

# CHARAKTERISIERUNG UND DEGRADATION VON PEROWSKIT-MINIMODULEN



Organisch-anorganische Hybrid-Metallhalogenid-Perowskite sind bereit die **nächste Generation der Photovoltaik** zu revolutionieren! Der durch Bleihalogenid-Perowskite ermöglichte Sprung nach vorne in der Leistungsumwandlungseffizienz ist beispiellos. Die Wirkungsgrade von 3,8% in der ersten Studie sind auf einen derzeit zertifizierten Wert von 25,5% bei Single-Junction- und 29,52% bei Perowskit-Silizium-Tandem-Zellen angestiegen [1-3].

Die größte Herausforderung für die erfolgreiche Kommerzialisierung von Perowskit-Solarzellen besteht darin, eine hohe Stabilität auf Modulebene zu erreichen. Die kommerziell erhältlichen Solarmodule durchlaufen eine Reihe von Charakterisierungsverfahren, die ihre Eigenschaften analysieren und ihre Qualität sicherstellen. Diese Verfahren und Protokolle lassen sich jedoch nicht eindeutig auf Perowskit-Solarmodule übertragen. Zu diesem Zweck werden fortschrittlichere Charakterisierungsmethoden benötigt, um die Degradationsmechanismen zu verstehen.

## EXPERIMENTE

Es wurde eine aktive **Doppelkation-Doppelhalogenid-Perowskit-Aktivschicht** mit der Zusammensetzung  $Cs_{0,18}FA_{0,82}PbI_{2,82}Br_{0,18}$  verwendet. Minimodule wurden durch Laserritzen erzeugt und bestehen aus **7** in Reihe geschalteten **Subzellen**. Um das Eindringen von metallischen Partikeln aus der Top-Elektrode in die Perowskit-Schicht zu verhindern, wurde ITO verwendet. ITO wurde auch als Top-Elektrode gewählt, um semi-transparente Module zu erhalten.

Der **Modulstapel** war wie folgt aufgebaut: **Glas/ITO/Lochtransportschicht/560nm 2K-Perowskit** mit einer Bandlücke von 1,6eV/Elektronentransportschicht/ITO/Glas. **Abb.1** zeigt die **Struktur** einer Perowskit-Subzelle und den Querschnitt eines Mini-Moduls.

Die Größe der Perowskit-Minimodul betrug 3cm x 3cm Es wurden 4 Perowskit-Minimodule gefertigt und anschließend mittels DLIT-, EL- und PL-Methoden sowie IV- und EQE-Messungen charakterisiert [4].

## ERGEBNISSE

**Abb.2** zeigt die **EL-Aufnahmen** eines Minimoduls (Vorderseite und Rückseite). Die **IV-Messergebnisse** des Minimoduls sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

Bei den Perowskit-Minimodule wurden von Juli 2021 bis Dezember 2022 regelmäßig IV-Messungen sowie EL-Messungen durchgeführt, um das **Alterungsverhalten** der Minimodule zu ermitteln. Die Module wurden zwischen den Messungen im Dunkeln gelagert.

Wie in der **Abb.3** ersichtlich, verhalten sich die **Minimodule** über diesen Zeitraum sehr **stabil**.

Nur nach einigen Messungen (z.B. DLIT, Raman) kommt es manchmal zu einer deutlichen Leistungserhöhung oder einem Leistungsabfall, teilweise reversibel und auch irreversibel. Z.B. bei dem **Mini-Module "S10"** ist in Abb.3 bei 10/21 (orange Linie) nach durchgeführter DLIT-Messung eine **Leistungssteigerung** zu erkennen (auch im EL sichtbar, siehe Abb.4). Es kam aber bereits nach Wochen (Abb. 3: 11/21, orange Linie) wieder zu einem **Leistungsrückgang** und einer Rückkehr zum Anfangswert.

Nach der Durchführung von weiteren optischen Messung des Moduls „S10“ im September 2022, war das Modul komplett **degradiert**.

Bei dem Minimodul „S11“ wurden im März einige optische Messungen bei einem Projektpartner durchgeführt. Nach der Rückkehr des Minimoduls wurde ebenfalls ein **Leistungsanstieg** ermittelt, der immer noch vorhanden ist (siehe Abb.3).

## Referenzen:

- [1] Antonio Urbina 2020 J. Phys. Energy 2 022001
- [2] "Oxford PV retakes tandem cell efficiency record", <https://www.pv-magazine.com/2020/12/21/oxford-pv-retakes-tandem-cell-efficiency-record/>
- [3] Enzheng Shi et al., "Two-dimensional halide perovskite lateral epitaxial heterostructures", Nature, 2020; 580 (7805): 614
- [4] R. Ebner et al., "Non-destructive techniques for quality control of PV modules", 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013

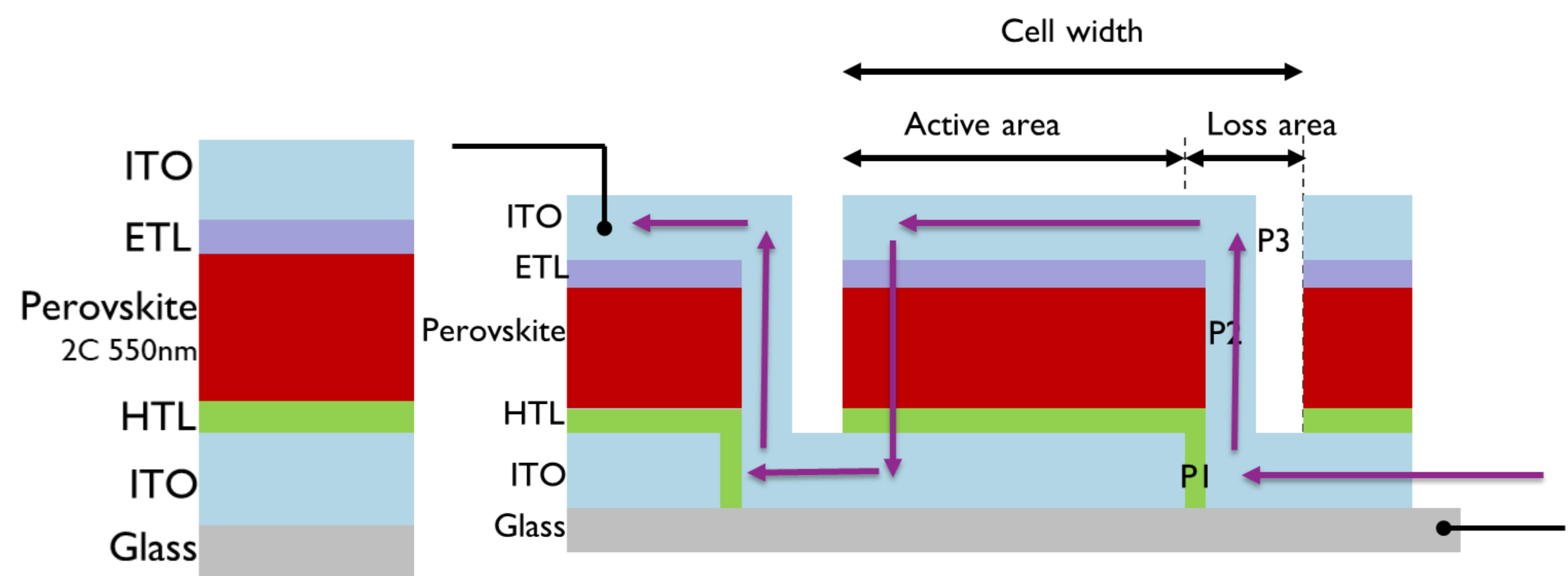


Abb.1 Links: PIN Struktur Subzelle und Rechts: Querschnitt des Minimoduls.

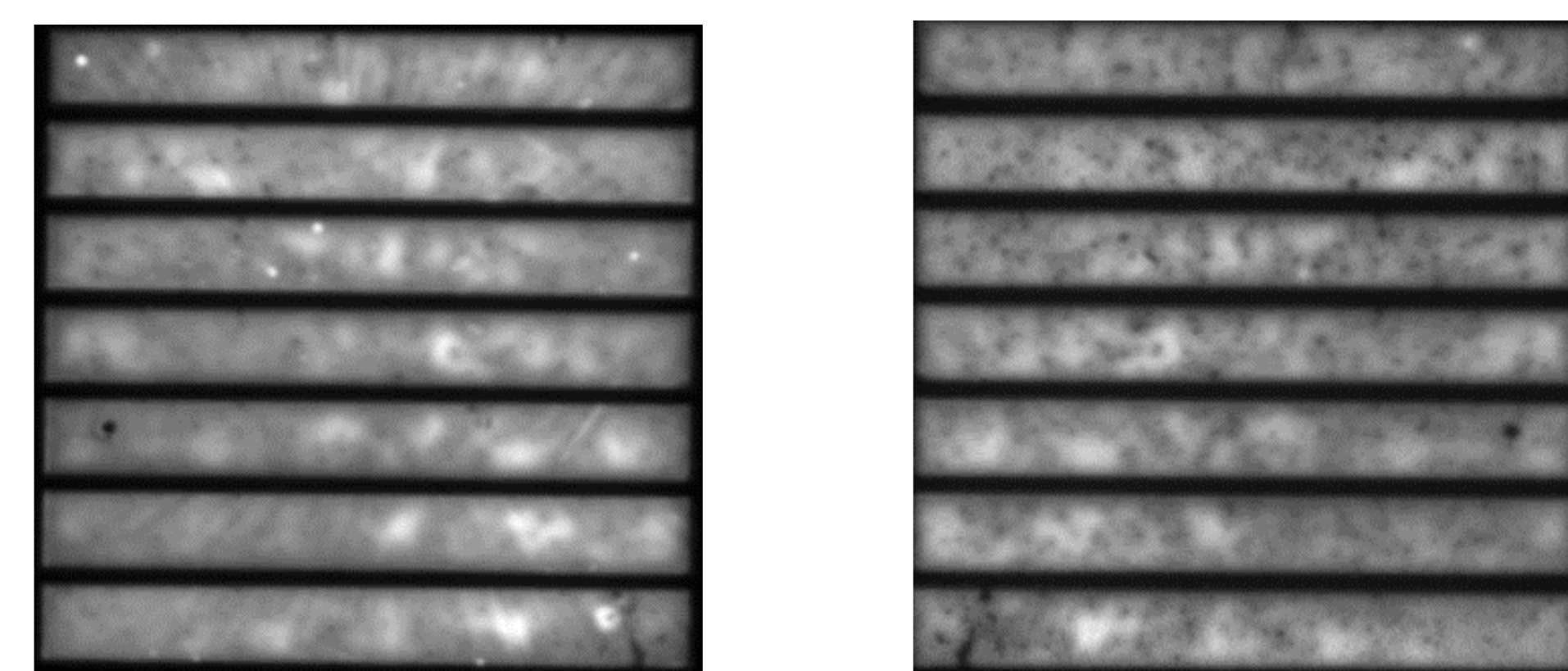


Abb.2 EL Perowskit-Minimodul: Vorderseite (links) und Rückseite (rechts).

Tabelle 1: IV-Messergebnisse, Perowskit-Minimodul

Minimodul	Isc [mA]	Voc [V]	FF [%]	P <sub>MPP</sub> [mW]	Jsc [mA/cm <sup>2</sup> ]
	10,26	7,789	42,91	34,29	13,10

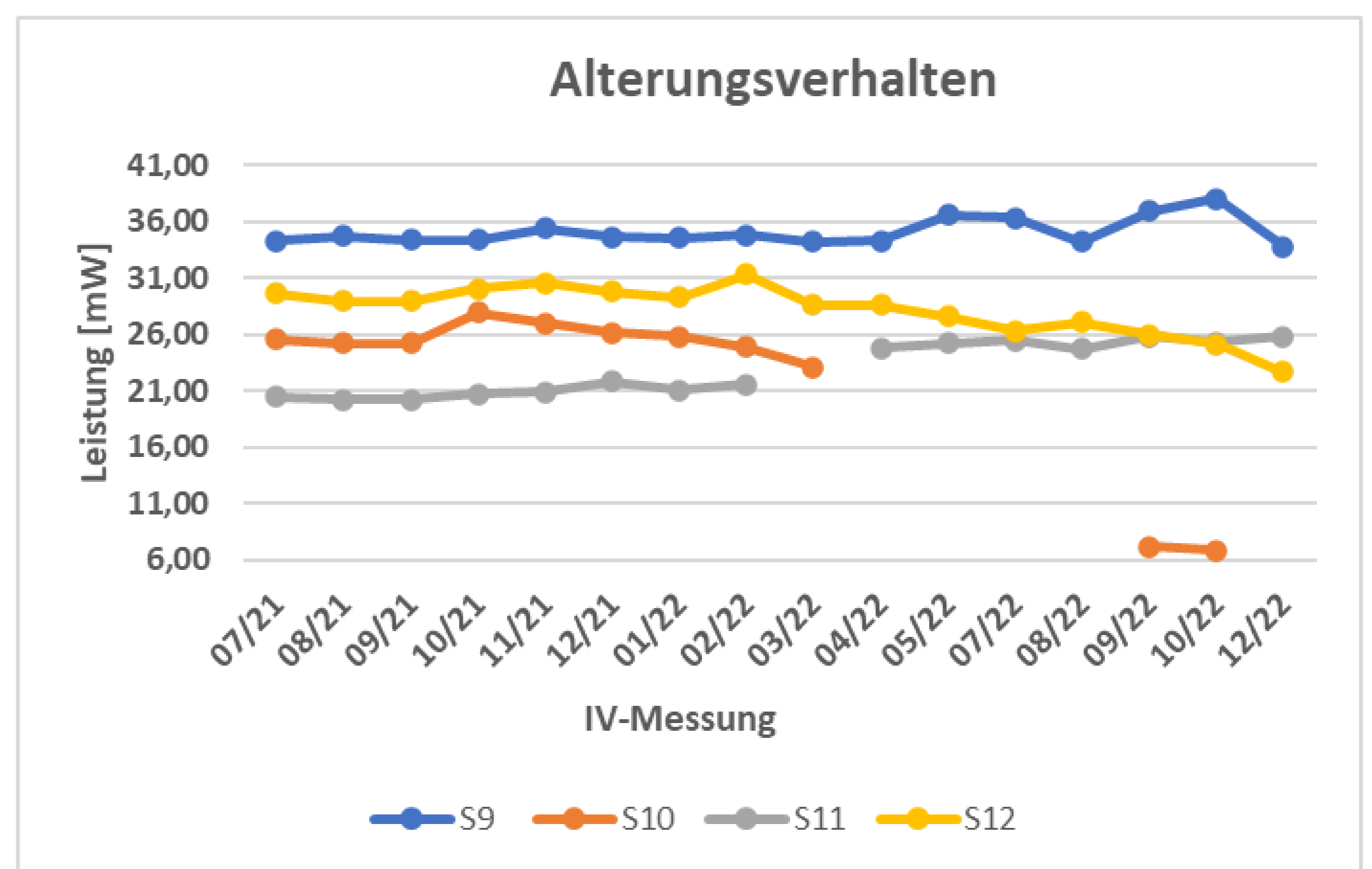


Abb.3 Alterungsverhalten der Perowskit-Minimodule

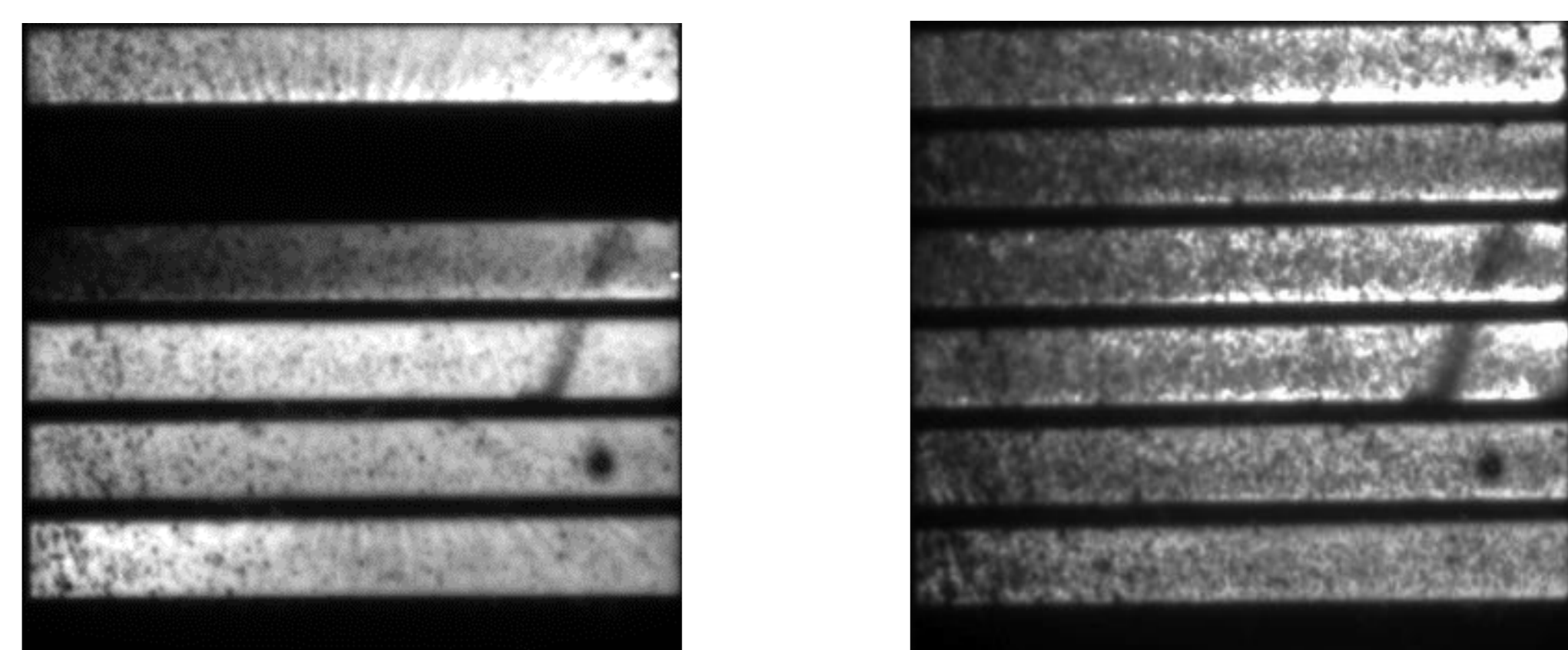


Abb.4 EL AH8\_S10, vor (links) und nach (rechts) DLIT-Messung

**DANKSAGUNG:** Diese Arbeit wurde durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und die Republik Zypern im Rahmen des Projekts "DegradationLab" mit der Förderungsnummer INFRASTRUCTURES/1216/0043 finanziert. <http://www.foss.ucy.ac.cy/degradationlab/>