



OptiTrac



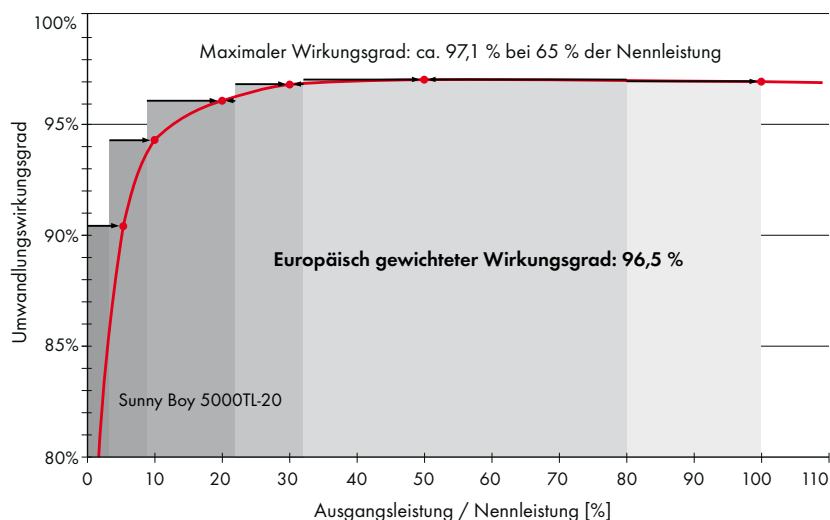
Optimiertes MPP-Tracking für höheren Energieertrag

Kurzfassung

Eine Photovoltaikanlage wird nur selten bei konstanten Umgebungsbedingungen betrieben, denn die Einstrahlungswerte der Sonne unterliegen tageszeitlichen und witterungsbedingten Veränderungen. Da der Solar-Wechselrichter für das Leistungsmanagement der gesamten PV-Anlage verantwortlich ist, muss er dynamisch auf diese Veränderungen reagieren. Nur so kann stets der bestmögliche Energieertrag aus den Solar-Modulen erzielt werden.

Die dynamische Reaktion des Wechselrichters wird wesentlich durch das sogenannte MPP-Tracking bestimmt: Denn dies beschreibt die ständige Ermittlung des Arbeitspunktes, an welchem der PV-Generator seine maximale Leistung erbringt. Das Entwicklungsteam von SMA hat dieses vielfach bewährte Verfahren der elektrischen Nachführung weiter verfeinert. Denn mit den zusätzlichen und umfangreichen Möglichkeiten des firmeneigenen Solar-Testzentrums ist es erstmals möglich, die sich in der Realität oft schnell ändernden Betriebszustände nachzustellen. So konnte ein MPP-Tracking entwickelt werden, das den Energieertrag der gesamten PV-Anlage nochmals steigert und eine höhere Rendite sichert.





Der europäische Wirkungsgrad ist der gewichtete Mittelwert der Umwandlungswirkungsgrade bei sechs definierten Leistungen zwischen 5 % und 100 % Nennleistung



SMA Testzentrum

Die Wirkungsgrade eines Wechselrichters

Der Ertrag einer Solarstromanlage hängt maßgeblich von der Qualität des verwendeten Wechselrichters ab. Der Wirkungsgrad wird hierfür gerne als Kennwert benutzt. Bei genauer Betrachtung sind es jedoch mehrere Arten von Wirkungsgraden, die den Energieertrag einer Solar-Anlage bestimmen und die an dieser Stelle zunächst beschrieben werden sollen.

Umwandlungswirkungsgrade

Sehr oft wird ein Wechselrichter über seinen Umwandlungswirkungsgrad definiert. Denn dieser Wirkungsgrad gibt an, wieviel Prozent der aus den Solar-Modulen gewonnenen Leistung in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden kann. Bei der Berechnung des Wertes wird jedoch immer von den bestmöglichen Witterungsbedingungen für den Betrieb einer Solarstromanlage ausgegangen. Weit aussagekräftiger ist deshalb der europäische Wirkungsgrad Euro-eta, der das alltägliche Teillastverhalten besser widerspiegelt. Er wird

aus mehreren Wirkungsgraden an verschiedenen Arbeitspunkten berechnet, die nach der Häufigkeit ihres Auftretens an einem bestimmten Standort in Europa gewichtet werden. Diese Gewichtung leitet sich aus der Einstrahlungshäufigkeit und den Energieinhalten ab.

Für die Höhe des Umwandlungswirkungsgrads ist vor allem die Qualität der elektronischen Bauteile entscheidend. Ständige Weiterentwicklungen, als deren vorläufiger Höhepunkt die H5-Topologie anzusehen ist, haben auch den europäischen Wirkungsgrad zu einem bisher unerreichten Wert von 97,7 % geführt. Damit ist die Hardware in Bezug auf die Leistungsfähigkeit des Wechselrichters auf einem sehr hohen Entwicklungsniveau.

Intensive und umfangreiche Tests im SMA Testzentrum haben gezeigt, dass weitere Steigerungen des Energieertrages vor allem durch die Optimierung der elektrischen Nachführung zu erzielen sind.



MPP-Tracking – die Suche nach dem optimalen Arbeitspunkt

Dass die Leistung eines Solar-Moduls mit der Einstrahlung steigt, wird meist als selbstverständlich vorausgesetzt, ist jedoch bei näherer Betrachtung eine wichtige Funktion des Wechselrichters. Ein nach der Sonne ausgerichtetes PV-Modul am Mittag ist da einem Auto vergleichbar, das vollgetankt und mit laufendem Motor auf der Straße steht. Um die zur Verfügung stehende Energie wirklich effektiv zu nutzen, also eine möglichst weite Strecke zurückzulegen, muss das Auto mit einer optimalen Geschwindigkeit gefahren werden, deren Höhe vom Roll- und Windwiderstand des Fahrzeugs sowie vom Höhenprofil der Straße abhängt. Der Betrieb mit Vollgas oder im Leerlauf leert zwar auch den Tank, verkürzt aber die Fahrstrecke drastisch. Für das Einstellen des optimalen Betriebspunktes wird eine intelligente Betriebsführung benötigt!



Um trotz unterschiedlicher Einstrahlungen stets die maximale Leistung aus den Solar-Modulen zu erzielen, bedienen sich moderne Wechselrichter eines Verfahrens, das in festen Intervallen das momentane Leistungspotenzial des PV-Generators misst, so dass dieser möglichst durchgängig an seinem MPP (Maximum Power Point) betrieben werden kann.

Bei dem sogenannten MPP-Tracking wird in bestimmten Zeiträumen der Innenwiderstand des Wechselrichters minimal geändert, wodurch sich gleichzeitig sowohl der Spannungs- als auch der Stromwert des Generators ändert. Die Veränderung dieser beiden Parameter hat unmittelbar Einfluss auf die abgegebene Leistung des Generators. Erhöht sich diese, behält der Wechselrichter die neuen Spannungs- und Stromwerte bei. Kommt es dagegen zu einem Leistungsabfall des PV-Generators, arbeitet der Wechselrichter bis zum nächsten Messintervall wieder mit den ursprünglichen Werten.

Das MPP-Tracking arbeitet außerordentlich zuverlässig und wird mittlerweile von allen namhaften Wechselrichterherstellern angewendet.

Nachführungswirkungsgrad im Labortest

Der Nachführungswirkungsgrad erlaubt eine direkte Aussage darüber, wie gut das MPP-Tracking funktioniert. Da die derzeit bei Wechselrichtern angewendeten Verfahren sehr ausgereift sind, werden heute in Labortests für den statischen Nachführungswirkungsgrad Werte über 99 % erreicht. Damit erscheint die Effektivität dieses Verfahrens außerordentlich hoch. Tatsächlich aber bleiben beim bisherigen Verfahren schnelle Wetteränderungen und damit die überwiegend hohe Dynamik klimatischer Bedingungen nahezu unberücksichtigt.



Verhalten bei Wetteränderungen

Der Solar-Wechselrichter wird in der Praxis nur selten bei konstanten Umgebungsbedingungen betrieben. Denn die Einstrahlungswerte der Sonne unterliegen tageszeitlichen und witterungsbedingten Veränderungen. Dementsprechend wichtig ist eine erhöhte Anpassungsfähigkeit des Wechselrichters an die schwankende Leistung des Solar-Generators. Um also einen maximalen Energieertrag zu erzielen, muss der Wechselrichter sowohl einen hohen Umwandlungs- als auch einen hervorragenden Nachführungswirkungsgrad besitzen. Und auch der Anfahr- und Abfahr-Wirkungsgrad, der das Verhalten morgens beim Anschalten und abends beim Abschalten des Wechselrichters beschreibt, ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung.

Der dynamische Nachführungswirkungsgrad

Ähnlich wie beim Umwandlungswirkungsgrad ist es daher sinnvoll, einen dynamischen Nachführungswirkungsgrad zu ermitteln, der die typischen Betriebssituationen eines kompletten Betriebsjahrs realistisch berücksichtigt. Analog zum europäisch gewichteten (Umwandlungs-)Wirkungsgrad entspricht diese Kenngröße damit einem europäisch gewichteten Nachführungswirkungsgrad.

Der totale Wirkungsgrad

Erst die gewichtete Summe dieser Wirkungsgrade, zusammengefasst als Gesamtwirkungsgrad, erlaubt schließlich ein reales Abbild über die Leistungsfähigkeit eines Wechselrichters. Dies ist zumindest die Forderung eines der Pioniere der PV-Technik, Prof. Heinrich Häberlin von der Berner Fachhochschule^[1]. Schon früh hat er die Prüflinge nach ihrem europäisch gewichteten Umwandlungswirkungsgrad bewertet und damit auf die Wichtigkeit einer zusätzlichen Berücksichtigung des dynamischen MPPT-Wirkungsgrades im sog. „Totalen Wirkungsgrad“ aufmerksam gemacht.

Ein solcher Gesamtwirkungsgrad erlaubt erst den Vergleich unterschiedlicher Wechselrichtermodelle und sorgt damit für größere Entscheidungssicherheit bei Anlagenplanern. Für diesen Zweck eignet sich die vereinfachte Ermittlung des Gesamtwirkungsgrads:

$$\eta_{\text{total}} = \eta_{\text{euro}} * \eta_{\text{tracking}}$$

mit

η_{euro} dem gewichteten europäischen Umwandlungswirkungsgrad

η_{tracking} dem gewichteten europäischen Nachführungswirkungsgrad

Der neue Term des einstrahlungsdynamischen Nachführungswirkungsgrades beschreibt das Finden und Halten des MPP bei den realen Wettersituationen eines Betriebsjahres. Ähnlich wie

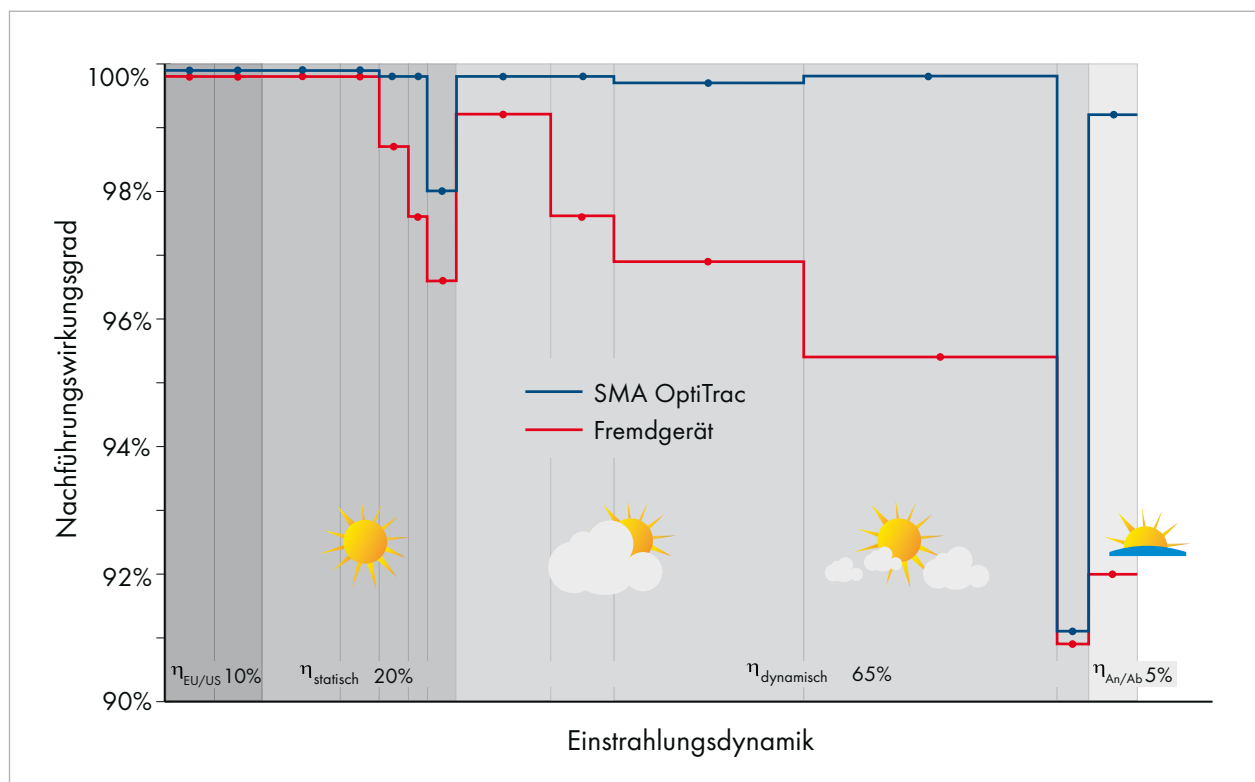
beim europäischen Umwandlungswirkungsgrad muss auch hier von einer für Mitteleuropa typischen Einstrahlung ausgegangen werden. Und so wie sich der europäische Umwandlungswirkungsgrad aus dem gewichteten Mittelwert des Umwandlungswirkungsgrades bei sechs ausgewählten Leistungen ergibt, so kann der einstrahlungsdynamische Nachführungswirkungsgrad aus dem gewichteten Mittelwert des Nachführungswirkungsgrades bei 13 charakteristischen Einstrahlungssituationen ermittelt werden.

Die Definition und reproduzierbare Nachstellung dieser Betriebssituationen stellt allerdings eine große Herausforderung für einen Prüfplatz dar, die die Ausstattung eines normalen Prüflabors bei weitem übersteigt.

Die in jahrelanger Eigenentwicklung entstandenen neuartigen Testeinrichtungen im Solar-Testzentrum von SMA ermöglichen jetzt erstmals eine realitätsnahe Simulation eines PV-Generators bei

unterschiedlichsten Wettersituationen und einer im Tagesverlauf oft auftretenden hohen Wetterdynamik. Damit ist es jetzt möglich, auch die Güte des MPP-Trackings eines Wechselrichters präzise und reproduzierbar zu ermitteln. Die Bestimmung des einstrahlungsdynamischen Nachführungswirkungsgrades gehört daher bei SMA seit einigen Jahren zum Qualifizierungsstandard einer Wechselrichter-Bewertung (s. a. Wetter aus der Konserve, Seite 11).

Der Nutzen dieser Betrachtung wird beim Vergleich des Betriebsverhaltens zweier Wechselrichter bzw. MPP-Tracker offensichtlich. Fällt eine Unterscheidung der beiden Geräte bei Laborbedingungen (Euro-eta und US-eta) noch schwer, so treten die individuellen Stärken und Schwächen mit den Ergebnissen der restlichen Prüfungen klar hervor. Die Einstrahlungssituationen werden hierbei in die vier Gruppen Laborbetrieb, statisches Verhalten, dynamisches Verhalten und An-/Abfahrverhalten unterteilt.



Die Güte des MPP-Trackings hängt sehr stark von den Einstrahlungsverhältnissen ab. Manch ein Trackingverfahren zeigt nur bei gutem Wetter hervorragende Ergebnisse.



MPP-Tracking – die Suche nach dem optimalen Arbeitspunkt

Ein neues Verfahren

Durch deutliche Verfeinerungen in der elektrischen Nachführung ist es jetzt dem SMA Entwicklungsteam gelungen, mit OptiTrac das bisherige MPP-Tracking weiter zu verbessern und damit eine Erhöhung des totalen Wirkungsgrads zu erreichen. Für den Anlagenbetreiber ist das von enormer Bedeutung, da dieser Wert direkten Einfluss auf den Energieertrag der gesamten Photovoltaikanlage hat.

Der Wechselrichter reagiert schneller

Mit SMA OptiTrac reagiert der Wechselrichter auf Änderungen der Einstrahlungswerte sehr viel präziser, so dass permanent die maximal zur Verfügung stehende Leistung eingespeist werden kann. Damit verbessert SMA OptiTrac das dynamische Verhalten erheblich und steigert so den

Energieertrag an wechselbewölkten Tagen. Das ist vor allem für Anlagen in mitteleuropäischen Regionen von großer Bedeutung, da hier die Wetterlage im Allgemeinen wesentlich instabiler ist.

Steigerung des Ertrags

Eine weitere Ertragssteigerung konnte durch eine Verbesserung des Anfahrverhaltens erreicht werden. Der Punkt maximaler Leistung wird nun viel schneller nach Sonnenaufgang erreicht und kann auch bei beginnender Dämmerung länger gehalten werden. Dabei eignet sich das OptiTrac-Verfahren nicht nur zum Einsatz mit kristallinen PV-Modulen, sondern insbesondere auch für den Betrieb von Dünnschichtmodulen.

Innovationen zahlen sich aus

Mehr Ertrag

Für den Gewinn von Betreibern einer PV-Anlage ist besonders die Höhe des Mehrertrags wichtig, der sich durch das neue Verfahren erzielen lässt. Darüber hinaus kann man die Effektivität von OptiTrac auch quantitativ ausdrücken: Der oben beschriebene einstrahlungsdynamische Nachführungswirkungsgrad gibt den Anteil der Energie des PV-Generators an, die auch wirklich umgesetzt wird. Und je höher dieser Wert liegt, desto höher fällt auch der erzielbare Jahresertrag eines Wechselrichters aus.

Mehr Gewinn

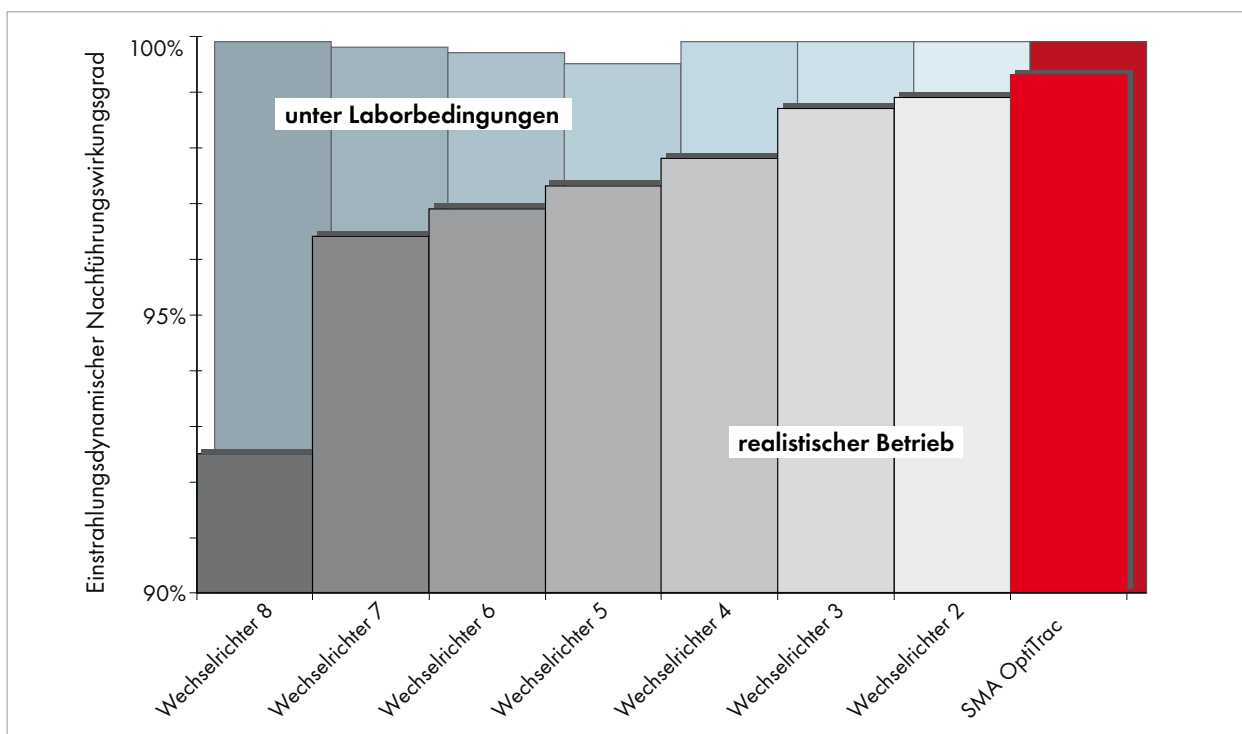
Umfangreiche Tests und Feldversuche zeigen, dass sich der Energieertrag einer PV-Anlage durch

den Einsatz von SMA OptiTrac um bis zu 1,5 % pro Jahr steigern lässt. Für den Betreiber einer Anlage bedeutet das bares Geld. Und damit alle Photovoltaik-Investoren etwas von der neuen SMA Errungenschaft haben: OptiTrac wird schrittweise für alle neueren Wechselrichter des Typs Sunny Boy, Sunny Mini Central und Sunny Central verfügbar sein.

Mehr Informationen

[1] H. Häberlin et al.: „Totaler Wirkungsgrad – ein neuer Begriff zur besseren Charakterisierung von Netzverbundwechselrichtern.“ 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein, 2005.

[2] R. Bründlinger et al.: „99,9 % MPP-Tracking Performance – nur die ‚halbe Wahrheit‘?“, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein, 2008

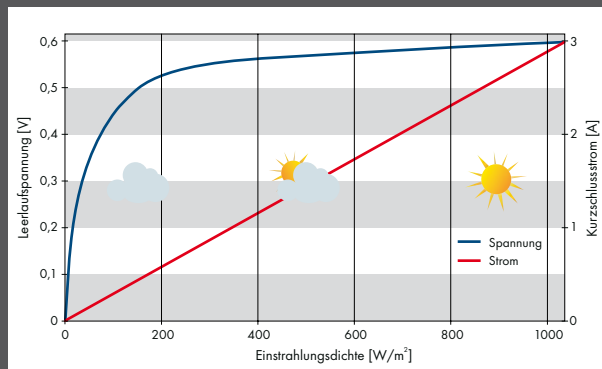


Die Messung des Nachführungswirkungsgrades unter Laborbedingungen ist zwar recht einfach durchführbar, sagt jedoch über das Trackingverhalten bei realen Einstrahlungsverhältnissen nichts aus. Erst die Messergebnisse des einstrahlungsdynamischen Nachführungswirkungsgrades machen die Unterschiede zwischen den Geräten deutlich.

Die wetterfähige Solarzelle

Sonneneinstrahlung

Die elektrischen Kenngrößen Strom, Spannung und Leistung einer Solarzelle sind abhängig von der Sonneneinstrahlung. Dementsprechend liefert eine Solarzelle einen Strom I , der proportional zur Sonneneinstrahlung ist: je höher die Einstrahlung desto höher auch der Strom. Die Spannung U ist bei hoher Einstrahlung weitgehend konstant, bei schwacher Einstrahlung bricht sie jedoch schnell zusammen.

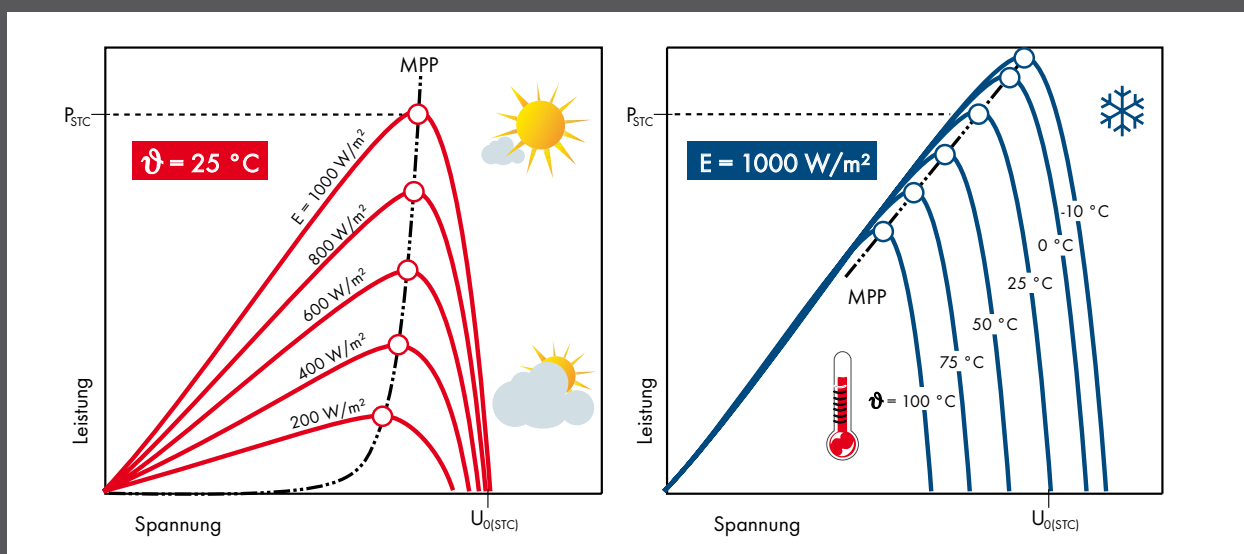


Abhängigkeit der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstromes einer kristallinen Siliziumzelle von der Einstrahlung

Zellentemperatur

Darüber hinaus sind die elektrischen Kenngrößen auch von der Temperatur abhängig. Um eine Vergleichbarkeit zu erhalten, werden sie häufig unter Standard-Test-Bedingungen (STC) angegeben. Dabei geht man von einer Einstrahlung von 1000 Watt pro Quadratmeter, einer Zelltemperatur von 25 °C und einem Air Mass Index von 1,5 aus.

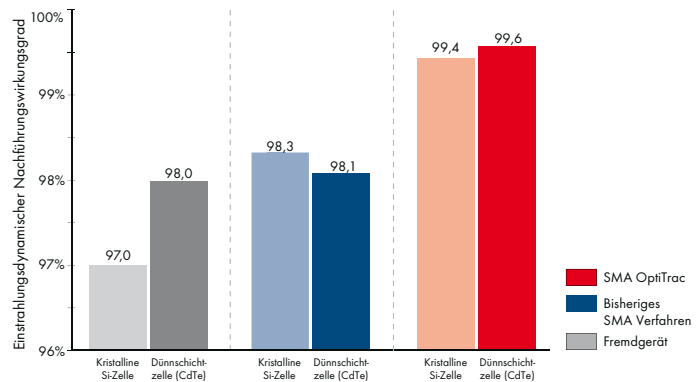
Nur an einem bestimmten Punkt, dem sogenannten Maximum Power Point (MPP), liefert der PV-Generator seine maximale Leistung, die hauptsächlich von der aktuellen Sonneneinstrahlung und der Zelltemperatur beeinflusst wird.



Leistungskennlinien – Einfluss der Sonneneinstrahlung, Abhängigkeit von der Zelltemperatur



Solarzellen



Ein gutes MPP-Tracking zeigt kaum Unterschiede im Betrieb mit unterschiedlichen Zelltechnologien.

Zellenmaterial

Auch das Material der Solarzellen hat einen großen Einfluss auf die elektrische Charakteristik des Moduls und damit auf die Lage und Umgebung des MPP. Insbesondere bei einigen sog. Dünnschichtmodulen (amorphes Silizium (α -Si), Cadmium-Tellurid (CdTe)) verläuft die Leistungskurve viel flacher über der Generatorspannung und die Ermittlung des MPP ist entsprechend aufwändiger als bei kristallinen PV-Modulen.

Das MPP-Tracking-Verfahren der SMA Wechselrichter ist schon immer für kristalline Module ebenso geeignet, wie für Dünnschichtmodule. Im Gegensatz dazu benötigen einige Wettbewerbsgeräte unterschiedliche Verfahren, um ähnliche Ergebnisse erzielen zu können.

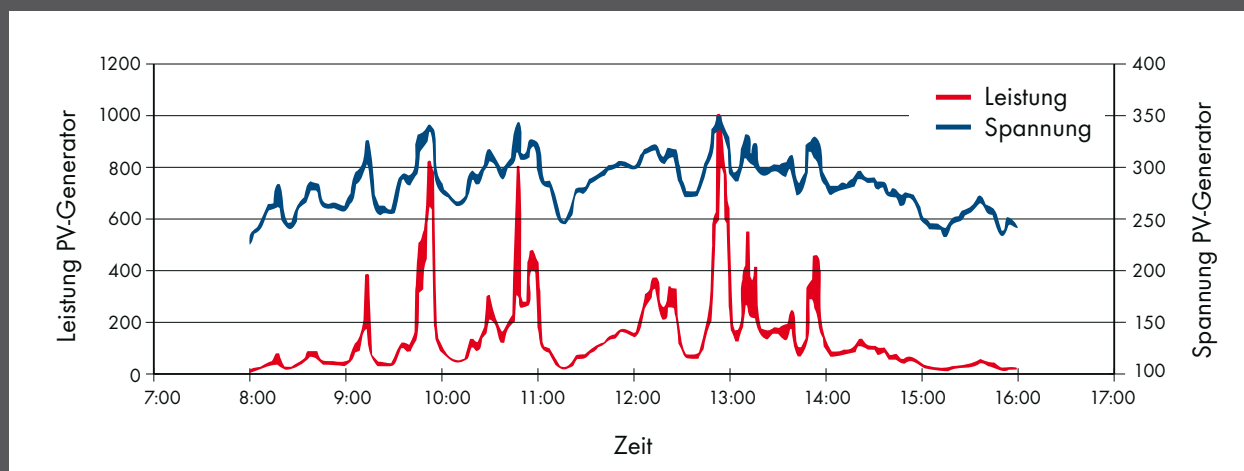
Wetter aus der Konserve: SMA Solar-Testzentrum

Die hier genannten Einflussgrößen beeinflussen die Lage des MPP in ganz unterschiedlicher Weise und fast alle sind verknüpft mit den aktuellen Wetterbedingungen. Langjährige Wetteraufzeichnungen in Deutschland zeigen deutlich, dass nur an einem Drittel des Jahres den ganzen Tag lang eine einheitliche Wettersituation herrscht. Die restlichen zwei Drittel des Jahres zeichnen sich durch eine mehr oder weniger schnell wechselnde Bewölkung aus.

Das SMA Solar-Testzentrum

Dem dynamischen Verhalten wurde von vielen Wechselrichterherstellern bisher wenig Beachtung geschenkt. Dies liegt vor allem an den technischen Voraussetzungen, die für den Aufbau reproduzierbarer Test- und Messverfahren zu erfüllen sind. SMA hat 2006 an seinem Standort in Niestetal ein neues Testlabor in Betrieb genommen. Es erlaubt hochgenaue Messungen und simuliert Einstrahlungssituationen präzise und reproduzierbar.

Es können sowohl Standardwerte, wie Sprungverfahren oder Sinusverläufe, als auch exakte Tagesverläufe für die Einstrahlung nachgestellt werden. Damit ist es möglich, eine Vielzahl neuer Betriebsabläufe und Wettersituationen zu simulieren, um die Eigenschaften der Wechselrichter weiter zu optimieren. SMA nutzt dieses in der Branche einzigartige Labor vor allem, um eigene Wechselrichter aber auch Fremdfabrikate auf ihr Verhalten bei schwierigen Wettersituationen zu überprüfen.



Momentane Leistung und der Verlauf der idealen MPP-Spannung an einem wechselhaften Tag in Kassel

SMA Solar Technology AG

www.SMA.de

Sonnenallee 1
34266 Niestetal, Germany
Tel.: +49 561 9522 0
Fax: +49 561 9522 100
E-Mail: info@SMA.de
Freecall: 0800 SUNNYBOY
Freecall: 0800 78669269

