

KURZFASSUNG

Kurzfassung auf Deutsch:

Durch den großen zeitlichen und apparativen Aufwand für Zuverlässigkeitsprüfungen von Photovoltaik (PV) Modulen besteht in der PV Community seit jeher das Bestreben, Lebensdauer-abschätzung basierend auf einer Extrapolation der Mess- und Charakterisierungsdaten aus beschleunigten Alterungstests bzw. Modellierungen erzielen zu können.

Das geplante Projektvorhaben **ADVANCE!** - “Advance Degradation Modelling of Photovoltaic Modules and Materials!”- möchte die **Modellierung der Alterungsvorgänge von Photovoltaikmodulen voranbringen** und befasst sich daher mit innovativen und komplexen statistischen und *Machine Learning* Datenverarbeitungsmethoden zur digitalen Analyse und verbesserten Modellierung des zeit- und stressabhängigen Leistungsverhaltens (Degradation und Zuverlässigkeit) von PV-Modulen.

Die vorgeschlagene Forschung wird sich auf **datenwissenschaftliche Ansätze zum Verständnis von Materialdegradationen** konzentrieren. Quantitative Auswertelgorithmen von spektroskopischen und kennlinienbasierten Daten und innovative Bildanalysen werden entwickelt, um den daraus ablesbaren Materialabbau in Abhängigkeit bestimmter Belastungs-(Stress-)faktoren in Zahlen beschreiben zu können (Digitalisierung der Bild-, Spektral- und Kennlinieninformationen). Mithilfe eines Materialwissenschaftlichen Ansatzes, der statistische Analysen verwendet, sollen die mechanistischen Abläufe/Pfade der Degradation (*Degradation Network Pathways*) für die in PV-Modulen verbauten Materialien entwickelt werden (*Network Structural Equation Modeling netSEM*). Pfaddiagramme (*Pathway Diagrams*) sollen die Auswirkungen von Stressfaktoren und Materialeigenschaften auf die PV-Moduldegradation und den Leistungsverlust visualisieren; die dahinterliegenden mathematischen Zusammenhänge werden die Effekte digital beschreibbar machen.

Basierend auf

- Charakterisierungsdaten von PV-Materialien/Komponenten/Modulen, die vor, während und nach beschleunigten Alterungstests (aus dem Projekt INFINITY) zum Materialabbau ermittelt wurden und
- Messdaten aus im Feld gealterten Modulen

können Vorhersagen zur Lebensdauer von PV-Modulen (Multi-Material-Verbunden) unter den unterschiedlichsten Einsatzbedingungen getroffen werden. Diese **prädiktiven Modelle** werden auch für die Erarbeitung von Verbesserungsvorschlägen im Fertigungsprozess und von vorausschauenden Instandhaltungsmaßnahmen (*predictive maintenance*) verwendet.

Das hochgradig interdisziplinäre Forschungsvorhaben ADVANCE! wird **neue Wege in der digitalen Analyse des Langzeit- und Degradationsverhaltens** von PV-Modulen erschließen und die Grundlagen für zukünftige **hocheffiziente Materialentwicklungen** für PV und **prädiktive Instandhaltungsvorgaben** für PV-Anlagen erarbeiten.

Als Datengrundlage soll vor allem die im Leitprojekt INFINITY generierte Datenbasis genutzt werden: umfangreiche Mess- und Charakterisierungsdaten hunderter Mustermodule, die genau definierten beschleunigten Alterungsszenarien unterzogen wurden. Diese bestehenden Daten-Zeitreihen multipler Charakterisierungsmethoden - im Bedarfsfall durch weitere Testreihen und durch die Einbeziehung von Literaturdaten ergänzt - werden für die Ableitung interner kausaler Zusammenhänge genutzt, wobei der Fokus auf Korrelationen zwischen Alterung von Materialien bzw. Materialverbunden und der elektrischen Modulleistung liegt.

English Abstract

Due to the large effort in terms of time and equipment necessary for reliability testing of photovoltaic (PV) modules, the PV community has always endeavoured to obtain service life estimates, based on an extrapolation of measurement and characterization data from accelerated aging tests or modelling.

The planned **ADVANCE!** R&D project – “**Advance Degradation Modelling of Photovoltaic Modules and Materials!**” -addresses innovative and complex statistical and machine learning data processing methods for digital analysis and improved modelling of the time and stress-dependent performance (degradation and reliability) of PV modules.

The proposed research will focus on **data science approaches to understand material degradation**. Quantitative evaluation algorithms of spectroscopic data, characteristics, and innovative image analyses will be developed to describe the material degradation depending on certain stress factors in numbers (digitization of images, spectral and characteristics information). Using a materials science approach that employs statistical analyses, the mechanistic processes / degradation network pathways for the materials used in PV modules will be developed by using network structural equation modelling (netSEM). Path diagrams will visualize the effects of stress factors and material properties on PV module degradation and loss of performance; the underlying mathematical relationships will make the effects digitally describable.

Based on

- characterization data of PV materials / components / modules, determined before, during and after accelerated aging tests (originating from the INFINITY project) for material degradation and
- measurement data from field-aged modules

predictions can be made regarding the service life of PV modules (i.e. multi-material composites) under a wide variety of operating conditions. These predictive models will also be used to derive suggestions for improvements in manufacturing and guidelines for predictive maintenance of PV-plants.

The highly interdisciplinary research project ADVANCE! is intended to **open up new paths in the digital analysis of the long-term and degradation behaviour of PV modules** and to lay the foundations for future highly efficient **material developments for PV and predictive maintenance** requirements for PV systems.

A comprehensive database generated in the flagship project INFINITY will be used as the data basis: extensive measurement and characterization data of hundreds of sample modules that were subjected to precisely defined accelerated aging scenarios. These existing data time series of multiple characterization methods - if necessary supplemented by further test series, and by the inclusion of literature data - will be used to derive internal causal relationships, with the focus put on the correlations between aging of materials and material composites and the electrical module performance.