

Integration von Perowskit-Silizium-Tandem-Solarzellen ins Modul



S. Baumann^{1,2}, M. Richter, M. Köntges¹, T. Wietler^{1,2}, R. Peibst^{1,2}

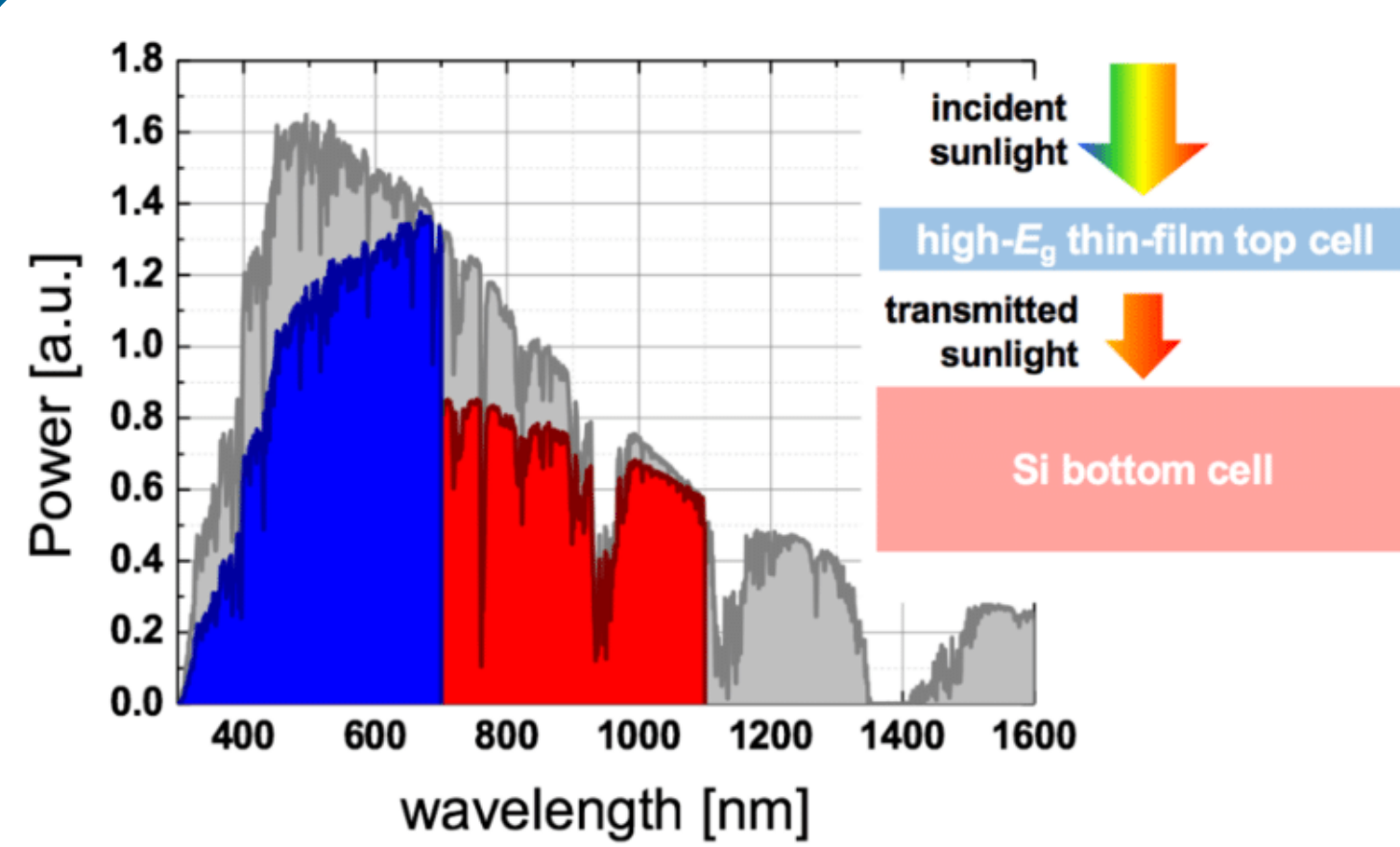
¹Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH)

²Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik (MBE), Universität Hannover

An-Institut der



Motivation Tandem-Solarzellen

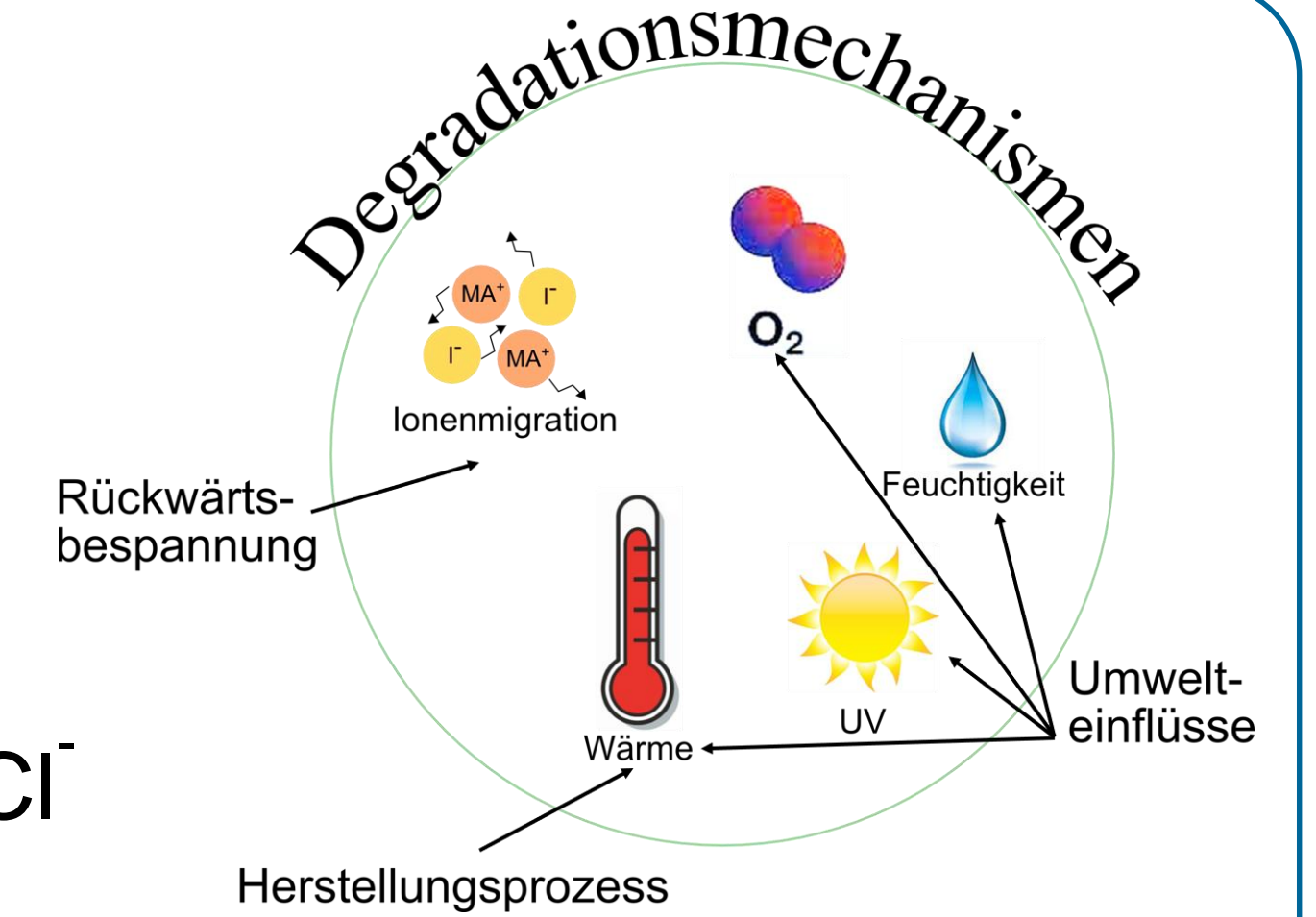
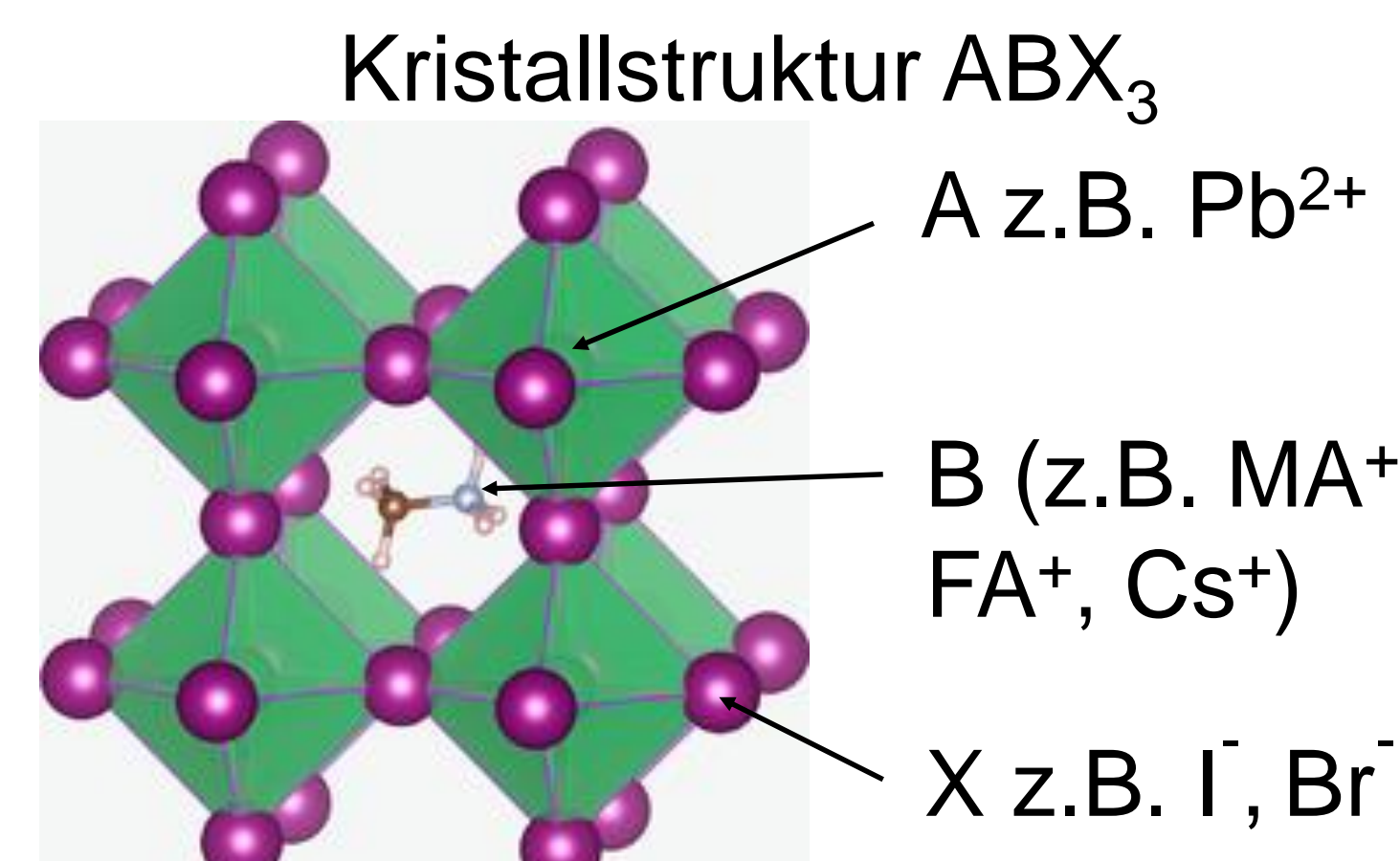


- Durch unterschiedlich große Bandlücken Effizienzsteigerung von über 20% relativ zu Standardmodulen
- Perowskit-Materialien günstig und ausreichend verfügbar, Silizium Industriestandard
- Durch kleinere Stromdichte geringerer Verbrauch kritischer Materialien wie Silber⁵

Effizienz η	Theo Limit	Rekord
Si	29,56% ¹	26,8% ³
Pero-Si-Tandem	ca. 43% ²	32,5% ⁴

¹S. Schäfer und R. Brendel, *IEEE Journal of Photovoltaics* 8:4 (2018)
²J. C. Goldschmidt et al., *Energy & Environment* 14:5247-5260 (2021)
³M.A. Green et al., *Prog. Photovolt Res Appl.* 31:13-16 (2023)
⁴NREL, Interactive Best Research Cell Efficiency Chart, Stand 28.02.2023
⁵Y. Zhang et al., *Energy Environ. Sci* 14:5587 (2021)

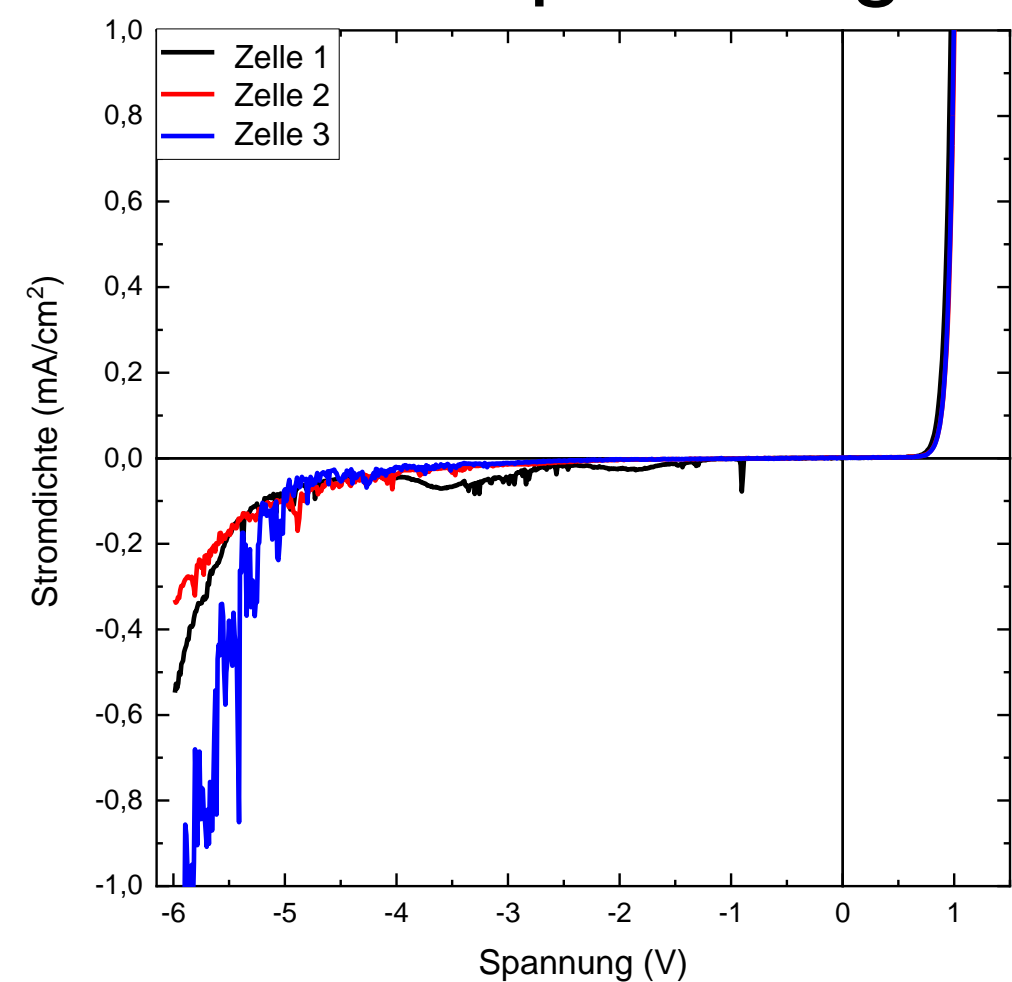
Besonderheiten Perowskit-Solarzellen



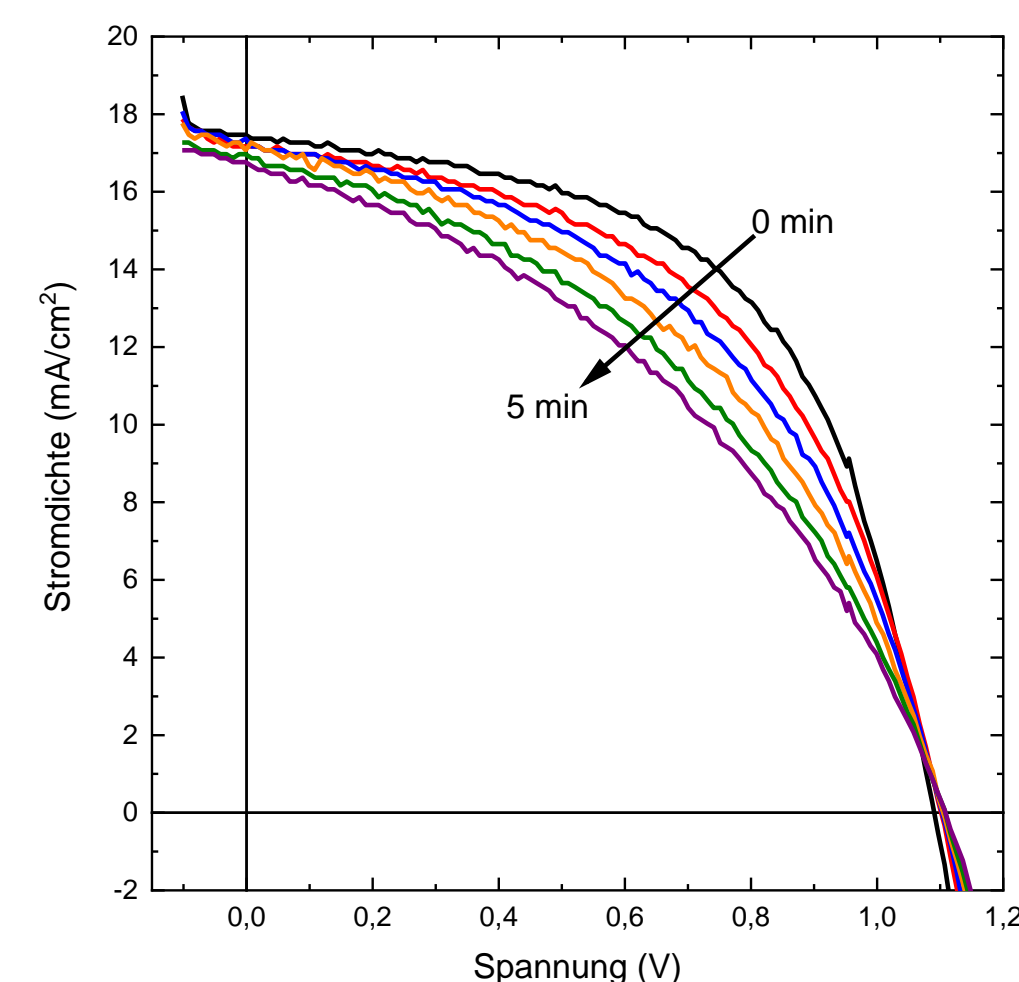
- Starker Einfluss der elementaren Zusammensetzung auf Bandlücke und Stabilität
- Publizierte Wirkungsgradrekorde auf Flächen < 1.5 cm²

Degradation durch Rückwärtsspannung

Durchbruchspannung > 5 V



Degradation durch -2 V

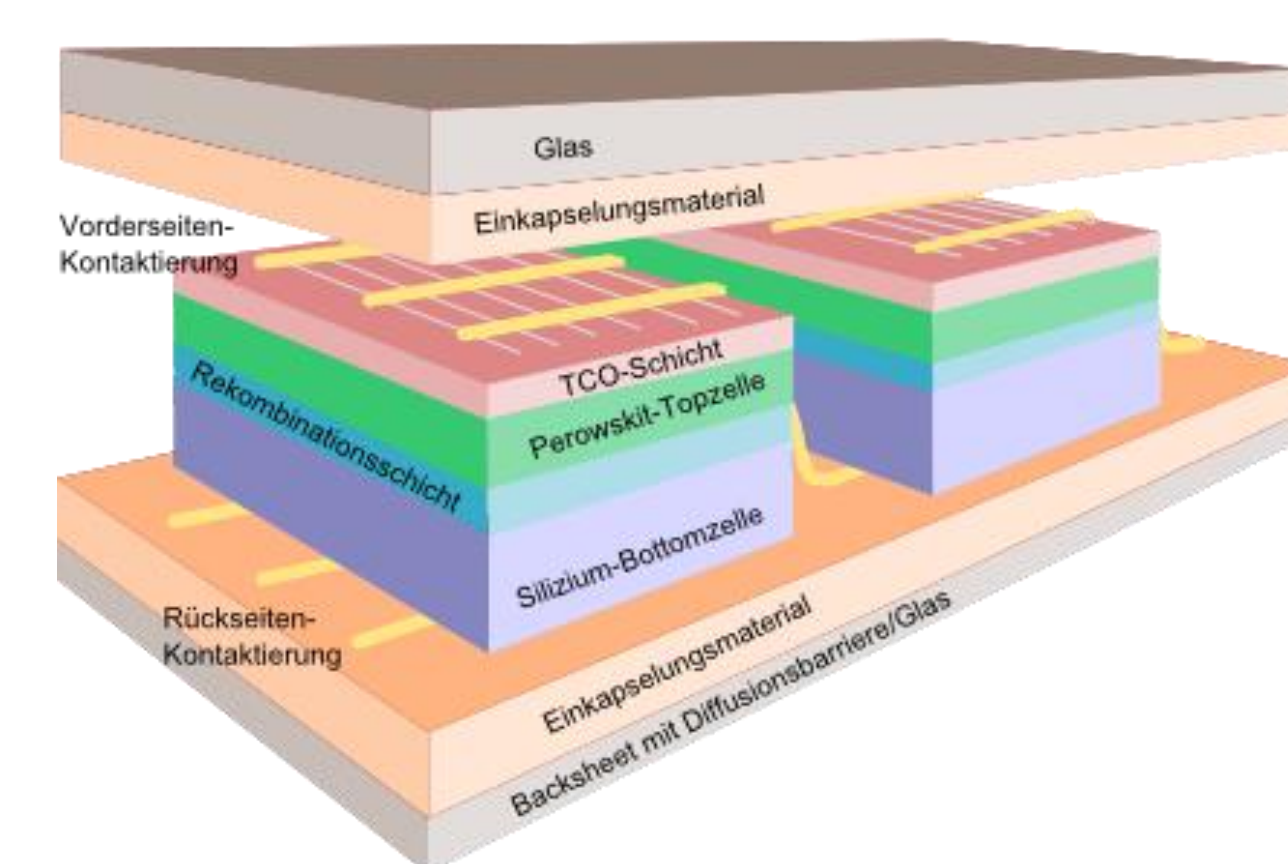


- Rückwärtsspannung bei Teilverschattung von Solarmodulen
- Degradation schon bei geringer Rückwärtsspannung (z.B. 2 V)

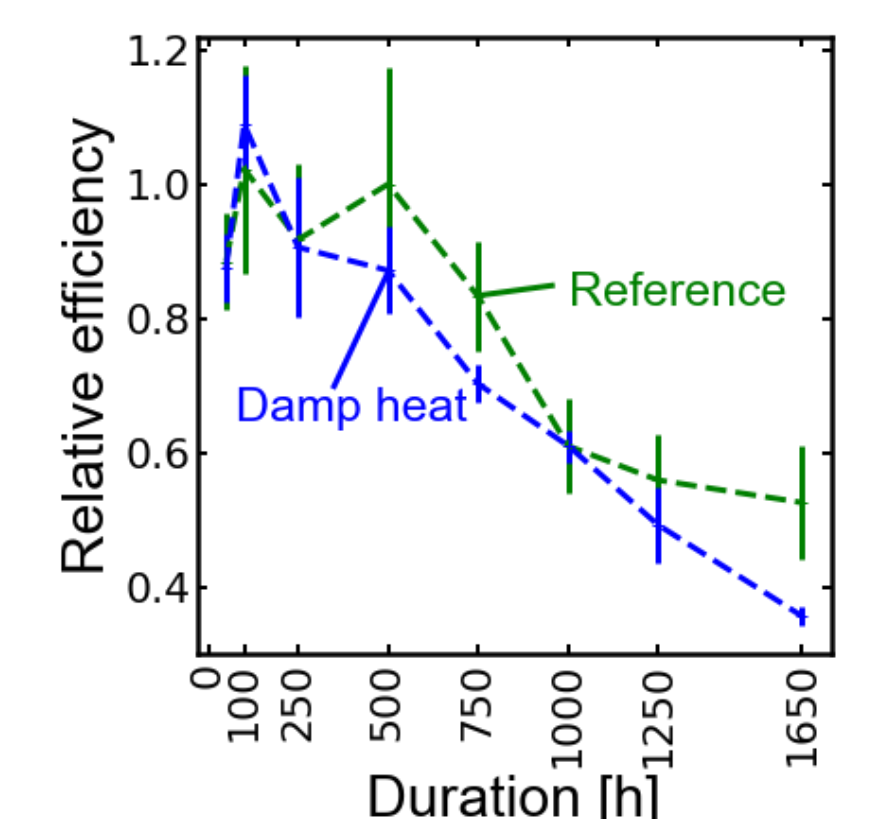
M. Richter, Strom- und Spannungsverhalten von Perowskit-Solarzellen beim Anlegen von Spannung in Rückwärtsrichtung, *Masterarbeit*, ISFH (2021)

Modul als Schutz vor Umwelteinflüssen

Einbetten verschalteter Solarzellen in Einkapselungsmaterial zwischen Gläsern oder Folien



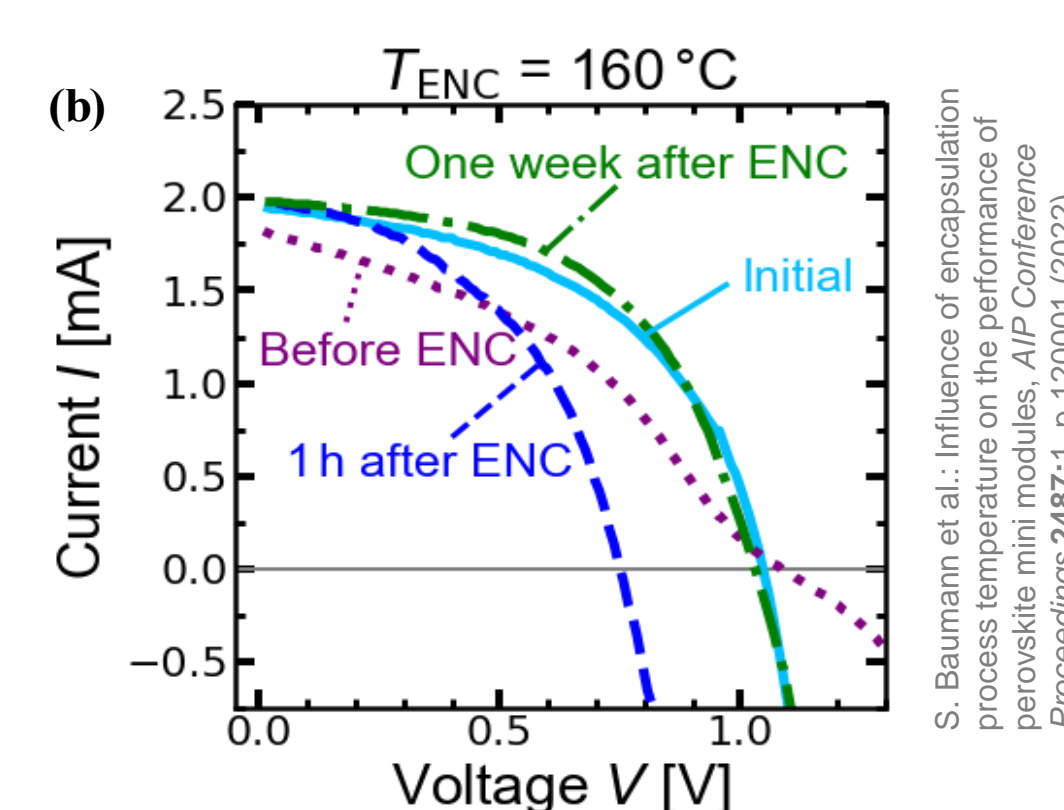
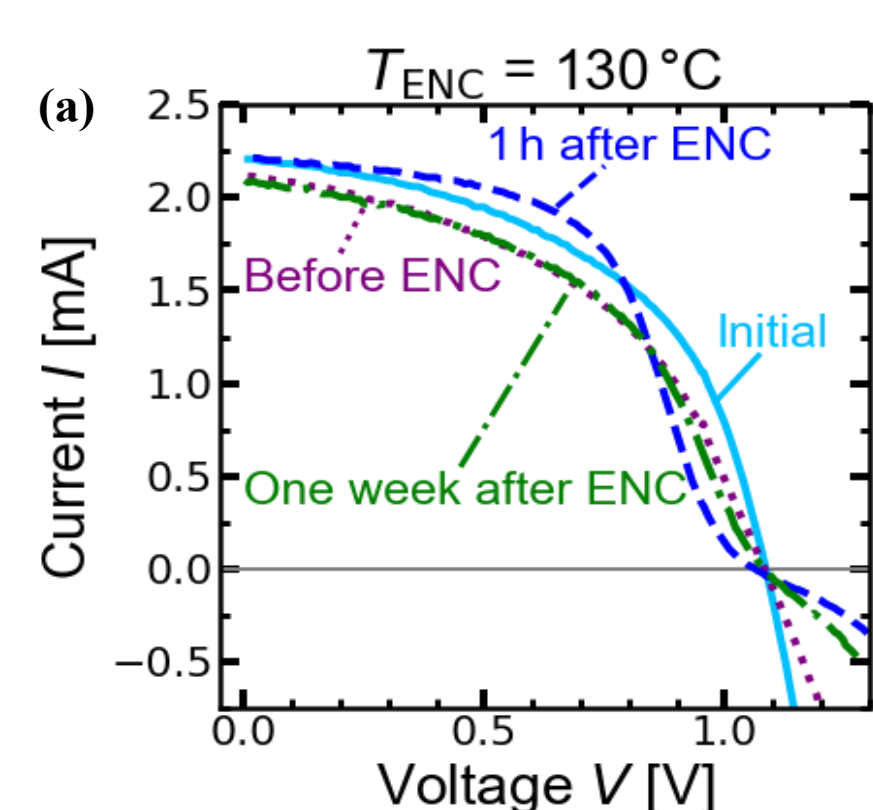
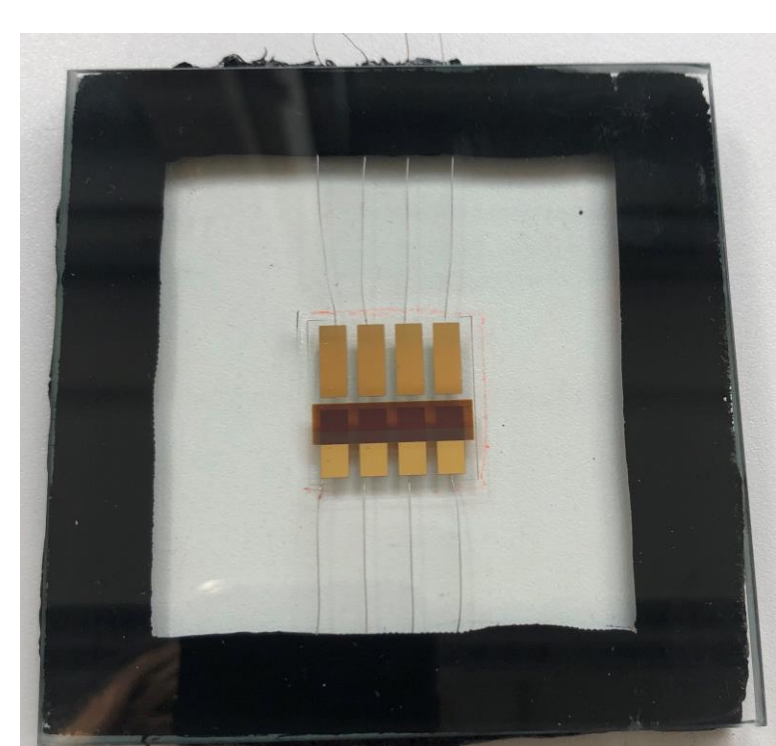
Moduleinkapselung schützt vor extrinsischer Degradation durch Feuchte und Wärme



- Perowskit-Module müssen absolut wasserdicht sein

S. Baumann et al., Influence of encapsulation process temperature on the performance of perovskite mini-modules, *AP Conference Proceedings* 24871, p. 120001 (2022)

Einfluss der Laminationstemperatur

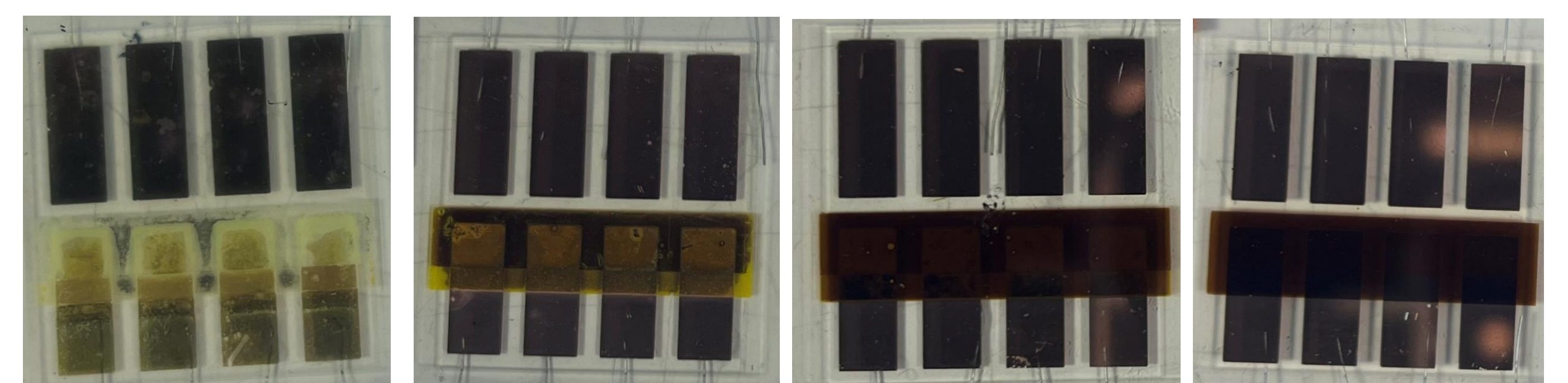


- Si-Industrienaher Laminationsprozess
- Keine dauerhafte Degradation durch Lamination bei 160 °C
- Aber zeitweiser V_{OC} Verlust bei hoher Prozesstemperatur

S. Baumann et al., Influence of encapsulation process temperature on the performance of perovskite mini-modules, *AP Conference Proceedings* 24871, p. 120001 (2022)

Backsheets mit Diffusionsbarrieren

Für Si üblich ohne Barriere Backsheet 1 mit Barriere Backsheet 2 mit Barriere Referenz



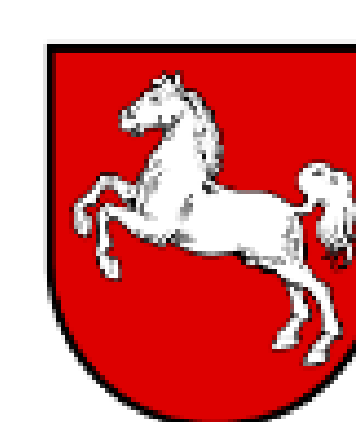
- Feuchte reagiert mit Metall und mit Perowskit zu gelbem PbI_2
- Feuchtebarriere in Backsheet 2 nach 300 h Feuchte-Wärme-Prüfung effektiver als in Backsheet 1

Fazit

- Perowskite haben Herausforderungen bzgl. der Zuverlässigkeit; Feuchtigkeitsstabilität durch Moduleinkapselung gelöst, Wärme- und Rückwärtsspannungsempfindlichkeit müssen bei Modulprozessen berücksichtigt werden
- Perowskit-Tandem-Solarzellen als großes Potential den Flächenverbrauch der PV zu senken und das Erreichen der Ausbauziele zu erleichtern¹

¹N. S. Schnoor und H. Flügge, *Whitepaper im Auftrag von Oxford PV* (2023)

Diese Arbeit wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), dem Land Niedersachsen und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWi) gefördert. Die Autor*innen danken für die Unterstützung.



Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH)

Am Ohrberg 1, 31860 Emmerthal, Telefon +49(0)5151 999-100, E-Mail info@isfh.de, Internet www.isfh.de