

# Stichprobenbasierte Labormessungen für die Leistungsüberprüfung von PV-Modulen

W. Herrmann<sup>1</sup>, A. Steland<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH, D-51101 Köln  
Tel.: 0221/806-2272, Email: [werner.herrmann@de.tuv.com](mailto:werner.herrmann@de.tuv.com)

<sup>2</sup>RWTH Aachen, Institut für Statistik und Wirtschaftsmathematik  
Wüllnerstr. 3, D-52056 Aachen  
Tel.: 0241/80-94573, Email: [steland@stochastik.rwth-aachen.de](mailto:steland@stochastik.rwth-aachen.de)

## Abstract

Betreiber von PV-Anlagen und Handelshäuser sind oft mit der Fragestellung konfrontiert, wie sie die Leistungsspezifikation einer größeren Anzahl von PV-Modulen überprüfen können. Zunächst können hierzu die Datenblattangaben für Nennleistung und Leistungstoleranz herangezogen werden. Da jedoch bei größeren Lieferumfängen eine Kontrollmessung von allen PV-Modulen nicht möglich ist, werden in der Messpraxis Stichproben ausgewählt, die von einem unabhängigen Prüflabor nachgemessen werden. Eine häufige Fragestellung ist nun, wie groß der Stichprobenumfang gewählt werden muss, um eine belastbare statistische Relevanz zu erzielen. Seitens der europäischen Prüflabors gibt es hierzu sehr unterschiedliche Vorgehensweisen, die weit voneinander abweichen können. Andererseits ist die Fragestellung, ausgehend von den Messergebnissen einer zufälligen Stichprobe auf die Eigenschaften einer größeren Gesamtheit zu schließen, Gegenstand der Angewandten Statistik. So legt z.B. die Norm IEC 60410 Prüfpläne für die sog. Attributprüfung fest, wobei das Produkt als defekt oder intakt eingestuft wird. Je nach Prüfplan ist dann eine gewisse Anzahl defekter Produkte zulässig. Für PV-Module könnte man hier als Entscheidungskriterium die Erfüllung bzw. Nichterfüllung der Leistungsspezifikation ansetzen. Diese einfache Vorgehensweise würde jedoch nicht die  $P_{MAX}$  Verteilungskurve (Fertigungsstreuung) sowie die Einzelabweichungen der gemessenen Stichprobe vom Nennleistungswert berücksichtigen. Mit diesem Hintergrund wurde ein für PV-Module spezielles statistisches Verfahren entwickelt, das auf die Informationslage (Flashdaten) abgestimmte Prüfpläne sowie Akzeptanzregeln für Annahme oder Zurückweisung einer Modulcharge liefert. Hierbei können insbesondere die Flashdaten aus der Modulproduktion genutzt werden, um den erforderlichen Stichprobenumfang zu verringern. Die Entwicklung der statistischen Methoden sowie die Erstellung einer Anwendersoftware wurde durch Solarenergieförderverein Bayern e.V. (Sev) finanziell unterstützt.

## Definition der Entscheidungsregel

Der prozentuale Anteil „nichtkonformer“ Module einer Lieferung, für die die im Datenblatt angegebene Leistungsspezifikation nicht erfüllt ist, wird mit  $p$  bezeichnet.

### a) Hohe Qualität der Lieferung

$p_{\alpha}$ : AQL = Acceptance Quality Level  
Für  $p \leq p_{\alpha}$  Ausschussanteil soll die Lieferung mit einer möglichst hohen Wahrscheinlichkeit  $A(p) > \alpha$  angenommen werden.

### b) Geringe Qualität der Lieferung

$p_{\beta}$ : RQL = Rejectable Quality Level  
Für  $p \geq p_{\beta}$  Ausschussanteil soll die Lieferung mit einer möglichst geringen Wahrscheinlichkeit  $A(p) < \beta$  angenommen werden.

In einer Entscheidungsregel werden die Interessen von Abnehmer und Modulhersteller durch Definition der beiden Grenzwerte (AQL, RQL) sowie der zugehörigen Annahmewahrscheinlichkeiten  $A(p)$  festgelegt. Der funktionale Verlauf einer Operationscharakteristik ist in Abb. 1 dargestellt. Je größer der Ausschussanteil umso geringer die Annahmewahrscheinlichkeit der Lieferung.

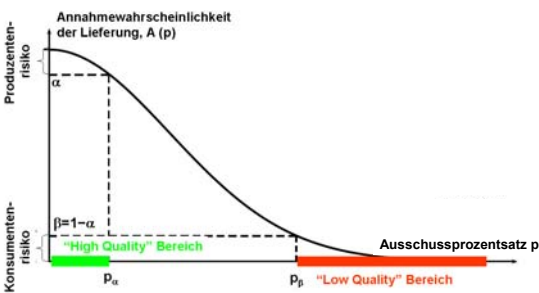


Abb. 1: Prinzipieller Verlauf der sog. Operationscharakteristik für mit Parametern der Entscheidungsregel ( $\alpha$ ,  $p_{\alpha}$ ,  $\beta$ ,  $p_{\beta}$ )

## Häufig verwendete Entscheidungsregel

Hohe Qualität:  $p_{\alpha} = 0,01$   $\alpha = A(p_{\alpha}) = 0,95$   
Geringe Qualität:  $p_{\beta} = 0,05$   $\beta = A(p_{\beta}) = 1 - \alpha = 0,05$

Kontrolle des Risikos von Fehlentscheidungen:

### Abnehmerrisiko

Basierend auf zufälliger Stichprobenauswahl akzeptiert die Entscheidungsregel eine Lieferung mit geringer Qualität

### Produzentenrisiko

Basierend auf zufälliger Stichprobenauswahl weist die Entscheidungsregel eine Lieferung mit hoher Qualität zurück

### Teststatistik

Für die praktische Anwendung wird neben der Entscheidungsregel eine statistische Testfunktion  $T(x)$  definiert, die für die Messergebnisse der Stichprobe einen Rechenwert liefert. Liegt dieser Wert oberhalb eines Grenzwertes  $T_C$ , so wird die Lieferung angenommen, anderenfalls abgelehnt. Abb. 2 veranschaulicht zusammenfassend den Gesamttablauf der statistischen Qualitätskontrolle. Man spricht von einem  $(n, T_C)$  Prüfplan.

## Fallstudien

**Scenario I:** Keine Flashdaten verfügbar  
Keine Informationen zu  $P_{MAX}$  Verteilung

**Scenario II:** Keine Flashdaten verfügbar  
 $P_{MAX}$  normal verteilt

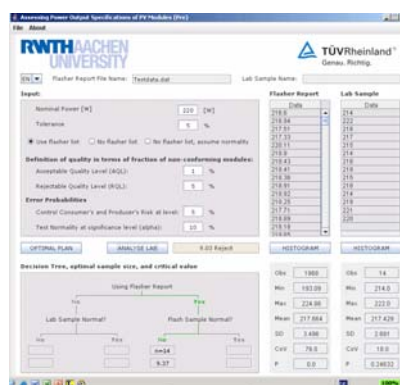
**Scenario III:** Flashdaten verfügbar  
 $P_{MAX}$  empirisch verteilt (Abb. 3)

Für ( $\alpha=0,95$ ,  $p_{\alpha}=0,01$ ,  $\beta=0,05$ ,  $p_{\beta}$ = variabel) zeigt Abb. 3 zeigt die berechneten optimalen Stichprobenumfänge.

## Ergebnisse

- Der Stichprobenumfang  $n$  wird wesentlich von Informationen zur  $P_{MAX}$  Verteilung bestimmt. Er steigt deutlich für Ausschussraten  $p_{\beta} < 5\%$  wenn keine Informationen vorliegen (z.B. bei bereits installierten PV-Systemen).
- Worst case: Szenario I  
 $p_{\beta} < 5\% \Leftrightarrow n > 184$
- Best Case: Szenario III  
 $p_{\beta} < 5\% \Leftrightarrow n > 14$
- Der Umfang der Flashdaten kann den Stichprobenumfang mitbestimmen: Je größer die Datenbasis, umso geringer die Stichprobe.

## Anwendersoftware



## Ablauf $P_{MAX}$ Konformitätsprüfung

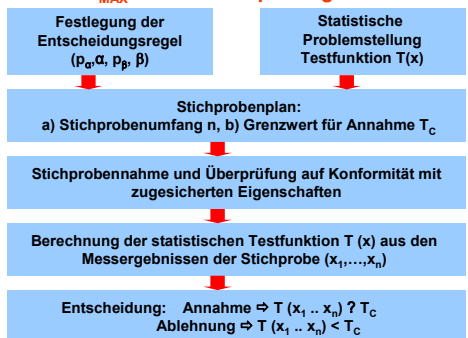


Abb. 2: Ablaufschema statistische Qualitätskontrolle

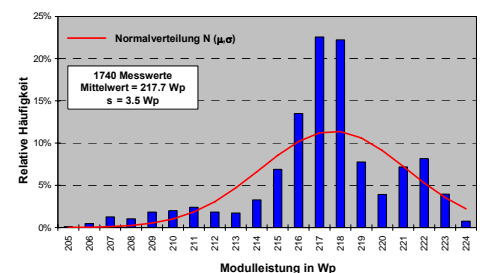


Abb. 3:  $P_{MAX}$  Häufigkeitsverteilung entsprechend Flashliste

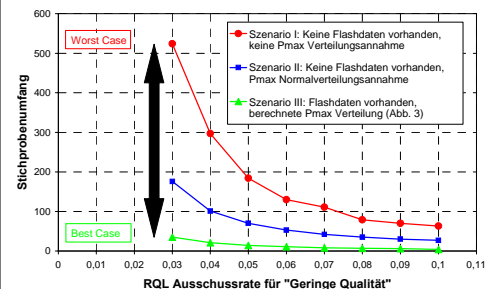


Abb. 4: Ergebnisse Parameterstudie für die verschiedenen Szenarien ( $\alpha=0,95$ ,  $p_{\alpha}=0,01$ ,  $\beta=0,05$ ,  $p_{\beta}$ =variabel)

## Zusammenfassung

- Methoden der statistischen Qualitätskontrolle können für Annahme oder Rückweisung einer PV-Modullieferung größeren Umfangs angewendet werden (Voraussetzung: Gesamtzahl PV-Module  $> 10 \times$  Stichprobenumfang).
- Der erforderliche Stichprobenumfang für Kontrollmessungen wird wesentlich von der Entscheidungsregel bestimmt, die zwischen Produzent und Abnehmer vereinbart wird.
- Der Stichprobenumfang kann deutlich reduziert werden, wenn der Lieferung Flasherdaten beigefügt sind. Er ist am geringsten, wenn  $P_{MAX}$  normal verteilt ist.
- Der optimale Stichprobenumfang muss individuell für die vorliegende  $P_{MAX}$  Verteilung berechnet werden und erfordert den Einsatz spezieller Computersoftware. Diese wurde von der RWTH Aachen entwickelt.