

Aus der Forschung

# Wasserstoff produzieren mittels Sonnenlicht

Wasserstoff gilt als einer der vielversprechendsten Energieträger für eine nachhaltige und umweltfreundliche Energieversorgung. In diesem Kontext gewinnt die Nutzung von Sonnenlicht als Energiequelle für die Wasserstoffproduktion immer mehr an Bedeutung. Die direkte solare Wasserspaltung ermöglicht es, Wasserstoff mittels Sonnenlicht herzustellen. Sie stellt eine alternative Variante zum herkömmlichen Weg durch Photovoltaik und nachgeschalteter Elektrolyseur-Einheit dar. Im Rahmen des Fraunhofer-Verbundprojekts »Neo-PEC« wurde diese Technik evaluiert, weiterentwickelt und ein hybrider Demonstrator gefertigt.

## Solare Wasserspaltung

Bei der direkten solaren Wasserspaltung wird ein halbleitendes Material in direkten Kontakt mit einem wässrigen Elektrolyten gebracht. Durch Beleuchtung mit Sonnenlicht werden in dem Material energetisch angehobene Elektronen und sogenannte Löcher generiert. Diese gelangen an die Grenzfläche zum wässrigen Elektrolyten und treiben dort jeweils die chemischen Reaktionen zur Wasserstoff- und Sauerstoffbildung an, die aus der klassischen Elektrolyse bekannt sind.

Im einfachsten Fall kann so ein System z. B. durch Titanoxidpartikel in wässriger Lösung realisiert werden. Die entstehenden Gase gelangen an die Oberfläche und können dort aufgefangen werden.

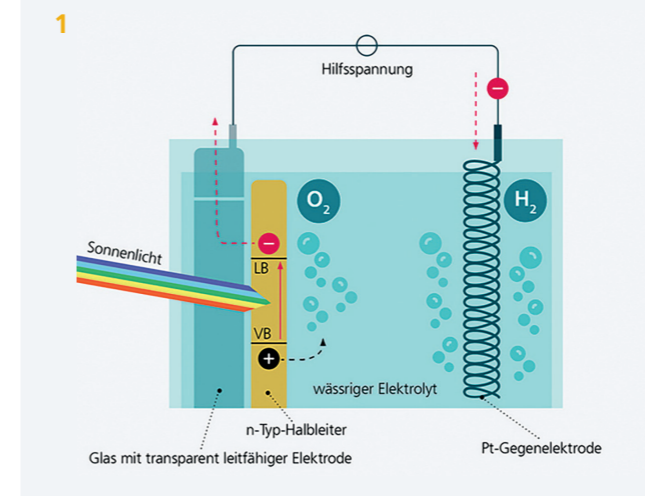
Nachteil des Vorgehens ist jedoch, dass sich dabei Knallgas bildet, eine explosive Mischung von Sauerstoff und Wasserstoff.

## Projektansatz

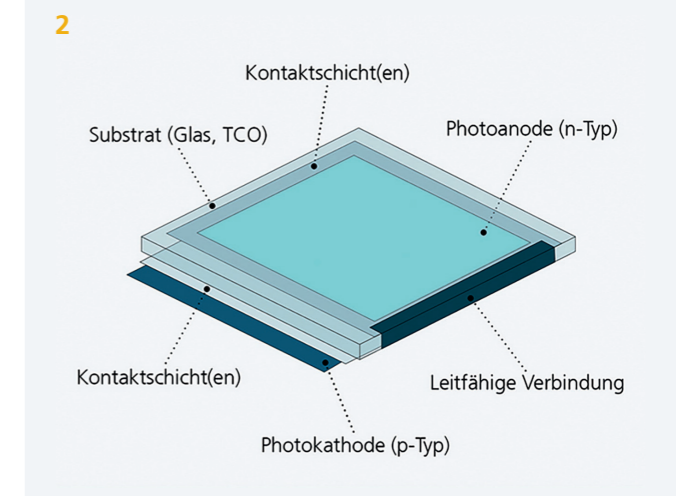
Das Ziel des Projekts »Neo-PEC« war es, im Verbund mit dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS und dem Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP ein neuartiges PEC-Modul zu entwickeln, das in Zukunft grünen Wasserstoff kostengünstig und sauber erzeugt und so eine dezentrale Wasserstoffversorgung ermöglicht.

Dabei sollten die Wirkungsgrade signifikant erhöht, die Nachteile der einfachen partikulären Systeme und weiterer sehr

Auszug aus dem Jahresbericht 2023  
Zur aktuellen Website: [www.ist.fraunhofer.de](http://www.ist.fraunhofer.de)



PEC-Halbzellenaufbau mit einer n-Typ-Photoanode, die leitend mit einer Platin-Gegenelektrode verbunden ist. In dieser hybriden Variante ist i. d. R. noch eine geringe Hilfsspannung erforderlich, bereitgestellt z. B. durch eine Solarzelle.



Darstellung einer Tandemzelle aus je einem n- und p-Halbleiter auf einer Kontaktschicht und einem transparenten, leitfähigen Oxid (TCO) zur Erzeugung von Sauerstoff (Anode) und Wasserstoff (Kathode).

komplexer Systeme<sup>1</sup> vermieden sowie die Kosten deutlich gesenkt werden. Der gewählte Ansatz (vgl. Grafik 1 und 2) bietet einen einfachen Aufbau und den Vorteil, dass Wasserstoff und Sauerstoff getrennt voneinander entstehen und aufgefangen werden können und daher die Bildung von Knallgas umgangen werden kann.

Das Fraunhofer IST brachte dabei seine Expertise in der kostengünstigen Großflächenbeschichtung von hochwertigen Halbleiterabsorbieren mittels physikalischer Gasphasenabscheidung (PVD) ein. Zunächst wurden transparente Trägerplatten mit unterschiedlichen, halbleitenden Materialien beschichtet, die das Sonnenlicht absorbieren, um Wasserstoff und Sauerstoff zu produzieren.

Im Laufe des Projekts wurde das Verfahren stetig optimiert. Anschließend wurden die gefertigten Platten in ein Modul mit Zu- und Ableitungen für den wässrigen Elektrolyten und

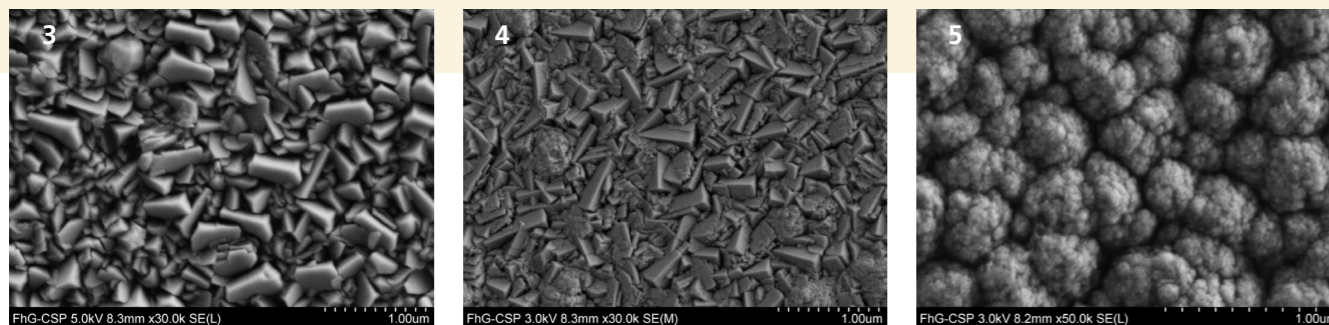
die entstehenden Gase integriert, um das Gesamtsystem im Technikums-Maßstab zu demonstrieren.

## Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts entwickelte und optimierte das Fraunhofer IST verschiedene Halbleitermaterialien mittels Sputterverfahren:

- n-Typ-Halbleiter: SrTiO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, WMoO<sub>3</sub>, WO<sub>3</sub>
- p-Typ-Halbleiter: AgRhO<sub>2</sub>, CuCrO<sub>2</sub>

Die Abbildungen 3 bis 5 zeigen exemplarisch verschiedene Morphologien von WMoO<sub>3</sub>, die an unterschiedlichen Arbeitspunkten abgeschieden und vom Fraunhofer CSP hinsichtlich ihrer Mikrostruktur untersucht wurden.



REM-Aufnahmen von an unterschiedlichen Arbeitspunkten gefertigten WMO<sub>3</sub>-Photoanoden. Photostrom  $j_{photo}$  (2V vs. RHE): 0,935, 0,762 und 0,432 mA/cm<sup>2</sup>, Schichtdicken: 1,88; 1,39; 1,86 µm von links nach rechts.

<sup>1</sup>Cheng et al., Monolithic Photoelectrochemical Device for Direct Water Splitting with 19% Efficiency, ACS Energy Lett. 3 (2018), 1795–1800.



# Neo-PEC

Zur Beurteilung der Güte diente der spannungsabhängige Photostrom, der in der sogenannten Halbzellkonfiguration am Sonnensimulator-Testplatz des Fraunhofer CSP gemessen wurde und ein direktes Maß für die Wasserstoffproduktion ist. 1 mA entspricht hierbei 18,8 mg Wasserstoff. Damit wurde eine segmentierte Photoanode im Technikums-Maßstab von 30 x 30 cm<sup>2</sup> gefertigt, mit der ein Photostrom von 150 mA bei 2 V Hilfsspannung erreicht werden konnte (vgl. Abbildung 7). Derzeit laufen die Abschlussarbeiten zur Integration der Photoanode sowie einer angepassten Solarzelle für die Hilfsspannung in das finale PEC-Modul.

## Ausblick

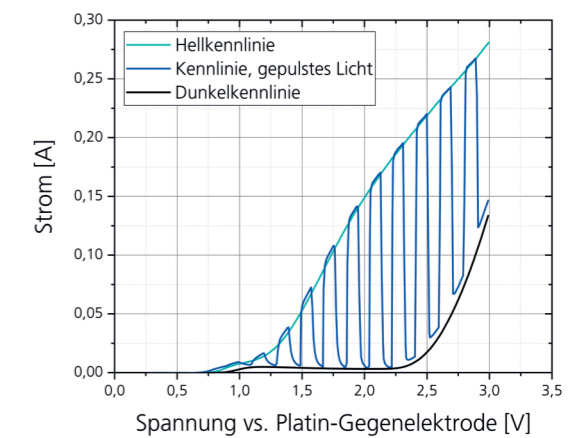
Die Expertise des Fraunhofer IST für die Entwicklung und Realisierung von p- und n-Typ-Halbleitern mittels Sputterverfahren konnte im Rahmen des Vorhabens ausgebaut und für die solare Wasserspaltung demonstriert werden. Perspektivisch ist es erforderlich, die Qualität der Photoanode (oder Kathode) weiter zu steigern, um die Wasserstoffausbeute zu erhöhen, sowie einen Übergang zu Halbleitern mit bandlückenbedingt höherer Ausbeute zu vollziehen. In Kooperation mit Partnern plant das Fraunhofer IST, sich weiterhin bei der Entwicklung effizienter PEC-Module einzubringen und so einen weiteren Beitrag für die Energiewende zu leisten.

## Das Projekt

Das Projekt Neo-PEC – Neuartige, großflächige TandemPEC-Module mit doppeltem Schottky-Übergang zur Wasserstoffgewinnung wurde intern durch die Fraunhofer-Gesellschaft gefördert. Es ist eine Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS (Fertigung und Bereitstellung von Sputtertargets) und dem Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP (Modulbau und photoelektrische Charakterisierung).

*Demonstratormodul mit segmentierter Photoanode zur Vermessung von Photostrom sowie der Wasserstoffproduktion im Sonnensimulator am Fraunhofer CSP.*

6



7

*Biasspannungsabhängiger Photostrom (Hellkennlinie) der segmentierten Photoanode unter Beleuchtung mit künstlichem Sonnenlicht. Messung gegen Titan-Gegenelektrode in 1 molarer Perchlorsäure (HClO<sub>4</sub>), pH-Wert < 2. Die aktive Fläche beträgt 455 cm<sup>2</sup>.*

## Kontakt

Dr. Stephan Ulrich  
Telefon +49 531 2155-618  
stephan.ulrich@ist.fraunhofer.de

4