Welche Lebensdauer erreicht eine Photovoltaikanlage?

Autor(en): **Camani, M. / Cereghetti, N. / Chianese, D.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **89 (1998)**

Heft 10

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902078

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die erste mit einem elektrischen Netz verbundene europäische Photovoltaikinstallation wurde im Testzentrum der TISO im Mai 1982 in Betrieb genommen. Die Betriebsanlage, ausgestattet mit monokristallinen Silikonmodulen, erbringt 10 kW_p Nominalleistung. Die präzisen Messungen der verschiedenen photovoltaischen Komponenten und, ganz speziell, die Überwachungsarbeit der Module, liefern wichtige Informationen zu den kritischen Stellen im System der photovoltaischen Betriebsanlage. Eine zweite Installation, die amorphe Silikonmodule benutzt, wurde im Mai 1988 eröffnet. Der Zerfall- und Regenerationszyklus in der Leistung der a-Si-Module wurde über einen Zeitraum von zehn Jahren konstant beobachtet. Anfänglich bestand die Anlage aus drei unterschiedlichen Modultypen mit 4 kW_p maximaler Leistung. Momentan ist nur ein Modultyp mit 2,9 kW_p Nominalleistung, was etwa einer Realleistung von 2 kW entspricht, ans Netz angeschlossen.

Welche Lebensdauer erreicht eine Photovoltaikanlage?

■ M. Camani, N. Cereghetti, D. Chianese und S. Rezzonico

10-kW-m-Si-Anlage

Erste netzgekoppelte Anlage in Europa

Die 10-kW_p-m-Si-Photovoltaik(PV)-anlage der TISO wurde am 13. Mai 1982 in Betrieb genommen. Sie befindet sich auf dem Flachdach der Technischen Schule von Trevano in Lugano. Es war die erste europäische Anlage, die mit an ein elektrisches Netz angeschlossen wurde. Zu Beginn war das Hauptziel des Projekts das Studium der Sicherheitsbedingungen und technischen Probleme, die bei einem Anschluss von PV-Anlagen

Bild 1 10-kW_p-m-Si-Anlage (1982) und 4-kW-a-Si-Anlage (1988).

Adresse der Autoren
Mario Camani, Nerio Cereghetti, Domenico Chianese und *Sandro Rezzonico*
TISO, Centrale di collaudo per componenti PV
SUPSI, DCT
CH-6952 Canobbio

Nr.	1/82	1/83	1/85	9/86	4/92	5/96	2/97
1	9,63	9,67	9,76	9,79	–	10,0	9,90
2	9,47	9,36	9,38	9,45	–	9,7	9,5
3	9,38	9,36	9,28	9,35	–	9,4	9,3
4	9,38	9,39	9,34	9,48	–	9,6	9,5
5	9,43	9,3	9,31	9,43	–	9,6	9,5
6	9,26	9,21	9,13	9,29	–	9,4	9,2
7	9,28	9,36	9,3	9,32	–	9,4	9,3
8	9,57	9,57	9,74	9,61	–	9,7	9,6
9	9,83	9,8	9,72	9,81	**8,6**	**8,7**	**8,7**
10	9,58	9,5	9,66	9,6	9,6	9,75	9,7
11	9,66	9,68	9,68	9,71	9,7	9,7	9,6
12	9,67	9,52	9,6	9,72	9,7	9,6	9,5
13	9,7	9,61	9,62	9,7	9,8	9,8	9,6
14	9,71	9,71	9,64	9,77	9,6	9,55	9,6
15	9,7	9,65	9,76	9,77	9,7	9,8	9,6
16	9,79	9,78	9,76	9,85	9,9	9,9	9,6
17	9,66	9,56	9,36	9,42	**8,9**	**9,05**	**9,0**
18	9,84	9,77	9,76	9,89	9,9	9,9	9,8
Durchschnitt	**9,59**	**9,54**	**9,54**	**9,61**	**9,54**	**9,59**	**9,49**

Tabelle I Wirkungsgrad @STC (%) von 18 ASI-162300-Referenzmodulen zwischen 1982 und 1997.

ans öffentliche Elektrizitätsnetz enstehen können.

Die Anlage wird zurzeit dazu benutzt, die mechanischen und elektrischen Degradationserscheinungen und die Lebensdauer von PV-Modulen zu untersuchen. Im Laufe der 16 Betriebsjahre wurden die wichtigsten elektrischen Parameter aufgenommen. Die Konfiguration der Anlage wurde zweimal zu Forschungszwecken verändert. Die Ursprungskonfiguration und die späteren Veränderungen werden im Folgenden aufgelistet:

- **1982 – Betriebsbeginn**. 1982 hatte die Anlage folgende Struktur:
  * 24 Serien mit je 12 ASI 16-2300-ARCO-Modulen (37 W_p STC); U_m = 195 V.
  * Installationswinkel: 65°; 10 kW_p Abacus-Inverter
- **1990 – Studium eines Inverterprototyps.** Nachdem der Abacus-Inverter völlig zusammengebrochen war, wurde ein Drittel der Anlage dazu verwendet, den Einsatz eines Solcon-Inverterprototyps zu testen. Das Feld wurde wie folgt modifiziert:
  * 16 Serien mit je 6 Modulen; U_m = 95 V; 3 kW Solcon-Inverter.
- **1992 – Ersetzen des Inverters.** Ein Teil der Anlage wurde wegen der unterschiedlichen Anzahl von Modulen pro Serie nicht angeschlossen.
  * 2 Felder mit 6 Serien von je 21 Modulen (U_m = ± 760 V, Mittelsektionserdung)
  * 15 kW Ecopower-Inverter
- **1995 – Rekonstruktion des Flachdaches.** Die Flachdachisolation der Technischen Schule in Lugano wurde von Grund auf erneuert. Zu diesem Zweck wurde die Anlage vollständig auseinandergenommen und später wieder neu zusammengesetzt. Nach Abschluss der Arbeiten wurden die Module mit einem Neigungswinkel von 55° montiert, wie bei der Anlage mit den 4-kW_p-a-Si-Modulen.

15 Jahre Messungen bei standardisierten Testbedingungen (STC)

Periodische Auswertungen der elektrischen Daten nach STC bei einer ausgewählten Gruppe von Modulen während 15 Betriebsjahren haben die durchgehend **stabile elektrische Leistungsfähigkeit** dieses Modultyps bewiesen. Module neuerer Herstellung hingegen weisen schon nach einem Betriebsjahr eine Leistungsabnahme auf.

Wie Tabelle I zeigt, kann man bei 16 von 18 Modulen keine erkennbaren Degradationserscheinungen feststellen (maximale Messungsabweichung 2,24%). Die Abnahme bei den anderen zwei Modulen betrug 7,3% (Modul Nr. 17) bzw. 13% (Modul Nr. 9).

Visuelle Analyse

Die Module wurden während 16 Jahren den Wetterelementen ausgesetzt und zeigten verschiedene sichtbare Zeichen des Alterns.

Eine visuelle Inspektion der 288 Module (10 080 Zellen) hat die Präsenz von insgesamt 461 unterschiedlichen Formen der Infiltration bei 74% der Module ans Licht gefördert. 103 davon kamen mit den aktiven Teilen der Module (elektrische Leiter oder Silikonteile) in Kontakt. Die Infiltrationen setzen normalerweise zuerst in den Ecken der Module ein. Trotzdem erlitten die Module keine Leistungsabnahme. Die Infiltrationen sind in den meisten Fällen von beschränkter Natur. Die Zunahme der Infiltrationen während der letzten Jahre könnte auf die durch die Ersetzung des Inverters verursachte Steigerung in der voltaischen Spannung des Systems (von 200 V_{dc} zu ±380 V_{dc}) zurückzuführen sein. Die bräunliche Färbung einer Reihe von Modulen in den ersten Jahren nach der Inbetriebnahme der Anlage breitete sich nicht weiter aus, und die Module erlitten keine weiteren elektrischen Zerfallserscheinungen. Die Oxidierung der mit der Terminal Box verbundenen Zellenleitraster im Laufe des ersten Betriebsjahres hat deren Effizienz in den darauffolgenden Jahren nicht weiter beeinträchtigt.

Thermographische Analyse

Alle ASI-16-2300-Module zeigten lokal feststellbare Spuren von Überhitzung – im Durchschnitt 4 °C – der mit der Terminal Box verknüpften Zellen. 48 Zellen der Anlage zeigen nach 15 Jahren vom Zeitpunkt ihrer ersten Inbetriebnahme eine Überhitzung von mehr als 10 °C im Vergleich zu den anderen Zellen (16,7% der Module des ganzen Feldes), von denen nur eine nicht mit der Terminal Box des Moduls verbunden ist. Im grossen und ganzen ist die Temperaturverteilung innerhalb des Moduls relativ stabil, vergleicht man sie mit anderen, momentan auf dem Markt erhältlichen Modellen. Nur 7 der insgesamt 288 Modulen (2,4% der Module) gingen im Laufe der 16 Betriebsjahre kaputt. In vier Fällen war der Defekt auf Wasserinfiltration in der an die Terminal Box angeschlossene Zelle zurückzuführen.

4-kW-a-Si-Anlage

Einführung

Die TISO PV-Anlage mit amorphen, an das elektrische Netz angeschlossenen Silikonmodulen wurde im Mai 1988 in Betrieb genommen. Während der ersten Betriebsjahre wurden hauptsächlich Tests zur Feststellung des Niveaus der **anfänglichen Zerfallserscheinungen** in den drei verschiedenen in der Anlage integrierten Modultypen durchgeführt.

Zwei davon wurden aufgrund unterschiedlicher Defekte entfernt. Im **Mai 1988** bestand die Anlage aus folgenden Modulen: 96 G4000 Arco Solar (2,88 kW_p), 48 CSB.13.E Chronar (624 W_p) und 22 SA20 Solarex (440 W_p). Die Module waren mit Hilfe eines 4-kW-Abacus-Inverters an das Netz angeschlossen. Die CSB.13.E-Module wurden im Laufe des ersten Betriebsjahres wegen Infiltrationserscheinungen aus der Gesamtanlage entfernt. Im Anschluss daran wurden auch die SA20-Module entfernt, aufgrund von Defekten in den inneren Leitungsbändern der Module. **1992,** nach einer Reihe verschiedener technischer Probleme, ging der Abacus-Inverter endgültig kaputt und musste durch den in einem früheren Projekt eingesetzten Solcon-Prototyp ersetzt werden. Die 8 Serien von je 12 Modulen (U_m = 200 V) wurden in 8 × 2 parallelen Serien von je 6 Modulen (U_m = 100 V) verknüpft.

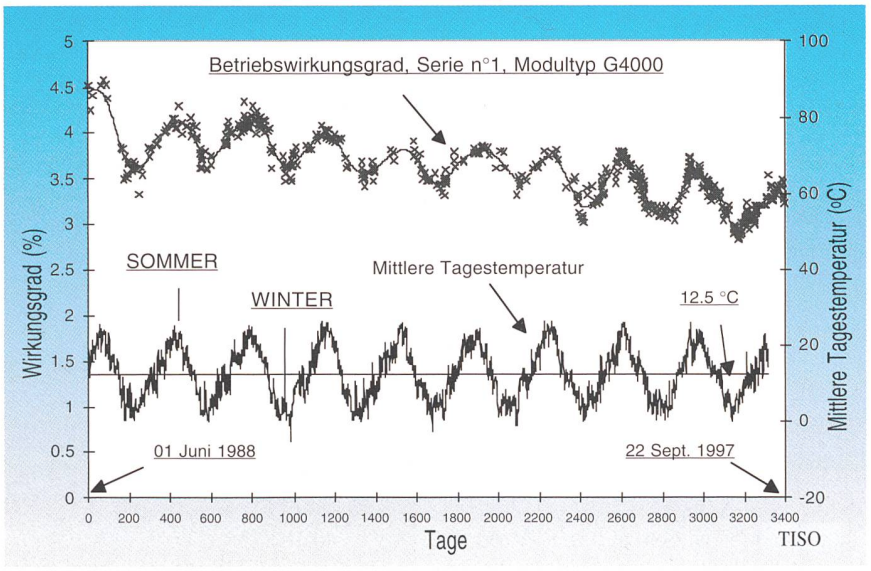

Bild 2 Wirkungsgrad der Module und Umgebungstemperatur von 1988 bis 1997.

Die Entwicklung der Betriebsleistung

Die Betriebsleistung der G4000-Modulserien wurden während neun Jahren gemessen. Die in Betracht gezogenen Daten wurden während Tagen mit einer regelmässigen über 800 W/m² liegenden Bestrahlung erhoben. Die durchgeführten Messungen wiesen einen Leistungsfall von 25% während der ersten Wochen auf und darauffolgende saisonabhängige Variationen von ±5% in bezug auf den Abbauwert. Die durchschnittlichen Winter- und Sommerreduktionen waren praktisch identisch (rund 0,00025% täglich, d.h. etwa 18% im Laufe der 9 Betriebsjahre). Der Fall in der Betriebsleistung kann nicht auf eine homogene Degradationserscheinung aller Modulserien zurückgeführt werden. Tabelle II zeigt die maximalen Werte der Leistungsmessungen bei STC der Nr. 1-Serie der G4000-Module zwischen Oktober 1996 und Februar 1997.

Drei Module erbringen ungefähr 10% weniger Leistung als die anderen. Zwei davon weisen einen «Hot-Spot» (durch den Einsatz einer thermographischen Kamera festgestellt) in der Nähe des Rahmens auf, der wahrscheinlich einer inneren Schaltung entspricht. Der Leistungsverlust aller Module kann fast ausschliesslich auf eine Abnahme des «Fill factor» zurückgeführt werden, während sowohl der Kurzschlussstrom wie der offene voltaische Stromkreis unverändert blieben.

Tabelle II zeigt, wie unterschiedlich die Zerfallserscheinungen bei den einzelnen Modulen ausfallen. Tatsächlich ist die Degradation, die sich zwischen der ersten und der zweiten Messung einstellt, unregelmässig. Die Mismatchverluste, die aufgrund von allgemeinen bei Standardtestbedingungen geläufigen I-V-Werten errechnet wurden, sind bedeutungslos, wenn man sie mit dem totalen seit 1989 feststellbaren Leistungsschwund (–0,5% bzw. 18% der Gesamtleistung der Serien) vergleicht. Die konstante Zerfallserscheinung, die in den letzten Jahren beobachtet werden konnte, widerspiegelt somit nicht eine entsprechend konstante Degradation aller Module, sondern nur die einiger unter ihnen.

Schlussfolgerungen

- m-Si-Module haben ihre Zuverlässigkeit bewiesen: nur 2,4% der Module mussten ersetzt werden.
- Erste Formen mechanischer Degradation (Luftblasen und Formen der begrenzten Infiltration) beeinträchtigen die Leistung der Module nicht.
- «Hot-Spot» dieser Modulart liegt im allgemeinen bei der Terminal Box.
- Der Wechselrichter ist oft eine Schwachstelle bei netzgekoppelten PV-Anlagen. Bei diesem PV-System muss im Schnitt mit einem Ersatz des Wechselrichters alle 5 Jahre und einem Defekt alle 1,5 Jahre gerechnet werden.
- Die auf einem Flachdach montierte PV-Anlage muss einfach, schnell und effizient auf- und abgebaut werden können.
- a-Si-Module weisen während den ersten Wochen nach Inbetriebnahme 25% Leistungsschwund auf. Saisonabhängige Variationen von ±5% wurden festgestellt.
- Die durchschnittliche Degradation von 18% innerhalb von neun Jahren kann

Modul-Nr.	Oktober 1996 P_m@STC (W_p)	Februar 1997 P_m@STC (W_p)	ΔP_m (%)
1	21,1	20,5	– 2,8
2	21,7	20,9	– 3,7
3	20,5	20,5	0
4	21,5	20,9	– 2,8
5	17,3	16,7	– 3,5
6	19,0	18,0	– 5,3
7	19,8	18,7	– 5,6
8	22,0	21,4	– 2,7
9	21,4	20,6	– 3,7
10	17,9	15,7	–12,3
11	21,2	19,4	– 8,5
12	16,9	16,1	– 4,7

Tabelle II Messungen der Leistung P_m bei STC der Nr. 1-Serie der G4000.

nicht auf einen gleichmässigen Zerfall aller Modulserien zurückgeführt werden. Die a-Si-Module weisen keinen vergleichbaren Zerfallsmodus auf.

- Der Leistungsverlust der a-Si-Module kann fast ausschliesslich auf eine Abnahme des «Fill factor» verbucht werden, der Kurzschlussstrom und die V_{dc}-Werte blieben weitgehend unverändert. Die Mismatchverluste der a-Si-Module sind gering und an einen tiefen «Fill factor» gebunden.

möglich werden, eine Vorstellung der realen Lebensdauer der PV-Module und der grundlegenden Faktoren der Degradation zu erarbeiten. Der weitere Zerfall sollte ungefähr 20 Leistungsjahren entsprechen. Die im Oktober 1997 begonnenen Tests sollten bis März 1998 abgeschlossen sein.

4-kW-a-Si -Anlage

Die bisher festgestellten Zerfallserscheinungen des «Fill factor» der Module der 4-kW-a-Si-Anlage ermöglichen es nicht, deutlich zwischen den auf den Straebler-Wronski-Effekt und den technologischen Aufbaukriterien der Zellen zurückführbaren Degradationsmechanismen zu unterscheiden. Dieses Problem könnte durch eine Reihe von Messungen mit unterschiedlichen Beleuchtungswerten der I-V-Kennlinie (VIM Variable Illumination Measurements) überwunden werden. Zu diesem Zweck werden in Zusammenarbeit mit der Universität von Barcelona eine Reihe von Messungen durchgeführt.

Internationale Zusammenarbeit

10-kW-m-Si-Anlage

In Zusammenarbeit mit dem Vereinten Europäischen Forschungszentrum (EC JRC-ESTI) von Ispra werden momentan Versuche mit den ASI-16-2300-Modulen der 15 Jahre alten TISO-Anlage und den bisher noch nicht installierten ASI-16-2000-Modulen des JRC-ESTI durchgeführt. Ziel dieser Versuche ist es, die Beschleunigungsfaktoren des Zerfallprozesses, die durch die Qualifikationstests IEC 1215 (ESTI spec. 503) verursacht werden, festzustellen und herauszufinden, ob die Degradationsmechanismen, die durch die IEC-Tests verursacht werden, denen entsprechen, die unter normalen Bedingungen auftreten. Durch zwei weitere IEC-1215-Tests einiger Module der TISO-Anlage soll es zudem

Quelle est la durée de vie d'une installation photovoltaïque?

La première installation photovoltaïque européenne raccordée à un réseau électrique a été mise en service en mai 1982 dans le centre d'essais de TISO. L'installation équipée de modules en silicone monocristallin dispose d'une puissance nominale de 10 kW_p. Les mesures précises des divers composants photovoltaïques et, tout particulièrement, le contrôle des modules fournissent des informations importantes sur les points faibles du système de l'installation photovoltaïque. Une deuxième installation, qui utilise des modules en silicone amorphe, est entrée en service en mai 1988. Le cycle de désintégration et de régénération dans la puissance des modules a-Si a été observé régulièrement pendant dix ans. Au début, l'installation était composée de trois types de modules pour une puissance maximale de 4 kW_p. De nos jours, seul un type de module d'une puissance nominale de 2,9 kW_p – ce qui correspond à une puissance réelle de 2 kW – est raccordé au réseau.

Der VSE auf dem Internet:
http://www.strom.ch
VSE UCS