität der mitteleuropäischen Sonneneinstrahlung gewichtet. Dieser so genannte Europäische Wirkungsgrad (kürzer: Eurowirkungsgrad) versucht also, das europäische Klima zu berücksichtigen. Er entspricht einem durchschnittlichen Betriebswirkungsgrad und gibt mit relativer Genauigkeit die tatsächliche Leistungsfähigkeit eines Wechselrichters wieder. Moderne Wechselrichter erreichen einen Eurowirkungsgrad von 92 bis 96 %.

Folgende sechs Wirkungsgrade für unterschiedliche Generatorleistungen (vom Klima abhängig) werden zum Eurowirkungsgrad addiert:

$$\eta_{Euro} = 0{,}03 \cdot \eta_{5\%} + 0{,}06 \cdot \eta_{10\%} + 0{,}13 \cdot \eta_{20\%} + 0{,}1 \cdot \eta_{30\%} + 0{,}48 \cdot \eta_{50\%} + 0{,}2 \cdot \eta_{100\%}$$

Zur Erläuterung: Der Wert $\eta_{100\%}$ ist der Wirkungsgrad, der sich bei 100-%iger DC-Nennleistung des Solargenerators (maximale Sonneneinstrahlung) einstellt. Die Leistung des Solargenerators entspricht in diesem Falle der Nennleistung des Wechselrichters (P_{PV}=P_{nWR}). Der zweite Wert ist der Faktor, mit dem dieser Wirkungsgrad gewichtet wird. Er bedeutet in diesem Falle, dass für den bei maximaler Generatorleistung zu 100 % belasteten Wechselrichter eine durchschnittliche jährliche Betriebszeit von 20 % angenommen wird (Faktor 0,2). Die höchste Gewichtung erfährt der Wirkungsgrad $\eta_{50\%}$: Ihm wurde der Faktor 0,48 zugeordnet. Der Wechselrichter arbeitet bei dieser Vorgabe also während fast der Hälfte seiner jährlichen Betriebszeit mit einer DC-Nennleistung von 50 %. Die weiteren vier Belastungsfälle werden entsprechend gebildet. Die Faktoren in der oben genannten Gleichung addieren sich (selbstverständlich) zum Wert 1.

1.5 Totaler Wirkungsgrad

Solaranlagenplaner bemängeln häufig, dass Hersteller den Eurowirkungsgrad meist nur unter Berücksichtigung der Nennspannung oder einer optimalen MPP-Spannung ermitteln. Die daraus resultierenden Angaben können zu ungenauen Berechnungen des Energieertrags führen. Das Problem, das dahinter steht: Der Wechselrichter versucht, bei sich ändernden Einstrahlungs- und Temperaturwerten immer möglichst im Maximum Power Point zu bleiben. Dabei wird meist stillschweigend angenommen, dass der Wechselrichter dann auch genau in diesem MPP arbeitet. Je nach angewendetem Trackingverfahren bestehen aber bei gewissen Leistungen und Spannungen mehr oder weniger große Abweichungen, was den Energieertrag der Gesamtanlage unter Umständen bis zu einigen Prozentpunkten reduzieren kann. Forschungs- und Entwicklungsgremien schlagen deshalb

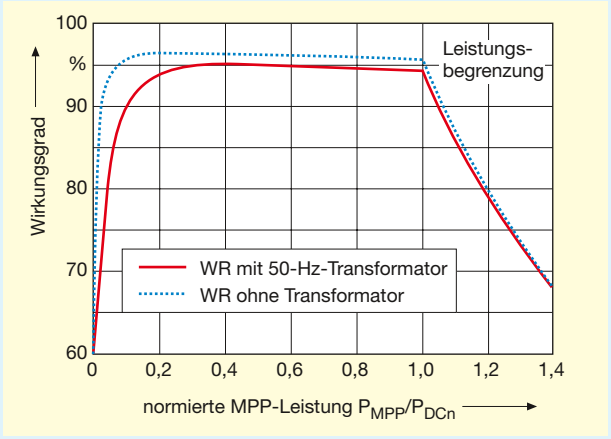
Tafel 1 Aufstellung der Normen, Entwürfe und Spezifikationen, die speziell für PV-Anwendungen entwickelt wurden (Stand: Juni 2007)

Quelle: DKE

Normen

Nummer	Titel
DIN EN 50461 (VDE 0126-17-1):2007-03	Solarzellen – Datenblattangaben und Angaben zum Produkt für kristalline Silicium-Solarzellen; Deutsche Fassung EN 50461:2006
DIN EN 60891:1996-10	Verfahren zur Umrechnung von gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien von photovoltaischen Bauelementen aus kristallinem Silizium auf andere Temperaturen und Einstrahlungen (IEC 60891:1987 + A1:1992); Deutsche Fassung EN 60891:1994
DIN EN 60904-1 (VDE 0126-4-1):2007-07	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 1: Messen der photovoltaischen Strom-Spannungskennlinien (IEC 60904-1:2006); Deutsche Fassung EN 60904-1:2006
DIN EN 60904-2:1995-04 und Änderung A1:1998-11	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 2: Anforderungen an Referenz-Solarzellen (IEC904-2:1993 mit A1:1998); Deutsche Fassung EN 60904-2:1993 mit A1:1998
DIN EN 60904-3:1995-04	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 3: Messgrundsätze für terrestrische photovoltaische (PV) Einrichtungen mit Angaben über die spektrale Strahlungsverteilung (IEC 60904-3:1989); Deutsche Fassung EN 60904-3:1993
DIN EN 60904-5:1996-12	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 5: Bestimmung der gleichwertigen Zellentemperatur von photovoltaischen (PV) Betriebsmitteln nach dem Leerlaufspannungs-Verfahren (IEC 60904-5:1993); Deutsche Fassung EN 60904-5:1995
DIN EN 60904-6:1996-02 und Änderung A1:1998-11	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 6: Anforderungen an Referenz-Solarmodule (IEC 60904-6:1994/A1:1998); Deutsche Fassung EN 60904-6:1994/A1:1998
DIN EN 60904-7:1998-11	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 7: Berechnung des Fehlers der spektralen Fehlanpassung, der beim Prüfen von photovoltaischen Einrichtungen entsteht (IEC 60904-7:1998); Deutsche Fassung EN 60904-7:1998
DIN EN 60904-8:1998-11	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 8: Messung der spektralen Empfindlichkeit einer photovoltaischen (PV) Einrichtung (IEC 60904-8:1998); Deutsche Fassung EN 60904-8:1998
DIN EN 60904-10:1998-11	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 10: Messverfahren für die Linearität (IEC 60904-10:1998); Deutsche Fassung EN 60904-10:1998
DIN EN 61173:1996-10	Überspannungsschutz für photovoltaische (PV) Stromerzeugungssysteme; Leitfaden (IEC 61173:1992); Deutsche Fassung EN 61173:1994
DIN EN 61194:1996-12	Charakteristische Parameter von photovoltaischen (PV) Inselsystemen (IEC 61194:1992, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61194:1995
DIN EN 61215 (VDE 0126-31):2006-02	Terrestrische Photovoltaik-(PV-) Module mit Silizium-Solarzellen; Bauarteignung und Bauartzulassung (IEC 61215:2005); Deutsche Fassung EN 61215:2005
DIN EN 61277:1999-02	Terrestrische photovoltaische (PV-) Stromerzeugungssysteme; Allgemeines und Leitfaden (IEC 61277:1995); Deutsche Fassung EN 61277:1998
DIN EN 61345:1998-11	Prüfung von photovoltaischen (PV) Modulen mit ultravioletter (UV-)Strahlung (IEC 61345:1998); Deutsche Fassung EN 61345:1998
DIN EN 61646:1998-03	Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik-(PV-) Module – Bauarteignung und Bauartzulassung (IEC 61646:1996); Deutsche Fassung EN 61646:1997
DIN EN 61683:2000-08	Photovoltaische Systeme – Stromrichter-Verfahren zur Messung des Wirkungsgrades (IEC 61683:1999); Deutsche Fassung EN 61683:2000
DIN EN 61701:2000-08	Salznebel-Korrosionsprüfung von photovoltaischen (PV-) Modulen (IEC 61701:1995); Deutsche Fassung EN 61701:1999
DIN EN 61702:2000-08	Bemessungsdaten direktgekoppelter photovoltaischer (PV-) Pumpensysteme (IEC 61702:1995); Deutsche Fassung EN 61702:1999
DIN EN 61721:2000-08	Empfindlichkeit von photovoltaischen (PV-) Modulen gegen Stoßbeschädigung (Prüfung der Stoßfestigkeit) (IEC 61721:1995); Deutsche Fassung EN 61721:1999
DIN EN 61724:1999-04	Überwachung des Betriebsverhaltens photovoltaischer Systeme; Leitfaden für Messen, Datenaustausch und Analyse (IEC 61724:1998); Deutsche Fassung EN 61724:1998
DIN EN 61725:1998-03	Analytische Darstellung für solare Tagesstrahlungsprofile (IEC 61725:1997); Deutsche Fassung EN 61725:1997
DIN EN 61727:1996-12	Photovoltaische (PV-) Systeme; Eigenschaften der Netz-Schnittstelle (IEC 61727:1995); Deutsche Fassung EN 61727:1995
DIN EN 61829:1999-02	Photovoltaische (PV-) Modulgruppen aus kristallinem Silizium; Messen der Strom-/Spannungskennlinien am Einsatzort (IEC 61829:1995); Deutsche Fassung EN 61829:1998
DIN EN 62093 (VDE 0126-20):2005-12	BOS-Bauteile für photovoltaische Systeme – Bauarteignung natürliche Umgebung (IEC 62093:2005); Deutsche Fassung EN 62093:2005
E DIN VDE 0126 (VDE 0126):1999- 04 mit Ermächtigung	Selbsttätige Freischaltstelle für Photovoltaikanlagen einer Nennleistung <kleiner => 4,6 kVA und einphasiger Paralleleinspeisung über Wechselrichter in das Netz der öffentlichen Versorgung (wurde zum 31.01.2007 zurückgezogen!)
DIN EN 62124 (VDE 0126-20-1):2005-10	Photovoltaische (PV) Inselsysteme - Bauarteignung und Typprüfung (IEC 62124:2004); Deutsche Fassung EN 62124:2005
DIN V VDE V 0126-1-1 (VDE V 0126-1-1):2006-02	Selbsttätige Schaltstelle zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem öffentlichen Niederspannungsnetz
DIN V VDE V 0126-3 (VDE V 0126-3):2006-12	Steckverbinder für Photovoltaik-Systeme – Sicherheitsanforderungen und Prüfungen
DIN V VDE V 0126-18-1 (VDE V 0126-18-1):2006-04	Solarscheiben – Teil 1: Datenblattangaben und Angaben zum Produkt für kristalline Silizium-Solarscheiben
DIN V VDE V 0126-18-2-1 (VDE V 0126-18-2-1):2007-06	Solarscheiben – Teil 2-1: Messung der geometrischen Dimension von Siliciumscheiben – Scheibendicke
DIN V VDE V 0126-18-2-2 (VDE V 0126-18-2-2):2007-06	Solarscheiben – Teil 2-2: Messung der geometrischen Dimension von Siliciumscheiben – Dickenvariation

Fortsetzung auf Seite 894



❷ Wirkungsgrad und Abregelung bei Wechselrichter mit (blau) und ohne (rot) Transformator



❸ Moderne Kommunikationstechniken ermöglichen es, Wechselrichterdaten an eine Internet-Datenbank zu schicken und sie dort auswerten und visualisieren zu lassen.

Foto: SMA

schon seit einiger Zeit vor, einen MPP-Tracking-Wirkungsgrad (η_{MPPT}) und – daraus abgeleitet – einen Gesamtwirkungsgrad (η_{tot}) einzuführen. Der totale Wirkungsgrad η_{tot} berücksichtigt das statische Verhalten eines Wechselrichters besser als der reine Umwandlungswirkungsgrad. Er sollte von den Herstellern unter Berücksichtigung verschiedener Spannungen angegeben werden (Bild ❶).

1.6 Dynamischer MPP-Tracking-Wirkungsgrad

Neben dem statischen Betriebsverhalten eines Wechselrichters, das durch den totalen Wirkungsgrad sowie dem MPPT- und Umwandlungswirkungsgrad hinlänglich beschrieben werden kann, interessiert in der Praxis natürlich auch das dynamische Verhalten. Es ist so, dass Wechselrichter mit schnellem MPP-Tracking bei rasch schwankender Einstrahlung höhere Energieerträge haben als solche mit träger Regelung. Auch hier sollten die Hersteller dazu angehalten werden, die Güte des MPP-Trackings ihrer Wechselrichter zu ermitteln und als MPP-Tracking-Wirkungsgrad anzugeben. Es bleibt abzuwarten, ob diese Ansätze durch die Branche angenommen werden und in die europäische Normung einfließen.

1.7 Überlastverhalten

Wechselrichter können kurzzeitige Überlastungen meist ohne bleibende Schädigungen verkraften. Dauert die Überlastung aber länger an und erreichen die Bauteiltemperaturen eine kritische Größe, wird das Gerät „abgeregelt“ (Bild ❷). Eine der verschiedenen Möglichkeiten dazu besteht darin, den MPP zu verschieben mit der Folge, dass die DC-Nennleistung sinkt. Eine andere Möglichkeit der Leistungsbegrenzung ist das alternierende Abschalten des Wechselrichters. Da die maximale Leistung auch von der Umgebungstemperatur des Wechselrichters abhängt, wird bei guten Geräten die Abregelgrenze durch zusätzliche Lüfter nach oben verschoben.

2 Standard-Test-Bedingungen (STC)

Um verschiedene Photovoltaikmodule unabhängig vergleichen und bewerten zu können, wurden mit den Standard-Testbedingungen (kurz: STC; steht für Standard Test Conditions) weltweit einheitliche Messvoraussetzungen definiert, unter denen Strom, Spannung und Leistung eines Solarmoduls im Labor gemessen und angegeben werden. Konstante Größen bei der Messung sind: Bestrahlungsstärke von 1000 W/m^2; Spektrum des Lichts nach Durchgang durch die 1,5-fache Dicke der Atmosphäre (AM 1,5); Temperatur der Solarzelle von 25° C. Die Leistung wird in W_P (Watt peak) angegeben.

Fortsetzung von Tafel 1 auf Seite 892: Aufstellung der Normen, Entwürfe und Spezifikationen, die speziell für PV-Anwendungen entwickelt wurden (Stand: Juni 2007)

Nummer	Titel
DIN V VDE V 0126-18-2-3 (VDE V 0126-18-2-3):2007-06	Solarscheiben – Teil 2-3: Messung der geometrischen Dimensionen von Siliciumscheiben – Welligkeit und Durchbiegung
DIN V VDE V 0126-18-2-4 (VDE V 0126-18-2-4):2007-06	Solarscheiben – Teil 2-4: Messung der geometrischen Dimensionen von Siliciumscheiben – Rillen und Stufen
DIN V VDE V 0126-18-3 (VDE V 0126-18-3):2007-06	Solarscheiben – Teil 3: Alkalische Damageätze von kristallinen Siliciumscheiben – Methode zur Bestimmung der Ätzrate von mono- und multi-kristallinen Siliciumscheiben (as cut)
DIN V VDE V 0126-18-4-1 (VDE V 0126-18-4-1):2007-06	Solarscheiben – Teil 4-1: Verfahren zur Messung der elektrischen Eigenschaften von Siliciumscheiben – Effektive Minoritätsladungsträgerlebensdauer, Inline-Messmethode
DIN V VDE V 0126-18-4-2 (VDE V 0126-18-4-2):2007-06	Solarscheiben – Teil 4-2: Verfahren zur Messung der elektrischen Eigenschaften von Siliciumscheiben – Minoritätsladungsträgerlebensdauer, Labor-Messmethode
DIN V VDE V 0126-18-5 (VDE V 0126-18-5):2007-06	Solarscheiben – Teil 5: Verfahren zur Messung des elektrischen Widerstandes von Siliciumscheiben
DIN V VDE V 0126-18-6 (VDE V 0126-18-6):2007-06	Solarscheiben – Teil 6: Verfahren zur Messung des Gehaltes an interstitiell gelöstem Sauerstoff und als Austauschmischkristall gelöstem Kohlenstoff in für die Photovoltaik eingesetzem Silicium
DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712):2006-06	Elektrische Anlagen von Gebäuden – Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art (IEC 60364-7-712:2002, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-7-712:2005 + Corrigendum:2006
IEC 60904-9:1995-09	Photovoltaic Devices – Part 9: Solar simulator performance requirements
DIN EN 50380:2003-09	Datenblatt- und Typenschildangaben von Photovoltaik-Modulen; Deutsche Fassung EN 50380:2003
DIN EN 61427:2006-03	Wiederaufladbare Zellen und Batterien für photovoltaische Energiesysteme – Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren (IEC 61427:2005); Deutsche Fassung EN 61427:2005

Norm-Entwürfe

Nummer	Titel
E DIN VDE 0126-21 (VDE 0126-21):2007-07	Photovoltaik im Bauwesen
E DIN EN 60904-2 (VDE 0126-4-2):2006-09	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 2: Anforderungen an Referenz-Solarelemente (IEC 82/425/CDV:2006); Deutsche Fassung prEN 60904-2:2006
E DIN IEC 60904-3:2004-12	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 3: Messgrundsätze für terrestrische photovoltaische (PV) Einrichtungen mit Angaben über die spektrale Strahlungsverteilung (IEC 82/347/CD:2004)
E DIN EN 60904-7 (VDE 0126-4-7):2007-05	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 7: Berechnung der spektralen Fehlanpassungskorrektion für Messungen an photovoltaischen Einrichtungen (IEC 82/458/CDV:2006); Deutsche Fassung prEN 60904-7:2007
E DIN EN 60904-9 (VDE 0126-4-9):2006-12	Photovoltaische Einrichtungen – Teil 9: Leistungsanforderungen an Sonnensimulatoren (IEC 82/439/CDV:2006)
E DIN EN 61646 (VDE 0126-32):2007-07	Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik-(PV) Module – Bauarteignung und Bauartzulassung (IEC 82/438/CDV:2006); Deutsche Fassung prEN 61646:2006
E DIN IEC 61727:2001-12	Eigenschaften der Netzschnittstelle für photovoltaische (PV) Systeme (IEC 82/266/CD:2001)
E DIN IEC 61730-1 (VDE 0126-30-1):2001-09	Sicherheitsqualifikation von photovoltaischen Modulen – Teil 1: Anforderungen an den Aufbau (IEC 82/241/CD:2000)
E DIN IEC 61730-2 (VDE 0126-30-2):2001-09	Sicherheitsqualifikation von photovoltaischen Modulen – Teil 2: Anforderungen an Prüfungen (IEC 82/242/CD:2000)
E DIN EN 62108 (VDE 0126-33):2007-05	Konzentrator-Photovoltaik (CPV)-Module und -Anordnungen – Bauarteignung und Bauartzulassung (IEC 82/429/CDV:2006); Deutsche Fassung prEN 62108:2006
E DIN IEC 62116 (VDE 0126-2):2006-04	Prüfverfahren für Maßnahmen zur Verhinderung der Inselbildung für Versorgungsunternehmen in Wechselwirkung mit Photovoltaik-Wechselrichtern (IEC 82/402/CD:2005)
E DIN IEC 62446 (VDE 0126-23):2007-07	Netzgekoppelte PV-Systeme – Mindestanforderungen an Systemdokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und Prüfanforderungen (IEC 82/460/CD:2006)

Spezifikationen

Nummer	Titel
PQC PVRS 2:2003	Blank detail specification. Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules, relating to IEC 61215 (PV GAP)
IEC 61215 FR 0001:2003	Detail specification for crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules. Types PW 12050 and 1650
PQC PVRS 3:2002	Blank detail specification. Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules, rel. to IEC 61646:1996 (PV GAP and DE)
IEC 61646 DE 0001:2002	Detail specification for thin-film terrestrial PV modules of assessed quality. Types ASI-F 2/12, 4/12, 5/12, 8/12 and 10/12
IEC 61646 DE 0002:2003	Detail specification for thin-film terrestrial PV modules of assessed quality. Types ASITHRU-30-SG and ASIOPAK-30-SG
IEC 61646 DE 0003:2003	Detail specification for thin-film terrestrial PV modules of assessed quality. Types ASI-F 32/x (12 to 72)
PQC PVRS 6:2001	Blank detail specification. Charge controllers for photovoltaic (PV) stand-alone systems with a nominal system voltage below 50 V. (PV GAP) Annex – Specification and testing procedure. (PV GAP)
PQC PVRS 8:2001	Blank detail specification. Inverters for photovoltaic (PV) stand-alone systems. (PV GAP) Annex – Specification and testing procedure. (PV GAP)

Bezugshinweise: Die Normen und Norm-Entwürfe können bezogen werden bei der Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, Tel: 030 26 01-0, Fax: 030 2601-12, E-Mail: info@beuth.de. Die Spezifikationen können bezogen werden bei der DKE, Schriftstückservice, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main, Tel.: 069 6308-382, Fax: 069 6308-156, E-Mail: dke.schriftstueckservice@vde.com

3 Betriebsdatenerfassung

Die meisten Wechselrichter sind mit Datenerfassungsfunktionen ausgerüstet, die entweder direkt ablesbar sind oder über eine Schnittstelle in einem Datenerfassungsmodul gespeichert werden. Von dort aus können sie in einen Rechner geladen und dann ausgewertet werden. Viele Hersteller bieten mittlerweile auch eine Fernüberwachung und Visualisierung der Anlagedaten über das Internet an (Bild ❸). Eine typische Internet-Datenüberwachung sieht folgendermaßen aus: Die wichtigsten Wechselrichterdaten wie

- Energieertrag und Betriebsstunden, tagesaktuell und über den Zeitraum der letzten 10 Tage,
- Gesamtenergieertrag und Gesamtbetriebsstundenzahl seit Inbetriebnahme,
- Spannung, Strom und Abgabeleistung der angeschlossenen Solarmodule (aktuelle Werte),
- Spannung, Strom und Frequenz des 230-V-Netzes (aktuelle Werte),
- aktuelle Innentemperatur des Wechselrichters,
- aktuell ins Netz eingespeister Strom und
- aktuelle Status- und Fehlermeldungen

werden über eine Kommunikationsschnittstelle an ein Datenerfassungsmodul übermittelt. Es lassen sich häufig bis zu 20 Wechselrichter anschließen. Während des Tages speichert das Modul die Wechselrichterdaten und übermittelt sie nachts an eine Internet-Datenbank. Dort werden sie ausgewertet und visualisiert. Die Ergebnisse sind dann über einen Zugangscode auf einer an die Datenbank angebundenen Website einsehbar.

Zur Bewertung des Energieertrags werden aus aktuellen Online-Wetterdaten ermittelte Sonneneinstrahlungen herangezogen und daraus monatliche Sollwerte berechnet. Für Sollwerte auf Tagesbasis ist eine externe Referenzmesszelle verfügbar. Melden die Wechselrichter einen Systemfehler oder entspricht der Solarertrag nicht dem Soll, wird eine Alarmroutine des Auswertungsprogramms gestartet und bei entsprechender Voreinstellung ein Alarm an der Anlage vor Ort ausgelöst oder eine Warnmeldung per E-Mail, Fax oder SMS verschickt. Eine solche Internet-Datenüberwachung ist recht komfortabel und garantiert eine hohe Verfügbarkeit der erfassten Anlage.

Weitere wichtige Daten, Regeln und Tipps

- Zur Dimensionierung des Wechselrichters kann als Faustregel ein Verhältnis zwischen Solargenerator- und Wechselrichterleistung von 1:1 angesetzt werden.
- Ist der Wechselrichter hohen thermischen Belastungen ausgesetzt, sollte die Wechselrichterleistung höher sein als die Solargeneratorleistung.
- Mit einer gewissen Unterdimensionierung der Wechselrichterleistung lässt sich häufig ein höherer jährlicher Nutzungsgrad erzielen. Der Grund: Wechselrichter erreichen ihren optimalen Wirkungsgrad meist bei 50 bis 80 % ihrer Nennleistung. Außerdem erreicht ein Solargenerator unter normalen Anwendungsbedingungen nur selten die unter Standard-Test-Bedingungen (STC) gemessene Nennleistung.
- Trafolose Wechselrichter haben einen höheren Wirkungsgrad, ein geringeres Gewicht und geringere Baugröße als solche mit einem Transformator. Allerdings sind wegen der fehlenden galvanischen Trennung zusätzliche Schutzeinrichtungen erforderlich.
- Zu beachten ist die maximale Leistung, die ein Solargenerator haben darf, damit der Wechselrichter sicher und optimal betrieben werden kann.
- Die Leistung, die der Solargenerator mindestens erzeugen muss, damit der Wechselrichter anfangen kann zu arbeiten, sollte möglichst niedrig sein.
- Die Stand-by-Leistung (Leistung, die der Wechselrichter verbraucht, wenn er nicht einspeist) und die Nacht-Leistung (Leistung, die der Wechselrichter verbraucht, wenn er „ausgeschaltet“ ist) sollten so gering wie möglich sein.
- Der Wirkungsgrad ist nicht über den gesamten Leistungsbereich konstant.
- Die in den Datenblättern angegebenen Werte zur Umgebungstemperatur, Luftfeuchte und Schutzart geben Aufschluss darüber, unter welchen Umgebungsbedingungen der Wechselrichter betrieben werden kann. Ein Wechselrichter im Außenbereich sollte den Schutzgrad IP65 aufweisen.
- Je nach Art und Aufbau des Wechselrichters (z. B. ohne oder mit Lüfter) reicht der Geräuschpegel von kaum wahrnehmbar bis störend. Der Geräuschpegel sollte bei der Wahl des Installationsortes des Wechselrichters berücksichtigt werden.

4 Stand der Normung

Normen für den Bereich der Photovoltaik werden überwiegend vom TC 82 „Solar Photovoltaic Energy Systems“ der internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und vom TC 82 „Photovoltaische Solarenergie Systeme“ des europäischen Komitees für elektrotechnische Normung (Cenelec) als europäische Norm übernommen. Die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik im DIN und VDE (DKE) implementiert sie in das deutsche Normenwerk.

In der DKE ist das Komitee K 373 „Photovoltaische Solarenergie-Systeme“ zuständig für die Veröffentlichung von europäischen Normen im deutschen Normenwerk und die Erarbeitung von Normen mit Festlegungen für photovoltaische (PV-) Stromerzeugungssysteme, sowohl autonome (Inselsysteme) als auch netzgekoppelte terrestrische PV-Solarenergiesysteme.

Laufende Normungsprojekte des Komitees K 373 sind:

- Norm für Solarzellen
- Norm für Solarscheiben
- Norm zur Verifizierung von Simulationsprogrammen (Testdatensätze)
- Norm für Steckverbinder für PV-Systeme
- Norm für Photovoltaik im Bauwesen.

Folgende Normungsprojekte sind geplant (in Vorbereitung):

- Norm für einen Gesamtwirkungsgrad von Wechselrichtern
- Norm zu Datenblattangaben für Wechselrichter.

Es bestehen Normen für die folgenden Bereiche:

- Messverfahren
- Anforderungen an die Konstruktion von PV-Produkten
- Prüfabläufe für Zulassungsprüfungen
- Anforderungen an die elektrische Sicherheit.

Die Norm IEC 60904-9 wurde bisher nicht europäisch harmonisiert und auch nicht in das deutsche Normenwerk übernommen.

Tafel ❶ auf S. 892 und 894 enthält detaillierte Aufstellung der Normen, Entwürfe und Spezifikationen, die speziell für PV-Anwendungen entwickelt wurden.

Literatur

[1] Leistungselektronik für Solargeneratoren. Elektropraktiker, Berlin 60 (2006) 8, S. 644–647.
[2] Photovoltaik – ein Fall für das Elektrohandwerk. Elektropraktiker, Berlin 60 (2006) 9, S. 736–740.
[3] DGS, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Landesverband Berlin Brandenburg e. V. (Hrsg.): Photovoltaische Anlagen. Berlin 2005.
[4] *H. Häberlin, L. Borgna, M. Kämpfer, U. Zwahlen*: Totaler Wirkungsgrad – ein neuer Begriff zur besseren Charakterisierung von Netzverbundwechselrichtern. Tagungsband des 20. Symposiums Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Kolleg, 2005.
[5] *B. Burger,* Fraunhofer ISE: „Auslegung und Dimensionierung von Wechselrichtern für netzgekoppelte Anlagen“, Vortragsfolien. 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie. OTTI-Kolleg, 2005.