



Der Sensor zeigt intensive Farben bei niedriger Umgebungstemperatur.

## Kolloidkristall als Sensor

Ein autonomer, fälschungssicherer Sensor integriert über Zeit und Temperatur.

Damit Leistungsbatterien einwandfrei funktionieren und Nahrungsmittel oder medizinische Wirkstoffe keinen Schaden nehmen, gilt es, bestimmte Temperaturgrenzen einhalten. Ideale Sensoren sind einfach abzulesen, fälschungssicher, billig in der Herstellung und erfordern keine Energieversorgung. Einen Ansatz auf Basis von Kolloidkristallen hat kürzlich ein Team der Universität Bayreuth vorgestellt.<sup>1)</sup> Der Sensor verändert sich irreversibel, was ohne Hilfsmittel mit bloßen Augen erkennbar ist.

Kolloidkristalle zeichnen sich durch symmetrische Nanostrukturen aus kugelförmigen Partikeln aus. Bei Lichteinfall erzeugt die Oberfläche schillernde Farben. Der Sensor nutzt aus, dass sich durch die kontrollierte Beimischung geeigneter Partikel dünne Schichten erzeugen lassen, die ihr Aussehen verändern, wenn die Umgebungstemperatur einen bestimmten Wert überschreitet. Wie lange die Schicht der erhöhten Temperatur ausgesetzt war, ist ebenfalls zu erkennen. Den Kolloidkristallen sind Polymerpartikel beigemischt, die sich nur in ihrer Glasübergangstemperatur un-

terscheiden. Bei der Tauchbeschichtung mit anschließender Trocknung entsteht entlang einer Sensorachse ein Gradient in der Konzentration dieser Partikel. Der Sensor entfärbt sich bei Partikeln mit niedrigerer Glasübergangstemperatur früher als bei Partikeln mit höherer Temperatur. Im Labor arbeitete das Team mit Schichten, deren Glasübergangstemperaturen zwischen 50 und 90 °C lagen.

## Fehlersuche bei Tageslicht

Ein Testsystem erkennt Defekte in Solarmodulen bei grellem Sonnenlicht.

Module auf Siliziumbasis machen etwa 90 Prozent der weltweiten Photovoltaik-Installationen aus. Defekte können bei Herstellung oder Transport entstehen und den Wirkungsgrad deutlich senken. Bisherige Methoden zu deren Nachweis haben verschiedene Nachteile. Beim Elektrolumineszenzverfahren fließt ein modulierter elektrischer Strom durch das Modul. Ein Defekt verkürzt die Lebensdauer der Minoritätsladungsträger, wenn der Teststrom fließt. Dadurch sinkt die Emissionsintensität, deren Maximum um 1150 nm liegt. Das Verfahren funktioniert nur in abgedunkelten Räumen oder bei Nacht zuverlässig, weil sonst zu viel Streulicht das Signal verwascht. Forschende der chinesischen Nanjing University of Science

and Technology erzielten nun auch bei direkter Sonneneinstrahlung Ergebnisse.<sup>3)</sup>

Sie verwendeten einen mit 10 Hz modulierten Strom und detektierten das Lumineszenzsignal durch eine InGaAs-Kamera mit hoher Bildfrequenz. Der optimale Abstand zum Modul beträgt 1,5 bis 2,5 m, um Flächen von  $3 \times 3 \text{ m}^2$  zu erfassen. Liegt die Zahl der Einzelbilder beim Zehnfachen der Modulationsfrequenz, dauert die Messung eines Moduls etwa 30 s. Ein Algorithmus unterscheidet unter anderem anhand der Phasendifferenzen des Lumineszenzsignals fehlerhafte von fehlerfreien Bereichen. Die Zuverlässigkeit, Defekte im Labor zu erkennen, beträgt mehr als 90 % bei Bestrahlungsstärken von  $0,2 \text{ W/m}^2$  (nachts),  $570 \text{ W/m}^2$  (Sommermorgen) und  $1300 \text{ W/m}^2$  (Mittagszeit im Sommer).

## Licht statt Schall

Mikrofone lassen sich mit einem Laser-Doppler-Vibrometer kalibrieren.

Zum Kalibrieren von Mikrofonen dient ihre Empfindlichkeit auf Druckwellen. Alle heutigen Verfahren basieren auf einem akustischen Ansatz, bei dem Referenzmikrofone als Standard dienen. Ein Team des amerikanischen National Institute of Standards and Technology (NIST) in Gaithersburg und der Temple University in Philadelphia hat nun gezeigt, dass sich auch optische Messungen eignen.<sup>2)</sup>

Das Team erfasste mit einem Laser-Doppler-Vibrometer die Geschwin-



Der Laserstrahl trifft auf die Membran des Mikrofons (roter Punkt).

1) M. Schöttle et al., *Adv. Mater.* **33**, 2021948 (2021)

2) R. Wagner et al., *JASA Express Lett.* **1**, 082803 (2021)

3) S. Wu et al., *Appl. Opt.* **60**, 8875 (2021)

digkeit an verschiedenen Punkten der schwingenden Mikrofonmembran und ermittelte so die Volumengeschwindigkeit der Schallquelle. Die Untersuchungen erfolgten bei 250 und 1000 Hz mit Mikrofonen in Laborqualität. Dabei beschränkten sich die Messungen auf die inneren drei Prozent der Membranfläche, damit die Signale nicht zu stark veräuschten. Ein Vergleich der optischen Messergebnisse mit einer der etablierten akustischen Methoden ergab ähnliche Unsicherheiten von  $\pm 0,05$  dB. Dabei lässt sich die optische Messung deutlicher schneller vorbereiten und durchführen als eine akustische. Im Idealfall bilden die Untersuchungen den Grundstein für einen neuen internationalen Standard der Mikrofonkalibrierung.

## Bedampfung von Schüttgut

Aluminiumbeschichtetes Zeolithgranulat erlaubt nachhaltige Wärmetauscher.

Energiespeicher helfen, die Schwankungen bei der Erzeugung erneuerbarer Energien auszugleichen. Gestalt und Dimensionen der Speicher hängen von der konkreten Anwendung ab. Als Wärmespeicher eignen sich zum Beispiel Zeolithe. Kommen sie mit Wasserdampf in Berührung, adsorbieren sie ihn aufgrund ihrer Hygroskopie an ihrer großen inneren Oberfläche und geben die ge-

speicherte Wärme wieder ab. Die schlechte Wärmeleitfähigkeit der Zeolithe verhindert es, dieses Verhalten in Wärmetauschern auszunutzen. Daher haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP in Dresden ein Verfahren entwickelt, um industriell gefertigte Zeolithe mit Aluminium zu beschichten. Das verdoppelt die Wärmeleitfähigkeit; möglich scheint ein Faktor fünf bis zehn.

Weil Zeolith als Granulat vorliegt, muss ein industriell interessantes Verfahren die Beschichtung auf Schüttgut realisieren. Das FEP-Team hat eine Anlage entwickelt, die ein bis zwei Liter Schüttgut in einem Durchgang beschichten kann. Das Granulat rotiert dabei im Hochvakuum in einer Trommel. Entlang ihrer waagerechten Achse wird das Aluminium über eine kontinuierliche Drahtverdampfung abgegeben und schlägt sich auf den einzelnen Körnern nieder. Bislang bekamen die untersuchten Granulate mit Körnungen zwischen 1 und 3 mm mehrere Mikrometer dicke Beschichtungen. Machbar sind Beschichtungs-raten von  $1 \mu\text{m}/\text{min}$ . Wichtig ist es, Wärmeleitfähigkeit und Adsorption gleichzeitig zu optimieren.

Das Team sucht nun Partner, um die Technologie an die Anforderungen thermochemischer Speicher-materialien für Wärmespeicher und Wärmepumpensysteme anzupassen.

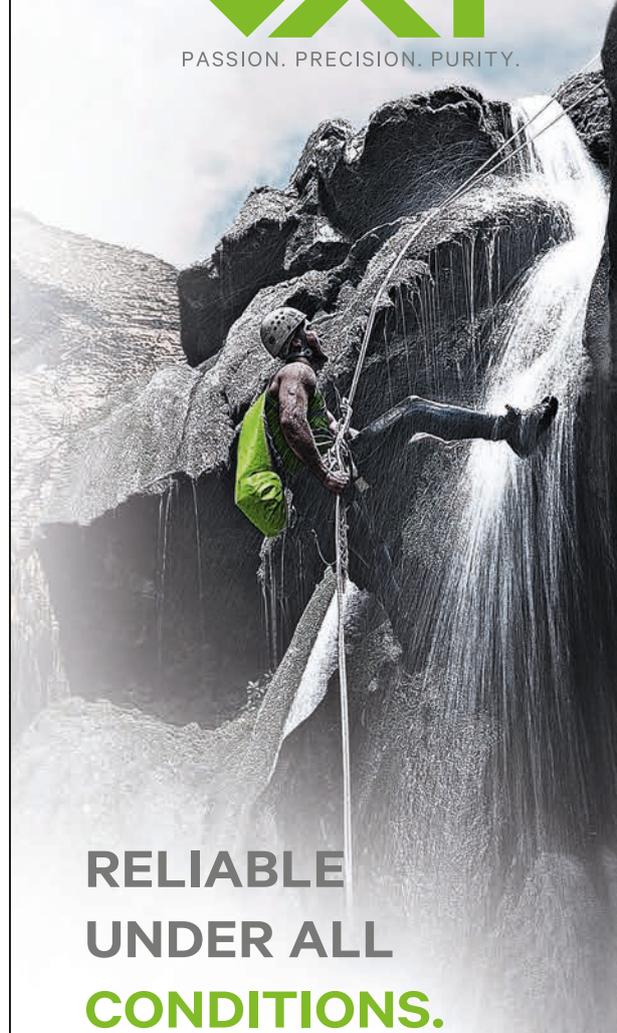
Michael Vogel



Das Zeolithgranulat rotiert während der Beschichtung in einer Trommel.

# VAT

PASSION. PRECISION. PURITY.



## RELIABLE UNDER ALL CONDITIONS.

Heading into the unknown to open new horizons demands reliable tools. Help turn your research goals into reality. Vacuum valve solutions and bellows from VAT provide unfailing reliability and enhanced process safety – under all conditions.



[www.vatvalve.com](http://www.vatvalve.com)