

Grundsätzlich gilt für die Erarbeitung, dass

- Normen bestimmt, klar, widerspruchsfrei und möglichst vollständig zu formulieren sind;
- Festlegungen aus anderen Normen im Regelfall nicht wiederholt werden, sondern bei einem besonderen Erfordernis auf die anderen Normen verwiesen wird;
- sich der Inhalt der Normen an den Erfordernissen der Allgemeinheit orientiert, sie also Regeln enthalten, die für eine allgemeine Anwendung bestimmt sind;
- Normen den jeweiligen Stand der Wissenschaft und Technik sowie die wirtschaftlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen haben und
- Normen die Entwicklung und die Humanisierung der Technik fördern sollen.

Daraus folgt, dass ein und derselbe Normungsgegenstand nicht unter mehreren Norm-Nummern genormt sein darf und

- Vertragsrechtliche Bestimmungen und Festlegungen kaufmännischer Art nur Bestandteil einer Norm sein dürfen, wenn sie in unmittelbarem und notwendigem Zusammenhang mit den wissenschaftlichen, den technischen oder technisch-wissenschaftlichen Festlegungen stehen;
- Normen nicht im Widerspruch zu Rechts- und Verwaltungsvorschriften stehen;
- Normen mit sicherheitstechnischem Inhalt keine Festlegungen enthalten dürfen, durch die das angestrebte Sicherheitsziel beeinträchtigt wird.

Normen mit sicherheitstechnischen Festlegungen für das Errichten und Betreiben elektrischer Anlagen sowie für das Herstellen und Betreiben elektrischer Betriebsmittel sind als VDE-Bestimmungen bekannt, die vorstehenden Grundsätze sind auch für deren Erarbeitung und Anwendung verbindlich.

Die Erfahrungen der Vergangenheit haben gezeigt, dass die früher sehr ausführlich in den VDE-Bestimmungen enthaltenen umfangreichen Festlegungen nicht immer mit dem technischen Fortschritt einhergehen konnten und damit u. a. die Kreativität der Anwender und hier insbesondere „der Planenden“ eingeschränkt haben. Vielleicht lag es am sinnverwandten Wort „Bestimmung“, das einerseits den Verwendungszweck bezeichnet und andererseits als Anordnung, Anweisung oder Befehl verstanden werden kann. Zwar ist auch der heute im VDE-Vorschriftenwerk übliche Begriff „Anforderung“ ein Synonym, er ist aber in erster Linie als Leistungs- und/oder Qualitätsanspruch zu verstehen.

Die Festlegung der sicherheitstechnischen Parameter für diesen Anspruch wird in Normen als so genanntes Schutzziel bezeichnet. Damit wird deutlich, dass bei Einhaltung der Richtung auch viele Wege „nach Rom“ führen (können), das erklärte Ziel aber erreicht werden muss. ■

Solar Wings – Skilifttechnik für die Modulnachführung

F. Baumgartner, Winterthur, Schweiz

Die Firma Solar Wings nutzt Tragseile aus der Seilbahntechnik als zentrales Element für Solarnachführsysteme. Arthur Büchel, Geschäftsführer von Solar Wings, Roland Bartholet, Inhaber der beteiligten Seilbahnfirma BMF, und der Autor haben die Solar Wings AG gegründet, weil sie vom Erfolg dieser materialsparenden Unterkonstruktion mit zusätzlich nutzbarer Fläche unter den Solarmodulen überzeugt sind. Im Beitrag wird auf die technologische Umsetzung, die ersten Ergebnisse des praktischen Einsatzes sowie die zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten eingegangen.

1 Einführung

Die Sonnenblume zeigt uns, wie sie die Energie der Sonne optimal nutzt. Sie führt beharrlich ihre Energiebezugsfläche im Tageslauf der Sonnenposition nach, mit Erfolg. Gleiches vollführt die Mechanik der Solartracker, die damit den Stromertrag von Photovoltaikmodulen um 15 bis 35 % steigern kann, verglichen mit Standard-Solarsystemen, die z. B. in fester Position auf dem Hausdach montiert sind. Dabei nutzt der Solartracker nur die direkte Sonnenstrahlung, also jene Sonnenstrahlen, die das Sonnenlicht exklusiv direkt von der Sonne erhalten, ohne Umwege über lokale Reflexion, wie sie sich aus der Definition für die diffuse Sonnenstrahlung ergibt.

Das theoretische Limit von 40 % Mehrertrag kann aber nur an Standorten erzielt werden, die anders als in Deutschland nicht 50 % diffusen Strahlungsanteil im Jahresmittel haben, sondern wie in Südspanien um 80 % Energie von der direkten Sonnenstrahlung erwarten können. Welche Unterschiede sich daraus für das theoretische Potential für beliebige Standorte in Europa ergeben, kann auf der Webseite des Solarforschungszentrums der Europäischen Kommission in Ispra, durch genaue Ortsangabe, wie den Strassennamen des Kraftwerk-Standorts, einfach berechnet werden [1].

Zudem zeigt die Praxis, dass Solarparks, die aus vielen einzelnen Solartrackern aufgebaut sind und sich über eine Fläche von bis zu einigen Fussballfeldern erstrecken, zwangsläufig mit der Verschattung der benachbarten Solartracker rechnen müssen. Tafel 1 zeigt die aus diesen Randbedingungen sich ergebenden technisch realisierten Mehrerträge der Stromerzeugung mittels Solartracker. Die

Schwankungsbreiten hängen von den lokalen solaren Einstrahlungsverhältnissen wie auch von der Nähe der benachbarten Solartracker ab, die zu lokalen Verschattungen führen.

Es ist offensichtlich, dass der wirtschaftliche Betrieb von Solartrackern dann erfolgreich ist, wenn dem erzielten Mehrertrag der Stromproduktion von ca. einem Viertel gegenüber fest installierten Systemen geringere Mehrkosten durch die Realisierung der Nachführung gegenüberstehen. Um diesen finanziellen Vorteil auch bei weiter sinkenden Solarmodulkosten zu wahren, müssen die Kosten der Nachführsysteme im gleichen Maße reduziert werden können. Dies heisst für das zukünftige Solar-Tracking-System, dass die Grenzkosten, die vom Materialeinsatz dominiert werden, möglichst gering sind, neben geringen laufenden Kosten für die Wartung.

Hier setzt das Solar Wings-System an, wobei ein tragendes Element für die Solarmodule Stahlseile sind, wie sie auch bei Skiliften eingesetzt werden. Auf diesen Stahlseilen werden jeweils im Abstand von rund fünf Metern

Tafel 1 Erhöhung der Solarstromproduktion durch Nachführsysteme für Photovoltaik-Module, gegliedert in Systemtypen für unterschiedliche Solarmärkte in Europa

Mehrertrag in %	Einachsige Tracker	Zweiachsige Tracker
Deutschland	15–25	20–30
Südeuropa	20–30	25–35



1 Prototyp bei BMF in Flums

Autor

Prof. Dr. Franz Baumgartner ist Dozent für Erneuerbare Energie am Fachbereich Elektrotechnik der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW SoE Institut IEF) in der Schweiz.



② Lonza Solarpark Waldshut-Tiengen mit 654 kW installierter Leistung



③ Spezielles Betonfundament für den Kalkhydrat-Boden mit Motor und Steuerseil zur Ausrichtung der Module

Querträger montiert, die etwa acht Solarmodule nebeneinander tragen und die gemeinsam der aktuellen Sonnenposition nachgedreht werden können.

Da beim Solar Wings-System die Module in über 3 Meter bis 10 Meter über Grund montiert werden, kann das darunter liegende Gelände noch genutzt werden. Dieser Doppelnutzen des Landes kann beispielsweise in Form eines Parkplatzes oder eines Freilagers umgesetzt werden, auch eine landwirtschaftliche Bewirtschaftung ist möglich.

2 Vom Solar Wings Prototypen zum 650 kW Lonza Solarpark

Der erste Solar Wings-Prototyp wurde im Frühjahr 2008 im Schweizerischen Flums auf dem Gelände des Seilbahnbauers BMF, Barholet Maschinenbau, realisiert (Bild ①). Diese Testanlage, bei der die Solarmodule in einer Höhe von ca. vier Metern über dem Einfahrtsbereich zu einer Werkshalle montiert sind, liefert Solarstrom für zwei Haushalte. Im Dezember 2008 ging in Waldshut, einen Steinwurf von der Schweizer Grenze entfernt, der 654 kW Lonza Solarpark mit der Solar

Wings-Technik in Betrieb, der jetzt ca. 200 Haushalte mit elektrischem Strom beliefert (Bild ②). Der Lonza Solarpark wurde auf einem 21° nach Süden geneigten Hang einer Kalkhydrat-Deponie errichtet. Der Kalkhydrat-Untergrund kann sich im Laufe der Zeit um einige zehn Zentimeter setzen und dies eventuell nicht gleichmäßig. Dies wird durch das Solar Wings-Seilsystem toleriert, anders als bei konventionell in den Boden gerammten Standard-Befestigungssystemen für PV-Module, erfordert in diesem Falle aber auch spezielle Fundamente.

Die Nachführung erfolgt über ein Steuerseil, welches parallel zu den zwei Halteseilen über die Gesamtlänge der Anlage von 310 Metern geführt wird. Zwischenstützen im Abstand von 40 Metern reduzieren den Durchhang der Seilanordnung auf eine lichte Höhe von ca. 3 Meter. Acht Solarmodule (215–230 W polykristalline Siliziummodule SM210U von Sunways, 14 % STC Wirkungsgrad) sind auf dem 9 Meter breiten Modulträger montiert, der wiederum an den Enden drehbar auf den Halteseilen montiert ist. Sechzig solcher Träger sind über die Gesamtlänge nebeneinander mit der Drehachse nach Süden (Azimut -13°) orientiert. Sie folgen dem Lauf der Sonne von der Morgenposition -45° bis zur Abendposition $+45^\circ$ in zeitsynchronen Schritten alle 10 Minuten, dem berechneten Positionswert der Sonne entsprechend.

Gesteuert werden alle 60 Modulträger eines Feldes von einem einzelnen Seil (Bild ③). Es wird mittels eines Standardlinearantriebs, der mit einem 1-kW-Drehstrommotor ausgerüstet und an den Endstützen montiert ist, bewegt. Um die Verschattung durch die benachbarten Modulreihen zu vermeiden, wird am frühen Morgen und am Abend das klassische Backtracking eingesetzt¹. Insgesamt sind sechs solcher Felder mit je 480 Solarmodulen in-

¹ Backtracking: Beim Backtracking werden die Module nach der Sonneneinstrahlung im Tagesverlauf so ausgerichtet, dass der Einfallswinkel zur Sonne minimiert wird. Dies geschieht genau so weit, dass die gegenseitige Verschattung der Module gerade noch vermieden wird.

HOCHEFFIZIENTE ZELLE
4 mm SOLARGLAS
SOLARVERSICHERUNG



SOLON
Blue 230/07

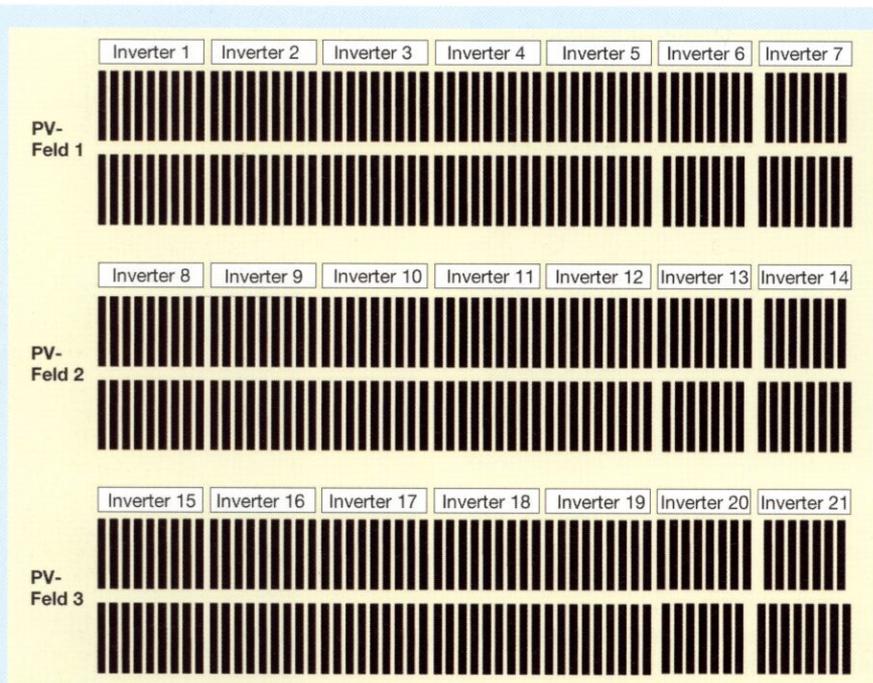
Hochleistungsmodul mit hervorragendem Wirkungsgrad, hocheffizienter Zelltechnologie und sehr gutem Schwachlichtverhalten sichert optimale Erträge über Jahrzehnte.

Ab Lager lieferbar.

entrason

Solargroßhandel mit Mehrwert.

+49 (0) 5683 9 23 91 10
info@entrason.de · www.entrason.de



4 Ein vertikaler schwarzer Streifen symbolisiert einen Modulträger, bestehend aus 8 Solarmodulen mit je 230 Wp Nennleistung



5 Die Wechselrichter sind im Feld installiert, der Kabelkanal wird am Tragseil mitgeführt

stalliert. Dabei teilen sich zwei benachbarte Felder das mittlere Tragseil. Die Montagezeit der Modulträger betrug zwei Wochen im Dezember 2008, wobei die Solarmodule bereits auf den Trägern assembliert an die Baustelle geliefert wurden.

Im mittleren Bereich der Anlage sind die Sensoren implementiert, die neben einem Windsensor einen Ultraschall-Schneesensor, Temperatursensoren und Einstrahlungssensoren sowie einen Kraftsensor am Anschlusspunkt des Linearantriebs umfassen. Bei Starkwind

fährt die Anlage stets in eine flachere Position mit weniger Windangriffsfläche.

3 Elektrische Verschaltung des Lonza-Solarparks

Die gesamte DC-Leistung der Anlage wird von 21 dreiphasigen Solarwechselrichtern mit einer Nennleistung von je 30 kW (Sunways PT30k) ins 400-V-Drehstromnetz gespeist. Ein String wird von 3 x 8 Modulen gebildet. Die

gesamte Anlage ist elektrisch in drei gleiche Felder gegliedert, die je 2 x 60 Modulträger enthalten und von einer Nachführeinheit gesteuert werden. Dies bedingt, dass pro Feld fünf Wechselrichter mit sechs Strings und zwei Wechselrichter mit nur fünf Strings beschaltet sind (Bild 4). Die Wechselrichter sind direkt im Feld an der Zwischenstütze montiert (Bild 5) und die 6 mm² DC-Leitungen sind im Kabelkanal verlegt, der am Tragseil montiert ist. Die Kommunikation mit den Wechselrichtern erfolgt über Ethernet.

4 Performance des Lonza-Solarparks

Das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme Freiburg hat den Lonza Solarpark im Auftrag der Sunways AG einem detaillierten Anlagen-Monitoring unterzogen.²

Aus dem steilen Anstieg des Tagesverlaufs der gemessenen solaren Einstrahlungsleistung am Morgen ist die Wirksamkeit des Solartrackers ersichtlich, da bei fixer Montage dieser Anstieg deutlich kleiner wäre (Bild 6). Gleichzeitig bestätigt die Auswertung, dass auch während dieses Anstiegs am Morgen die produzierte und ins Wechselstromnetz eingespeiste Leistung nahezu im Takt mit der Solarstrahlung ansteigt. Dies belegt, dass in den Morgenstunden keine Abschattung der benachbarten Module auftritt, das eingesetzte Backtracking also optimal funktioniert. Durch die an diesem Tag vorhandenen Wolken am Morgen kann gleichzeitig auch das dynamische MPP-Tracking des Wechselrichters belegt werden, da die AC-Leistung auch während dieser raschen Änderung der Bewölkung im Takt mit der Solareinstrahlung bleibt.

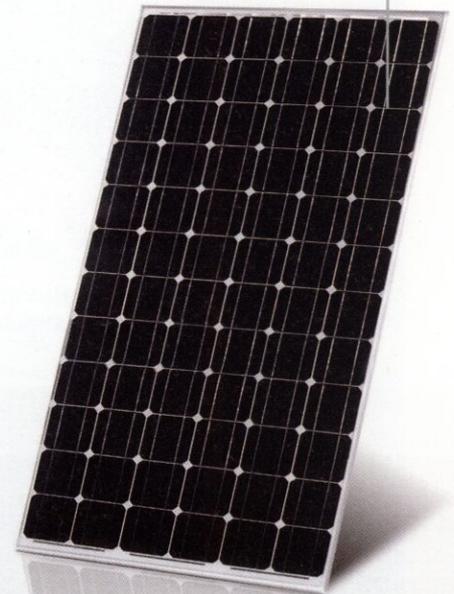
Die Analyse der gemessenen Modultemperatur im gesamten Juli hat ergeben, dass eine Übertemperatur gegenüber Umgebungstemperatur von ca. 22 °C bei einer Einstrahlungsleistung von 800 W/m² vorliegt (Minimalwert 5 min Messintervall bis auf 10 °C).

Dies sind im Mittel ca. 4 °C unter den Standardwerten, die der Modulhersteller für Standardeinbauten angibt (NOCT Definition). Der Mittelwert der gemessenen absoluten Tagestemperaturen der Module lag im Juli bei 33,9 °C, während die Tagesumgebungstemperatur den Wert von 20,1 °C zeigte. Durch die erhöhte Montage der Module über Grund ist eine perfekte Hinterlüftung gegeben, welche über den Temperaturkoeffizient der Leistung zu einer Verbesserung der Performance Ratio um ca. 2 % führt.

Darüber hinaus wurde der Wirkungsgrad der eingesetzten Wechselrichter gemessen (Bild 7). Diese Messreihe bestätigte die Herstellerangaben, da für den gemessenen Wirkungsgrad von der Nennleistung bis zu einem

² Die Monitoring-Daten für 2009 sind einzusehen unter: www.sunways-ise.solar-monitoring.de, Deutschland Süd, Waldshut-Tiengen

WIRKUNGSGRAD > 14 %
MONOKRISTALLIN
HOHLKAMMERRAHMEN



EGing
EGM 180

Das leistungsstarke Photovoltaik-Modul wird mit einer garantierten Mindestleistung von 180 Wp geliefert. Unabhängige Qualitätskontrollen sichern die höchste Effizienz über Jahre.

Kurzfristig lieferbar.

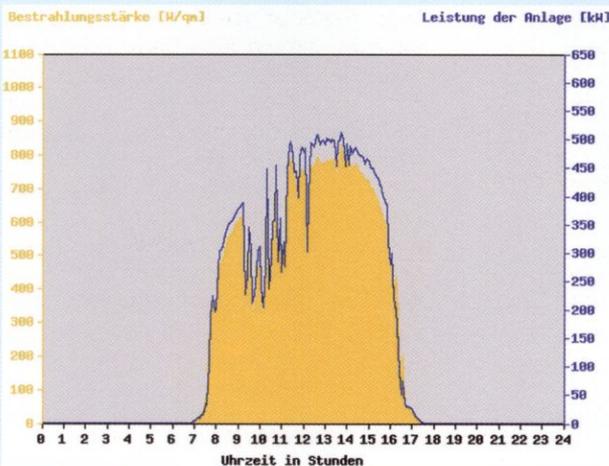
Fragen Sie direkt nach.

entrason

Solargroßhandel mit Mehrwert.

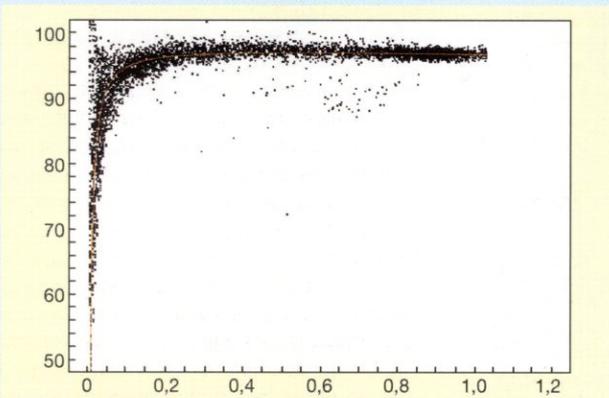
+49 (0) 5683 9 23 91 10

info@entrason.de · www.entrason.de



⑥ Tagesverlauf der am 19.10.2009 gemessenen ins AC-Netz eingespeisten Anlagenleistung und die in der nachgeführten Modulebene gemessene solare Einstrahlung (5,5 kWh/m²). An diesem Tag erzeugter Solarstrom: 5,27 kWh/kWp

Quelle: Fraunhofer ISE/ep Photovoltaik



⑦ Gemessener Wirkungsgrad des Sunways PT30k als Funktion der Teillast, wobei sich die Messperiode über den ganzen Juli 2009 erstreckte

(Die Messdatenerfassung wurde vom Fraunhofer ISE, Freiburg, K. Kiefer, ausgeführt)

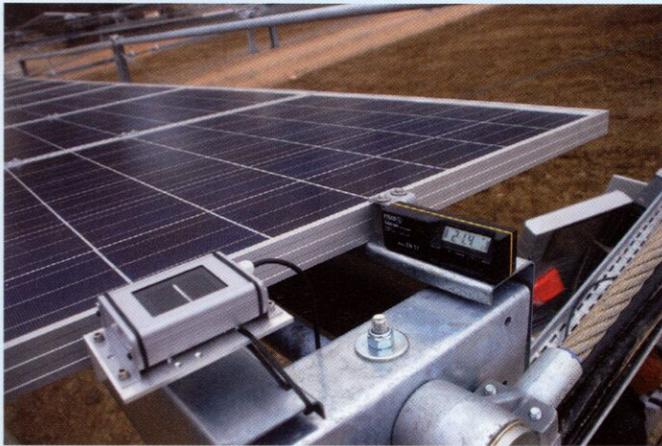
Tafel ② Vom Fraunhofer ISE gemessene Monatswerte der spezifischen Solareinstrahlung eines fix montierten nicht nachgeführten Silizium-Referenzsensors und der ins Netz eingespeisten spezifischen Energie (Nennleistung 654,3 kW)

1. Betriebsjahr	Solarinput fix 30° [kWh/m²]	AC-Ertrag Tracker [Wh/Wp]
Jan 09	27,9	29,2
Feb 09	54,3	54,4
März 09	80,1	92,8
Apr 09	133,7	153,0
Mai 09	151,8	167,0
Jun 09	156,3	177,1
Juli 09	151,9	170,0
Aug 09	162,2	182,4
Sep 09	114,4	132,9
Okt 09	77,3	87,9
Nov 09	30,9	35,2
Dez 09	25,0	26,6
Summe	1167,9	1308,5

Fünftel der Nennleistung die Werte über 97 % lagen und der Hersteller den mittleren Eurowirkungsgrad mit 97 % angibt. Die über den gesamten Juli gemessene MPP-Spannung der Strings war stets größer als 600 V im Einstrahlungsbereich von 900 W/m², weit über der unteren Spannungsgrenze des MPP-Bereichs (420 V bis 800 V) des Inverters.

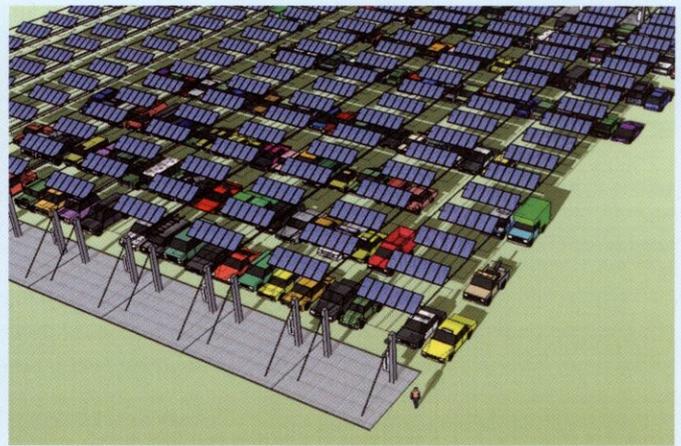
Im ersten Betriebsjahr hat der Lonza Solarpark einen spezifischen Ertrag von 1308 Nennbetriebsstunden oder 1308 kWh/kWp erzielt (Tafel ②). Die Einstrahlungsmessungen in 2009 haben ergeben, dass in der einachsigen nachgeführten Modulebene die jährliche Einstrahlungssumme um 21 % höher war als beim fest montierten Referenzsensor (Neigung von 30°, Süd). Die Performance Ratio der untersuchten nachgeführten Anlage liegt im Jahresmittel bei dem sehr hohen Wert von 92,5 %. Diese Performance Ratio wird aus dem Quotienten des spezifischen AC-Ertrags und der gemessenen spezifischen Einstrahlung in der nachgeführten Modulebene berechnet (Bild ⑧). Dies lässt auf die Verwendung hochwertiger PV-Komponenten wie Solarmodule mit perfektem Power Rating sowie hocheffiziente Wechselrichter und geringste Leitungsverluste in der Verkabelung schließen.

Der Mehrertrag dieser nachgeführten Anlage lässt sich im Vergleich zu einer fix montierten Anlage berechnen, wenn man von den gemessenen Einstrahlungswerten des fix montierten Sensors (Tafel ②) ausgeht und diese mit der angenommenen Performance Ratio von 90,5 % für eine exzellente fix montierte Anlage multipliziert. Dabei wurde aufgrund der besseren Hinterlüftung der Module und anderer Effekte (optische Verluste bei flachem Einstrahlungswinkel auf die Module, Schneeab-



8 Kristalliner Silizium-Referenzsensor am Modulträger zur Messung der spezifischen Einstrahlung

Foto: Fraunhofer ISE



9 Ein doppelter Nutzen ergibt sich beispielsweise beim Einsatz des Systems für Parkplätze



10 Montage des zweiachsigen Solar Wings-Prototypen, welcher mit einer Nennleistung von 70 kW in Flums, Schweiz, über dem Freilager der Firma Flumroc installiert ist. Die Modulträger sind wieder mit 8 Stück 230 W Modulen nebeneinander bestückt. Die beiden Tragseile werden von einem Querbalken, der in einer Höhe von ca. 9 Meter auf den Zwischenstützen gelagert ist, in der zweiten Achse gedreht.

Fotos/Grafiken: 1–5 und 10: F. Baumgartner; 9: A. Büchel

Weitere Projekte sind angedacht, die den Solar Wings Doppelnutzen auch in der Landwirtschaft belegen sollen. Auch werden aktuelle Projektanfragen zur Parkplatznutzung mit dem Solar Wings Tracking System untersucht (Bild 10). [4]

Gemeinsam mit der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften [5] wird in diversen F&E-Projekten der Mehrertrag durch Zusätzlich von Planarspiegeln untersucht. Dabei werden die Spiegel auf parallelen Achsen neben den Solar Wings PV-Modulträgern durch ein weiteres Steuerseil ausgerichtet. Somit kann zusätzliches Sonnenlicht auf die Solarmodule konzentriert und damit der Solarstromertrag erhöht werden. Messungen an speziell konstruierten Tischmodellen haben für den Standort Schweiz Mehrerträge der Momentanleistung von bis zu 60 % und im Tagesmittel von deutlich über 30 % erzielt. Diese Untersuchung soll 2010 an einem Prototyp im kW-Bereich weitergeführt und die wirtschaftliche Machbarkeit speziell für Standorte in Südeuropa analysiert werden.

wurf...) von einer um 2 % höheren Performance Ratio für die nachgeführte Anlage ausgegangen, bei Verwendung der gleichen Module und Wechselrichter. Gemeinsam mit dem spezifischen ins Wechselstromnetz eingespeisten Ertrag der nachgeführten Anlage aus Tafel 2 ergibt sich daraus ein Mehrertrag von 22 %. Zusammenfassend bestätigen die Messergebnisse einen Mehrertrag der Nachführung von ca. 22 %, wobei die resultierende Messunsicherheit von 3 bis 4 % berücksichtigt werden muss. Darin sind die Messunsicherheiten der Strahlungssensoren, ISE kristalline Silizium Referenzen, sowie die Unsicherheit bei der Bestimmung der STC-Leistung der Module, die als Summe der vorliegenden Flashertabellen des Herstellers angenommen wurde, zu berücksichtigen. Der Mehrertrag von 22 % für einachsige Tracker (Achsenneigung von 30°) wurde ebenfalls durch Messungen anderer

Gruppen für den Süddeutschen Raum bestimmt, wobei zweiachsige Tracker in der gleichen Untersuchung noch eine Steigerung von 3 % ermöglichen. [3]

5 Ausblick

Noch im Dezember 2009 wurde ein zweiachsiges Nachführsystem, basierend auf dem Solar Wings-System, mit einer Leistung von 70 kW in Flums, Schweiz, in Betrieb genommen. Dabei werden die Tragseile in einem Winkelbereich von $\pm 35^\circ$ zusätzlich geneigt. Die Module sind dabei mindestens 6 Meter über dem Boden über ein Freilager gespannt, sodass darunter die Güter, wie gehabt, verschoben und auch LKW ungestört passieren können (Bild 9).

Literatur

- [1] Huld, T.; Ossenbrink, H.: et. al; PVGIS, Webrechner des Forschungszentrums der EU in Ispra, zur Ermittlung des Solarstromertrags von Photovoltaik-Kraftwerken mit und ohne Nachführung; www.pvgis.eu.org
- [2] Baumgartner, F.; Büchel, A.; Bartholet, R.: Vortrag bei der Europäischen Photovoltaik Tagung, Hamburg Sept. 2009.
Download diverser Publikationen zum Solar Wings Konzept wie Europäische Photovoltaik Konferenzen 2008 und 2009 und weiterer Publikationen des Photovoltaik-Teams an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften unter <https://home.zhaw.ch/~bauf/>
- [3] Mohring, H. D.: et. al; Europäische Photovoltaik Konferenz, Dresden 2006
- [4] Solar Wings AG, Oberweilerstrasse 36, 9491 Ruggell; Liechtenstein; info@solar-wings.li. BMF Seilbahntechnik siehe unter <http://www.bmf-ag.ch>
- [5] ZHAW School of Engineering; Institut für Energie/Photovoltaik; Prof. Dr. F. Baumgartner; bauf@zhaw.ch; www.engineering.zhaw.ch