

PV-Durchbruch

# Energy Harvesting wird wirtschaftlich

*Ob in autonomen Sensorknoten oder in Konsumgütern:  
Grätzel-Zellen ernten Energie aus diffusem Licht – jetzt endlich wirtschaftlich.*

Für die schwedische Exeger ist 2021 ein ganz besonderes Jahr: Die über die vergangenen zwölf Jahre entwickelten „Powerfoyle“-Module auf Basis der Grätzel-Technik bringt das Unternehmen jetzt in höheren Stückzahlen in kommerzielle Produkte. Die ersten Kunden hat Exeger bereits gefunden: Der Fahrradhelm „Omne Eternal“ des Herstellers POC ist der erste energieautarke Fahrradhelm mit integriertem Rücklicht, das immer brennt, sobald der Fahrer den Helm aufsetzt. Der Helm muss nie geladen werden, weil seine Oberfläche aus der PV-Folie von Exeger besteht, die ständig Licht in Strom wandelt. Der Audio-Spezialist Urbanista bringt auf Basis von Powerfoyle den ersten kabellosen, autonom arbeitenden Kopfhörer mit Geräuschunterdrückung auf den Markt.

Die 2011 gegründete Schweizer H.Glass hat ihre Energieglasmodule auf Basis der Grätzel-Zellen bereits ins Feld gebracht. Damit können beispielsweise Glasfassaden von Gebäuden Energie erzeugen. Weil die Module Infrarotstrahlung reflektieren, bleiben die Temperaturen im Gebäude auch bei hoher Sonneneinstrahlung erträglich. Die Energieglasmodule arbeiten beispielsweise im Science Tower in Graz und in Schallschutzwänden an Autobahnen.

Die Oberfläche des Fahrradhelms „Omne Eternal“ von POC besteht aus der „Powerfoyle“ von Exeger. Damit ist er der erste energieautarke Fahrradhelm mit integriertem Rücklicht, das immer leuchtet.



Bild: Ricoh

Das Evaluation Kit mit den drei Panel-Größen für die Versorgung von Sensorknoten von Ricoh

Für den Einsatz in autonomen Sensorknoten hat Ricoh gerade neue PV-Module auf Basis der Grätzel-Zelle vorgestellt, die um 20 Prozent mehr Energie generiert als die bisherigen Typen. In Kühlhäusern und Lagergebäuden könnten sie bereits wirtschaftlich Sensorknoten mit Energie versorgen.

## So funktioniert die Grätzel-Zelle

Doch was steckt hinter den Grätzel-Zellen, die auch unter dem Namen Dye Sensitized Solar Cell (DSSC, elektrochemische Farbstoffsolarzelle) bekannt ist? Die Grätzel-Zelle gehört zu den Dünnschichtsolarzellen und kann Streulicht oder Licht in Innenräumen von Gebäuden besonders effektiv in Strom verwandeln. Im Jahre 1988 meldete Grätzel ein schweizerisches Patent, das als erstes die Verwendung von mesoporösen Halbleiterschichten in photovoltaischen Zellen, insbesondere der Farbstoffsolarzelle, schützt. Heute gibt es über 3000 Patente in diesem Bereich. Die Technik der DSSC wurde dann von Brian O'Regan und Michael Grätzel an der University of California in Berkeley und an der EPFL weiterentwickelt. Die erste Grätzel-Zelle wurde 1991 und in einem Artikel in der Zeitschrift Nature vorgestellt (siehe Interview mit Prof. Michael Grätzel auf S. 16).

Weil die Grätzel-Zellen zu den Dünnschichtsolarzellen gehören, lassen sie sich kostengünstig mithilfe kostengünstiger Prozesse herstellen, beispielsweise auf Rolle-zu-Rolle-Maschinen, wenn es sich bei den Trägermate-



Giovanni Fili, CEO von Exeger

**„Das über die neue Finanzierungsrounde eingesammelte Geld wird in den Bau eines neuen Werks für die Fertigung von Powerfoyle-Modulen in Stückzahlen fließen, eine Revolution für die Energieversorgung von Consumer-Geräten.“**

rialien um flexible Folien handelt. Auf Glas als Träger lassen sie sich ebenfalls in automatisierten kostengünstigen Prozessen herstellen, etwa auf Basis von Siebdruck. Hochreines und vergleichsweise teures Silizium ist nicht erforderlich. Damit fallen geringe Materialkosten an und die Technik verspricht, ein unschlagbares Verhältnis von Leistungsfähigkeit zu Kosten zu erreichen, auch wenn der Wirkungsgrad von Grätzel-Zellen unter dem der Siliziumzellen liegt.

Das Wirkungsprinzip ist ebenfalls etwas anders als das der Silizium-Zellen: Die dünne Schicht aus künstlich hergestellten Farbstoffmolekülen absorbiert das sichtbare Licht, das in Elektrizität umgesetzt wird. Dieser Methode liegt also die Photosynthese über Chlorophyll in Pflanzen als Vorbild zugrunde.

Eine Grätzel-Zelle besteht im Prinzip aus zwei Glasplatten, deren Oberfläche durch eine Oxidschicht aus leitendem Oxid (etwa fluordotiertes Zinnoxid) elektrischen Strom leiten. Auf einem der Gläser befindet sich eine dünne Schicht aus nanoporösem Titanoxid, dessen Oberfläche mit Farbstoffmolekülen bedeckt ist. Gegenüber wird ein Katalysator aufgebracht, beispielsweise Platin oder Kohlenstoff. Dazwischen sind der Elektrolyt (Jod und Kaliumiodid) und stabilisierende Additive eingeschlossen, meist in Form von organischen Lösungen. Das birgt allerdings die Gefahr, dass der flüssige Elektrolyt austreten kann, wenn die Zelle nicht dicht versiegelt wird. Außerdem gingen viele davon aus, dass sie nur eine relativ geringe Lebensdauer erreichen. Deshalb haben sie bisher auf dem Markt keine wesentliche Rolle gespielt. Doch beide Befürchtungen sind inzwischen überholt, die Grätzel-Zellen sind dem Laborstadium schon längst entwachsen und dringen in praktische Anwendungen vor.

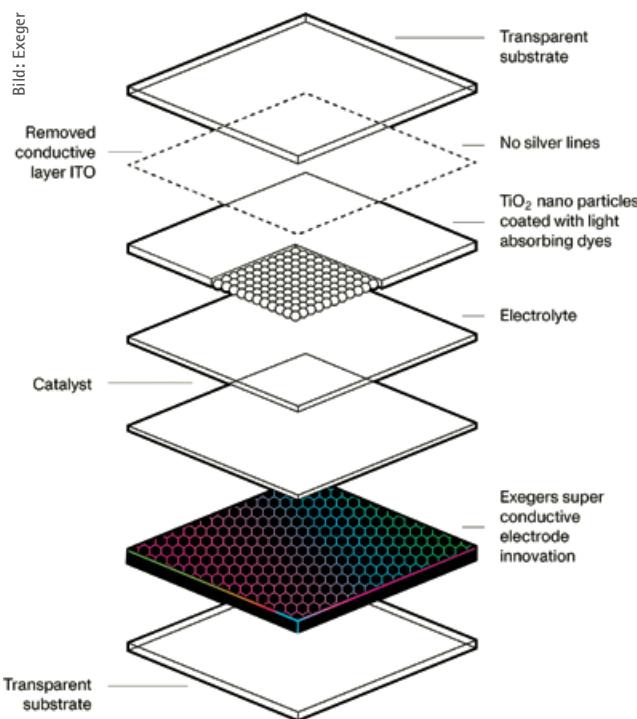
### Ricoh kommerzialisiert die Technik für Kühl- und Lagerhäuser

So ist es Ricoh gelungen, eine DSSC so abzuwandeln, dass sie nur aus festen Stoffen besteht, sodass Leckagen nicht auftreten können. Außerdem hat Ricoh die Farbe auf die Wellenlängen des künstlichen Lichts von Innenbeleuchtungen optimiert, sodass die Zellen deutlich mehr Energie zur Verfügung stellen können als die Vorgängergeneration. Ricoh will damit die Knoten von drahtlosen Sensornetzwerken versorgen und damit viele neue IoT-Anwendungen ermöglichen. Beispielsweise können sie in Lagerhäusern zum Einsatz kommen, aber auch in beleuchteten Kühlhäusern, weil sie bei Temperaturen von  $-30^{\circ}\text{C}$  immer noch effektiv arbeiten.

Ricoh bietet die neuen DSSCs allen Herstellern von Sensoren als unabhängige Stromversorgungen in drei verschiedenen Größen an. Für die Produktentwicklung steht den Entwicklern ein Evaluation Kit mit den drei Panel-Varianten zur Verfügung. Energy Harvesting aus Umgebungslicht sei nun laut Ricoh erstmals zu erschwinglichen Kosten möglich.

### Die Power-Revolution für Konsumgüter

Auch Giovanni Fili, Gründer und CEO von Exeger, sieht die Zusammenarbeit mit POC und Urbanista als Durchbruch: »Dies ist der Funke, der eine Revolution in der Consumer-Elektronik auslösen wird. Den Anwendern stehen jetzt Produkte zur Verfügung, die sich autonom versorgen und ständig eingeschaltet bleiben können.«



Der prinzipielle Aufbau der Powerfoyle-Module von Exeger

nik auslösen wird. Den Anwendern stehen jetzt Produkte zur Verfügung, die sich autonom versorgen und ständig eingeschaltet bleiben können.«

**Nur was nicht geladen werden muss, ist wirklich drahtlos**

Anders Andreen, CEO von Audio-Spezialist Urbanista, sieht ebenfalls eine neue Ära anbrechen: »Ab jetzt können Geräte unseres täglichen Gebrauchs ihre Energie über das Umgebungslicht ernten.« Wirklich drahtlos könnten sich Produkte eben erst dann nennen, wenn sie sich selbst mit Energie versorgen, an-

Anzeige

**Zeit vorbei für Hacker, Cracker und Piraten**

**Im Zeitalter softwaregetriebener Produkte sorgt CodeMeter für**

- Know-how-Schutz vor Reverse Engineering
- Vorteile neuer Geschäftsmodelle für Anbieter und Anwender
- Security by Design für Software- und Gerätshersteller

Schützen Sie Ihre Produkte jetzt [www.wibu.com/sdk](http://www.wibu.com/sdk)

+49 721 931720    [sales@wibu.com](mailto:sales@wibu.com)    [www.wibu.com](http://www.wibu.com)

statt ständig an der Steckdose wieder aufgeladen werden zu müssen, ergänzt Giovanni Fili.

Erst vergangene Woche hat Exeger, zu deren Investoren auch der legendäre 100-Mrd.-Dollar-Vision-Fund von Softbank gehört, die jüngste Finanzierungsrunde über 38 Mio. Dollar abgeschlossen. Mit dem Geld will Exeger eine zweite Fabrik für die Fertigung der Powerfoyle-Module bauen. Auch ABB unterstützt das Un-

ternehmen mit Robotern für die Fertigung im neuen Werk. Bisher hatte Exeger über zwölf Jahre an der Technik geforscht und die Module entwickelt, die in einer Pilotfertigung am Royal Institute of Technology in Stockholm produziert werden.

Inzwischen wird den Grätzel-Zellen auch über die engeren Fachgrenzen hinaus große Aufmerksamkeit zuteil. So wird ihr Erfinder, Prof.

Michael Grätzel, der heute an der Ecole Polytechnique Federale de Lausanne forscht, als Kandidat für den Nobelpreis gehandelt. Das Europäische Patentamt hat Henrik Lindström, CTO und Mitgründer von Exeger, und Giovanni Fili für die erfolgreiche Entwicklung ihrer Powerfoyle-Module als Finalisten in der Kategorie SMEs für den „European Inventor Award 2021“ nominiert. Die Gewinner werden am 17. Juni bekannt gegeben. (ha)

Interview mit dem Erfinder der Farbstoffzelle

# Das IoT wird besonders profitieren

*In der Photovoltaik tut sich was: »Die Module auf Basis der Farbstoffzellen sind hervorragend, jetzt kommen sie in hohen Stückzahlen auf den Markt«, sagt Prof. Michael Grätzel, der Erfinder der Zellen (siehe S. 14), im Gespräch mit Markt&Technik.*

**Markt&Technik:** Bisher hieß es häufig, dass den Farbstoffzellen wegen der erforderlichen flüssigen Elektrolyten Leckagen drohen und sie nicht wirtschaftlich zu fertigen seien. Außerdem würden sie altern. Stimmt das nicht mehr?

**Prof. Michael Grätzel:** Grundsätzlich stimmt es, dass flüchtige organische Elektrolyte Probleme aufwerfen, weil dann die Zellen absolut dicht sein müssen, was für die Produktion eine große Herausforderung ist. Aber es lässt sich auch eine Salzschmelze, eine ionische Flüssigkeit, als Elektrolyt einsetzen; dann entfällt das Problem, weil die Salzschmelze keinen Dampfdruck erzeugt. Es muss also nur gewährleistet sein, dass der Siedepunkt der Elektrolyt-Flüssigkeit über 250 °C liegt, was die Salzschmelze erfüllt. So macht es beispielsweise Exeger. Ricoh hat eine andere Technik entwickelt, die ausschließlich mit Feststoffen arbeitet. Es hat sich über viele Jahre gezeigt, dass die Farbstoffzellen sehr stabil sind. Ich habe eine 20 Jahre alte Zelle bei mir im Büro stehen, die immer noch arbeitet. Außerdem haben lange Versuchsreihen im Freiland über die vergangenen zehn Jahre immer wieder gezeigt, dass die Zellen sehr stabil arbeiten.

**Was sind die großen Vorteile dieser Zellen?**

Ihnen genügt diffuses Umgebungslicht, um mit hoher Effizienz Strom zu erzeugen. Ein

Wirkungsgrad von 35 Prozent ist möglich! Damit eignen sie sich für den Einsatz im IoT-Umfeld. Die Milliarden vernetzte Dinge können damit autark arbeiten, weil sie die Energie aus dem Umgebungslicht sehr effektiv ernten können. Das wird den IoT-Anwendungen noch einmal einen neuen Schub geben; Ricoh beispielsweise zielt auf diesen Markt ab. Das Gleiche gilt für vernetzte Consumer-Geräte, wie Exeger zeigt.

**Wie entwickelt sich der Markt für die Farbstoffzellen mit Glas als Träger?**

An sich sehr gut, der Bedarf für Fassaden von Gebäuden, Schallschutzwänden an Autobahnen, Ballustraden oder auch für Gewächshäuser wäre da – leider fehlt es jetzt gerade in der Pandemie an Firmen, die ihn bedienen.

Hier können die Farbstoffzellen übrigens einen weiteren großen Vorteil ausspielen: Sie reflektieren Infrarotlicht, dann wird es im Sommer hinter der Glasfassade nicht zu warm. Meine Schwester hat ihren Wintergarten mit diesen Modulen ausgestattet. Mit dem gewonnenen Strom lässt sich zusätzlich noch ein Ventilator betreiben – jetzt kann man sich den ganzen Sommer über dort aufzuhalten, auch wenn die Sonne draufknallt.

Für Gewächshäuser lässt sich der Farbstoff so wählen, dass er das blaue Licht herausfiltert,



Prof. Michael Grätzel,  
École Polytechnique Fédérale in Lausanne

**„ Die Einsatzmöglichkeiten der Farbstoffzellen werden dem IoT neuen Schub geben, weil viele der Milliarden von vernetzten Dingen künftig autark über das Umgebungslicht Energie ernten können. “**

das die Pflanzen nicht so mögen. Gleichzeitig erzeugen die Farbstoffzellen Strom.

**Warum hat es so lange gedauert, bis die Farbstoffzellen in größeren Stückzahlen den Weg auf den Markt gefunden haben?**

Die Jahre nach der Krise 2008/9 waren aus verschiedenen Gründen für die Photovoltaik-industrie in Europa sehr schwierig. Damals war praktisch kein Investorengeld mehr zu bekommen, ab 2012 ging es dann so langsam