

IEA-PVPS Task 13: Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Anlagen

Arbeitsperiode 2013 - 2015

K. Berger
G. Oreski

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

26/2017

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

IEA-PVPS Task 13: Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Anlagen

Karl A. Berger
AIT - Austrian Institute of Technology GmbH
Energy Department

Gernot Oreski
PCCL - Polymer Competence Center Leoben

Wien und Leoben, September 2016

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract.....	7
1. Einleitung	9
2. Hintergrundinformation zum Projektinhalt.....	13
3. Ergebnisse des Projektes.....	14
4. Vernetzung und Ergebnistransfer	21
5. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	23
6. Verzeichnisse.....	24

Kurzfassung

Da der weltweite Einsatz von Photovoltaik weiterhin rasch wächst - von einer Nischenanwendung zur dominierenden erneuerbaren Energiequelle der nahen Zukunft - ist ein anhaltend hohes Interesse an validen Informationen zur Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Photovoltaikmodulen und -systemen vorhanden. Zusätzlich sind für Investoren, Errichter und Betreiber die wesentlichen, der finanziellen Modellierung zugrundeliegenden technischen Annahmen zu Ertrag und Zuverlässigkeit von gesteigertem Interesse.

Möglichst zuverlässige Vorhersagen des Energieertrages in unterschiedlichen Klimazonen, sowie die Verfügbarkeit von PV-Systemen sind entscheidend für Investitionsentscheidungen, und entsprechend auch für weiteres Marktwachstum. In dem Zusammenhang sind heute Daten zur Leistungsfähigkeit, Ertrag und Zuverlässigkeit, eine verlässliche statistische und empirische Datenbasis zur Qualität von PV-Anlagen wichtiger als früher. Allerdings sind solche Informationen kaum verfügbar.

Innerhalb des Photovoltaic Power Systems Programme der Internationalen Energieagentur konzentriert sich die internationale Zusammenarbeit im Task 13 auf die Verbesserung der Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Systemen und ihrer Komponenten durch das sammeln, analysieren und verbreiten von Informationen zur technischen Leistungsfähigkeit und Fehlern, um eine Basis für die technische Evaluierung zu schaffen und praktische Empfehlungen zu geben, wie sich der elektrische und wirtschaftliche Ertrag steigern lässt.

Zielsetzungen

Die wirtschaftlichen Aspekte der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Photovoltaiksystemen zu adressieren und die üblichen Praktiken zu analysieren wie technische Annahmen bei der Ertragsprognose, zur Errichtung, Betrieb und Wartung über die Betriebszeit sich in der finanziellen Modellierung abbilden. Richtlinien zu erarbeiten, wie diese Aspekte und die gegebenen Unsicherheiten möglichst adäquat berücksichtigt werden können.

Für jede Art von Entscheidungsträgern Daten zur Verfügung zu stellen, welche Betriebsdaten unterschiedliche PV-Systeme in unterschiedlichen Einsatz- und Anwendungsgebieten tatsächlich aufweisen. Diese Daten werden einerseits in qualitativer und quantitativer Hinsicht evaluiert, wobei sehr große Datensätze realer Anlagen-Betriebsdaten verwendet und zur Verfügung gestellt werden, andererseits aber auch mittels Fragebögen Leistungseinbußen und Fehlerursachen von PV-Anlagen erhoben werden.

Es werden Aktivitäten durchgeführt, die eine umfassende Charakterisierung von PV-Modulen und Fehlern im Feld zu ermöglichen. Die umfangreiche Zusammenstellung von Fehlern und der Analyse von Felddaten zu PV Moduldefekten wird immer wichtiger, da es Hinweise darauf gibt, dass eine steigende Anzahl von Anlagen Qualitäts- und Sicherheitsmängel aufweist. Die Erkenntnisse dieser Analysen sind den Zielgruppen in Industrie und Wirtschaft, den Akteuren des Finanzsektors und der Öffentlichkeit zu übermitteln. Durch das gegebene, internationale Projektkonsortium beinhaltet die Kooperation auch die Märkte des Asiatisch-Pazifischen Raums, Europa und die USA.

Ergebnisse

Die Arbeit im Task 13 ist in drei thematische Subtasks gegliedert, die den drei obigen Zielsetzungen entsprechen. Ein vierter Subtask - Dissemination, bündelt die Maßnahmen zur Verbreitung der erarbeiteten Informationen. Die detaillierten Reports, die die unterschiedlichen Aspekte von Performance und Zuverlässigkeit behandeln, sind zum freien Download auf der internationalen IEA PVPS Webseite <http://iea-pvps.org/> verfügbar. Da der internationale Task 13 weiterläuft, sind weitere Berichte in Vorbereitung und werden 2017 publiziert. Vorläufige Ergebnisse daraus, aber auch zu den abgeschlossenen Berichten, wurden auf einer Vielzahl von Veranstaltungen präsentiert, siehe dazu das Literaturverzeichnis.

Abstract

As the worldwide application of photovoltaic systems is still growing rapidly - from a niche market in the beginning, to the major renewable energy source of the near future - there is a continued high interest in information on performance and reliability of PV modules and systems. In addition, financial models and their underlying technical assumptions have gained increased interest in the PV industry, with reliability and performance being key parameters used as input in such models.

Most accurate energy yield predictions in different climates as well as information on operational availability of PV systems are vital for investment decisions and, thus, for further market growth. In this context, performance and yield data, reliability statistics and empirical values concerning quality of PV systems are far more relevant today than they used to be in the past. The availability of such information is, however, rather poor.

Within the framework of PVPS, Task 13 engages in focusing the international collaboration in improving the reliability of photovoltaic systems and subsystems by collecting, analyzing and disseminating information on their technical performance and failures, providing a basis for their technical assessment, and developing practical recommendations for improving their electrical and economic output.

Objectives

Address the economic aspects of PV system performance and reliability and to review the current practices for financial modelling of PV investments from the perspectives of technical assumptions used in energy yield calculations, construction (CAPEX) and operation & maintenance (O&M) during the lifetime of the PV system. Provide guidelines on means to account and represent the various uncertainties on these parameters.

Provide available performance data for any kind of decision maker for different PV applications and system locations. This data is evaluated for its applicability and quality in both a quantitative approach, using very large data sets and statistical methods, and a qualitative approach, where evaluations on individual component performances are conducted.

Perform activities on PV module characterization and failure issues in order to gain a comprehensive assessment of PV module conditions in the field. The comprehensive collection and analysis of field data of PV module defects will increasingly become important, as there are indications that a growing number of PV installations world-wide fail to fulfil quality and safety standards.

Disseminate the results of the performance and reliability analyses to target groups in industry and research, financing sector, and the general public. Given the broad, international project consortium, cooperation will include markets such as Asia-Pacific, Europe, and the USA.

Results

The three topical Subtasks reflect the three objectives stated above, the fourth Subtask, dissemination of information, utilize and disseminates the tailored deliverables produced. The comprehensive reports, dealing with the various aspects of performance and reliability of PV-Systems and its components are free available at the IEA PVPS homepage <http://iea-pvps.org/>. As the international task is ongoing, additional reports are in the pipeline for publication in 2017. Preliminary results, and also results of the already finished ones, were presented at various conferences and workshops. See the literature list in this report for reference.

1. Einleitung

Das IEA Photovoltaic Power Systems Programm Implementing Agreement (IA) ist eines der gemeinschaftlichen Forschungs- und Entwicklungsprojekte der Internationalen Energieagentur. Ziel des IEA PVPS Programms ist die Beschleunigung der Entwicklung und Anwendung der Photovoltaik (PV) als maßgebliche und nachhaltige erneuerbare Energiequelle. Die Arbeit ist in sogenannte Tasks unterteilt, siehe <http://iea-pvps.org/index.php?id=4> an denen zur Zeit 29 Mitgliedsstaaten mitarbeiten. Die derzeit aktiven Tasks sind in **Tab. 1** zusammengestellt.

Tab. 1: Im Photovoltaic Power Systems Programme der Internationalen Energieagentur (IEA-PVPS) aktive Tasks (Stand 04-2016).

Task 1	Strategische Photovoltaik-Analyse & Übersicht
Task 8	Sehr große Photovoltaikanlagen in abgelegenen Gebieten
Task 9	Einsatz von Photovoltaik in der Regionalentwicklung
Task 12	Umweltaspekte der Photovoltaik
Task 13	Task 13: Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Photovoltaiksystemen
Task 14	Hohe Dichte von Photovoltaiksystemen in elektrischen Netzwerken
Task 15	Rahmenbedingungen für Förderung und Entwicklung gebäudeintegrierter Photovoltaik

Unterschiedliche österreichische Akteure sind in den Tasks 1 und 12 bis 15 aktiv. Weitere Tasks, z.B. zur Meteorologie der solaren Ressource und Vorhersagen sind in Vorbereitung.

Der **internationale Task 13**, der die Inhalte des abgeschlossenen Tasks 2 weiterführt, startete nach einer zweijährigen Vorbereitungszeit im Mai 2010 mit einer Laufzeit von vier Jahren. Aufgrund des außerordentlichen Erfolges - sehr große positive Resonanz auf die bei Konferenzen, öffentlichen Side-Events der Task Meetings präsentierten Inhalte, und die auf der Webseite <http://iea-pvps.org/> gratis verfügbaren, im Task erarbeiteten Review-Reports - wurde der Task 13 um weitere 3 Jahre verlängert, womit die Laufzeit nun bis Ende September 2017 geht. Zu den schon zu Anfang bearbeiteten Inhalten kamen noch die wirtschaftlichen Aspekte der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Anlagen hinzu. Derzeit arbeiten 41 Partnerinstitutionen aus 19 Ländern im Task 13 mit. Eine weitere Verlängerung ist in Diskussion.

Die Transformation des PV-Marktes vom anfänglichen Nischenmarkt zu einem globalen Markt erfordert verfügbare und belastbare Daten in Hinblick auf die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von PV-Anlagen, Auslegungsrichtlinien, Planungsmethoden und Finanzierung. Ziel der Aktivitäten von IEA Task 13 ‚Performance and Reliability of PV Systems‘ ist die Stärkung der internationalen Zusammenarbeit zur Verbesserung des Betriebs und der Zuverlässigkeit von PV-Anlagen, um in Folge den elektrischen wie wirtschaftlichen Ertrag von Anlagen zu erhöhen. Dazu wurde, eine Plattform zum Austausch von Erfahrungen zur Qualität von PV-Anlagen und ihren Komponenten aufgebaut, die einerseits ein Forum für unabhängige, internationale Analysen und Empfehlungen durch Experten zur Qualität und Performance von PV-Anlagen und –Komponenten dient und gleichermaßen zur Verbreitung des Wissens unter den MarktteilnehmerInnen beiträgt.

Die Arbeit ist in drei inhaltliche Subtasks und einen weiteren zur Dissemination der Ergebnisse gegliedert, [1], [2].

Indem sich die Photovoltaik als eine wertvolle Ressource erneuerbarer Energie erweist, können durch global anhaltend hohe Wachstumsraten deutliche Kostendegressionseffekte erzielt werden. Im Mittel bedeutet eine Verdoppelung des Marktvolumens eine Kostendegression von -20%, das heißt in drei bis vier Jahren werden die Kosten halbiert. In Abb. 1 ist der weltweite Trend der Modulpreise sowie der Preise kompletter österreichischer 5kWp Anlagen dargestellt, die beide etwa demselben Trend einer Preisreduktion von ca. 13%/p.a. folgen.

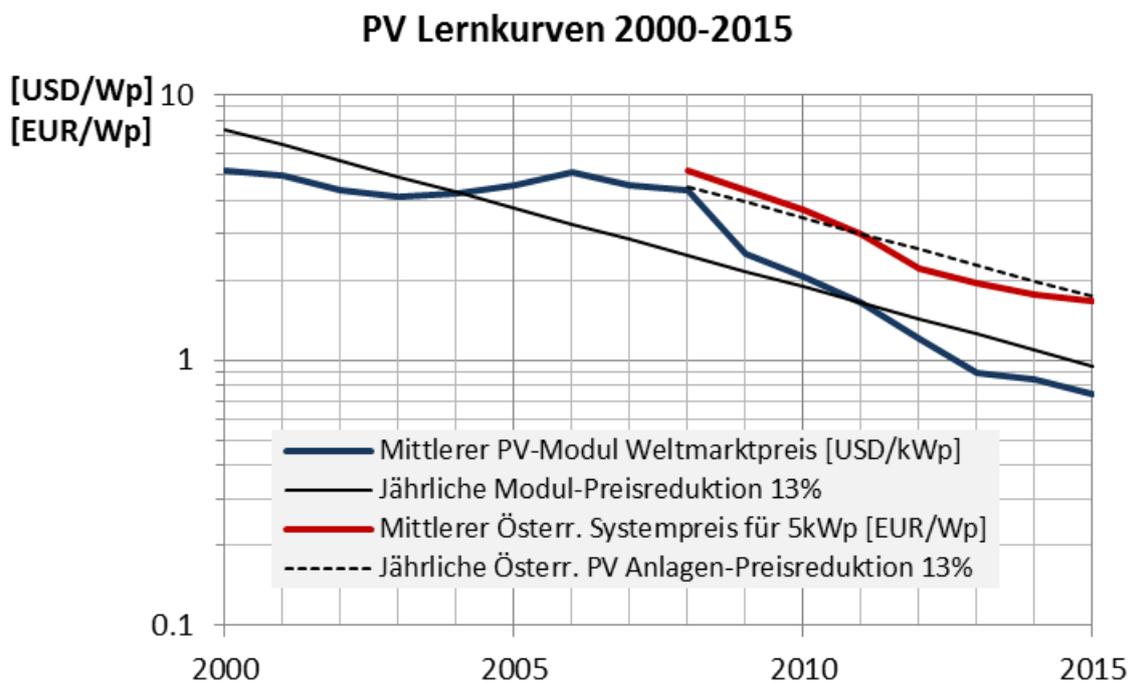


Abb. 1 Mittlere Lernkurven für den Weltmarktpreis von PV-Modulen und österreichischen 5kWp PV Anlagen. Daten für Modul-Weltmarktpreise (2000 bis 2015) aus Tab. 1 in [3], Daten für Österreichische PV-Anlagen (2009-2015) aus [4] Abb. 7.7 und [5] Abb. 7.9.

Diese massiven Kostensenkungen kommen einerseits durch rationellere und effizientere Massenproduktion zustande. Die effizientere Produktion bedeutet auch einen sinkenden Energieeinsatz in der Produktion, womit die energetischen Amortisationsraten von PV-Anlagen ebenfalls drastisch gesunken sind und auch nur mehr wenige Jahre betragen, wenn die Anlagen tatsächlich eine Betriebsdauer von Jahrzehnten erreichen. Natürlich ist die wirtschaftliche und energetische Amortisationszeit umso kürzer wenn die Produktion möglichst ressourcenschonend erfolgt, die Degradationsraten der Anlagen möglichst niedrig und die Lebensdauer möglichst lang ist. Massive Kostensenkungen bedeuten aber auch einen erheblichen Kostendruck auf alle Marktteilnehmer und dass bestehende Produktionsanlagen rasch veraltet sind. In diesem Umfeld ist es notwendig, aber auch schwierig, qualitativ hochwertige Produkte am Markt durchzusetzen - das billigere Produkt ist oft der Feind des besseren.

Daher sind qualitätssichernde Maßnahmen in der gesamten Wertschöpfungskette von den Materialien von PV-Komponenten bis hin zu Planung, Errichtung, Wartung und Betrieb kompletter Anlagen wichtig und gewinnen weiterhin an Bedeutung.

Im Vergleich zu anderen Energietechnologien hängt die Photovoltaik von der zwar praktisch unerschöpflichen, aber fluktuierenden Energiequelle der Solaren Einstrahlung ab und große Teile der PV-Anlagen sind ständig den wechselnden Klima- und Wetterbedingungen ausgesetzt. Es ist daher nicht trivial, Komponenten geeignet auszuwählen und Systeme so zu konfigurieren, dass

- (a) möglichst effizient, ressourcenschonend und langfristig gute Erträge erwirtschaftet werden
- (b) unter wechselnden Betriebsbedingungen festzustellen, ob eine PV-Anlage bestmöglich arbeitet oder ob Fehler vorliegen.

Die Abb. 2 gibt zwei Beispiele von PV-Anlagen, mit sehr unterschiedlichen Dimensionen und Anforderungen. Dennoch ist in beiden Fällen hohe Qualität und Zuverlässigkeit unverzichtbar.



Z.B. gebäudeintegrierte Anlage: Fassadenelemente mit kundenspezifischem Design (Sol4-Gebäude, Mödling, © AIT). Typische Herstellergarantie: 25 Jahre, nach 3 Jahren nur finanzielle Abgeltung von Ertragsausfällen. Erforderliche Lebensdauer von Gebäudeteilen: +40 Jahre. Wenn ein Modul getauscht werden müsste ist es schwierig Module zu beschaffen, die exakt das gleiche Erscheinungsbild haben, da sich die Zelltechnologie weiterentwickelt.



Z.B. Großkraftwerk mit 20 MWp (© AIT); Die Kalkulation des zu erwartenden finanziellen Ertrags basiert auf Annahmen welche Erträge an diesem Standort erwirtschaftet werden können (Ertragsgutachten, Einspeisebedingungen und Vergütung), welcher Alterung die Gesamtanlage unterliegt, welche Betriebs- und Wartungskosten anfallen werden, etc. Im Fehlerfall - etwa wenn 1.25 Promille der Module fehlerhaft wären - gilt es die 100 schlechten aus 80 000 installierten Modulen, die 5 Millionen PV-Zellen einer Fläche von ca. 12 Hektar enthalten zu finden.

Abb. 2: Anwendungen von Photovoltaik und Anforderungen an Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit. Bei gebäudeintegrierter Photovoltaik (linkes Bild) ist es essentiell dass die Anlage ihren prognostizierten Ertrag bringt, um die erwarteten Effekte im Gesamtenergiekonzept des Gebäudes tatsächlich zu realisieren. Die Alterung der PV-Elemente hat auch so zu erfolgen dass das optische Erscheinungsbild nicht beeinträchtigt wird, und auch langfristig Standsicherheit, Brandschutz, etc. gewährleistet sind. Bei Großanlagen muss die Anlage hinreichende Erträge erwirtschaften wofür es im Fehlerfall wesentlich ist, Fehler die sich auf Sicherheit und/oder Ertrag auswirken rasch zu erkennen und zu beheben, finanzielle Verluste im Schadensfall durch geeignete Versicherungen abzufedern (Risk Mitigation).

Der IEA PVPS Task 13 bearbeitet in 4 Subtasks die Fragestellungen und Methoden der Qualitätssicherung bei PV-Systemen, und disseminiert diese Ergebnisse. Dabei werden die Methoden dazu vorgestellt und verfeinert, Best Practice Beispiele gegeben, Instrumente entwickelt, um international vergleichbar Daten zu Leistungsfähigkeit und Ertrag von Photovoltaik-Anlagen zu erheben. Reale, qualitativ hochwertige Daten zum Betrieb von Photovoltaik in unterschiedlichen Betriebs- und Klimabedingungen und die unvermeidlichen Mess- und Modellierungsunsicherheiten sind ebenfalls wichtige Bausteine zum Gesamtverständnis.

Die im Task 13 entwickelten Richtlinien zum Einsatz von bildgebenden Verfahren wie Elektrolumineszenz und Infrarotthermografie, entsprechende Bewertungskriterien und Fehlerkataloge haben auch Eingang in die internationale Normung (IEC TC82 - Photovoltaik, Working Group 2: Module, Working Group 3 - Systeme) gefunden: neue technische Spezifikationen für den Einsatz dieser Verfahren, die gerade in Bearbeitung sind, basieren in wesentlichen Teilen auf in der Task 13 Kooperation erarbeiteten Inhalten und Berichten.

Die Gliederung des Ergebnisberichts liefert Hintergrundinformationen zu den Inhalten des Task 13, stellt die Ergebnisse entsprechend der (Sub-)taskstruktur des Task 13 zusammen, liefert Informationen was in Zukunft noch an Informationen erarbeitet werden soll, aber auch wie dieses Wissen zu den österreichischen Marktteilnehmern disseminiert wird und wie Informationen aus Österreich in die internationale Task-Arbeit einfließen.

2. Hintergrundinformation zum Projektinhalt

Der IEA-PVPS Task 13 zur Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Photovoltaik ist in die Aktivitäten des Photovoltaic Power Systems Programme, eines der Implementing Agreements der Internationalen Energieagentur, eingebettet. Eine Aufstellung der derzeit im PVPS aktiven Tasks ist in Tab. 1 (siehe Seite 9) zusammengestellt. Siehe dazu auch die internationale Webseite des Programmes, <http://iea-pvps.org/index.php?id=4>.

Im PVPS Programm sind 29 Mitglieder aktiv, die Länder Australien, Österreich, Belgien, Kanada, China, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Israel, Italien, Japan, Korea, Malaysien, Mexico, die Niederlande, Norwegen, Portugal, Spanien, Schweden, Schweiz, Thailand, Türkei und die Vereinigten Staaten, sowie die fünf Organisationen EPIA/Solar Power Europe, die Europäische Union, die Internationale Copper Association, SEIA (Solar Electric Power Association) und SEPA (Solar Energy Industries Association).

Im Internationalen Task 13 sind 18 Mitgliedsstaaten aktiv, die Länder Australien, Österreich, Belgien, China, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Israel, Italien, Japan, Malaysien, die Niederlande, Norwegen, Spanien, Schweden, Schweiz, und die Vereinigten Staaten, sowie die EPIA/Solar Power Europe, und die Internationale Copper Association.

Im Österreichischen Teil des Task 13 sind das Austrian Institute of Technology AIT und das Polymer Competence Center Leoben PCCL aktiv, wobei das PCCL vorwiegend mit Materialfragen im Subtask 3 und der Dissemination (Subtask 4) befasst ist, das AIT in allen vier Subtasks beiträgt. Weitere Österreichische Partner aus Forschung und Industrie werden über gemeinsame Forschungsprojekte, die Österreichische Technologieplattform Photovoltaik und andere Aktivitäten eingebunden.

Ziel der Aktivitäten von IEA Task 13 ‚Performance and Reliability of PV Systems‘ ist die Stärkung der internationalen Zusammenarbeit zur Verbesserung des Betriebs und der Zuverlässigkeit von PV-Anlagen, um in Folge den elektrischen wie wirtschaftlichen Ertrag von Anlagen zu erhöhen. Dazu wurde, eine Plattform zum Austausch von Erfahrungen zur Qualität von PV-Anlagen und ihren Komponenten aufgebaut, die einerseits ein Forum für unabhängige, internationale Analysen und Empfehlungen durch Experten zur Qualität und Performance von PV-Anlagen und –Komponenten dient und gleichermaßen zur Verbreitung des Wissens unter den MarktteilnehmerInnen beiträgt.

Die Ergebnisse, die im Berichtszeitraum 01.01. 2013-31.03.2016 umgesetzt werden konnten, sind auch in Kapitel 4 (Dissemination) zusammengestellt.

3. Ergebnisse des Projektes

Die Organisation und Bearbeitung der Inhalte des Task 13 zur Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Photovoltaik wird nach der ersten Projektphase (2010 bis 2015) nun mit etwas veränderter Gliederung der vier Subtasks (2015-2017) fortgesetzt, s. [6]. Die Darstellung der Ergebnisse folgt hier der *neuen* Struktur der inhaltlichen und organisatorischen Gliederung des Task 13, wobei auch die Ergebnisse der ersten Projektphase entsprechend integriert werden.

3.1 Subtask 1: Wirtschaftliche Aspekte des Betriebs von PV Anlagen

Ansätze bei der Planung von PV-Anlagen welche Errichtungs- und Betriebskosten und welche Erträge über die Betriebszeit zu erwarten sind, werden mit Beteiligung des AIT evaluiert, um Richtlinien für die finanzielle Modellierung von PV-Projekten zu erstellen. Dabei fließen auch Ertragsergebnisse laufender PV-Anlagen (Subtask 2) und Felddaten der Modulcharakterisierung und Anlagen-Fehlerstatistik (Subtask 3) ein. Im Subtask 4, der Dissemination werden auch Akteure der Finanzwelt adressiert.

Ob eine Photovoltaikanlage so wie geplant funktioniert, oder nicht setzt einerseits eine Modellierung der zu erwartenden Erträge voraus, andererseits müssen die tatsächlichen erzielten Erträge gemessen und - unter Berücksichtigung der herrschenden Umgebungsbedingungen - mit den Ergebnissen dieser Modellierung verglichen werden. Viele Modellannahmen werden bereits zum Zeitpunkt einer Ertragsprognose die Teil der Standortbewertung ist, vor der Errichtung einer Photovoltaikanlage festgelegt. Welche möglichen Unsicherheiten bzw. Risiken damit verknüpft sind, und wie diese sich in der finanziellen Modellierung von PV-Anlagen abbilden wird meist nicht ausreichend thematisiert. Es wird daher

- eine Übersicht über die üblichen *technischen Annahmen* beim Erstellen finanzieller Modelle von PV-Anlagen gegeben
- diese Ansätze bewertet um daraus *Best Practice Beispiele* abzuleiten.

Diese Ansätze und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen sind bei Großanlagen (Multi Megawatt-Anlagen, Utility Scale PV) ein wesentliches Thema. Da in Österreich eine sehr kleinteilige Struktur mit nur sehr wenigen große Anlagen, aber einer Vielzahl von Anlagen mit nur wenigen kW Leistung existiert, s. Abb. 3, kann hier aus Österreich nur zu einem relativ kleinen Teil beigetragen werden. Zu den Anlagen-Ertragsdaten siehe Subtask 2 in diesem Kapitel.

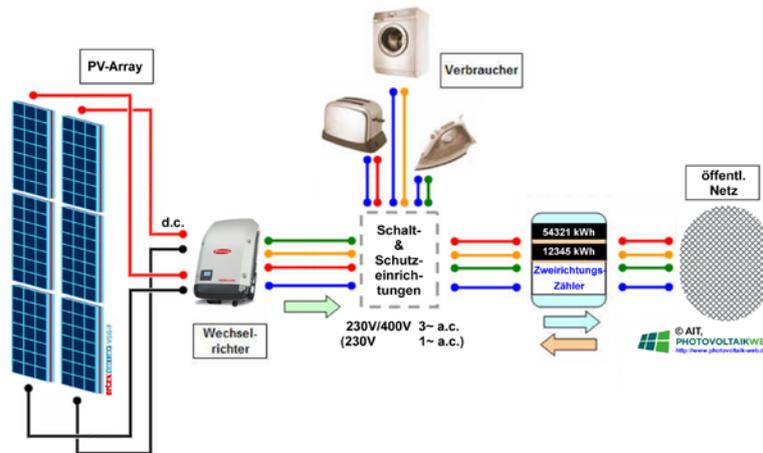


Abb. 3: Beispiel einer typischen PV-Kleinanlage mit Überschusseinspeisung. Ein oder mehrere PV-Stränge sind an einem Wechselrichter angeschlossen, der netzparallel und parallel zu den Verbrauchern im Haus arbeitet. Ein Sensor, der die Einstrahlung in Modulebene erfasst ist üblicherweise nicht ausgeführt, mit hoher Genauigkeit wird nur die bezogen und gelieferte elektrische Arbeit im Bezugszeitraum (z.B. ein Jahr) durch den Zähler erfasst. Aus [7].

AIT Energy hat einige Expertise mit qualitätssichernden Maßnahmen bei der Errichtung und Inbetriebsetzung von PV-Großanlagen, großteils im (süd-)osteuropäischen Raum und bei der Schadensabklärung. Die Ergebnisse fließen in die Analysen ein.

Die Leitung des Subtask 1 liegt bei 3E aus Belgien, einem Betriebsführer von PV-Großanlagen und SiCon, einem Dänischen PV Consultant. Erste Ergebnisse der Kooperation im Subtask 1 wurden inzwischen auf der größten Europäischen PV-Konferenz (EU PVSEC 2016) veröffentlicht, und wurden zur Veröffentlichung im Fachjournal Progress in Photovoltaics eingereicht und sind in der Begutachtungsphase. Siehe auch [1].

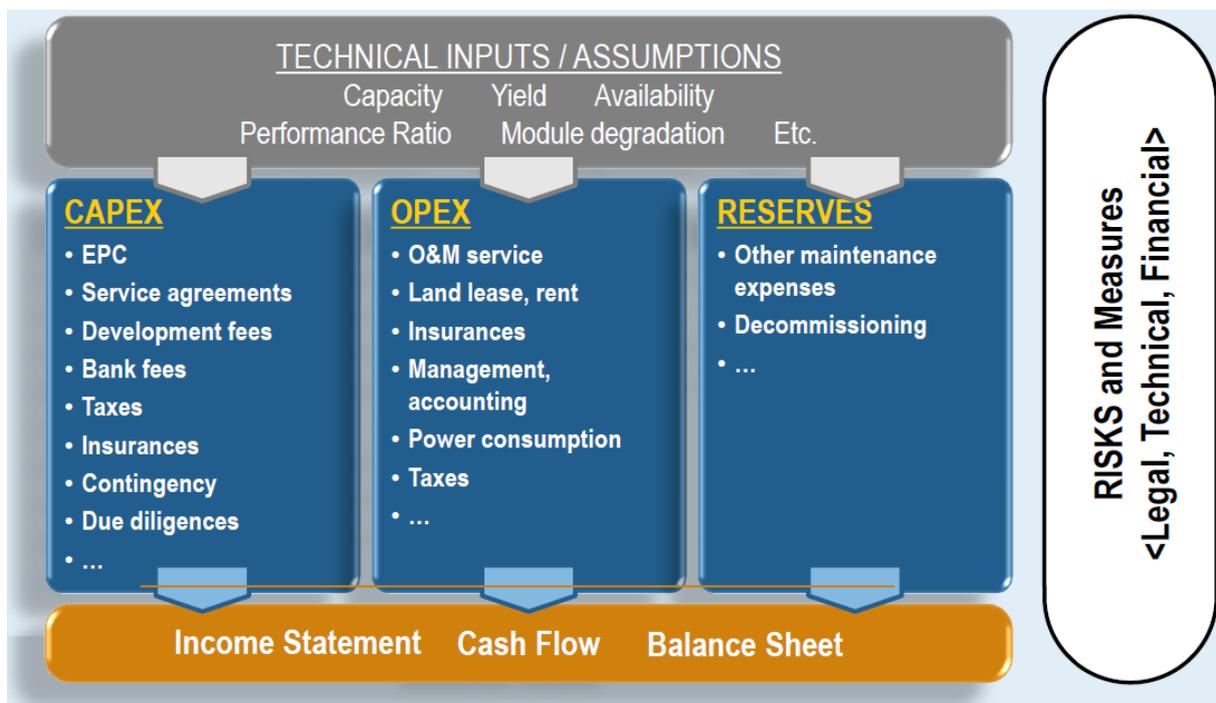


Abb. 4: Schematische Darstellung des Finanzierungsmodells von PV-Kraftwerken. Die technischen Analysen und Annahmen sind maßgebliche Eingangsgrößen für die finanzielle

Modellierung. Jan Vedde (SiCon), [8].

Es ist geplant, auf der PVPS-Homepage den Bericht *“Technical Assumptions in PV Financial Models: Review of Current Practices and Recommendations”* im Frühjahr 2017 - nach Begutachtung im PVPS Konsortium zu veröffentlichen.

3.2 Subtask 2: Anlagenperformance und Analyse

In diesem Subtask werden Hinweise gegeben, wie ein Monitoringsystem gestaltet werden soll, und es wird auf der Basis hochwertiger Monitoringdaten gezeigt welche Erträge und Leistungsfähigkeit PV-Anlagen im weltweiten Kontext haben.

Die Task 13 Performance Datenbank zur Erfassung der monatlich aggregierten statistischen Daten aus Anlagen und zu den Betriebsergebnissen beinhaltet Zeitreihen für mindestens 12 Monate, die unter anderem die Einstrahlung in der Modulebene (Referenzertrag), die einstrahlungsgewichtete Modultemperatur und die Anlagenenerträge auf der Gleich- und Wechselspannungsseite wiedergeben. Ebenso werden Ausfallzeiten der Anlage und des Monitorings in der Datenbank erfasst. Es konnten Anlagendaten mehrerer österreichischer Anlagen für die Datenbank übermittelt werden. Obwohl die Daten zu Monatswerten aggregiert werden, setzt dies eine sehr hohe Datenqualität mit guter zeitlicher Auflösung (1/4 Stundenwerte oder besser) voraus. Die Abb. 5 gibt ein Beispiel für eine Datenauswertung. Hier wurde die resultierende Moduldegradation zu 3.1% pro Jahr, ermittelt, während sie nach internationalen Erfahrungen meist unter 1% pro Jahr liegt, siehe Subtask 2 in diesem Kapitel und [Report IEA-PVPS T13- 01].

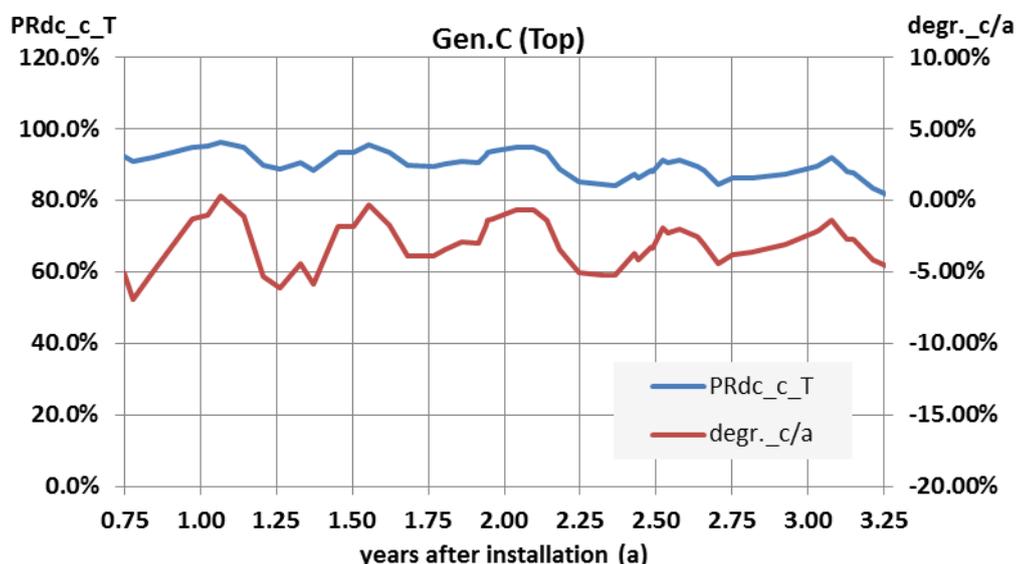


Abb. 5: Beispiel für die Auswertung von Daten einer Österreichischen PV-Anlage mit PV-Modulen basierend auf CIGS-Dünnschichtzellen über eine Betriebsdauer von zweieinhalb Jahren. **Performance Ratio** (temperaturkorrierter, normierter PV-Ertrag im Verhältnis zur Einstrahlung) sinkt im Beobachtungszeitraum von 95 bis 97% auf 80%. Mittlere **Moduldegradation** 3.1% p.a.

Es ist zu sehen, dass neben der fortschreitenden Degradation auch jahreszeitliche Effekte auftreten, siehe dazu auch [Report IEA-PVPS T13- 02] und Arbeiten zu metastabilen Zuständen von Dünnschicht-Photovoltaik, [9].

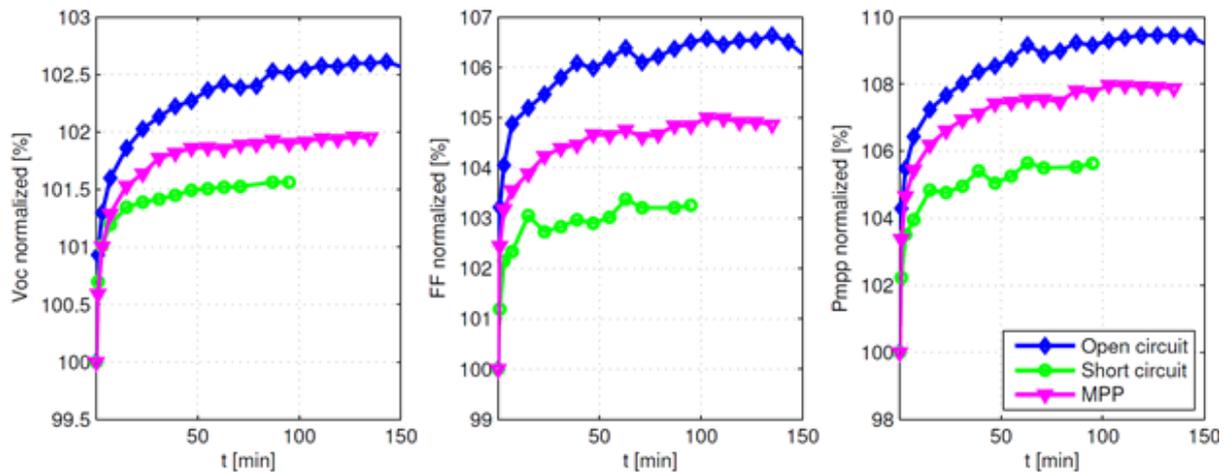


Abb. 6: Beispiel für die zeitliche Abhängigkeit der bei 1000W/m^2 gemessenen Werte eines kommerziellen CdTe-Dünnschichtmoduls für die **Modul-Leerlaufspannung** (links) , den **Füllfaktor** (Mitte) und die **Leistung im Punkt maximaler Leistung** (rechts) in Abhängigkeit vom Betriebszustand unter Beleuchtung.

Hohe Datenqualität bei den Ertragsdaten und eine Erfassung der Einstrahlung ist in der Regel nur beim Monitoring kommerzieller größerer Anlagen verfügbar, aber gerade dort ist der Zugang zu den Daten meist aus rechtlichen Gründen erschwert, weil die Eigentümer der Anlage und die Betreiber in der Regel nicht ident sind.

Daher wurde in der internationalen Verlängerung des Task 13 eine zusätzliche Aktivität gestartet, Jahres-Ertragsdaten zu ermitteln, und - wenn keine Einstrahlungsmessung vor Ort vorhanden ist, satellitenbasierte Jahres-Einstrahlungsdaten für den Standort zu verwenden. Webbasierte Methoden ermöglichen es auch Ertragsdaten einer großen Zahl von Anlagen, niedrigerer Datenqualität, deren Daten aber öffentlich verfügbar sind für die Analyse zu erschließen, s. [Report IEA-PVPS T13- 05]. Auch für diese Aktivität (Leitung Wilfried van Sark, Univ. Utrecht) wird es in Zukunft möglich sein, Daten einiger Österreichischer Anlagen zur Verfügung zu stellen, wobei aus Datenschutzgründen auch hier nicht der exakte Anlagenstandort oder Details zur Anlagenkonfiguration übermittelt werden können.

Ebenfalls in Subtask 2 wird untersucht, wieweit sich aus den Monitoringdaten Hinweise auf zukünftige Fehler in Anlagen bereits abzeichnen, bevor es noch zu deutlichen Leistungseinbußen kommt, und welche Prognosen sich aus den Betriebsdaten für kurzfristige (wenige Stunden) bzw. mittelfristige (z.B. stündlich für den nächsten Tag) Prognosen zukünftiger Erträge ableiten lassen, s. Abb. 7. Dazu ist ein Bericht mit dem Arbeitstitel „Advanced statistical methods for improving availability and forecasting in PV systems“, der im Frühjahr 2017 veröffentlicht werden wird.

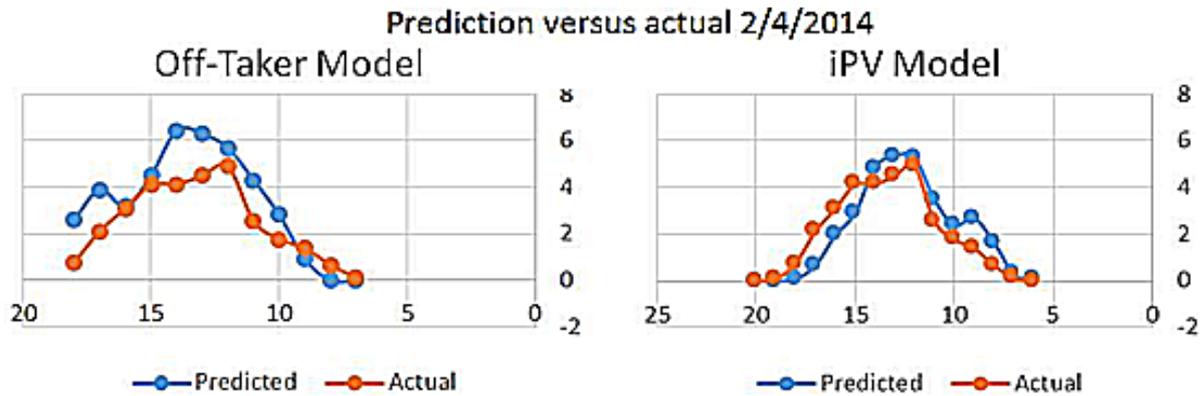


Abb. 7: Vergleich zweier Prognosemodelle (blaue Kurven) **für Stundenwerte des morgigen Ertrags einer PV-Großanlage** (in MWh). Links: kommerziell verfügbares Modell, Rechts: Im Task 13 erprobtes Modell das auf Machine Learning Algorithmen [10] basiert.

Wie groß Messunsicherheiten beim Anlagenmonitoring und bei der Labormessung von Komponenten sind, und wie sie sich in die Modellierung übersetzen wird mittels Fragebogen von den im Task 13 vertretenen Partnern erhoben. Qualitativ hochwertige Klimadaten und Daten von Einzel-Modulmessungen in unterschiedlichen Klimazonen werden gesammelt und via pvps-Webseite gemeinsam mit einem Bericht veröffentlicht werden, um Referenzwerte für die Modellierung von Erträgen unterschiedlicher Modultechnologien zur Verfügung zu stellen. Dies steht auch in Zusammenhang mit einem Entwurf zu einer internationalen Norm zur Berechnung und Ertragsbeurteilung von Photovoltaikmodulen: IEC 61853 Teil 3 und 4 [12], [13].

3.3 Subtask 3: Modulcharakterisierung und -lebensdauer

Es wurde in einem umfangreichen Review-Report [Report IEA-PVPS T13- 01] zusammengestellt, welche Methoden es gibt, um im Labor wie im Feld Fehlerhafte PV-Module zu detektieren, wie sich die Fehler durch die unterschiedlichen Methoden darstellen, und wie welche Prognosen zur

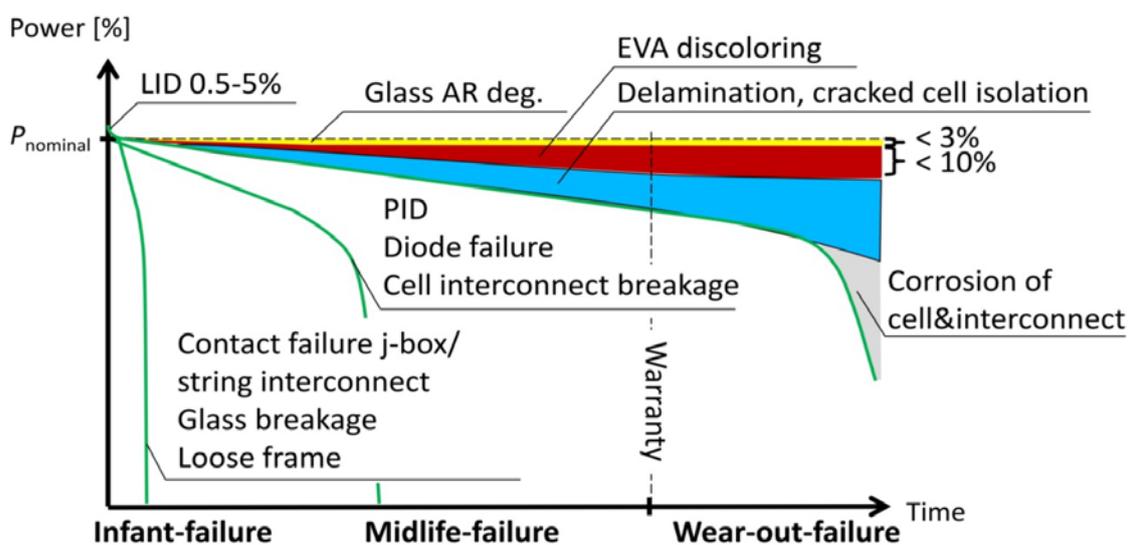


Abb. 8: Fehlerarten und Fehlerentwicklung bei PV Modulen: Früh-, Midlife- und Verschleißausfälle sowie das Schadenspotential unterschiedlicher Fehlerfälle. Abkürzungen: LID...Lichtinduzierte Degradation, PID...Potentialinduzierte Degradation, EVA...Ethylen-Vinylacetat, AR...Antireflex-Beschichtung, j-box...Anschlussdose. Aus [Report IEA-PVPS T13- 01].

Leistungsdegradation diese Fehler - in Abhängigkeit von den Umwelt- und Einsatzbedingungen haben, und inwieweit und welche Sicherheitsprobleme dabei auftreten können. Einige der häufigsten Fehlerfälle sind in Abb. 8 zusammengestellt. Die Abb. 9 gibt ein Beispiel der Übersicht zu gemessenen Modul-Degradationsraten aus der Literatur wo 11.000 Degradationsraten aus 200 Studien in 40 Ländern zusammengefasst wurden [14]. Während ein Großteil der untersuchten Module und Anlagen relativ geringe Degradation aufweisen, liegt die Degradation eines Viertels in einem Bereich (2% bis über 4% p.a) der inakzeptabel hoch ist. Das zeigt deutlich, dass qualitätssichernde Maßnahmen über die gesamte Wertschöpfungskette unabdingbar sind.

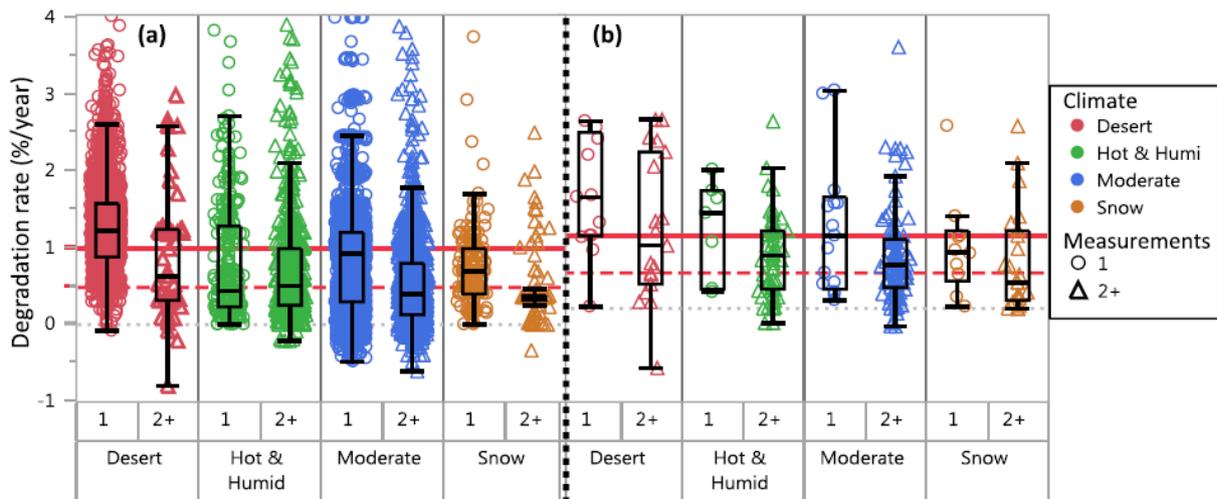


Abb. 9: Degradationsraten für kristalline (x-Si) Modultechnologie (Kreise), Median, obere und untere Quartile (**Box-Whisker Plots**) für unterschiedliche **Klimaregionen**. Aus [14].

Die im [Report IEA-PVPS T13- 01] beschriebenen Detektions-Methoden reichen von Standardverfahren wie der Leistungs- und Kennlinienmessung und unterschiedlichen Methoden der Infrarot-Thermografie zu Elektrolumineszenz- und Fluoreszenzmethoden. Weiters werden für gängige Fehlerfälle spezifische Labortestverfahren beschrieben, und ein standardisiertes Erhebungsblatt für die Sichtprüfung von PV-Modulen im Anhang gelistet. Dieses „Visual inspection sheet“ wird auf der [iea-pvps](http://iea-pvps.org) Homepage auch als Tabelle im Excel-Format zur Verfügung gestellt. Damit kann in einem standardisierten Verfahren weltweit in unterschiedlichen Klimazonen mit dem gleichen Erhebungsbogen die Art und Häufigkeit von Fehlern erhoben werden, was Vergleiche zwischen unterschiedlichen Regionen ermöglicht. Auf der Basis dieser Untersuchungen und Erhebungen auf Modulebene werden in einem nächsten Schritt die Detektionsmethoden noch weiter verfeinert, und praktische Hinweise zum möglichst nutzbringenden Einsatz dieser und neuer Verfahren in einem weiteren Report beschrieben werden, der im Frühling 2017 veröffentlicht wird. Dabei ist das PCCL (AT) gemeinsam mit dem ISFH (DE) Subtaskleiter, wobei der Schwerpunkt des PCCL auf Materialien und Material(in)kompatibilitäten liegt, beim AIT bei der Modul- und Systemcharakterisierung. Zu dem im Task 13 entwickelten Erhebungsbogen zu PV-Anlagenfehlern (auf der internationalen [iea-pvps](http://iea-pvps.org) Webseite als Excel-Datei verfügbar, siehe Abb. 10) hat auch das AIT und gemeinsame österreichische Projektpartner im Projekt Infinity maßgeblich beigetragen. Dabei konnte durch österreichische Partner, die zum Teil auch viele PV-Anlagen im Ausland betreuen, ein maßgeblicher Anteil der weltweit gesammelten Daten zu Systemfehlern, deren Ursachen, Leistungsverlust und

Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen beigesteuert werden. Erste Ergebnisse - zu Modulfehlern - wurden bei der europäischen Photovoltaikkonferenz EU PVSEC 2016 präsentiert [15] und wurde unter über 300 präsentierten Vorträgen als einer der besonders wertvollen Beiträge in der Abschluss-Session vom Vorsitzenden Nigel Taylor erwähnt.

New form		Copy form		Delete form		Survey version		08 February 2016	
PV system basics					Goal of this survey	How to start ?	Other questions		
System ID:	Example ID	Expert		PV module type		Multicrystalline Si		String inverter with	
Source of data	Country	Germany		Inverter type		Rail system at location		Grounded/non	
Climate zone	Special stress	Moderate (C-climate)		Mounting system type		Grounding of substructure & module frames/conductor		Other system component	
Kind of system	Orientation	Roof top commercial		Nominal system power		[kWp]	100		
Inclination		0 (south)		Date of system start		[MM/YYYY]	Juni 13		
		30		Date of failure documented here		[MM/YYYY]	Juni 15		
Comment if a field is orange									
Integral data									
Following failure specifications are based on investigated percentage of									
Total system power loss [%]	Inverter [%]	Cable and interconnector [%]	PV module [%]	Mounting [%]	Other [%]	Comment			
2			50						
5 x Failure specification for 25 % of the system									
Failed system part	Failure 1 specification	Power loss 1 [%]	Failure 2 specification	Power loss 2 [%]	Safety failure 1	Safety failure 2			
Inverter	No failure	No detectable loss	No failure	No detectable loss	No failure	No failure			
Cable and interconnector	No failure	No detectable loss	No failure	No detectable loss	No failure	No failure			
PV module	Cell cracks	[3%-10%]	No failure	No detectable loss	No failure	No failure			
Mounting	No failure	No detectable loss	No failure	No detectable loss	No failure	No failure			
Other system component	No failure	No detectable loss	No failure	No detectable loss	No failure	No failure			
Comment if a field is orange									

Abb. 10: Struktur des xlsx-Erhebungsbogens zu PV-Anlagenfehlern. Aus [15], siehe auch http://iea-pvps.org/index.php?id=344&eID=dam_frontend_push&docID=3265 (xlsx Datei) und http://iea-pvps.org/index.php?id=344&eID=dam_frontend_push&docID=3262 (Erläuterung).

Daher wurde das Autorenteam auch dazu eingeladen, eine Publikation im Progress in Photovoltaics Journal zu übermitteln (derzeit in Begutachtung) und ein detaillierter Bericht wird im Frühjahr 2017 veröffentlicht werden, der auch die Ergebnisse zu anderen Systemfehlern zusammenstellt.

3.4 Subtask 4: Dissemination

Die zuvor erläuterten Aktivitäten zu den drei Subtasks 1 bis 3 enthalten natürlich auch Maßnahmen zur Verbreitung der im Task 13 erarbeiteten Informationen. Um diese besser zu koordinieren besteht dafür ein eigener Subtask 4, Dissemination. Siehe dazu im folgenden Kapitel 4.

4. Vernetzung und Ergebnistransfer

Die Österreichischen Adressaten der im Task 13 erarbeiteten Informationen sind Hersteller von Materialien und Komponenten für PV-Anlagen, zu denen in Österreich auch Firmen zählen, die den Weltmarkt bedienen. Ebenso sind Errichter, Eigentümer und Investoren Nutznießer. Ergebnisse des Task 13 fließen aber auch in Lehre und Erwachsenenbildung ein, und auch andere Forschungsinstitutionen können von den Ergebnissen profitieren. Da die Öffentlichkeit die Errichtung von PV-Anlagen durch garantierte Einspeisetarife und/oder Investitionsförderungen unterstützt, besteht auch hier ein Interesse dass PV Anlagen langfristig gute Erträge erbringen.

Die im Task 13 vertretenen Österreichischen Forschungsinstitute PCCL und AIT sind nicht nur mit der internationalen Forschungsgemeinschaft gut vernetzt, sondern z.B. auch in der Österreichischen Technologieplattform Photovoltaik tppv.at, vertreten. Gemeinsame Forschungsprojekte industrieller Forschung sorgen dafür, dass Ergebnisse aus dem Task 13 nicht im „Elfenbeinturm“ verbleiben, sondern unmittelbar in die industrielle Praxis einfließen und damit helfen die Wettbewerbsfähigkeit der österreichischen Firmen zu erhalten. Natürlich sind innovative Österreichische Firmen auch auf internationalen Fachkonferenzen und Seminaren aktiv, wo sie ebenfalls von den internationalen Aktivitäten der Österreichischen und internationalen Taskmitglieder profitieren.

Aus dem Europäischen Infrastruktur- und Vernetzungsprojekt Sophia entstand vor sechs Jahren ein internationaler, jeweils zweitägiger Workshop der vom Deutschen Fh ISE, das auch einen der Taskleiter des Task 13 stellt, gemeinsam mit wechselnden Partnern organisiert wird [18]. Obwohl das EU FP7 RI Projekt Sophia inzwischen beendet ist, wird dieser Workshop zur Zuverlässigkeit von Photovoltaik fortgeführt und 2016 in Österreich am AIT organisiert, wobei hier die Themen und Inhalte des Task 13 auch durch internationale Vortragende vertreten waren. Österreichische Partner aus Industrie und Forschung wurden aktiv an der Durchführung beteiligt und Seminarbesucher die Mitglieder der Österreichischen Photovoltaiktechnologieplattform sind, wurde das Seminar stark ermäßigt angeboten. Dadurch werden die Kontakte zwischen internationalen Playern im Bereich der Photovoltaik mit den Österreichischen Akteuren vernetzt.

Die rege nationale und internationale Beteiligung am Task 13 zeigt die Notwendigkeit und erklärt das anhaltend große Interesse an Themen der Ertrags- und Qualitätssicherheits von Photovoltaikanlagen und ihrer Materialien und Komponenten. Selbstverständlich sind die Inhalte des Task 13 mit den anderen Tasks des IEA PVPS Programms koordiniert, was durch die zweimal jährlich stattfindenden Treffen des PVPS ExCo sichergestellt wird. Zudem gab es im Rahmen der 6. Weltkonferenz der photovoltaischen Energiekonversion, der 6th WPEC 2014 in Kyoto ein Parallel-Workshop unter Beteiligung aller aktiven IEA PVPS Tasks statt, wobei auch PCCL und AIT aktiv teilnahmen. Das Frühjahrstreffen des Task 13 fand im März 2015 in Leoben am PCCL statt. Eine abschließende technische Tour führte in Wien zum AIT (Laborinfrastruktur) und zum Lisi-Haus, dem Österreichischen Projekt das 2013 den US Solar Decathlon gewann. Beim offenen Workshop der ans Frühlingstreffen des Task 13 in Bozen angeschlossen wurde und bei der EU PVSEC 2016 wurden zu aktuellen Themen aus der Taskarbeit Vorträge gehalten [19], [20]. Das Herbsttreffen des IEA PVPS ExCo wird im November 2016 in Wien stattfinden.

Wichtige Impulse aus dem Task 13 erhält auch die nationale (OVE TSK E03), europäische (CEN/CLC TC82) und internationale (IEC TC82) Photovoltaik-Normung, in die AIT NormungsexpertInnen, aber auch andere Vertreter aus der österreichischen Forschung und Industrie eingebunden sind.

Die Aktivitäten des Task 13 sind Querschnittsthemen, die für alle Stakeholder im Bereich der Photovoltaik bedeutsam sind. Die über die Webseite des [iea-pvps](#) angebotenen im Task 13 erarbeiteten Berichte und Tools stehen allen, und damit auch den österreichischen Firmen zur Verfügung. Je vielfältiger, internationaler und breiter das Konsortium des Task 13 ist, desto größer ist die Relevanz der erarbeiteten Inhalte. Ohne Österreichische Beteiligung wäre der Informationsaustausch weniger gehaltvoll, da die österreichischen Partner im Task intensiv mitarbeiten. Umgekehrt würde ein reduzierter Umfang der Österreichischen Beteiligung am PVPS und insbesondere am Task 13 auch die Dissemination zu den Österreichischen Stakeholdern verringern.

Insgesamt sind in den inhaltlichen Subtasks 1 bis 3 momentan neun weitere Task-Reports in Vorbereitung, deren Veröffentlichung im Frühjahr 2017 geplant ist. Die Österreichische Beteiligung an diesen Reports ist wesentlich für das Gelingen.

5. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Das Projektteam hat durch die Vernetzung im Task 13 erweiterte Möglichkeiten an wesentlichen Themen der Photovoltaikforschung teilzunehmen, wovon auch die anderen österreichischen Stakeholder profitieren. Diese Themen werden auch in anderen kooperativen Projekten weiter vertieft. So arbeiten AIT und PCCL schon seit langem mit der Österreichischen Industrie zusammen an Projekten im Themenfeld des Task 13 - Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit von Photovoltaik [16], [17], wie z.B. auch im PV-Leitprojekt Infinity. Wie schon in Kapitel 4 ausgeführt, gibt es einen breiten Kreis von Institutionen und Personen, die von den Erkenntnissen profitieren. Auch in aktuellen Proposals für Energieforschungsprojekte sind die Themen des Task 13 relevant.

6. Verzeichnisse

Literatur

- [1] Karl A. Berger: *Leistung und Zuverlässigkeit von Photovoltaiksystemen, PVPS Task 13 und Normung*. Vortrag beim IEA Vernetzungstreffen 2015, 29 p.
- [2] IEA PVPS (ed.); *Task 13: Performance and reliability of photovoltaic systems*. Flyer introducing the Task 13, 2015, 2p.
- [3] IRENA: *Renewable Energy Statistics 2016*, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2016, 300 p., s. resourceirena.irena.org
- [4] bmvit: Berichte aus Energie- und Umweltforschung: *Innovative Energietechnologien in Österreich. Marktentwicklung 2010 (26/2011)*, 165 p., s. nachhaltigwirtschaften.at
- [5] bmvit: Berichte aus Energie- und Umweltforschung: *Innovative Energietechnologien in Österreich. Marktentwicklung 2015 (6/2016, Abb. 7.9)*, 236 p., s. nachhaltigwirtschaften.at
- [6] IEA PVPS TASK 13: *Performance and Reliability of Photovoltaic Systems. Work Plan 2014 - 2017, Final Version*. Prepared by: Ulrike Jahn, Cathy Zhou, Christian Reise (DE), and Karl Berger (AT), Daniela Dirnberger (DE), Gabi Friesen (CH), Sigifredo Gonzalez (US), Mike Green (IL), Cliff Hansen (US), Marc Köntges (DE), Stefan Mau (ES), Thomas Nordmann (CH), Gernot Oreski (AT), Zainal Salam (MY), Josh Stein (US), Wilfried van Sark (NL), Caroline Tjengdrawira (BE), Achim Woyte (BE), August 2014, 37 p.
- [7] Karl A. Berger: *Langzeitperformance gebäudeintegrierter Photovoltaikmodule. Fassadenbautagung Zukunftsperspektiven im Fassadenbau*. TU Wien, Dpmt. of Building Physics and Building Ecology (BPI), 62 p.
- [8] Caroline Tjengdrawira, Jan Vedde: *Subtask 1: Economic of PV System Performance and Reliability*, Präsentation beim Task 13 Meeting am 17.3.2015 in Leoben, 16 p.
- [9] Sabrina Novalin, M. Rennhofer, J. Summhammer: *Electrical metastabilities in chalcogenide photovoltaic devices*; Thin Solid Films, TSF-31112 (2013), 535; p. 261 - 264
- [10] D. Riley and J. Johnson; *Photovoltaic prognostics and health management using learning algorithms*, in 2012 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2012, pp. 1535–39.
- [11] Jan Vedde, et.al.: *Technical Parameters used in PV financial Models*. 7DO.14.4, 32nd EU PVSEC 2016, p. 2892-97
- [12] IEC TC82 WG2 (working group PV modules): IEC 61853-3 Ed.1 (Draft 82/1066/CD): Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating - Part 3: Energy Rating of PV Modules
- [13] IEC TC82 WG2 (working group PV modules): IEC 61853-4 Ed.1 (Draft 82/1067/CD): Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating - Part 4: Standard reference climatic profiles
- [14] Dirk C. Jordan, Sarah R. Kurtz, Kaitlyn VanSant, Jeff Newmiller: *Compendium of photovoltaic degradation rates*. Prog. Photovolt: Res. Appl. Febr. 2016; 24: 978–989

- [15] Marc Köntges, Sascha Altmann, Tobias Heimberg, Ulrike Jahn, Karl A. Berger: *Mean degradation rates in PV systems for various kinds of PV module failures*. 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München 2016, p. 1435-43
- [16] G. Oreski, M. Knausz, K.A. Berger, G.C. Eder, Y. Voronko, T. Koch, G. Pinter: *Reliability testing of backsheets: Thermal analysis for comparing single and module aged films*. Photovoltaics International 3/2014, pp82-88
- [17] Voronko, Y., Eder, G.C., Knausz, M., Oreski, G., Koch, T., Berger, K.A.: *Correlation of the loss in photovoltaic module performance with the ageing behaviour of the backsheets used*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, (2015) 23 (11), pp. 1501-1515
- [18] K.A. BERGER: *IEA PVPS Task13 & EU FP7 SOPHIA - Performance & Reliability of PV Systems: Lebensdauerabschätzungen von PV-Modulen*. 5.11.2014 12. Österr. PV-Tagung Linz, 45 S.
- [19] K.A. Berger: *Potential Induced Degradation of PV Modules and Systems*. IEA PVPS Task 13 open Workshop, EURAC, Bolzano 8.4.2016, 35 S.
- [20] G. Oreski: *Influence of Backsheet on PV Module Reliability*. Intersolar Munic IEA Side-Event: PV Module Reliability and System Performance Analysis, München, 09.06.2015

Im Task 13 erstellte Berichte, die unter iea-pvps.org heruntergeladen werden können:

- [Report IEA-PVPS T13- 01] Review of failure of PV modules. March 2014, 140 p.
- [Report IEA-PVPS T13- 02] Characterisation of performance of Thin-Film photovoltaic technologies. May 2014, 69 p.
- [Report IEA-PVPS T13- 03] Analytical monitoring of grid-connected photovoltaic systems. Good practices for monitoring and performance analysis. March 2014, 90 p.
- [Report IEA-PVPS T13- 04] Modelling acceleration based on outdoor stress conditions for PV module testing, November 2014, 32 p.
- [Report IEA-PVPS T13- 05] Analysis of long-term performance of PV systems. Different data resolution for different purposes. November 2014, 60 p.

Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen:

Tab. 1: Im Photovoltaic Power Systems Programme der Internationalen Energieagentur (IEA-PVPS) aktive Tasks (Stand 04-2016).....	9
Abb. 1 Mittlere Lernkurven für den Weltmarktpreis von PV-Modulen und österreichischen 5kWp PV Anlagen.....	10
Abb. 2: Anwendungen von Photovoltaik und Anforderungen an Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit.....	11
Abb. 3: Beispiel einer typischen PV-Kleinanlage mit Überschusseinspeisung.	15
Abb. 4: Schematische Darstellung des Finanzierungsmodells von PV-Kraftwerken	15
Abb. 5: Beispiel für die Auswertung von Daten einer Österreichischen PV-Anlage..	16
Abb. 6: Beispiel für die zeitliche Abhängigkeit der bei 1000W/m ² gemessenen Werte in Abhängigkeit vom Betriebszustand unter Beleuchtung.....	17
Abb. 7: Vergleich zweier Prognosemodelle für Stundenwerte des morgigen Ertrags einer PV-Großanlage.....	18
Abb. 8: Fehlerarten und Fehlerentwicklung bei PV Modulen.....	18
Abb. 9: Degradationsraten für kristalline (x-Si) Modultechnologie (Kreise), Median, obere und untere Quartile (Box-Whisker Plots) für unterschiedliche Klimaregionen.....	19
Abb. 10: Struktur des xism-Erhebungsbogens zu PV-Anlagenfehlern.....	20