

## Strom aus Gülle

Greifswalder Chemiker haben jetzt eine Vorstufe für eine Fäkalienbatterie entwickelt.<sup>1)</sup> Sie fütterten *Escherichia coli*-Bakterien – den Paradeorganismus der Fäkalflora – mit einer Zuckerlösung und steckten Elektroden in das wohltemperierte Gebräu. Dank eines verbesserten Elektroden-Designs konnten sie Rekordwerte messen: Der elektrische Strom war mehr als zehnmals stärker als bei früheren Biozellen.



**Lebende Brennstoffzelle:** E. Coli-Bakterien liefern Strom beim Gären. (Foto: Uwe Schröder)

Die Idee, aus Fäkalien Strom zu erzeugen, ist nicht neu. Mitte der 80er-Jahre spendierte die NASA Geld für die Erforschung von Biozellen. Damals waren Solarzellen für Raumfahrten noch nicht weit entwickelt, sodass selbst Raumfahrer-Exkremate als mögliche Energiequelle in Betracht gezogen wurden.

Die bakteriellen Stromquellen funktionieren ähnlich wie Brennstoffzellen: Die Mikroorganismen nutzen für ihren Stoffwechsel biochemische Reaktionen. Indem man aus diesem Stoffwechsel Elektronen abweigt und zum Minuspol transportiert, lässt sich eine elektrische Spannung erzeugen. Dazu mussten dem Bakterienschlamm bislang jedoch giftige Chemikalien hinzugefügt werden, die als „Fähren“ für die geladenen Teilchen dienten.

Ein zweites Verfahren, das ohne giftige Zusätze auskommt, beruht auf Bakterien mit „Eisenatmung“ – Mikroorganismen wie *Shewanella putrefaciens*, die in Tiefsee-Sedimenten vorkommen. Die Meeresbakterien versorgen Eisenoxide zur besseren Verdauung mit Elektronen und wandeln  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen in  $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen um. In einer Brennstoffzelle verteilen die Bakterien ihre Elektronen dagegen an die Platinelektrode – den Minuspol. Der Nachteil: Die Bakterien sind nicht die

schnellsten, der Strom ist schwach. Außerdem bleiben Zellreste am Minuspol haften.

Uwe Schröder, Juliane Nießen und Fritz Scholz haben nun den Minuspol der Brennstoffzelle mit einem leitenden Polymer (Polyanilin) überzogen, an dem Zellreste weniger gut kleben bleiben. Außerdem säuberten sie die Pole alle paar Minuten mit einem Stromstoß.

Dadurch brachten es die gärenden Coli-Bakterien auf einen Strom von 20 mA. Die Leistung von 9 mW reichte aus, um einen kleinen Lüfter anzutreiben. Ohne Nährstoffzufuhr produzierten die Bakterien 17 Stunden lang Strom. In abgelegenen Gegenden könnten die lebenden Brennstoffzellen einmal Energie für Umweltsensoren liefern, sagt Projektleiter Schröder.

## Nanopartikel gegen Hitze

Für diesen Sommer kommt die Erfindung zu spät: Stephan Schelm und Geoff Smith von der University of Technology in Sydney haben Glasscheiben entwickelt, die das Licht herein und die Hitze draußen lassen.<sup>2)</sup> Das Prinzip beruht auf Nanopartikeln, die in einer Polymer-schicht zwischen zwei Glasplatten eingelagert sind. Sie absorbieren Infrarotstrahlung, sind aber für einen Großteil des sichtbaren Spektrums transparent.

Fenster, die Wärmestrahlung reflektieren, sind zwar längst im Handel. Meist sind sie mit hauchdünnen Silberfilmen beschichtet. Doch Silber ist relativ teuer und muss aufwändig auf die Oberfläche aufgedampft werden. Getönte Fenster sind dagegen oft günstiger, aber nicht so effektiv. Bei einem guten Wärmeschutz lassen sie auch nur wenig Licht durch. Auf der Suche nach einem besseren Material mit hoher Transmission im sichtbaren und hoher Reflektivität im infraroten Bereich stießen Schelm und Smith auf Lanthanhexaborid ( $\text{LaB}_6$ ). Nanopartikel aus dieser metallischen Verbindung, 20 bis 200 Nanometer klein, absorbieren Wärmestrahlung sehr effizient. Bei diesem Prozess regen infrarote Lichtstrahlen auf der Oberfläche der Nanoteilchen so genannte Plasmonen an – kollektive Schwingungen der Elektronen im Festkörper. Das Maximum der Absorption liegt im infraroten Spektralbereich bei einer Wellenlänge von einem Mikrometer.

Stephan Schelm, der an der TU Berlin Physik studiert hat, fertigte mit Geoff Smith Probefenster mit  $\text{LaB}_6$ -Teilchen in einer Polyvinylschicht an. Das Glas schimmerte leicht grünlich (Foto), weil nicht nur infrarotes, sondern zum Teil auch rotes Licht absorbiert wird.



**Stephan Schelm vor eine Reihe von Proben des Hitze abweisenden Glases. Mit steigender Konzentration an Nanopartikeln färbt es sich zunehmend grün.**

Eine Scheibe, die 60 Prozent des sichtbaren Lichts hindurch ließ, blockierte 70 Prozent der Wärmestrahlung. Billig ist der Wärmeschutz mit Nanopartikeln allerdings noch nicht. Die Forscher wollen jetzt andere Nanoteilchen testen, die sich einfacher als  $\text{LaB}_6$  in großen Mengen herstellen lassen.

## Leuchtendes Silizium

Elektronik und Silizium, das passt zusammen wie Butter und Brot, Silizium und Licht, das funktioniert nicht, heißt es in der Halbleiterindustrie. Zu gern würde man aus einem Silizium-Wafer nicht nur Mikrochips bauen, sondern auch kleine Laser und Leuchtdioden, um optische Signale verarbeiten zu können. Doch bislang muss man andere, zum Teil giftige Halbleiterverbindungen wie Gallium-Arsenid oder Indium-Phosphid für die Lichterzeugung einsetzen. Ein neues Verfahren zur Selbstorganisation von Silizium beflügelt jetzt wieder die Hoffnung, Photonik und Elektronik auf Silizium zu verheiraten. Margit Zacharias vom Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik hat Nanokristalle auf einem Silizium-Wafer gezüchtet, die rotes Licht aussenden können.

Praktisch an dem neuen Verfahren ist, dass es fast von allein funktioniert. Die Max-Planck-Forscher haben auf einem Silizium-Wafer abwechselnd ultradünne Lagen aus Siliziumdioxid und Siliziummonoxid abgeschieden. Anschließend legten sie die Sandwichstruktur in einen

1100 Grad heißen Ofen. Dabei bildeten sich zahlreiche kleine Nanokristalle aus Silizium, die von Siliziumdioxid umgeben sind. Diese Nanokristalle fluoreszieren wie künstliche Atome, wenn man sie mit Licht bestrahlt. Bislang mussten solche Siliziuminseln mit Ionenstrahlen aufwändig strukturiert werden. Außerdem konnte kein Verfahren die Nanokristalle so gleichmäßig anordnen wie die selbstorganisierte Inselbildung. Es bildeten sich  $10^{19}$  Nanokristalle pro Kubikzentimeter mit einem Durchmesser von jeweils zwei Nanometern, angeordnet in Sandwichlagen.

Nun kommt es darauf an, die kleinen Kristalle mit einem elektrischen Strom zum Leuchten zu bringen. STMicroelectronics hat im vergangenen Herbst eine Leuchtdiode aus Erbium-dotiertem, nanokristallinem Silizium vorgestellt, die zehn Prozent der elektrischen Energie in Licht umwandelt. Mit dem neuen Verfahren ließe sich dieser Wirkungsgrad noch steigern, glaubt Margit Zacharias. Ein Nachteil des Siliziums ist allerdings weniger leicht zu beheben: Silizium ist ein „indirekter“ Halbleiter. Damit die Elektronen-Loch-Paare im Nanokristall rekombinieren, müssen sie mit einem Phonon zusammenstoßen, dem Quantum der Gitterschwingung. Und das dauert mit einer Mikrosekunde etwa tausendmal länger als bei der „direkten“ Halbleiterverbindung Gallium-Arsenid. Das Licht lässt sich mit Silizium also nicht so schnell an und aus schalten wie mit Gallium-Arsenid-Leuchtdioden. Dennoch sind die neuen Kristalle für einige Anwendungen in der Telekommunikation das Salz in der Suppe.

## Elektronische Öl-Verkostung

Wenn Motoröl eine Weile geschmiert hat, wird es säurehaltig und greift das Metall an. Wissenschaftler vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM) in Freiburg haben jetzt eine „elektronische Zunge“ entwickelt, um den richtigen Zeitpunkt für den Ölwechsel abzuschmecken. Die Sonde besteht aus Platinbeschichteten Elektroden, die unter anderem die Leitfähigkeit des Öls messen. Das Messprinzip ist simpel, in der Praxis erschweren jedoch verdreckte und korrodierte Elektroden den zuverlässigen Betrieb.

Motoröl kommt mit alkalischen Zusätzen auf den Markt, der „alkalischen Reserve“. Im Verbrennungsmotor bildet sich unter anderem Salpetersäure, die den pH-Wert des Öls immer weiter sinken lässt. Wird das Motoröl zu säurehaltig, sollte es gewechselt werden. Bislang folgen Autowerkstätten den Herstellerangaben und tauschen das Motoröl nach einer bestimmten Kilometerzahl „auf Verdacht“ aus.

Eine Ölanalyse im laufenden Betrieb würde die chemische Laboranalyse überflüssig machen und Autofahrern den Ölwechsel automatisch anzeigen. Martin Jäggle und seine Mitarbeiter vom IPM haben zu diesem Zweck dünne Chips mit bis zu zwölf Platinelektroden beschichtet. Ziel ist es, den elektrischen Widerstand des Öls zu messen, der vom Säuregehalt abhängt. Dazu reicht es jedoch nicht aus, Strom und Spannung zwischen zwei Elektroden zu messen. Das gewünschte Signal wird nämlich von



**Platinelektroden messen den elektrischen Widerstand von Motoröl.**

dem sog. Übergangswiderstand von der Elektrode zum Öl verfälscht. Dieser verändert sich etwa, wenn Partikel an der Platinoberfläche haften bleiben oder die Elektrode oxidiert. Die Forscher verwenden ein Verfahren aus der Halbleiterphysik, um den Übergangswiderstand vom reinen Öl zu trennen: Sie messen den Widerstand als Funktion des Abstands zwischen verschiedenen Elektroden. Aus der Messkurve lassen sich der Übergangswiderstand und die Leitfähigkeit des Öls getrennt voneinander berechnen.

Die Leitfähigkeit des Öls wird allerdings auch von Wasserrückständen und anderen Verunreinigungen beeinflusst. Um den Säuregehalt isoliert zu bestimmen, wollen die Forscher auch die Leitfähigkeit der einzelnen Elektroden messen, die sich ebenfalls durch Anlagerung von Partikeln verändert. Aus all den Daten soll eine Software für Mustererkennung die relevanten Daten herausfiltern. Projektleiter Jäggle: „Die Zunge haben wir, das Hirn fehlt noch.“

MAX RAUNER