

Wechselrichter-Wirkungsgrad bei Photovoltaikanlagen

26.07.2012, 12:41 Uhr

Kommentare: 0

Sicher arbeiten



Der Nachweis der korrekten Funktionsweise einer Photovoltaikanlage hinsichtlich Ertrag und Leistung kann auf einfachste Weise mit einem Leistungsanalysator erbracht werden. (Bildquelle: GuidoVrola/iStock/Getty Images)

Beispielhaft wird in dem Beitrag mit einem Produkt der Firma HT Instruments, dem „SOLAR300N“, die Live-Messung des Wechselrichter-Wirkungsgrads bei PV-Anlagen diskutiert.

Messgerät zur Live-Messung des Wechselrichter-Wirkungsgrads bei PV-Anlagen

Das beispielhaft verwendete „SOLAR300N“ ist ein handliches Kontroll- und Analysegerät für 1- und 3-phasige Photovoltaikanlagen, die Besonderheit liegt dabei im synchronen Messen der verschiedenen Parameter einer PV-Anlage, aus denen dann der Wirkungsgrad der Solarmodule und der des Wechselrichters ermittelt wird.

Die Ergebnisse werden dann als Mess- und Analyseprotokoll dem Übergabeprotokoll (z.B. dem „Photovoltaik-Anlagenpass“) beigefügt.

Auf einfache und effektive Weise können der Wirkungsgrad der Solarmodule bzw. der gesamten PV-Anlage und der Wirkungsgrad der Wechselrichter sowohl ermittelt als auch über eine längere Zeit unter verschiedenen Belastungszuständen aufgezeichnet werden.

Aufbau der Live-Messung des Wechselrichter-Wirkungsgrads bei PV-Anlagen

Die Messung bzw. Analyse ist bei in Betrieb befindlicher Anlage und ohne Abschaltung einfach unter Verwendung von Stromzangen im DC- und im AC-Kreis möglich.

Dem Anwender stehen bei der PV-Messung alle Parameter wie die folgenden sofort zur

Verfügung:

- AC-Ausgangsleistung des Wechselrichters
- AC-Spannung und -Strom
- Leistungsfaktor am Wechselrichterausgang
- DC-Spannung und -Strom
- DC-Ausgangsleistung der Solarmodule
- Nennleistung der PV-Anlage
- Wirkungsgrad des Wechselrichters
- Wirkungsgrad der Solarmodule
- Solare Einstrahlung in W/m^2
- Temperatur der Solarzellen in $^{\circ}\text{C}$
- Umgebungstemperatur in $^{\circ}\text{C}$

In Abbildung 1 sind typische Messwerte des Messgeräte-Displays dargestellt.

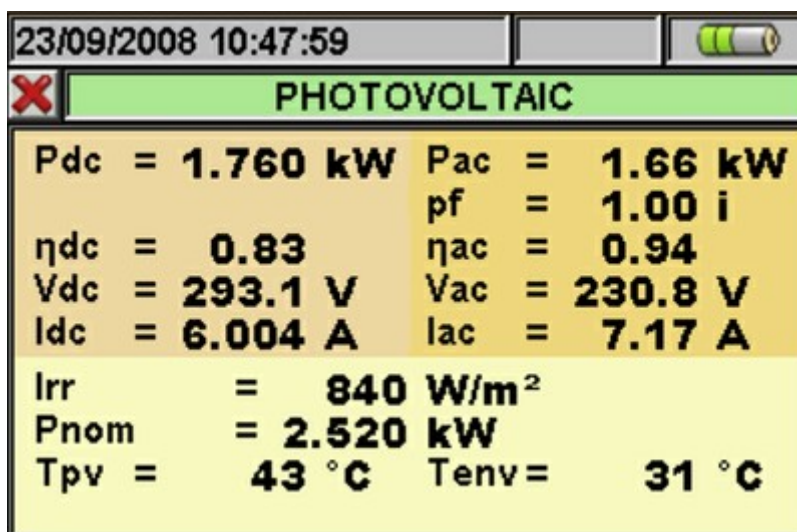


Abb. 1: Messgeräte-Display einer typischen Live-Messung des Wechselrichter-Wirkungsgrads bei PV-Anlagen (Quelle: HT Instruments)

Mittels einer Live-Messung des Wechselrichter-Wirkungsgrads lassen sich Installationsfehler und zu geringe Leistungswerte schnell und effektiv ermitteln und beheben.

In Abbildung 2 ist der Messaufbau zur Live-Messung des Wechselrichters-Wirkungsgrads bei PV-Anlagen dargestellt.



Abb. 2: Typischer Messaufbau zur Live-Messung des Wechselrichter-Wirkungsgrads bei PV-Anlagen (Quelle: HT Instruments)

Nachfolgend wird das Prinzip der Messwerterfassung zur Live-Messung von Wechselrichter-Wirkungsgraden bei PV-Anlagen erläutert.

Die zusammengehörigen Messwerte bei 1-phasigen Installationen (VDC, IDC); (VAC, IAC) bzw. 3-phasigen Installationen (VDC, IDC); (V1AC, I1AC); (V2AC, I2AC); (V3AC, I3AC) werden beim Messgerät SOLAR300N gleichzeitig ermittelt. Der Anschluss der AC- und DC-Stromzangen erfolgt vor und hinter dem Wechselrichter. Üblicherweise befindet sich der Wechselrichter räumlich weit entfernt von den Solarzellen. Um den Einsatz von sehr langen Messleitungen zu vermeiden, wird beim SOLAR300N zusätzlich ein externer kabelloser Messwertsensor eingesetzt, der folgende Parameter erfasst und aufzeichnet:

- solare Einstrahlung [W/m^2]
- Temperatur der Solarzellen [$^{\circ}\text{C}$]
- Umgebungstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

Durchführung der Live-Messung des Wechselrichter-Wirkungsgrads bei PV-Anlagen

In Abbildung 3 ist der Messgeräteanschluss an einem 3-Phasen-Photovoltaiksystem zur Live-Messung von Wechselrichter-Wirkungsgraden bei PV-Anlagen dargestellt.

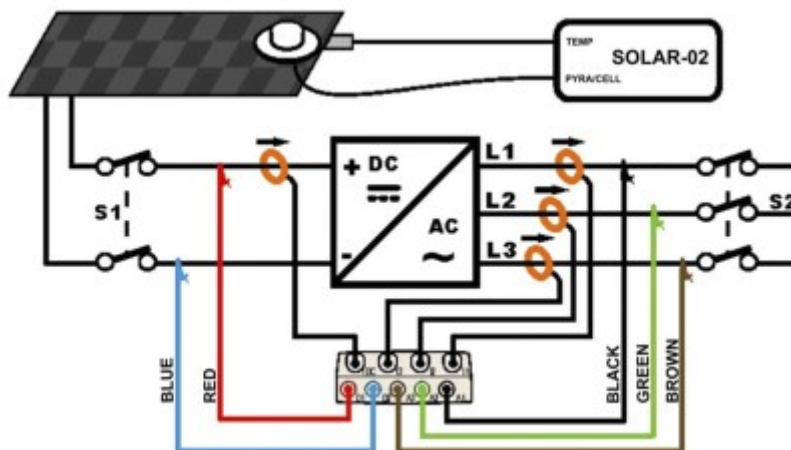


Abb. 3: Messgeräteanschluss an einem 3-Phasen-Photovoltaiksystem zur Live-Messung von Wechselrichter-Wirkungsgraden bei PV-Anlagen (Quelle: HAT Instruments)

Nachfolgend wird die Durchführung der Live-Messung des Wechselrichter-Wirkungsgrads bei PV-Anlagen erläutert.

1. Überprüfen Sie, und wenn notwendig, verändern Sie die Grundeinstellungen des Instruments. Wählen Sie die Konfiguration „3-PV“. Überprüfen Sie auch die Parameter des Photovoltaiksystems in Anbetracht der eingestellten korrespondierenden Werte.
2. Benutzen Sie den externen kabellosen Messwertsensor SOLAR-02 und überprüfen Sie ihn auf korrekte Einstellung zur Referenzzelle.
3. Verbinden Sie die Eingänge D1 und D2 mit den entsprechenden positiven und negativen Messleitungsanschlüssen. Verbinden Sie die Eingänge A1, A2 und A3 mit den drei Phasen L1, L2 und L3 entsprechend den Farben, die in der obigen Abbildung dargestellt sind.
4. Verbinden Sie den Ausgangsstecker des DC-Stromwandlers mit dem IDC-Eingang des SOLAR300N.
5. Vor dem Verbinden mit der Anlage überprüfen Sie den Zustand der internen Batterien der Stromzange. Drücken Sie die „ZERO“-Taste der DC-Stromzange um mögliche restliche Magnetisierungen im Wandler auszuschließen. Der Wert „DC 0,0

- A“ muss in der Messwertanzeige beim SOLAR300N angezeigt werden. Legen Sie erst jetzt die DC-Stromzange um den zu messenden Leiter unter Berücksichtigung des Richtungspfeils.
6. Verbinden Sie den Ausgang der drei AC-Wandler mit den Instrumenten-Eingängen I1, I2 und I3. Legen Sie die drei Wechslerstromwandler (AC) um den jeweiligen Leiter von Phase L1, L2 und L3 unter Berücksichtigung des Richtungspfeils.
 7. Schalten Sie die Versorgung des elektrischen Systems ein, für den Fall, dass es vorübergehend außer Betrieb gesetzt wurde, um auch das Instrument zu versorgen.
 8. Wählen Sie den Modus „Echtzeitwert“ aus dem Hauptmenü aus und überprüfen Sie, ob die Wirkleistung „Pac“ positiv ist sowie der Leistungsfaktor „Pf“ der Last entspricht (typisch ist 1,00 für Messungen vor dem Inverter in photovoltaischen Systemen). Bei negativen Werten der Wirkleistung öffnen Sie die Stromwandler und drehen Sie diese um 180° und legen Sie wieder um den Leiter.
 9. Schalten Sie die SOLAR-02-Einheit mittels der dafür relevanten Taste ein. Das SOLAR-02 wird in den „Hold“-Zustand wechseln. Wählen Sie den passenden Referenzzellentyp (siehe Anleitung SOLAR-02).
 10. Verbinden Sie die SOLAR-02-Einheit mittels des USB-Kabels mit dem SOLAR300N. Die Systemeinheit SOLAR300N muss die Mitteilung „SOLAR-02 verbunden“ anzeigen. Wenn diese Mitteilung nicht erscheinen sollte, trennen und verbinden Sie den USB-Verbindungsstecker nochmals.
 11. Drücken Sie die F1-Taste zum Start einer photovoltaischen Systemprüfung. Nach Drücken der F1-Taste wird ein Messsymbol auf dem SOLAR300N angezeigt und im Display der Einheit SOLAR-02 werden nun die restlichen Sekunden bis zum Start der Messungen (bei „sec. 00“) angezeigt. Die Aufzeichnung der Messwerte wird auf den zwei Einheiten immer synchron ausgeführt und beginnt am Anfang der ersten Minute nach dem Drücken der F1-Taste. Infolgedessen wird das Symbol auf der Anzeige des SOLAR300N erscheinen, beim SOLAR-02 entsprechend die Anzeige „Recording...“
 12. Trennen Sie das SOLAR-02 vom SOLAR300N und positionieren Sie das SOLAR-02 in der Nähe der Solarzellen.
 13. Positionieren Sie das Pyranometer HT303 bzw. die Referenzzelle HT304 auf der Oberseite der Solarmodule parallel zur Fläche der Solarzelle und befestigen Sie den Temperatursensor an der Unterseite des Solarmoduls (z.B. mit einem Klebestreifen).
 14. Verbinden Sie das Pyranometer bzw. die Referenzzelle und die Temperatursonde entsprechend mit den Eingängen „PYRA/CELL“ und „TEMP“ der SOLAR-02-Einheit. Überprüfen Sie, ob das Display des SOLAR-02 stabile und realistische Messwerte anzeigt.
 15. Wird nun während der Messung die Meldung „READY“ im Display des SOLAR-02 angezeigt (dieses Ereignis zeigt an, dass eine solare Einstrahlung oberhalb Ihres gesetzten Grenzwerts (Minimum $> 400 \text{ W/m}^2$) gemessen wurde, können Sie, sofern gewünscht, die Messung wieder beenden.
 16. Warten Sie jedoch noch mindestens eine Minute, bevor Sie das Pyranometer bzw. die Referenzzelle – sowie die Temperatursonde – von der SOLAR-02-Einheit trennen, um ein paar weitere gültige Messwerte zu erfassen.
 17. Bringen Sie das SOLAR-02 in die Nähe des SOLAR300N und verbinden Sie es mithilfe eines USB-Kabels. Die Haupteinheit SOLAR300N muss die Meldung „SOLAR- 02 verbunden“ anzeigen. Erscheint diese Meldung nicht, trennen und verbinden Sie den USB-Stecker nochmals.
 18. Drücken Sie die F1-Taste (Messung beenden) am SOLAR300N. Achtung! Wurde die

Messung bereits automatisch beendet (z.B. weil der Speicher voll ist), nicht die F1-Taste drücken, da sonst eine neue Messung gestartet wird und die alten Messwerte überschrieben werden.

19. Nach der automatischen Datenübertragungs-Phase wird das SOLAR300N automatisch die Maximalwerte der Erfassung anzeigen.
20. Drücken Sie „SAVE“, um die erhaltenen Ergebnisse abzuspeichern. Das Drücken der „SAVE“-Taste bewirkt die Anzeige einer virtuellen Tastatur zur Eingabe eines Kommentars bezüglich der Messung. Ein nochmaliges Drücken der „SAVE“-Taste wird die Messung und den eingegebenen Kommentar speichern und geht zurück zum Anfangs-Bildschirm; das Gerät ist bereit für eine neue Messung.
21. Drücken Sie die „ESC“-Taste, sofern Sie die erfassten Daten löschen und zurück zum Anfangs-Bildschirm gehen möchten. Nun ist das SOLAR300N bereit für eine neue Messung.

Auswertung der Live-Messung von Wechselrichter-Wirkungsgraden bei PV-Anlagen

Nachfolgend wird die Auswertung einer typischen Live-Messung des Wechselrichter-Wirkungsgrads bei PV-Anlagen diskutiert.

In Abbildung 4 ist die grafische Darstellung der solaren Einstrahlung in W/m^2 dargestellt. Anhand der Auswertung der solaren Einstrahlung kann die tagesabhängige Sonneneinstrahlung zeitlich erfasst werden. Diese stellen primäre Eingangsparameter jeder PV-Anlage dar und sollten daher für die weitere Analyse mit aufgezeichnet werden.

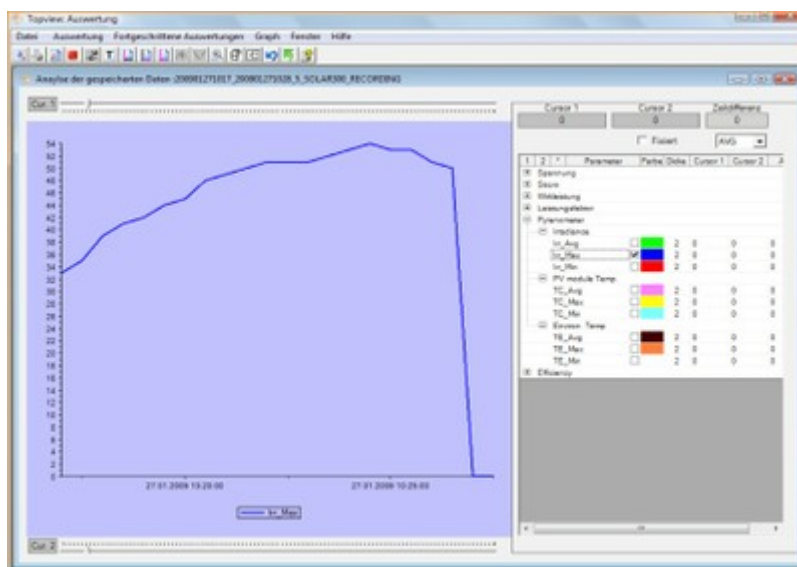


Abb. 4: Grafische Darstellung der solaren Einstrahlung [W/m^2] (Quelle: HT Instruments)

In Abbildung 5 ist grafisch der typische Wirkungsgrad einer PV-Anlage dargestellt. Dabei stellt die rote Kennlinie den Wirkungsgrad der DC-Seite und die blaue Kennlinie den der AC-Seite dar. Die Berechnung des Wirkungsgrads auf der DC-Seite erfolgt durch die einfache Beziehung: $P_{\text{mess}} \cdot 1.000 \text{ W/m} / P_{\text{nenn}} \cdot \text{Irr}$

Dabei ist Irr die mit dem Pyranometer oder der Referenzzelle gemessene Einstrahlung in W/m^2 . Es wird hier also nicht der Einfluss der Temperatur auf die Nennleistung der Solarmodule und dementsprechend des Wirkungsgrads berücksichtigt. Der DC-Wirkungsgrad stellt dabei den eigentlichen Wirkungsgrad der Module dar. Der AC-Wirkungsgrad stellt im Gegensatz dazu den Wirkungsgrad des Wechselrichters dar.

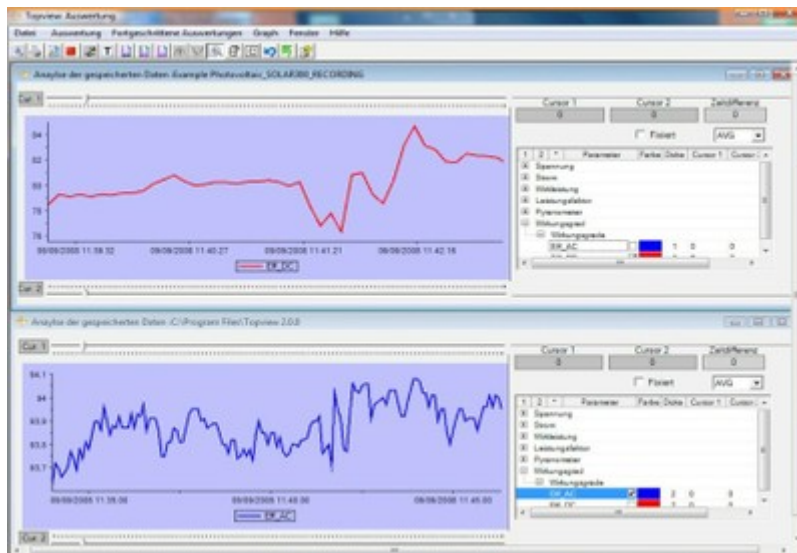


Abb. 5: Grafische Darstellung des Wirkungsgrads – Wirkungsgrad auf DC-Seite (rot) und AC-Seite (blau) (Quelle: HT Instruments)

In Abbildung 6 ist ein typischer Leistungsverlauf einer PV-Anlage dargestellt. Anhand des Tagesverlaufs der Leistungskennlinie und dazugehörigen Einstrahlung kann die Leistungsfähigkeit der PV-Anlage beurteilt werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, ob kurzzeitige Ausfälle der Anlage stattfinden bzw. ob ein entsprechendes Leistungsmaximum erreicht wird. Für eine detaillierte Beurteilung einer PV-Anlage ist eine mehrtägige Aufzeichnung zu empfehlen. Dabei sollte die Aufzeichnung bei günstigen Wetterverhältnissen durchgeführt werden, um die Anlage bei einem Leistungsmaximum zu betreiben.

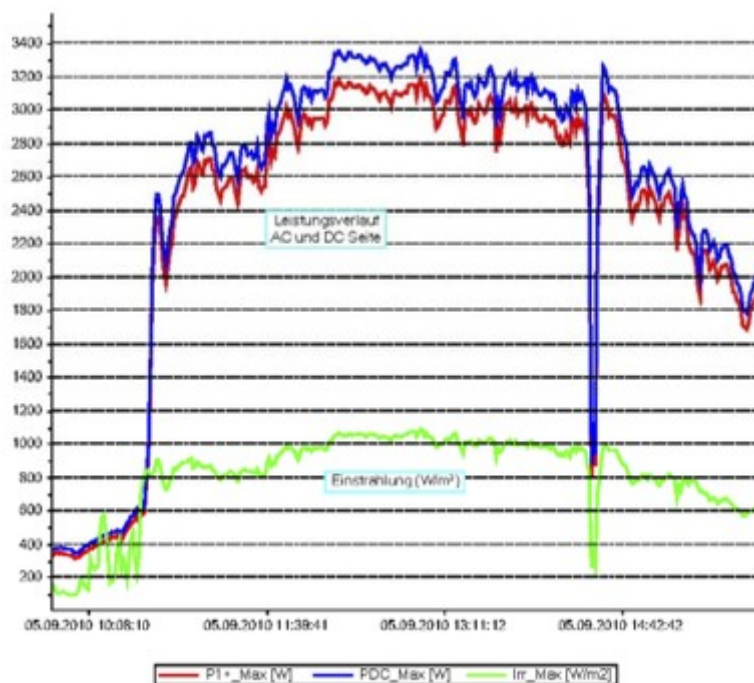


Abb. 6: Leistungsverlauf einer PV-Anlage (Quelle: HT Instruments)

Für eine detaillierte Fehleranalyse bietet sich an, die verschiedenen Spannungsverläufe der PV-Anlage zu analysieren.

In Abbildung 7 ist ein typischer Spannungsverlauf über acht Tage bei einer PV-Anlage dargestellt. Anhand mehrtägiger Signalaufzeichnungen können detaillierte Analysen des

Anlageverhaltens durchgeführt werden.

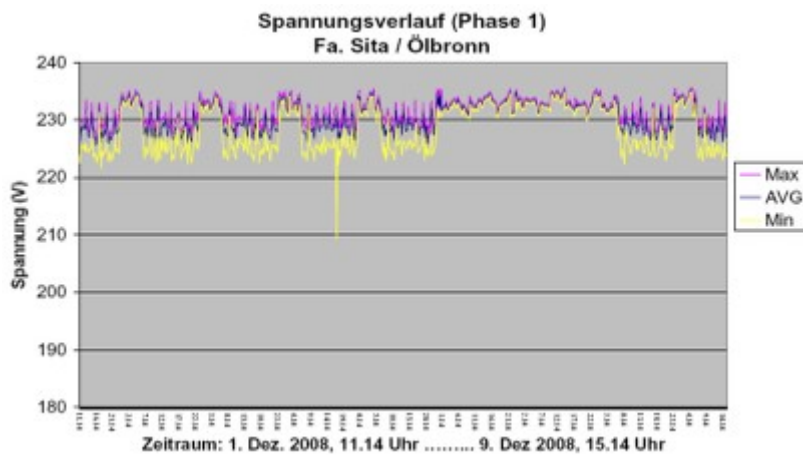


Abb. 7: Typischer Spannungsverlauf über acht Tage bei einer PV-Anlage (Quelle: HT Instruments)

In Abbildung 8 ist das Messprotokoll zu einer Live-Messung des Wechselrichter-Wirkungsgrads bei PV-Anlagen dargestellt. Dieses Protokoll sollte zu jeder Anlagendokumentation gelegt werden bzw. ein Teil der Inbetriebnahme-Dokumente darstellen.

| Test Resultat: | | | |
|----------------------|-------------|-------|--------|
| Einstrahlung | Irr | 403 | W/m2 |
| PV Modultemp. | TC | 40 | °C |
| Umgebungstemp. | TE | 30 | °C |
| Gamma | γ | 0,34 | [%/°C] |
| NOCT | | 46 | °C |
| Ptpv Korrekturfaktor | Ptpv | T.E. | |
| | | | |
| Nennleistung: | Pnom | 1,594 | [kW] |
| DC Leistungsmessung: | Pdc | 0,461 | [kW] |
| DC Spannungsmessung: | Vdc | 235,6 | [V] |
| DC Strommessung: | Idc | 1,956 | [A] |
| DC Wirkungsgrad: | η_{dc} | 71,76 | % |
| | | | |
| AC Leistungsmessung: | Pac | 0,409 | [kW] |
| Leistungsfaktor: | Pf | 0,33 | |
| AC Spannungsmessung: | Vac | 235,5 | [V] |
| AC Strommessung: | Iac | 5,269 | [A] |
| AC Wirkungsgrad: | η_{ac} | 88,63 | % |

Abb. 8: Messprotokoll zur Live-Messung des Wechselrichter-Wirkungsgrads bei PV-Anlagen (Quelle: HT Instruments)

Autor:

[Dr.-Ing. Florian Krug](#)

Technologiemanager und Sachverständiger im Bereich Erneuerbare Energien

Dr. Florian Krug ist Technologiemanager und Sachverständiger im Bereich Erneuerbare Energien sowie Autor von mehr als 100



Veröffentlichungen in nationalen und internationalen Zeitschriften.
