



Photovoltaik & Elektrotechnik:

Wie viel ET steckt im Solarkraftwerk?

Mit einem Gerät ohne bewegte Teile elektrischen Strom zu produzieren, in einer Leistungsklasse von einigen Milli watt bis zu hunderten von Megawatt, prägt den technischen Reiz der Solarzelle. Im Jahr 2010 wird dies in Südeuropa zu gleichen Kosten erfolgen können, wie der Haushaltskunde für den konventionellen Netzstrom bezahlt.

Solar Wings einachsiges Nachführsystem mit 650kW Nennleistung wurde im Dezember 2008 in Waldshut, Deutschland in Betrieb genommen (Projektteam: Solar Wings, Bartholeth AG, ZHAW, Lonza Group, Stadtwerke Waldshut) Auf einem Modulträger sind acht polykristalline Sunways Module mit einer Nennleistung von je 220Wp installiert.



Der Autor Franz Baumgartner, Elektroingenieur und Professor für Erneuerbare Energie an der ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ist seit zwanzig Jahren im Bereich der Photovoltaik tätig

Die Vergangenheit

Werfen wir zuerst einen Blick in die Vergangenheit. Im Jahr 1954 wurde die erste Solarzelle an den Bell Labs in USA entwickelt und vier Jahre später lieferten diese Solarzellen bereits Strom für einen Satelliten. Zehn Jahre davor wurde in den gleichen Forschungslabors der Transistor erfunden, nachdem der pn-Halbleiterübergang, die Diode entwickelt wurde. Die Solarzelle ist eine Photodiode, die die Energie der Lichtquanten, Photonen nutzt, um die Elektronen des Halbleiters in ein höheres Energieniveau anzuheben. Sie unterscheidet sich im Kern von der Photodiode einer Digitalkamera in der Grösse der Detektorfläche, die bei einem Megawatt-Kraftwerk einer Solarzellenfläche von der Grösse eines Fussballfelds entspricht.

Solarmodultechnologien: billiger, billiger, billiger

Die erste Solarzelle vor 50 Jahren, war aus kristallinem Silizium aufgebaut und hatte einen Wirkungsgrad von 6 %. Heute steht der Weltrekord bei 24 %. Am Markt liegen heute die Wirkungsgrade grossteils um die 14 %, von Solarmodulen mit ca. 1,5 Quadratmeter Grösse, die wiederum aus einzelnen kristallinen Solarzellen, Wafer 150 mm x 150 mm aufgebaut sind. Einzelne wenige Spitzenmodule haben zwar Wirkungsgrade von 17 %, aber für die Errichtung eines Solarkraftwerks sind die spezifischen Kosten pro Nennleistung entscheidend. Diese Kosten lagen 2008 bei leicht über 3 Euro pro Watt für das Modul und werden für 2009 auf ca. 2.9 Euro prognostiziert.

Wirkungsgrade der unterschiedlichen Modultechnologien

	Krist. Si	a-Si/uc-Si	CdTe	CIGS
Rekordzelle	24 %	12 %	16 %	20 %
Marktmodul	11-17 %	6- 10 %	10-11%	10-12 %

Quelle: F. Baumgartner
Angaben: die drei rechten Spalten sind jeweils
Dünnschichtmodule

elektronik JOURNAL

Die Kosten der Solarmodule wurden und werden durch optimierte industrielle Fertigungsprozesse reduziert, vor allem durch die Ausweitung der Produktionskapazität an einem Produktionsstandort. Dabei spielt der Einsatz von Automatisierungssystemen, Handling, Positionierung und Transportprozessen in der Fertigungslinie eine entscheidende Rolle. Bei einer weltweiten Produktionskapazität von ca. 5000 MW Solarmodule im Jahr 2008 lagen die weltweiten Umsätze durch den Modulverkauf bei ca. 14 Mrd. Euro. Bei Marktwachstumsraten von durchschnittlich 40 % pro Jahr wird erwartet, dass im Laufe des nächsten Jahrzehnts die Photovoltaik die Umsätze der Elektronikbranche erreicht. Aktuell sind grosse Solarmodulfabriken in Planung und in Bau, deren jährliche Produktionskapazitäten etwa ein Zehntel der heutigen Weltjahresproduktion entsprechen. Sie binden ein Investment im Bereich von einer Milliarde Euro, versprechen aber Produktionskosten, die etwa der Hälfte der heutigen Grosshandelsverkaufspreise gleich kommen. Dies ist die Basis, damit die Solarstromkosten weiter sinken können. Von höchster Wichtigkeit bleibt



aber die Produktqualität, die einen zuverlässigen Betrieb über die Anlagenlebensdauer von mindesten 25 Jahren ermöglicht.

Von der Solarzelle zum Solarkraftwerk

Vor zwanzig Jahren wurde Solarstrom mehrheitlich eingesetzt um 12-Volt-Bleibatterien aufzuladen, um damit autonome, netzferne Anwendungen wie Beleuchtungssysteme, Funkstationen zu versorgen. Diese reinen DC-Systeme haben heute einen Marktanteil von unter 5 % und die Einspeisung ins Wechselspannungsnetz dominiert. Dazu ist ein elektronisches Gerät, der Solarinverter unverzichtbar. Er wandelt die typischen 150 bis 700 V DC-Spannung der in Serie verschalteten Solarmodule in 50/60 Hz Netzspannung mit 230 V um.

DC/AC Solarinverter

Die jährliche Marktübersicht der Branchenzeitschrift www.photon.de führte im Jahr 2008 an die 500 Solarinverter auf, der Grossteil zwischen 1,5 und 6 kW Nennleistung bzw. 10 bis 30 kW und nur 9 Produkte über 1000 kW Nennleistung. Die Wirkungsgrade unterscheiden sich beträchtlich und werden von der Qualität der eingesetzten Leistungshalbleiter sowie der Schaltungstopologie bestimmt, gleich wie bei industriellen Invertern für die Traktion auch. Die industriellen Standardfrequenzumrichter stellen für heute am Markt befindliche Solarinverter den Startpunkt der Solarproduktentwicklung dar.

Die Spitzenklasse der Solarinverter hatte 2008 einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 96 bis 97 % und der Durchschnitt aller Inverter lag bei 94,6 %. Im Megawattbereich sind Preise aktuell um 0.2 Euro pro Watt Nennleistung möglich, allerdings muss hier aus wirtschaftlichen Gründen besonders stark auf den damit verbundenen Wirkungsgrad geachtet werden, da dann der Wechselrichter nur noch 5 % der Gesamtanlagenkosten darstellt. Fünf Prozent Unterschied im Inverterwirkungsgrad können dann den doppelten spezifischen Preis in Euro pro Watt erlauben! Für Solarinverter im Einfamilienhausbereich sind die Preise um ca. den Faktor zwei höher wie in der Megawattklasse, da hier die anteiligen Kosten jener Komponenten die nicht zur klassischen Leistungsendstufe zählen, dominieren.

Kostenstruktur Solarkraftwerk

Auf dem grössten Photovoltaikmarkt der Welt in Deutschland lagen die Kosten für die Errichtung einer typischen Solaranlage auf dem Einfamilienhaus 2008 bei ca. 4500 Euro pro Kilowatt Nennleistung. Mit einem Kreditzins von ca. 6 % lagen damit die Solarstromgestehungskosten bei ca. 0.46 Euro pro kWh. Dies entspricht exakt dem gesetzlich garantierten Vergütungssatz durch das deutsche EEG (Energie-Einspeise-Gesetz). Dieses Förderinstrument mit jährlich sinkenden Vergütungssätzen für Neuanlagen hat nachhaltig zur Technologieentwicklung der globalen Photovoltaik beigetragen und wurde in vielen Ländern kopiert.

Kostenstruktur Solarkraftwerk Einfamilienhaus, Deutschland

Basis 2008	Solarmodul krist. Si	Inverter	Unterkonstruktion	Rest
Kosten €/W	3.2	0.45	0.4	0.45
Kostenanteil	71 %	10 %	9 %	10 %

Quelle: F. Baumgartner
Angaben: Deutschland

elektronik JOURNAL

Photovoltaik-Fassaden Tübingen 80kW Nennleistung, Sunways AG

Solare Nachführsysteme

Werden die Solarmodule nicht fest montiert installiert, sondern dem täglichen Gang der Sonne so nachgeführt, dass die Sonnenstrahlen stets senkrecht aufs Modul treffen, sind Mehrererträge von 20 bis 35 % möglich. Wirtschaftlich ist dies dann von Vorteil, wenn die nötige zusätzliche technische Investition für die



Nachführung, die Unterkonstruktion nicht mehr als um den Faktor 2 oder 3 verteuert, je nach Mehrerertrag. Ein neues Konzept einer Solarnachführung, die auf Seilen montiert ist, vergleichbar einer Seilbahn, wurde mit einer Nennleistung von 650 kW im Dezember 2008 in Waldshut, Süddeutschland in Betrieb genommen. Die Solarmodule werden über die Gesamtlänge der Anlage von 310 Meter mittels Steuerseil von nur einem Elektromotor gleichzeitig nachgeführt. Die im Abstand von 40 Meter angeordneten Zwischenstützen tragen die jeweils 30 kW Solarinverter (Sunways PK30). Im Projektteam war neben der Firma Solar Wings, der Seilbahnbauer Bartholet, die ZHAW, Hochschule in Winterthur und der Auftraggeber Lonza Group tätig.

Netz: Parität der Kosten in 2010

Da in Südeuropa das jährliche Solarangebot um bis zu ca. 50 % höher ist wie in Deutschland liegen dort die Gestehungskosten schon heute bei 0.3 Euro pro kWh Solarstrom. Mit heutigen Strompreisen für den Haushaltsendkunden von 0.25 Euro, Tendenz steigend, und den weiter sinkenden Solarstromkosten wird im Jahr 2010 die Kostengleichheit in Südeuropa erwartet.

Zirka fünf Jahre später wird bei fortlaufender Kostenreduktion der Photovoltaik diese Parität auch in Ländern wie Schweiz, Österreich und Deutschland angekommen sein. Dann sollten keine öffentlichen Förderbeiträge mehr nötig sein um eine saubere Stromerzeugung im grösseren Rahmen zu realisieren. Das Ziel der europäischen Solarindustrie liegt bei einem Anteil von 12 % an der Stromerzeugung im Jahr 2020. ■

i infoDIREKT www.elektronikjournal.de

912ejl0209

<https://home.zhaw.ch/~bauf/>; www.bsw-solar.de;

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>;

<http://re.jrc.ec.europa.eu/refsys/>

Veranstaltungskalender

3-Tage-Seminar Telekommunikation 3.3./11.3./12.3. 2009,
Elektro- und Kommunikationstechnik im Tiergarten, Ilconweg 1,
Burgdorf, Info und Anmeldung: www.fael.ch → Anlässe → Focus 536
Fierabend-Event: Konvergenz in Triple-Play-Applikationen,
Mittwoch, 18. März 2009, 17:30 - 19:30, Flurstrasse 50, Zürich,
Info und Anmeldung: www.fael.ch → Anlässe → Focus 543