

Qualitätsmerkmale photovoltaischer Module

Dipl. Ing. Willi Vaaßen

TÜV Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH
Am Grauen Stein, DE-51105 Köln
Willi.Vaassen@de.tuv.com
<http://www.eco-tuv.de>

1. Einleitung

Photovoltaik-Module werden zur Stromerzeugung in den unterschiedlichsten Klimaten und in den verschiedensten Systemen eingesetzt. Sie unterliegen dort recht unterschiedlichen Beanspruchungen, die beim Produktdesign Berücksichtigung finden müssen. Dabei sind zunächst die extrem unterschiedlichen klimatischen Belastungen, die durch Unterschiede bei den Umgebungstemperaturen, der UV-Bestrahlung und der relativen Feuchte beschrieben werden können, zu benennen. Mechanische Stabilitätsanforderungen ergeben sich durch Unterschiede bei Transport und Handling, den unterschiedlich anzusetzenden Winddruck und -sogkräften und den ggf. auftretenden Schneelasten. Die konkrete Verwendung, z.B. in einer PV-Fassade, führt ebenso zu besonderen Anforderungen, die das PV-Moduldesign beeinflussen.

Ein qualitativ hochwertiges Photovoltaikmodul zeichnet sich dadurch aus, dass es unter den gegebenen Einsatzbedingungen einen sicheren Betrieb und eine hohe Energieproduktion langfristig bis zum Ende der Lebensdauer gewährleisten kann. Werden PV-Module an Gebäuden installiert, sollten in der Regel gewünschte optische Eigenschaften während der Betriebszeit, die i.d.R. mit 25 Jahren kalkuliert wird, erhalten bleiben.

Zur Beurteilung der Qualität von PV-Modulen kann auf bestehende Prüf-/Test-Standards zurückgegriffen werden, die in regelmäßigen Zyklen überarbeitet werden und möglichst dem jeweils aktuellen Stand der Technik entsprechen. Mit Prüfzeichen oder ähnlichen Kennzeichnungen wird den Endverbrauchern vorhandene Qualität oder die Erfüllung sonstiger Eigenschaften signalisiert.

2. Grundlegende Normen, Prüfstandards für PV- Module

Wie bereits ausgeführt stehen bei PV- Modulen neben einer hohen Effizienz, die lange Haltbarkeit und Sicherheit im Vordergrund. Stellvertretend für alle existierenden Normen für PV-Module werden beispielhaft die wichtigsten Standards benannt, die u.a. Prüfsequenzen zu den Fragen der generellen Eignung beinhalten:

- € IEC 61215: Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules- Design qualification and type approval, IEC 61646 Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules -Design qualification and type approval
- € IEC 61730: Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction, - Part 2: Requirements for testing
- € Durch die EN/ IEC 61730 abgelöst: Schutzklasse-II-Prüfung (Elektrische Sicherheit) z.B. nach der Prüfspezifikation des TÜV Rheinland
- € EN 50380: Datasheet and nameplate information for photovoltaic-modules

Die IEC 61215 bzw. IEC 61646 umfasst die Betrachtung aller Einflussgrößen, die für die mechanischen und klimatologischen Belastungen und die Alterung von PV-Modulen verantwortlich sind. Material-/ Designvorgaben zur Einhaltung von Sicherheitsanforderungen sind im Teil 1 der IEC 61730 festgelegt, im Teil 2 werden Prüfsequenzen zum Nachweis von Sicherheitsanforderungen gegeben. Dabei werden die Prüflinge, an denen Sicherheitsprüfungen vorgenommen werden, nach den Vorgaben der IEC 61215 bzw. 61646 vorkonditioniert bzw. vorgealtert.

3. Produktbezogene Kennzeichnungen, Prüfzeichen

Für einen Laien ist es ausgesprochen schwierig, die Qualität eines Produktes zu beurteilen. Die unterschiedlichsten Prüfzeichen und Kennzeichnungen sollen ihm helfen, eine gewisse Sicherheit in der Beurteilung zu finden.

3.1. CE-Kennzeichnung

Das CE-Zeichen ist kein Qualitätszeichen! Der Hersteller bzw. derjenige, der ein Produkt erstmals innerhalb der europäischen Union in Verkehr bringt, erklärt mit dem CE-Zeichen lediglich die Konformität seines Produktes zu den relevanten Richtlinien der EU.



Im Einzelfall ist für jedes Produkt zu klären, welche Richtlinien jeweils Das CE-Zeichen wird vom Hersteller oder eines in der Gemeinschaft ansässigen Bevollmächtigten auf dem Produkt, der Verpackung oder der Beschreibung angebracht. Die im Rahmen eines Konformitätsverfahrens erarbeitete Konformitätserklärung wird vom Hersteller oder Inverkehrbringer des Produktes mit den notwendigen Unterlagen 10 Jahre lang nach Herstellung des letzten Produktes zur Einsichtnahme durch nationale Behörden bereitgehalten.

Als in Frage kommende Richtlinie für PV-Module ist zunächst die Niederspannungsrichtlinie zu nennen. Diese Richtlinie sieht für elektrische Betriebsmittel, die in Anlagen mit einer Nennspannung zwischen 50 und 1000 V_{AC} und zwischen 75 und 1500 V_{DC} eingesetzt werden, die CE-Kennzeichnungspflicht vor. Oberhalb einer Systemspannung (Gesamtgenerator) von 75 V_{DC} ist für die PV-Module somit die Niederspannungsrichtlinie relevant. Sobald die IEC 61730 als EN 61730 veröffentlicht wird, ist zu erwarten, dass sie als harmonisierte Norm unterhalb der Niederspannungsrichtlinie installiert wird und somit für das Inverkehrbringen und die CE-Kennzeichnung von PV-Modulen in Europa unumgänglich wird.

Eine CE-Kennzeichnung der Solarmodule im Sinne der Bauproduktenrichtlinie ist zurzeit nicht möglich, da hierzu keine harmonisierten Normen existieren. Nach Aussagen des Deutschen Instituts für Bautechnik sind die Solarmodule zurzeit den „sonstigen Bauprodukten“, zuzuordnen. Daraus ergeben sich für diese keine besonderen Prüfungen. Als relevante Normen werden die bereits o.g. IEC 61215 bzw. IEC 61646 genannt.

3.2. TÜV.dot.com

Die TÜV Rheinland Group vergibt das Zeichen „TÜVdotCOM“, das neben der Sicherheit auch die Qualität oder die Einhaltung zugesicherter Eigenschaften eines Erzeugnisses dokumentiert.

Z.B. weist ein „TÜVdotCOM“-Zeichen an einem PV-Modul aus, dass u.a. die Erfüllung der IEC 61215 überprüft wurde.



Die Prüfkriterien, die Zertifikate und Produktinformationen können über die Internetplattform www.tuv.com und der angegebenen Identnummer eingesehen werden. Wesentliche Voraussetzung zur Erlangung des Prüfzeichens sind neben den Labortests die wiederkehrenden Untersuchungen in der Fertigung. Hier wird festgestellt, ob für das Serienprodukt eine gleichbleibende, mit den Prüflingen vergleichbare Produktqualität gegeben ist. Dazu werden die verwendeten Materialien, die Prozesse und QM-Maßnahmen dokumentiert und überwacht.

4. Leistungswerte und Messgenauigkeit

4.1. Leistungswerte: Herstellerangaben und Messergebnisse

Die tatsächliche Erfüllung der durch die Hersteller angegebenen Nennleistung in W_p stellt ein wesentliches Qualitätsmerkmal photovoltaischer Module dar.

Besonders Investoren von größeren Solarkraftwerken fordern die Prüfung einer repräsentativen Stichprobe der Solarmodule als wichtigen Schritt bei der stufenweise durchzuführenden Qualitätssicherung. Datenbasis für die im Diagramm dargestellten Ergebnisse sind über 100 Modultypen oder Modulchargen, wobei jeder Messpunkt die Messung einzelner oder mehrerer Module (bis zu 10 Stück) beinhaltet. Insgesamt beziehen sich die Ergebnisse auf über 500 Einzelmodule.

Damit die Lage der Messwerte innerhalb oder außerhalb des von den Herstellern angegebenen Toleranzbandes vergleichend dargestellt werden können, wurden die einzelnen Toleranzen auf ein Toleranzband von +/- 100% normiert. Messwerte, die am unteren Ende der Herstellertoleranz liegen, werden mit -100 % dargestellt und Messwerte, die die angegebene Nennleistung bestätigen, liegen auf der 0 %- Linie.

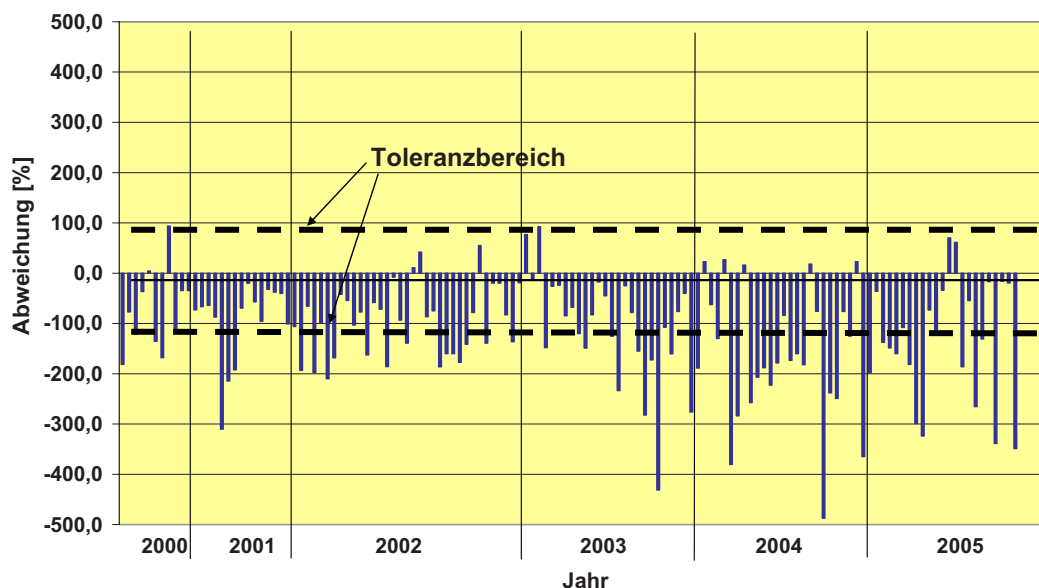


Abb.1: Vergleich Leistungsangaben der Hersteller mit Messwerten (normiert)

Diese Grafik zeigt deutlich, dass nur wenige Messwerte oberhalb der angegebenen Nennleistung liegen. Die meisten gemessenen Leistungsdaten liegen innerhalb des negativen Toleranzbandes, das sogar von etwa 40 % der Module teilweise erheblich unterschritten wird. Es ist sogar erkennbar, dass sich die Ergebnisse in 2004 und 2005 tendenziell verschlechtern.

Nun sind diese Messungen nicht unbedingt ein direktes Abbild der am Markt angebotenen Module, allerdings sind Parallelen zur Marktsituation wahrscheinlich. Die Gründe hierfür sind sehr unterschiedlich.

Sicherlich werden von einigen Herstellern die Leistungsangaben bewusst zu hoch angesetzt, um Vorteile gegenüber den Konkurrenten zu erlangen. Bei den meisten allerdings liegen die Gründe für die Fehleinschätzung der Modulleistung bei den Unsicherheiten hausinterner Messungen oder bei den auf Basis der Zellenangaben kalkulierten Werten.

4.2. Fertigungstoleranz, Messgenauigkeit und Rückführbarkeit

Die Leistungsangaben durch die Hersteller sind zwangsläufig mit einer Unsicherheit belegt und sind daher auch nur in gewissen Toleranzbereichen möglich. Aus der Sicht des Endkunden ist natürlich eine möglichst geringe Toleranzangabe erstrebenswert. Daraus leitet sich zwangsläufig die Forderung an die Hersteller nach der Beschränkung der Toleranzangabe auf ein notwendiges Maß ab. Zur genauen, rückführbaren (und damit vergleichbaren) sowie möglichst transparenten Leistungsbemessung der PV-Module gibt es allerdings noch erhebliche Defizite und Unsicherheiten in der gesamten Szene. Das ist die wesentliche Ursache für die oben dargestellten Unterschiede bei den Messergebnissen im Vergleich zu den Herstellerangaben.

Betrachtet man aber aus welchen Komponenten sich diese Toleranzangabe zusammensetzt bzw. zusammensetzen müsste, so werden die Einflussgrößen und auch die Defizite erkennbar. In der Anfangsbetrachtung setzt sich die Modulleistungstoleranz aus der Fertigungsstreuung, die im Wesentlichen durch die Zellsortierung beeinflusst wird und aus der Gesamtmessunsicherheit zusammen. Diese Messunsicherheit beinhaltet aber nicht nur, wie oft fälschlicherweise angenommen wird, die Messunsicherheit, die sich durch die Messgeräte, Testeinrichtungen und Verfahren des Herstellers zur Leistungsbemessung ergibt, sondern auch die der gesamten Rückführbarkeitskette über die Messinstitute bis hin zum World-PV-Scale oder WRR (World Radiometric Reference).

Auch wenn diese Einzelunsicherheiten nur geometrisch addiert werden, zeigt sich doch, dass bei allen Einzeltoleranzen erhebliche Anstrengungen durchgeführt werden müssen, um eine darstellbare Gesamttoleranz von z.B. +/- 5% oder weniger realisieren zu können. Hierzu gehört zunächst die Qualifizierung der Sonnensimulatoren, die regelmäßige Kalibrierung der dort eingesetzten Messtechnik, die Implementierung normgerechter Kennlinienumrechnungsverfahren auf Standardtestbedingungen und die Festschreibung und strikte Anwendung von Verfahren zur Kalibrierung der Sonnensimulatoren durch Referenzmodule. Ebenso müssen die Messunsicherheiten und Kalibrierketten der Messinstitute transparent gemacht werden.

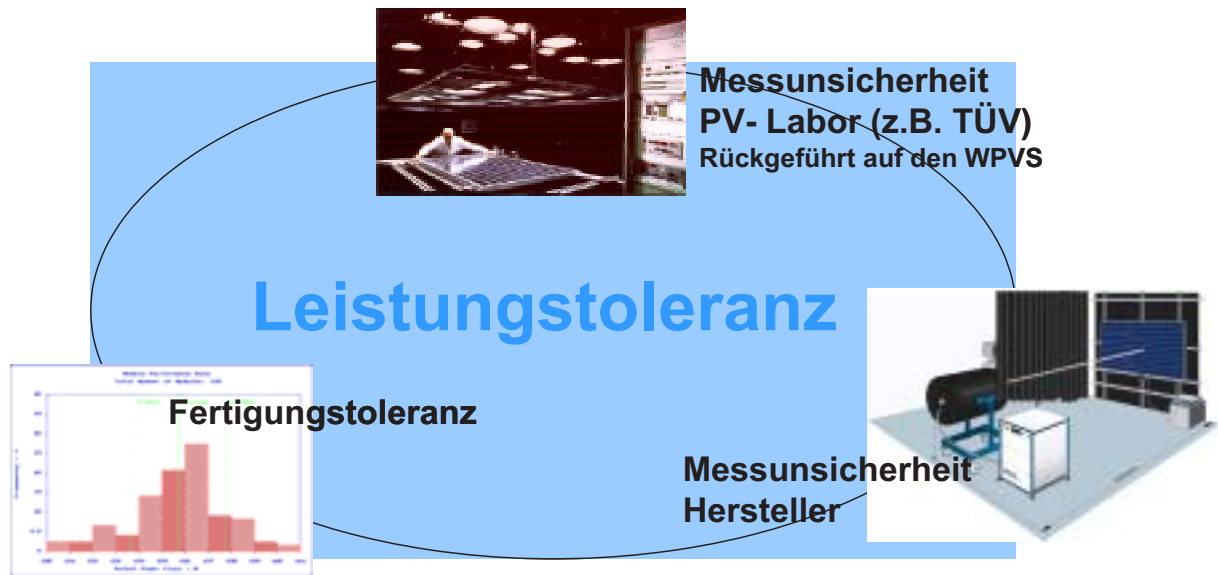


Abb. 2: Bestandteile der Leistungstoleranzangaben

5. Leistungsgarantien

Die angegebene Nennleistung und die Angabe der Leistungstoleranz ist deshalb wichtig, weil normalerweise in den Angeboten bzw. Verträgen zwischen Kunden und dem Lieferanten der Anlage auf diese Leistungen Bezug genommen wird. Ein in der Praxis gängiger Wert ist $\pm 5\%$, zunehmend werden Leistungstoleranzen von $\pm 3\%$ ausgewiesen. Für den Kunden sind auch im Hinblick auf mögliche Streitfälle engere Toleranzen besser. Eigentlich sollte aber der Kunde unabhängig von der angegebenen Leistungstoleranz davon ausgehen können, dass er die ihm zugesagte Solargeneratorleistung auch wirklich erhält, der Mittelwert über sämtliche Module des Solargenerators somit der Nennleistung des entsprechenden Moduls entspricht.

Sofern Herstellerangaben überprüft werden sollen, kann dem Hersteller nur dann eine falsche Angabe nachgewiesen werden, wenn der Messwert kleiner ist als der Nennwert abzgl. der negativen Leistungstoleranz und der Messunsicherheit des Labors.

Beispiel:

Ein PV-Modul hat einen Nennwert von $100 W_p$, der mit einer Fertigungstoleranz von $\pm 5\%$ angegeben wird. Die Messunsicherheit zur Überprüfung der Leistung beträgt $\pm 3\%$ (z.B. Messsystem TÜV RBB) Erst wenn der Messwert kleiner als $92,2 W_p$ ist, liegt eine falsche Angabe des Herstellers vor. Der wahre Wert kann in diesem Fall im Bereich von $95-89,3 W_p$ liegen.

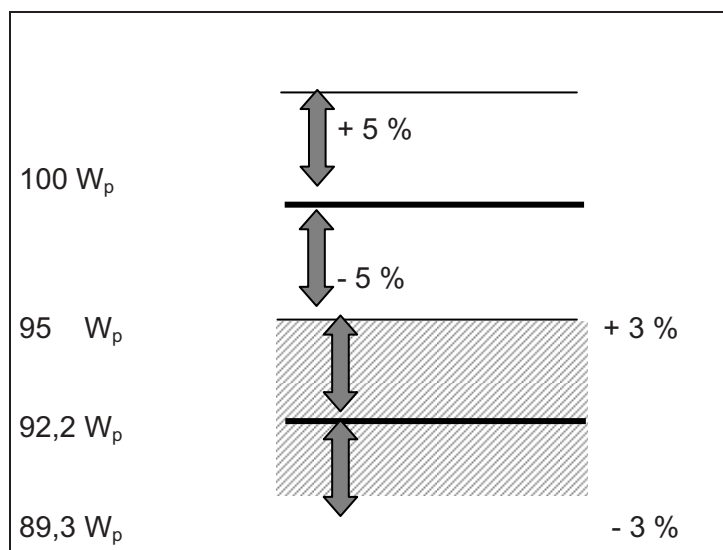


Abb.3: Berücksichtigung der Messunsicherheit

6. Leistungsminderung durch Degradation

Will man präzise Aussagen zu Degradationen von PV-Modulen bekommen, muss man Kennlinienmessungen an einzelnen Modulen durchführen. Aber auch dort ergeben sich Einschränkungen in der Aussagekraft, je nachdem wie diese Messungen durchgeführt wurden und auf welche Ausgangsdaten die jeweiligen Messergebnisse bezogen werden.

Völlig ungeeignet ist zur Darstellung einer Moduldegradation der Bezug auf die Nennleistungsangabe des Herstellers. Dies macht nur Sinn zur Verifizierung einer Langzeitgarantieaussage des Herstellers, sofern sich diese auf die Nennleistung bezieht.

Will man eine Aussage zur konkreten Langzeitdegradation von PV-Modulen machen, sollten die nach Alterung gemessenen Werte immer auf Ausgangsmesswerte bezogen werden.

Berücksichtigt man dies, so stößt man dennoch auch hier an Grenzen der Aussagekraft, wenn man bedenkt, dass Leistungsmessungen, auch von spezialisierten Labors, zurzeit mit absoluten Messunsicherheiten nicht unter ca. +/- 2 % durchgeführt werden können.

Degradationseffekte können nach diesem Verfahren also nur dann zweifelsfrei nachgewiesen werden, wenn sie die absolute Messunsicherheit wesentlich übersteigen, was in der Regel nach wenigen Betriebsjahren nicht gegeben ist. Um die Aussagekraft zu erhöhen kann man Relativmessungen durchführen, indem man Alterungseinflüsse relativ zu ungealterten Modulen untersucht. Dieses Verfahren wird bei der TÜV Rheinland Group angewendet. Hierbei beträgt die Messunsicherheit maximal 1%.

Bei den Degradationseffekten muss man zwischen der Anfangsdegradation, die in den ersten Sonnenstunden oder -tagen auftritt und einer langfristigen Degradation unterscheiden. Belegt durch Messungen an vielen verschiedenen PV-Modulen können die auftretenden Anfangsdegradationen im Bereich bis ca. 2% angesetzt werden. Dabei sind keine Unterschiede zwischen Modulen mit poly- oder mit monokristallinen Zellen erkennbar.

Die Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse eines im Jahr 2001 begonnenen Degradationstestes an 6 unterschiedlichen PV-Modulen. Es ist erkennbar, dass die Anfangsdegradationen im Bereich von + 0,7 % (Messunsicherheit) und – 2,1 % bei den untersuchten Modulen liegen. Die langzeitige Degradation stellt sich bei diesen Modulen im Bereich von ca. 0,1 bis 1 %/Jahr dar. Wie bereits oben erwähnt ist bei den Messungen eine Messunsicherheit von ca. 1 % zu berücksichtigen. Daher werden die Ergebnisse der Untersuchungen immer belastbarer je länger die Untersuchungen andauern.

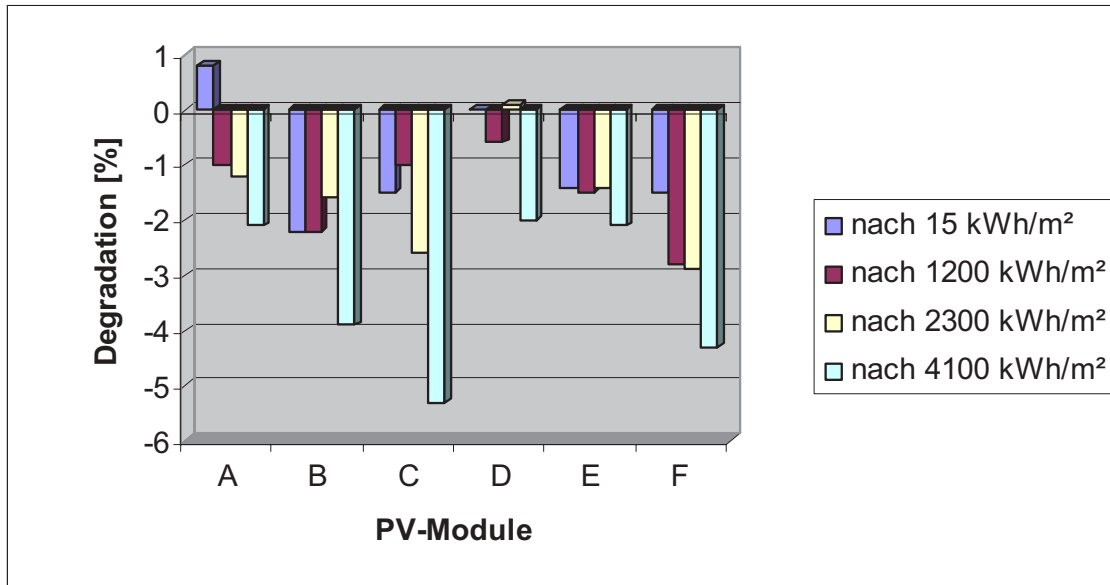


Abb. 4: Degradation von 6 verschiedenen PV-Modulen, die nach Außenexponierung in verschiedenen Abständen gemessen wurden. (4100 kWh/m² entsprechen ca. 4 Jahren)

Aus der Literatur sind zurzeit gesicherte Aussagen zu Leistungsdegradation von PV-Modulen über längere Zeiten und bezogen auf die heutigen eingesetzten Materialien nicht oder nur bedingt abzuleiten. Wie die verschiedensten Veröffentlichungen zu diesem Thema zeigen, treten Anfangsdegradationen relativ durchgängig in den beschriebenen Größenordnungen auf. Aussagen zur langzeitigen Degradation (nach 6-20 Jahren) reichen von „stabil“ bis -1% pro Jahr. Die Mehrzahl der Aussagen liegen unter -0,5%/Jahr.

7. Zusammenfassung

Voraussetzung zur Feststellung von Qualitätsmerkmalen bei PV-Modulen ist zunächst eine vereinheitlichte Datenbasis von Charakterisierungskennzahlen. Die Grundlage dafür ist durch die EN 50380 geschaffen und sollte von den PV-Modul-Herstellern möglichst zügig angewendet werden. Sofern PV-Module durch akkreditierte Labors nach den benannten Normen qualifiziert sind, ist von einer hohen Produktqualität auszugehen. Die Herstellerangaben zu den Modulleistungen sind im Vergleich zu den tatsächlichen Leistungen oft zu ungenau. Hier gibt es bereits Bestrebungen dies zu verbessern.

Zur Degradation von PV-Modulen gibt es unterschiedliche Angaben in der Literatur. Die recherchierbaren Ergebnisse von Untersuchungen verdichten sich auf Werte < 0,5 %/ Jahr. Ein geeigneter Ansatz zur Ertragsprognose scheint 0,3 %/ Jahr zu sein, wobei eine Anfangsdegradation bis 2 % berücksichtigt werden sollte.