

# NanoCool

Nanoimprinted surfaces for passive cooling of solar cells

|                                 |   |                        |            |
|---------------------------------|---|------------------------|------------|
| <b>Programm / Ausschreibung</b> | EW 24/26, EW 24/26, Energieforschung 2024 FTI - Fokusinitiativen  | <b>Status</b>          | laufend    |
| <b>Projektstart</b>             | 01.11.2025  | <b>Projektende</b>     | 31.10.2028 |
| <b>Zeitraum</b>                 | 2025 - 2028   | <b>Projektlaufzeit</b> | 36 Monate  |
| <b>Keywords</b>                 | Passive Radiative Cooling; Nanoimprint Lithography; Sustainable Materials; Energy Efficient Photovoltaics; Sustainable Additive Manufacturing |                        |            |

## Projektbeschreibung

Solarenergie ist eine wichtige nachhaltige Energieressource, die durch Photovoltaik (PV) nutzbar gemacht werden kann. Der Wirkungsgrad nimmt mit steigender Betriebstemperatur ab, wobei kristalline Siliziumzellen (c-Si) etwa 0,5 % und Dünnschichtmodule aus Cadmiumtellurid (CdTe) 0,21 % and Wirkungsgrad pro 1 K Anstieg verlieren. Höhere Temperaturen verdoppeln auch die Alterungsrate von Solarzellen alle 10 K. Um der solaren Erwärmung und ihren negativen Auswirkungen auf den Wirkungsgrad und die Lebensdauer von Photovoltaikanlagen zu begegnen, können passive Kühlmethoden eingesetzt werden. Bei der passiven Kühlung handelt es sich um eine energiefreie Strategie, die vorhandene Ressourcen nutzt. Eine zunehmend beliebte Methode ist die passive Strahlungskühlung (PRC). Im Rahmen des NanoCool-Projekts werden multifunktionale Folien entwickelt, die das Problem der Erwärmung von Solarzellen angehen, indem sie passive Strahlungskühlung (durch einen hohen Emissionsgrad des atmosphärischen spektralen Fensters), Anti-Verschmutzungs-/Anti-Vereisungseigenschaften und effizientes Lichtmanagement in einer strukturierten Verbundbeschichtung vereinen. Die Entwicklung solcher Schichten erfordert die Optimierung der Durchlässigkeit für sichtbares Licht in Verbindung mit der Reflexion von Licht im nahen Infrarot und der Emission durch das atmosphärische Fenster. Dies geschieht durch gezielte Materialauswahl, Kontrolle der Nanopartikelgröße, Anpassung des Brechungsindex und Strukturierung der Schicht. Darüber hinaus wird sich NanoCool auf die Entwicklung eines mehrschichtigen Foliendesigns konzentrieren, das sowohl funktionelle Leistungen (optisch, mechanisch, Grenzflächen) als auch ein praktikables Upscaling auf Produktionsprozesse ermöglicht. Um dieses Gleichgewicht zu finden, müssen im Rahmen des Projekts unbedingt verschiedene Strukturkombinationen, Schichtfolgen und Herstellungsprozesse berücksichtigt und getestet werden. Mit dem endgültigen Beschichtungsdesign wird die Hochskalierung der Produktion mit Rolle-zu-Rolle (R2R) und Nanoimprint-Lithographie (NIL) durchgeführt, um robuste Vorlagen für die industrielle Fertigung zu schaffen. Ziel von NanoCool ist es, Folien zu entwickeln, die sowohl auf neue als auch auf bereits vorhandene PV-Module aufgebracht werden können, um deren PV-Leistung zu verbessern und Anwendungsbereiche zu erweitern. Durch das Aufbringen von Folien, ist eine einfach Nachrüstung sowie Reparatur der Beschichtung durch Austausch der Folien möglich. Im Falle integrierter Beschichtungen müsste hingegen bei Beschädigung die gesamten PV-Abdeckung bzw. das Modul ausgetauscht werden. Es wird erwartet, dass die Folien nicht nur die thermische Belastung der PV-Zellen verringern, sondern auch dazu beitragen, ihre Leistung über längere Zeiträume

aufrechtzuerhalten, was zu effizienteren Solarenergiesystemen beiträgt. Das Endergebnis von NanoCool wird ein vielfältiger Werkzeugkasten für das Design von PRC-Folien sein, der die maßgeschneiderte Integration verschiedener Folieneigenschaften für weitere Anwendungen ermöglichen wird, einschließlich, aber nicht beschränkt auf die Kühlung von Fenstern, Dächern und Maschinen in verschiedenen Zielumgebungen.

## **Abstract**

Solar energy is a key sustainable energy resource that can be harnessed through photovoltaics (PV). However, solar heating can reduce the electrical conversion efficiency of PVs. This efficiency declines with increased operating temperatures, with crystalline silicon (c-Si) cells losing about 0.5% and thin film Cadmium telluride (CdTe) modules 0.21% per 1 K rise. Higher temperatures also double the aging rate of solar cells every 10 K. To address solar heating and its adverse effects on the power conversion efficiency and operating lifetime of PVs, passive cooling methods could be employed. Passive cooling is an energy-free strategy that utilizes available resources. One increasingly popular passive method is passive radiative cooling (PRC). Within the NanoCool project, multifunctional films will be developed that address the heating issues by incorporating passive radiative cooling (through high atmospheric window emissivity), anti-soiling/anti-icing capability, and efficient light management in a structured composite coating. Designing such films requires the optimization of visible light transmission coupled with near infrared light reflection and atmospheric window emission. This will take place through targeted materials selection, nanoparticle size control, refractive index matching, and film structuring. Additionally, NanoCool will focus on developing a multi-layered coating design, which provides functional performance (optical, mechanical, interfacial) as well as viable upscaling to production processes. To find this balance, it is imperative that different structure combinations, layer sequences, and fabrication processes are considered and tested during the project. With the final coating design, upscaling production will be performed with roll-to-roll (R2R) and nanoimprint lithography to recreate robust masters for high-throughput manufacturing. NanoCool aims to realize films that can be applied to both new and pre-existing PV modules, widening their applicability and improving PV performances. Through film application, rather than as an integrated component on PV modules, retrofitting as well as repair/replacement only of films, rather than requiring replacement of entire PV covers/modules in the event of damage would be possible. These films are expected to not only reduce the thermal load on PV cells but also help maintain their performance over longer periods, contributing to more efficient solar energy systems. The end result of NanoCool will be a diverse toolbox for PRC film design which can allow for tailored integration of different film features for other applications, including but not limited to cooling of windows, rooftops, and machinery under different targeted environments.

## **Projektkoordinator**

- Österreichische Akademie der Wissenschaften

## **Projektpartner**

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH
- Hueck Folien Gesellschaft m.b.H.
- Universität Wien
- UpNano GmbH