The German spirit of quality since 1854

SiLi SIGMUND LINDNER

SiLibeads®

Glaskugeln als optische Elemente in der Konzentrator-Photovoltaik

Dr.-Ing. Sebastian Lehmann, Hakan Okan, Dr. Alexander Wölfel, Karin Scheidt

Einleitung

Mit einer jährlich erzeugten Leistung von etwa 600.000 kWh aus der firmeneigenen Freiflächen-Photovoltaikanlage nutzt die Sigmund Lindner GmbH (SiLi) seit vielen Jahren die Kraft der Sonne, um ihre Produkte nachhaltig zu produzieren. Während in höheren Breitengraden vor allem Flächen-PV-Module zum Einsatz kommen, lässt sich in Regionen mit hoher solarer Direkteinstrahlung Sonnenstrom auch mittels Konzentrator-Modulen (CPV Module, concentrator photovoltaics) gewinnen.

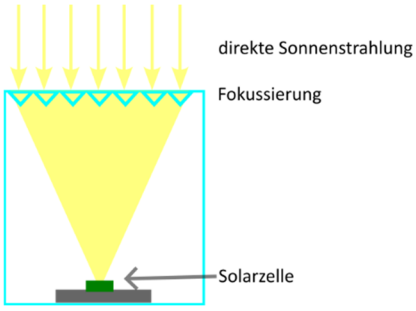

Abbildung 1: Schematisches Prinzip CPV (concentrator photovoltaics)

CPV Module konzentrieren das Sonnenlicht bis zu 1000-fach auf ein kleines stromerzeugendes Element (vgl. Abbildung 1). Dies reduziert den Bedarf an teurem Halbleitermaterial erheblich. Zudem kann durch eine Kombination verschiedener Halbleiterschichten in den nur noch wenigen mm^2-großen Solarzellen nahezu das ganze Sonnenspektrum von UV- bis IR-Licht genutzt werden. Mit der fortschreitenden Miniaturisierung von CPV Modulen steigt jedoch die Anforderung an eine präzise Ausleuchtung der Zellen, um eine optimale Effizienz zu gewährleisten [1, 2].

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Projekts „micro-CPV – Entwicklung eines CPV Moduls auf Basis modernster Micro-Fertigungstechnologie“ ging SiLi deshalb zusammen mit dem Fraunhofer ISE und weiteren Projektpartnern der Frage nach, ob die Effizienz und Fehlertoleranz von CPV Modulen durch den Einsatz von SiLibeads® Glaskugeln als zusätzliche Kugellinsen vor der Solarzelle weiter gesteigert werden können.

SiLibeads® Glaskugeln als optische Elemente

Seit Jahrzehnten fertigt SiLi technische Glaskugeln von höchster Qualität unter Einsatz modernster Technologien und Anlagentechnik. Diese finden Anwendung in Bereichen wie Pharma (z.B. Mischkugeln in Insulinampullen), Lebensmittel (Verschlusskugeln) und Trinkwasseraufbereitung (Stütz- und Filtermaterialien). SiLibeads® Glaskugeln werden weiter als Mahlkugeln, Dispergierkugeln, Füllperlen, Reflexperlen und Strahlglaskugeln eingesetzt [3].

Abbildung 2: SiLi-Glaskugeln [3]

Der im Projektrahmen neu hinzugekommene optische Anwendungsbereich erforderte für SiLi erstmals die Berücksichtigung spezifischer Transmissionseigenschaften der Gläser. Basierend auf den langjährigen Erfahrungen im Bereich der thermischen Formgebung der Typ-S Glaskugeln wurde erfolgreich der ökonomische (Massen-) Herstellungsprozess auf Glaskugeln aus eisenarmen „Solarglas“ übertragen. Mithilfe verschiedener Nachbearbeitungsschritte, darunter Sieben, Sortieren nach Rundheit und/oder Polieren, denen alle SiLibeads® Glaskugeln je nach Anwendungsfall unterzogen werden, konnten die fürs Projekt spezifizierten Toleranzen in Durchmesser, Durchmessertreue, Rundheit und Oberflächengüte präzise eingestellt werden.

Zur weiteren Steigerung der CPV-Moduleffizienz wurden die hergestellten Kugellinsen antireflektierend beschichtet. Um eine Verbesserung der Transmissionseigenschaften über das gesamte nutzbare solare Spektrum zu erreichen, wurde mittels eines Sol-Gel-Prozesses das „Mottenaugen-Prinzip“ auf die Kugeloberfläche übertragen [4].

Einsatz der SiLibeads® Glaskugeln in micro-CPV Modulen

Die im Projekt hergestellten Solarglaskugeln wurden gemeinsam mit dem Fraunhofer ISE spektrometrisch auf ihre Transmissionseigenschaften untersucht. Dazu wurde jeweils die mittlere Transmission einer Monolage vieler Kugeln zwischen zwei Trägergläsern aufgenommen. Die Transmission der einzelnen Kugel ist insgesamt höher, konnte jedoch nicht direkt gemessen werden [5]. Abbildung 3 zeigt im Wellenlängenbereich von 0,25 bis 2,5 µm exemplarisch die nach verschiedenen Prozessschritten erreichten Transmissionssteigerungen gegenüber einer Referenzmessung an einer Lage Standard Typ-S Kalknatron-Glaskugeln. Durch die beschriebenen Maßnahmen wurde die mittlere Transmission gegenüber der Referenz um 5 – 7 % gesteigert.

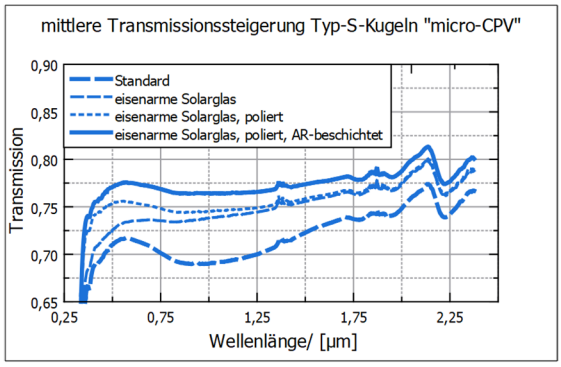

Abbildung 3: Erzielte Transmissionssteigerung der Solarglaskugeln nach verschiedenen Prozessschritten gegenüber einer Referenzkugel aus Standardglas.

Im Rahmen des Projekts führte das Fraunhofer ISE außerdem verschiedene Modultests durch, in denen sowohl antireflektierend beschichtete als auch unbeschichtete SiLibeads® Glaskugeln in micro-CPV Module integriert wurden (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Prototyp eines Micro-CPV Moduls montiert auf der Nachführeinheit am Fraunhofer ISE in Freiburg mit 60 Solarzellen-Linseneinheiten (Foto: © Fraunhofer ISE).

Über den Verlauf eines Jahres wurde gezeigt, dass das im Projekt erarbeitete micro-CPV Modul einen stabilen Betrieb bei hohen Effizienzen ermöglichte [6]. Mit dem Erfolg des Projekts „micro-CPV“ hat SiLi gezeigt, dass technische Glaskugeln nicht nur in klassischen Anwendungsfeldern überzeugen, sondern auch in hochinnovativen Bereichen wie der Photovoltaik wertvolle Beiträge leisten können.

Danksagung

Wir danken allen beteiligten Projektpartnern für Ihre Unterstützung, insbesondere P. Nitz, L. Treumann, E. Kaiser, P. Schöttl, M. Wiesenfarth und H. Helmers vom Fraunhofer ISE für die bereitgestellten Bilder und Daten.

Der Text wurde sprachlich und stilistisch mit ChatGPT optimiert, um die Lesbarkeit und Verständlichkeit zu erhöhen, ohne technische Details zu vernachlässigen.

Das Projekt wurde finanziert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Quellen

[1] M. Wiesenfarth, S. P. Philipps, A. W. Bett, K. Horowitz, und S. Kurtz, „Current Status of Concentrator Photovoltaic (CPV) Technology“. April 2017. Zugegriffen: 19. November 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/studie-current-status-of-concentrator-photovoltaic-cpv-technology.html

[2] E. Kaiser, M. Wiesenfarth, P. Schöttl, M. Steiner, S. W. Glunz, und H. Helmers, „Effect of manufacturing tolerances on Micro-CPV assemblies: A quantitative approach based on statistical modeling“, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Bd. 279, S. 113256, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.solmat.2024.113256.

[3] „Homepage Sigmund Lindner GmbH“. [Online]. Verfügbar unter: www.sili.eu

[4] A. Gombert, „Mikrooptik im großen Stil“, *Phys. J.*, Bd. 1, Nr. 9, S. 37–42, 2002.

[5] L. Treumann, P. Schöttl, T. Schmidt, und P. Nitz, „Characterization of antireflective coatings on a spherical lens secondary optical element“, gehalten auf der 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCENTRATOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS (CPV-18) AND 13TH WORLD CONFERENCE ON THERMOPHOTOVOLTAIC GENERATION OF ELECTRICITY (TPV-13), Miyazaki, Japan, 2023, S. 040002. doi: 10.1063/5.0147642.

[6] E. Kaiser *u. a.*, „Power Rating of a Novel Micro-CPV Module Concept and Operational Influences“, *IEEE J. Photovolt.*, to be published.