

Lose ziehen

Qualitätssicherung: Es ist nicht möglich, alle Module eines Solarparks vor der Installation zu testen. Bei der Vereinbarung von Stichprobenumfang und Akzeptanzniveau mit Modulherstellern hilft eine Norm.

Foto: Solarpraxis AG/Tom Baerwald



In drei Bauabschnitten ist in Senftenberg ein Solarpark mit 168 Megawatt Gesamtleistung installiert worden.

Wenn sich jedes Modul einer Lieferung testen ließe, gäbe es viele Probleme weniger. Doch das ist viel zu teuer – und bei Prüfungen, die die Module zerstören, sowieso unmöglich. Daher stellt sich die Frage, wie viele Module müssen getestet werden und wie muss das Ergebnis ausfallen, damit der Betreiber einer Anlage zufrieden sein kann. Gerade bei Vertragsverhandlungen zwischen Käufer und Modulhersteller ist das oft ein Streitpunkt. Bei der Diskussion bezüglich der angebrachten Stichprobengröße hilft ein Blick auf andere Industrien, die schon länger statistische Lösungen für das Problem nutzen.

Bisher wird die herstellerunabhängige Qualitätsüberprüfung im Photovoltaikmarkt sehr unterschiedlich gehandhabt. Standardisierungen gibt es nicht. Bei neuen Großprojekten (über 20 Megawatt) sind meistens finanzierende Banken involviert, die sehr großen Wert auf die Investitionssicherheit und daher auf die Qualität der Anlage legen. Sie verlangen typischerweise sehr umfangreiche Modultests mit hohen Stichprobengrößen und können die dafür entstehenden Kosten dem Kreditnehmer aufbürden, der diese wiederum an den EPC (Generalunternehmer) weitergibt. Aufgrund seiner Position ist der Kreditnehmer nicht in der Lage, sich der Forderung der Bank zu entziehen.

Bei neuen Standardprojekten, das sind nach unserer Definition solche mit Leistungen zwischen einem und 20 Megawatt, stehen die finanzierenden Banken meistens im Hintergrund und das Interesse an Modultests besteht auf Seiten des Investors. In diesen Standardprojekten wird eine genaue Abwägung zwischen der Anlagenqualität und den Kosten vorgenommen. In vielen Fällen plant der Investor, den Solarpark in den nächsten Jahren weiterzuverkaufen, so dass das Risiko von Modul-

Das Wichtigste in Kürze

Stichprobentests erlauben, rationale Entscheidungen über die Annahme einer Modullieferung zu treffen.

Die Norm ISO 2859 hilft, sinnvolle Stichprobenmengen für Kontrolluntersuchungen zu bestimmen.

Das Akzeptanzniveau AQL gibt an, wie viele Module einer Lieferung versagen dürfen, damit eine Lieferung akzeptiert wird.

Das Prüflevel gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die richtige Entscheidung auf Basis der Stichprobenmessung getroffen wird.

Modulqualität

schwächen in seinen Augen gering ist. Daher wird hier oftmals nur das Minimum der benötigten Tests mit minimaler Stichprobengröße in Auftrag gegeben. Das Risiko wird sozusagen „verrechnet“.

Bei neuen Kleinanlagen (unter einem Megawatt) werden zum größten Teil keine Modulqualitätstests durchgeführt, da sie sich für das einzelne Projekt aus Sicht der investierenden und finanzierenden Seite nicht rechnen. Durch die Häufung von Modulschäden steigt aber auch in diesem Segment die Unsicherheit bezüglich der angebotenen Modulqualität. Die Verantwortung, diese Qualität nachzuweisen und die Kunden zu beruhigen, liegt daher in der Hand der Projektentwickler. Projektentwickler, die insgesamt um die 20 Megawatt jährlich installieren, können und sollten ebenso kosteneffizient wie bei Großprojekten die Qualität ihrer verwendeten Komponenten überprüfen. Leider ist dies zurzeit nur selten der Fall.

Außer bei Neuanlagen stellt sich aber auch bei Bestandsanlagen die Frage, ob Module getestet werden sollten, insbesondere bei Übernahmen. Wenn noch keine Modulauffälligkeiten vorhanden sind, aber die Qualität auch noch nie geprüft wurde, ist das Interesse an der Überprüfung der Modulqualität bisher auch bei Übernahmen gering. Auch im Falle von ersten leichten Auffälligkeiten wird ein Modultest zum Teil zwar angeordnet, am Ende aber doch eine Regulierung über den Kaufpreis gefunden.

Interesse an genormten Stichprobengrößen besteht insofern bisher nur, wenn Modulschäden auftreten oder der Verdacht erheblicher Modulschwäche besteht. Sowohl Hersteller als auch Kläger verlangen dann eine eindeutig definierte Stichprobenwahl. Hierfür werden oftmals Stichprobengrößen und Pass-Fail-Kriterien aus Erfahrungswerten gewählt und mit beiden Parteien diskutiert und vereinbart. Noch wird erst in wenigen Fällen auf nicht PV-spezifische Industrienormen zurückgegriffen. Das wird aber immer häufiger verlangt. Darum ist es erforderlich, eine standardisierte Vorgehensweise im Photovoltaikmarkt zu definieren. Diese ermöglicht auch eine Stan-

dardisierung in der Bewertung der Anlagenqualität von Neuanlagen und Bestandsparks.

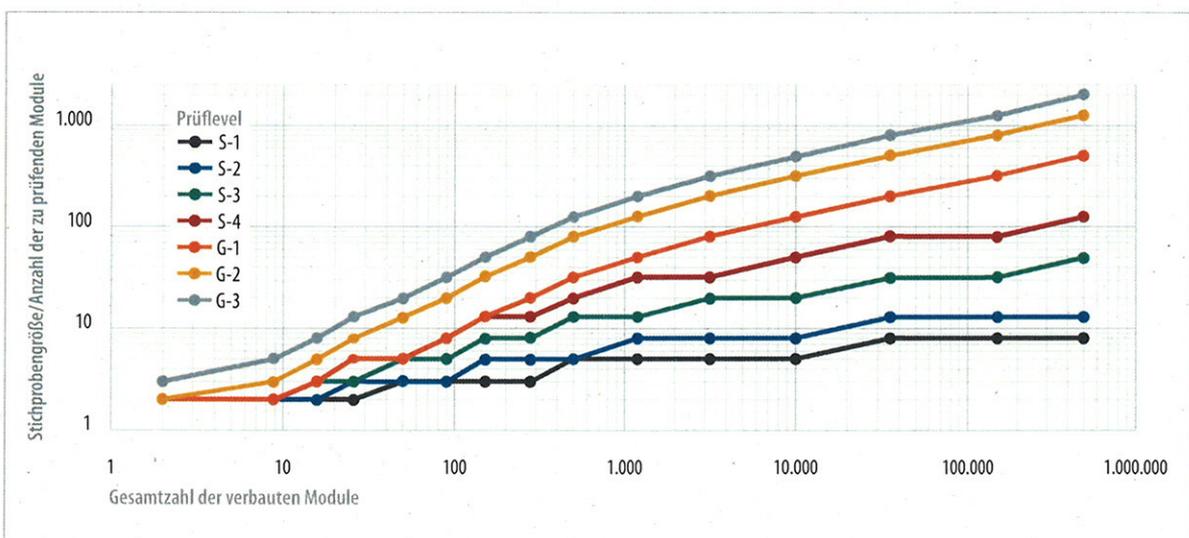
Theorie für die Praxis

Was sind die wichtigsten Punkte für eine sinnvolle Stichprobenermittlung sowie Annahmekriterien und Akzeptanzkriterien von Stichproben? In der Photovoltaik geht es nicht mehr um ein paar Photovoltaikmodule. Heutzutage werden Zehntausende bis Millionen von Modulen in einer einzigen Anlage verbaut. Bei dieser Menge kann man von einer statistischen Verteilung von allen Modulparametern ausgehen. Das gilt für die Leistung, für die Ergebnisse der Elektrolumineszenz, für optische Mängel, sicherheitsrelevante Parameter gemessen mit dem Feuchte-Isolations-Test und Prozessqualitätsthemen, die zum Beispiel beim EVA-Vernetzungsgradtest auffallen.

Hier lohnt sich jetzt der Blick in andere Industriebereiche. Als normative Grundlagen zur Ermittlung von Stichprobenumfängen stehen die internationale Norm IEC 60410 aus dem Jahre 1983 und die ISO 2859 aus dem Jahre 2008 zur Verfügung. Beide geben einen Einblick in das statistische Prüfen von Qualitätsmerkmalen. Die ISO 2859 spiegelt den aktuell gültigen Standard für die Stichprobenprüfung wider und dient als Grundlage für die folgende Diskussion. Sie hilft, die Kriterien festzulegen, unter welchen Bedingungen die Messung an einer Stichprobe positiv gewertet werden kann.

Folgende Begriffe spielen in der Norm eine Schlüsselrolle:

- AQL – Acceptable Quality Level: Es beschreibt die Menge der erlaubten Fehler in einer Stichprobe in Prozent. Je kleiner der AQL, desto wahrscheinlicher wird eine schlechte Lieferung zurückgewiesen.
- Losgröße: Sie ist die zu bewertende Menge und gilt als Grundlage für die Auswahl der Stichprobe. Bei den Beispielen aus der Solarbranche ist es die Anzahl der in der Anlage verbauten Module.
- Prüflevel: Es bezeichnet das gewünschte Vertrauen in die Aussage der Tests. Es sind die Prüflevel S1 bis S4 und G1 bis



Vergleich der Anzahl der Prüfmuster in Abhängigkeit der verbauten Photovoltaikmodule (nach ISO 2859-1).



800-Kilowatt-Dachanlage in Sachsen-Anhalt.

G3 definiert, wobei die Zahl der zu prüfenden Produkte von S1 bis G3 stetig steigt.

- Stichprobenumfang: Er beschreibt die Größe der zu entnehmenden einmaligen Stichprobe und wird durch das Prüflevel definiert. Bei den Beispielen aus der Solarbranche ist es die Anzahl der Module, die Tests unterzogen werden.
- Einfacher Prüfplan (single sampling plan): Ein Los wird mit einem Satz von Prüfungen überprüft. Es gibt keine Wiederholung der Prüfungen, wenn das Akzeptanzniveau nicht erfüllt wird. Die Charge wird vollständig zurückgewiesen.
- Zweifacher Prüfplan (double sampling plan): Erweiterung des einfachen Prüfplans, der Nachprüfungen bei Nichterfüllen der Kriterien des ersten Prüfungsdurchlaufs vorsieht. Dies wird in der Photovoltaik häufig angewendet.
- Verteilung: Normalverteilung der Messung.

Akzeptanzniveau AQL

Das Akzeptanzniveau oder Akzeptanzlevel, auf Englisch Acceptable Quality Level (AQL), beschreibt, wie viele Module aus einer Stichprobe bestehen müssen, damit eine Stichprobe angenommen wird. Dazu müssen vorher Kriterien vereinbart werden, welche die Module erfüllen sollen. Umgekehrt formuliert: Das AQL definiert, wie viele fehlerhafte Module (oder andere Produkte) in Prozent in einem Photovoltaikpark verbaut sein dürfen, basierend auf einer repräsentativen Stichprobe. Für die Photovoltaik sinnvolle AQLs liegen zwischen 0,1 (sehr sicher, zum Beispiel bei sicherheitsrelevanten Tests) und 1,0 (zum Beispiel für rein optische Kriterien).

Auswahl der Prüfmustergröße

Die Auswahl der Prüfmuster sollte im Idealfall rein zufällig passieren. Basierend auf den heutigen Stückzahlen von produzierten Photovoltaikmodulen kann ein statistischer Ansatz sehr gut verwendet werden.

Die Grafik zeigt die Abhängigkeit der zu prüfenden Muster als Funktion der gesamten Produkte, in unserem Fall der Photovoltaikmodule an. Die Bezeichnungen S1 bis S4 und G1 bis G3 sind Prüflevel und bestimmen die Stichprobengröße. Diese steigt, je höher das Prüflevel und damit das geforderte Vertrauen in die Prüfung ist. Je mehr Module man testet, desto vertrauenswürdiger ist das Ergebnis. Eine gute Wahl des Prüflevels hilft, nicht unnötig viele Module zu testen. Das spart Zeit und Kosten im Vergleich zum Ansatz „viel hilft viel“.

Die Auswahl des Prüflevels ist abhängig von verschiedenen Einflussparametern und dem Wissen über das Produkt. Liegt kein oder nur unzureichendes Wissen über das Produkt vor, empfiehlt die Norm als Startpunkt ein G2-Level. Aufgrund des Wissens über die Photovoltaikmodule und deren Schwachstellen kann von diesem „Default“-Wert abgewichen werden. Dies wird im Folgenden und dann am Beispiel vertieft, und es finden sich vertraute Prüfmusterzahlen wieder.

Jede Qualitätskontrolle muss die Balance zwischen Aufwand, Kosten, Nutzen und Zeit finden. Diese Herausforderung wird zusätzlich erschwert, da es neben zerstörungsfreien Prüfungen wie Leistungsmessungen, Isolationstests und Elektrolumineszenz auch zerstörende Prüfungen wie beschleunigte Alterungstest gibt. Beide Arten von Prüfungen sind notwendig, um über die Zuverlässigkeit der Photovoltaikkomponenten eine Aussage treffen zu können.

Die zerstörungsfreien Prüfungen werden für eine schnelle, erste Überprüfung der Photovoltaikmodule angewendet. Neben der Zeit, die eingespart wird, können die Module in der Installation auch wieder verbaut werden, was zusätzliche Kosten für die Tests etwas reduziert. Daraus ergibt sich, dass für die schnelle Überprüfung der Qualität zerstörungsfreie Methoden verwendet werden, und dies mit einem möglichst scharfen Akzeptanzniveau. Dies führt typischerweise zu den Prüfleveln G1 oder G2 mit AQLs von 0,1. Ein AQL von 0,1 bedeutet, dass

Modulqualität

nur 0,1 Prozent der Module bei diesen Tests durchfallen dürfen. Das ist fast eine Null-Fehler-Toleranz.

Für zerstörende Prüfungen eignen sich aufgrund des Aufwandes und der Kosten reduzierte Prüfmusterzahlen und somit die Speziallevel S2 bis S4. Aufgrund der extrem geringen Prüfmusterzahl und damit der geringeren statistischen Aussagekraft der Level S1 und S2 sollte auf diese nur im Ausnahmefall zurückgegriffen werden. Die Annahme der Stichprobe erfolgt meistens wieder mit einem AQL von 0,1.

Generell kann es zu Abweichungen bei der Auswahl der Stichprobe kommen, wenn das zwischen den beteiligten Parteien abgesprochen ist. Hier kommen vor allem logistische Gründe zum Tragen. Künstliche Einflussfaktoren wie zum Beispiel spezielle Verpackungen für die Prüfmuster sollten vermieden werden. Dementsprechend sollte die Stichprobe auf die Standardverpackungseinheiten ausgelegt werden. Somit kann die Verpackung und die Qualität der Verpackung mit begutachtet werden.

In jedem Fall müssen die wichtigsten Einflussgrößen (Materialien und Prozesse) in der Produktion durch die Stichprobe abgeprüft werden. Dazu gehören bei Solarmodulen die Leistungsklassen und Typen der Photovoltaikmodule, Produktionsmonate, Produktionsstätten beziehungsweise -linien, verwendete Materialien und Verpackungsgrößen. Wenn in einem Projekt mehrere Typen oder Leistungsklassen verbaut werden, muss die Stichprobenentnahme entsprechend der Variationen, basierend auf ihren Anteilen, erfolgen. Der Zeitpunkt der Stichprobenentnahme kann unterschiedlich und abhängig vom Pro-

jekt sein. Zum einen besteht die Möglichkeit, die Probenentnahme direkt nach der Produktion und eine Untersuchung der Module vor Ort, zum Beispiel in China vor der Verschiffung nach Übersee, durchzuführen. Alternativ können Stichproben bei der Anlieferung gezogen werden. Welches der beiden Verfahren angewendet wird, hängt von der Zeitleiste des Projekts, aber auch der Beschaffungsstrategie für die Photovoltaikkomponenten ab.

Beispiel

Zur Veranschaulichung der doch sehr komplexen Vorgehensweise wenden wir die Norm am Beispiel einer 20-MWp-Anlage mit 82.000 polykristallinen 240-W-Modulen an. Für diese Module soll die Leistungs- und Produktqualität bei Lieferung bewertet werden. Die Losgröße ist damit 82.000.

Hierfür führen wir folgende Modultests durch:

1. STC-Leistungstest zur Verifizierung der vom Hersteller gelieferten Flashlisten und des Labels (EN 50380, UL 4730)
2. Schwachlichttest bei 200 W/m² zur Überprüfung des Modulleistungsverhaltens unter Schwachlicht
3. Leistungsverhalten der Photovoltaikmodule in Anlehnung an IEC 61853-1 bei verschiedenen Intensitäten und Temperaturen. Das ist relevant für die Simulation der Anlage und für die Verifizierung der Herstellerdatenblattangaben. Da diese Messungen sehr aufwendig sind, bietet sich dafür das reduzierte Stichprobenlevel S2 an.
4. Elektrolumineszenztest (EL) zur Überprüfung der Zellenqualität.

Test	Inspektionslevel	Sample Code	Stichprobengröße (Anzahl Module)	Qualitätslevel (AQL)	Erlaubte Anzahl von Fehlern (MoA/Mo)	Pass/Fail Kriterien
visuelle Kontrolle	G-1	L	200	1,0	5	Als Startpunkt eignen sich die Kriterien nach IEC 61215/61646/61730. Spezielle vom Kunden nicht tolerierte Fehler können definiert und eine erlaubte Anzahl vereinbart werden.
STC-Leistungstest	G-1	L	200	0,1	0	Messungen außerhalb der angegebenen Leistungstoleranzen vom Hersteller.
Elektrolumineszenztest (EL)	G-1	L	200	0,1	0	Keine Major Cracks; Flächenverlust über 8 %, multiple Cracks, beschädigter Finger oder wenn die Zelle nur an einer Stelle verbunden ist. Siehe Artikel Seite 118.
Schwachlichttest bei 200 W/m ²	S-4	J	80	0,1	0	P _{max} min. 94 % der gemessenen Leistung bezogen auf 1000 W/m ² .
Schwachlichttest mit verschiedenen Intensitäten und Temperaturen	S-2	E	13	0,1	0	Die Ergebnisse müssen sich mit den Daten der Ertragskalkulation decken. Eine Abweichung von 1 % ist akzeptabel.
Feuchte-Isolations-Test	S-4	J	80	0,1	0	40 MOhm*m ² gemäß IEC 61215.
EVA-Vernetzungsgradtest	S-3	G	32	0,1	0	Min. 75 % und max. 90 % plus/minus Messungenaugigkeit.
PID-Test	S-3	G	32	0,1	0	Al-Folien-Test: 25°C, 1.000 V, 2 Wochen. a) 5 % Leistungsverlust nach 1 Woche bei 1.000 W/m ² und 200 W/m ² . b) 10 % Leistungsverlust nach 2 Wochen bei 1.000 W/m ² und 200 W/m ² .

Übersicht über Tests, Prüfllevel, AQLs und deren Kriterien.

Quelle: ILL/S 2 Ingenieurepartnerschaft GmbH & Zöfel GmbH

5. EVA-Vernetzungsgradtest (modulzerstörend) zur Überprüfung der Modulstabilität.
6. Feuchte-Isolations-Test zur Überprüfung des Isolationswiderstandes des Moduls unter Benässung. Das ist sicherheitsrelevant.
7. PID-Test (modulzerstörend) zur Überprüfung der Modulanfälligkeit für potenzialinduzierte Degradation, die die Leistung der Anlage stark gefährden kann.

Die hier als Startpunkt aufgelisteten Tests können alle innerhalb von ein bis drei Wochen durchgeführt werden und eignen sich für die Überprüfung der generellen Herstellungsqualität der Module. Mit Ausnahme des PID-Tests sind das alles keine Zuverlässigkeitstests. Ist die Haltbarkeit (Durability) der Module nicht oder nur teilweise nachgewiesen, sollten weitere Tests mit beschleunigten Alterungsmethoden angeschlossen werden. Hierfür stehen zum Beispiel Feuchte-Wärme- oder Temperatur-Wechsel-Prüfungen zur Verfügung. Bei der Auswahl der Stichprobengröße und des AQLs kann hier analog zum PID-Test vorgegangen werden.

Je nach Aufwand (Zeit und Kosten) des Tests und unter Berücksichtigung der Aussagekraft werden die Prüflevel und dadurch die Stichprobengrößen gewählt. Wir unterscheiden zwischen Basistests (general inspection level), meist zerstörungsfrei, und Spezialtests (special inspection level), welche meistens zerstörend sind und häufig Prüfzeiten von mehreren Wochen bedeuten. Daher empfiehlt sich das G1-Level für die STC-Leistungsmessung und den EL-Test und ein S3- oder S4-Level für die anderen, zerstörenden oder sehr aufwendigen Tests.

Wie mit der Akzeptanz der Stichprobe umgegangen wird, hängt von dem vereinbarten Prüfplan ab. Wird zum Beispiel ein einfacher Prüfplan vereinbart,

sind die Akzeptanzkriterien sehr hart. Bestehen alle Module die Tests in den erlaubten Kriterien, dann wird das Projekt realisiert. Kommt es hingegen zum Nichtbestehen bei einer Prüfung, werden das Projekt beziehungsweise die Module vollständig abgelehnt. Das ist hart, kann aber als „Erziehungsmaßnahme“ vereinbart werden. Üblicher ist ein so genannter zweifacher Prüfplan. Dieser erlaubt Wiederholungen der Tests, bei denen die Module die vereinbarten Kriterien nicht erfüllt haben. Häufig wird in diesem Fall der Stichprobenumfang für den zweiten Testdurchlauf erhöht. Wer die Kosten in diesem Fall trägt, muss im Vorfeld geklärt werden. Bestehen die Module die Wiederholungsprüfungen, wird die Lieferung akzeptiert. Werden die Tests erneut nicht bestanden, müssen Gegenmaßnahmen getroffen werden. Dies kann im schlimmsten Fall zur vollständigen Zurückweisung der Lieferung führen, zu zusätzlichen oder veränderten Installationsbedingungen, zum Beispiel zu Maßnahmen gegen PID oder einer finanziellen Kompensation der Risiken.

Für die ausgewählten Tests sind die Prüflevel und die AQLs in der Tabelle zusammengefasst. Um das an unserem Beispiel der 20-MW-Anlage etwas besser in Zahlen zu fassen, sind die resultierende Anzahl der Prüfmuster und die erlaubten „Fails“ eingetragen. Die letzte Spalte gibt eine Übersicht über übliche Pass/Fail-Kriterien. Optische Mängel wie zum Beispiel ein verkratzter Rahmen oder leicht verschwommene Zellen sind in einer großen Anlage nicht entscheidend und können daher bis zu einem gewissen Grad akzeptiert werden. In unserem Beispiel wären das fünf Module aus den gewählten 200, die eines der optischen Kriterien reißen dürfen. Leistung und Sicherheit hingegen sind entscheidend für die Rendite der Anlage, und somit sind Fehler nicht oder nur in sehr geringem Maß tolerabel.

Bengt Jaeckel, Nele Erdmann, Fabian Krömke

Die Autoren

Bengt Jaeckel ist Principal Engineer (PDE) bei UL International Germany GmbH, Admiral-Rosendahl-Straße 9, 63263 Neu-Isenburg (Zeppelinheim).

Nele Erdmann ist Ingenieurin bei 8.2 Ingenieurpartnerschaft Obst & Ziehmann, Brandstwierte 4, 20457 Hamburg.

Fabian Krömke ist Ingenieur bei der Solarpraxis AG, Zinnowitzer Straße 1, 10115 Berlin.

<http://www.hiuv.net>



PID-resistance

EVA film

Grade : S-201MR

85%RH 85 °C -1000V

Backsheet

HIUV Electronic Technology Co., Ltd.

**Zhangjiang High-Tech Zone,
Shanghai, China**

Factories

Shanghai, China
Taizhong, Taiwan
Baoding, China

Tel: 0086-21-58964211

Technician

Li Min
liimin@hiuv.net

Marketing

Amy Lee
amylee@hiuv.net