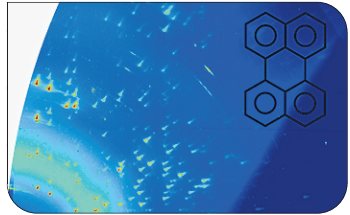


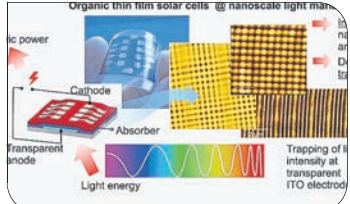
Grundlagenforschung in Österreich: Beispiele für FWF-geförderte Spitzenforschung

#### Den Kristallstrukturen auf der Spur



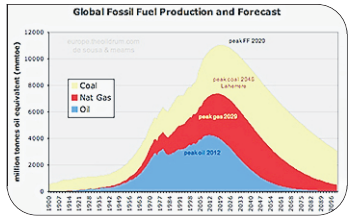
Der Physiker Roland Resel untersucht die grundlegenden Mechanismen zur Strukturbildung. Er erforscht charakteristische Merkmale, um Erkenntnisse über den Einfluss von Oberflächen bei der Kristallisation von Molekülen zu gewinnen.

#### Organische Solarzellen



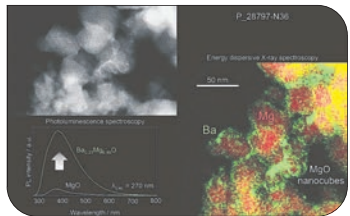
Gemeinsam mit seinem Team erforscht Jakub Dostalek mit Hilfe speziell abgestimmter optischer Nanostrukturen die Weiterentwicklung organischer Solarzellen. Ziel ist es, die Effizienz der Solarzellen weiter zu verbessern.

#### Energieprobleme des 21. Jahrhunderts



Franz Wirl vom Institut für Betriebswirtschaftslehre der Universität Wien untersuchte zukünftige Energiesysteme im Spannungsverhältnis zwischen Ressourcenknappheit und Klimamänderung.

#### Materials Matter



Gemeinsam mit seinem Team untersucht Oliver Diwald die Entwicklung von nanokristallinen Funktionskeramiken mit außerordentlichen Eigenschaften. Das Projekt ist die Grundlage zur Entwicklung von Materialien für innovative Produkte.

#### Umweltforschung und solares Wissen im Entwurf



In seinem Projekt erkundet Anselm Wagner die Bedeutung der Sonnenhausprototypen des Architekten Konrad Frey und dessen visionäre Ansätze zur Nutzung der Sonnenenergie.

**Solarenergie.** Wie man mit Hilfe der Sonne aus dem Treibhausgas CO<sub>2</sub> einen „grünen Treibstoff“ machen kann.

Wenn der Linzer Chemiker Niyazi Serdar Sarıçiftci über Solarenergie redet, leuchten seine Augen: „Die Einstrahlung in einer Stunde entspricht unserem Jahresbedarf an Energie“, sagt er. Und: „Die Sonne ist im wahrsten Sinne des Wortes „egalitär“, das heißt, sie scheint für alle und kann nicht von irgendwelchen Leuten verboten oder abgedreht werden.“ Ergo habe jede Bürgerin und jeder Bürger dieses Planeten die Möglichkeit, sich mittels Sonnenenergie zur Autonomie zu ermächtigen.

Doch das ist zur Zeit noch ein Traum. Die Natur hat zwar einen ungemein eleganten Weg gefunden, die Sonnenenergie nutzbar zu machen: die Photosynthese, in der die Strahlungsenergie genutzt wird, um energiereiche organische Moleküle wie z. B. Zucker zu synthetisieren. Von diesem Prozess ist der Großteil des Lebens auf der Erde abhängig, inklusive wir Menschen.

#### Knifflige Umsetzung

Doch die technische Umsetzung der Mechanismen, die die Natur über Jahrmilliarden entwickelt hat, ist eine knifflige Sache: Trotz mancher Fortschritte ist die Nachahmung der Photosynthese unverändert eine sehr harte Nuss für die Wissenschaft.

Die Technologie ist daher gezwungen, Umwege zu gehen. Zentral ist dabei die Fotovoltaik: In Solarzellen werden durch Lichteinstrahlung Elektronen freigesetzt. Elektronen sind negativ geladene Teilchen, die dann zum positiven Pol wandern - somit entsteht ein elektrischer Strom. Es gibt verschiedene Arten von Solarzellen: Heute üblich sind anorganische Solarzellen, die aus Silizium oder Cadmiumtellurid bestehen und auf Dachflächen und Freiflächen, aber auch in Taschenrechnern oder Parkscheinautomaten zum Einsatz kommen.

Daneben gibt es organische Solarzellen, die mit Hilfe von organischen Molekülen Solarstrom erzeugen - das ist auch das Spezialgebiet Sarıçiftcis, der 2001 an der Universität Linz das Institut für Organische Solarzellen (LIOS) gegründet hat. Organische Solarzellen sind durch-



Per Fotovoltaik kann die Energie der Sonne in eine für uns Menschen nutzbare Form gebracht werden. Die Technologien sind noch nicht voll ausgereizt, ständig werden neue mögliche Verfahren entdeckt.

dene Arten von Solarzellen: Heute üblich sind anorganischen Solarzellen, die aus Silizium oder Cadmiumtellurid bestehen und auf Dachflächen und Freiflächen, aber auch in Taschenrechnern oder Parkscheinautomaten zum Einsatz kommen.

Daneben gibt es organische Solarzellen, die mit Hilfe von organischen Molekülen Solarstrom erzeugen - das ist auch das Spezialgebiet Sarıçiftcis, der 2001 an der Universität Linz das Institut für Organische Solarzellen (LIOS) gegründet hat. Organische Solarzellen sind durch-

sichtig und biegsam, sie können zum Beispiel in Textilien eingearbeitet werden. Die Entwicklung dieser billigen Alternativen zu Silizium ist noch lange nicht abgeschlossen (siehe Artikel links unten). Aktuell wird überdies intensiv an sogenannten „Hybridsolarzellen“ geforscht, die aus Perowskit-Kristallen hergestellt werden - einem Rohstoff, der einfacher herzustellen ist als Silizium, keine seltenen Rohstoffe als Zugabe benötigt und dennoch einen guten Wirkungsgrad verspricht.

#### Chemikalien als Speicher

Da die Sonne scheint und der Wind weht, wann sie wollen, ist eine Speicherung des Ökostroms notwendig. Dafür sind u. a. Pumpspei-

cherkraftwerke oder Batterien geeignet, doch diese heutigen Lösungen sind relativ aufwändig und teuer. Die Wissenschaft entwickelt daher andere Möglichkeiten - und kann dabei auch eine direkte Anleihe bei der Natur nehmen: Man könnte die gewonnenen Elektronen zur Herstellung von speicherbaren Molekülen nutzen. Zum Beispiel von Wasserstoff, den man sehr einfach durch die elektrochemische Spaltung (Elektrolyse) von Wasser herstellen kann. Dieses Gas kann gespeichert und bei Bedarf in Brennstoffzellen wieder in Strom zurückverwandelt werden.

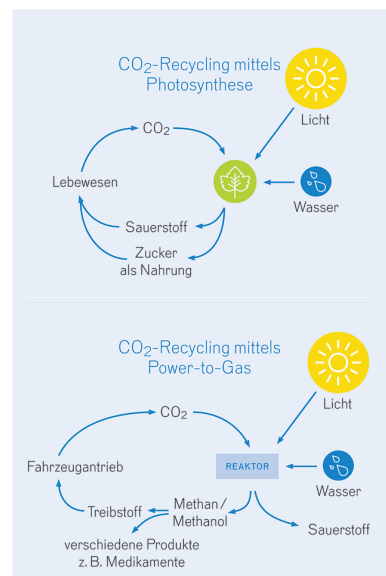
Oder aber der Wasserstoff wird zur Herstellung anderer Chemikalien wie etwa Methan, Methanol oder ähnlicher Moleküle

to-Gas-Prozess entwickelt, der seit Jahren von dem in Stuttgart angesiedelten Unternehmen ETOGAS praktisch angewendet wird. Allerdings hat dieses Verfahren einige gewichtige Nachteile: Zum einen sind teure Katalysatoren nötig, und zum anderen laufen die Prozesse bei hohen Temperaturen und Drücken ab. Und: Da mehrere Zwischenstufen durchlaufen werden, gibt es auch relativ hohe Umwandlungsverluste.

Daher wird nach direkteren Wegen gesucht, in denen der Zwischenschritt der Elektrolyse von Wasser entfällt und die Elektronen direkt für chemische Prozesse genutzt werden. Hier untersucht Sarıçiftcis Team seit einigen Jahren biologische Systeme - etwa die Verwendung von Enzymen oder sogar von lebenden Bakterien (siehe Artikel rechts).

#### Künstliche Fotosynthese

Im Labor funktioniert bereits so Eines, bis zur Praxisstauglichkeit solcher Verfahren ist es allerdings noch ein weiter Weg. Doch eine wichtige Grundlage für Sarıçiftcis Vision - die Sonne als universellen Energielieferanten zu nutzen und CO<sub>2</sub> in einen Kreislauf zu schicken, der von der Sonne und vom Wind angetrieben wird - scheint nun gelegt. Zumindest bis irgendwann wirklich die Fotosynthese selbst künstlich nachvollzogen werden kann - auch dazu laufen Versuche in seinem Labor. Denn dann würde auch der Umweg über die Fotovoltaik unnötig werden und wir könnten die Kraft der Sonne direkt nutzen.



eingesetzt: Diese Substanzen sind ohne vorherige Umwandlung direkt nutzbar - etwa als künstliche Treibstoffe für Motoren.

Der Clou dabei ist, dass als Reaktionspartner für den Wasserstoff das Treibhausgas Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) verwendet werden kann: Dadurch könnte CO<sub>2</sub>, das bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern frei wird und den Klimawandel anheizt, quasi „recycelt“ und sinnvoll verwertet werden.

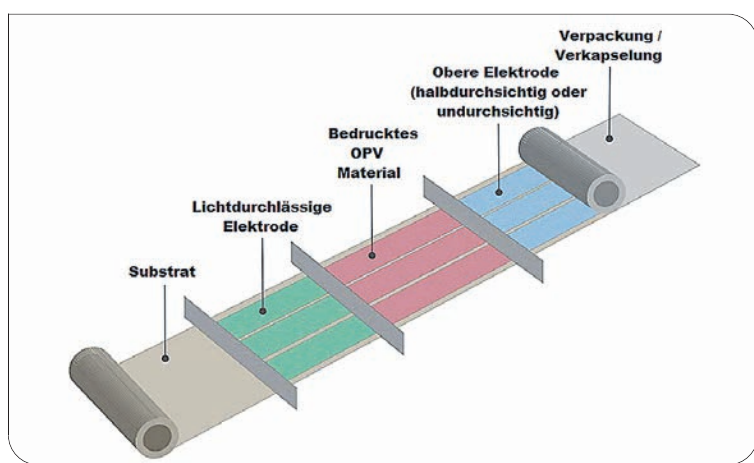
#### Power-to-Gas-Verfahren

Durch das Recyceln könnte verhindert werden, dass die Menge an Kohlendioxid in der Atmosphäre stetig steigt. In Sarıçiftcis Augen ist die Umwandlung von CO<sub>2</sub> und Wasser mit erneuerbarer Energie

zu einem künstlichen Brennstoff eine „besonders wirksame Methode zur Speicherung von erneuerbaren Energien“.

Man nennt solche Verfahren in der Fachsprache „Power-to-Gas“. Die damit erzeugten Substanzen könnten beispielsweise als „solare Treibstoff“ ein Auto antreiben - so würde ein Kreislauf entstehen, der potenziell klimaneutral ist. Methan oder Methanol sind darüber hinaus auch eine Ausgangssubstanz für eine Vielfalt von Produkten, wie etwa Feinchemikalien oder Medikamente. CO<sub>2</sub>-Recycling könnte somit auch zu einer nachhaltigen Produktion in der chemischen Industrie beitragen.

Sarıçiftci hat gemeinsam mit Partnern einen derartigen Power-



Plastiksolarzellen lassen sich einfach auf einer Folie herstellen.

[OPVUS]

## Bakterien als Helfer

**Bio-Elektro-Katalyse** nennt sich ein innovatives Verfahren zur Nutzung der Solarenergie.

Die Natur zeigt vor, dass es möglich ist, die Energie der Sonnenstrahlen für die Herstellung bestimmter Substanzen zu nutzen. Das versucht auch die Wissenschaft: Seit Jahren laufen Versuche mit sogenannten „bio-elektro-katalytischen Zellen“, in denen alle nötigen Prozesse mit Enzymen bei Raumtemperatur und normalem Umgebungsdruck durchgeführt werden können.

Dabei werden Enzyme wie z. B. Dehydrogenasen an Elektroden angehängt und bewerkstelligen den Transfer von Elektronen auf CO<sub>2</sub>. Je nach verwendeten Enzymen werden dadurch Moleküle wie Formaldehyd oder Methanol gebildet. Das funktioniert, ist aber ziemlich aufwändig, weil die isolierten Enzyme nicht allzu stabil sind und daher regelmäßig ersetzt werden müssen.

Mit den Mitteln aus dem Wittgenstein-Preis, den Niyazi Serdar Sarıçiftci 2012 verliehen bekam, sowie mit Förderungen der FFG und der EU wurde eine sehr interessante Alternative dazu entwickelt: Anstatt isolierte Enzyme einzusetzen, könnten alle Aufgaben von lebenden Bakterien erledigt werden, die die benötigten Enzyme selbstständig laufend nachbilden.

Im Prinzip funktioniert das so: Auf einer Kohlenstoffelektrode werden methanbildende Bakteri-

en in Form eines Biofilms angesiedelt; diese setzen CO<sub>2</sub>, das durch den Reaktor perlt, in Methan um - wobei als Energiequelle der elektrische Strom dient. Wie in aufwendigen Laborversuchen in Kooperation mit Mikrobiologen des Kompetenzzentrums ACIB gezeigt werden konnte, kann dieser Prozess über viele Monate hinweg stabil gehalten werden. Die genauen biochemischen Mechanismen sind noch nicht in allen Details klar - so ist z. B. unbekannt, ob die Bakterien die Elektronen direkt zur Synthese der gewünschten Stoffe nutzen oder ob als Zwischenschritt Wasserstoff produziert wird.

#### CO<sub>2</sub> als Bakterienfutter

Eine der Schwierigkeit bei der mikrobiellen Elektrosynthese ist es, den Stoffwechsel der Bakterien in die gewünschte Richtung zu lenken. „Durch Veränderungen des chemischen Milieus gelingt es, die Bakterien dazu zu bringen, dass sie CO<sub>2</sub> als einziges Substrat verwenden und daraus Methan produzieren“, berichtet Sarıçiftci. Dafür wurden bereits mehrere Methoden entwickelt. Nun wird versucht, die Ausbeute weiter zu steigern, und überdies werden Verfahren mit anderen Bakterienarten entwickelt, mit denen auch andere chemische Substanzen wie z. B. Alkohole hergestellt werden können.

## Elektrischer Strom aus organischen Polymeren

**Plastiksolarzellen** bieten eine billige Alternative zu den herkömmlichen Fotovoltaikpaneelen aus Silizium oder anderen anorganischen Halbleitern. Die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen.

Herkömmliche Solarzellen bestehen aus anorganischen Halbleitern wie etwa Silizium oder Cadmiumtellurid. Diese Materialien können mit einem ziemlich hohen Wirkungsgrad von mehr als 20 Prozent Lichtteilchen einfangen und dabei freie Elektronen produzieren. Sie haben aber einige Nachteile: Ihre Herstellung erfordert einen immensen hohen Aufwand, viele Chemikalien und viel Energie. Das macht sie relativ teuer. Und: Sie sind nicht flexibel, sondern müssen auf eine starre Unterlage angebracht werden, was ihre Einsatzmöglichkeiten einschränkt. Andererseits sind Silizium und Co. ziemlich langlebig - die Hersteller geben bei Fotovoltaikpaneelen typischerweise 20 Jahre Garantie.

Aber es gibt auch zwei gewichtige Nachteile: Zum einen ist ihr Wirkungsgrad deutlich niedriger als jener von Silizium-Zellen - nämlich fünf bis zehn, maximal zwölf Prozent; daher sind für dieselbe Leistung größere Flächen nötig. Und zum anderen fehlt ihnen die Langzeitstabilität: Schon nach wenigen Jahren lässt ihre Leistung

nach. Dennoch sind sie für viele Anwendungsbereiche gut geeignet, z. B. für Outdoor-Aktivitäten oder Taschen, mit denen man sein Handy aufladen kann.

Um weitere Einsatzbereiche abseits dieser Nischenmärkte zu erschließen, ist die Forschung intensiv auf der Suche nach neuen Materialien. Markus Scharber z. B. ist am Institut für Physikalische Chemie der Universität Linz den Mechanismen auf der Spur, die hinter der Alterung von Plastiksolarzellen stecken - mit dem Ziel, vorteilhafte Halbleiterstrukturen mit besserer

Organische Solarzellen sind einfach herstellbar, haben aber noch ein Problem mit der Langzeitstabilität.

Haltbarkeit zu identifizieren. Dafür wurden verschiedene organische Halbleiter und daraus hergestellte Solarzellen gezielt gealtert und mit einer sehr empfindlichen Methode getestet. Die Ergebnisse waren überraschend: Es zeigte sich, dass die Stabilität der organischen Halbleiter eigentlich ausgezeichnet ist. Sobald aber Sauerstoff dazu

kommt, bewirkt dieser in Kombination mit Licht eine rasche Alterung der Materialien. Ähnliche Abbauerscheinungen zeigten sie auch, wenn sie in Solarzellen eingebaut waren - selbst wenn Sauerstoff komplett ausgesperrt war. Offenbar sind also der Aufbau der Bauteile und die Materialkombination viel wichtiger als man bisher dachte. Nun sollen optimierte Materialkombinationen entwickelt werden.

#### Bio-Polymere

Einen anderen Zugang zu neuen Materialien versuchten kürzlich Forscher der Technischen Universität Graz: Sie konstruierten eine Solarzelle auf Basis von erneuerbaren Biopolymeren - konkret aus chemisch modifizierter Zellulose, die durch Hitzebehandlung in elektrisch aktive Nanopartikel zerfiel, die am Ende in eine Zellulose-Matrix eingebettet waren. Obwohl bei der Studie vorerst nur das Prinzip demonstriert werden sollte, gelang auf Anhieb die effizienteste Solarzelle dieser Art. Diese soll nun optimiert werden.

## Hype um eine neue Klasse von Solarzellen

**Perowskite** gehören zu den vielversprechendsten Materialien für Solarzellen: Mit ihnen lassen sich hoher Wirkungsgrad und kostengünstige Herstellung vereinbaren. Allerdings sind vor einer industriellen Umsetzung noch einige Hürden zu überwinden.

Das hätte sich Graf Lew Alexejewitsch von Perowski wohl nicht träumen lassen, dass sein Name heute in Forscherkreisen Begeisterung auslöst. Der russische Mineraloge, der unter Zar Nikolaus I. auch Innenminister war, hatte freilich selbst kaum einen Anteil an seinem späteren Ruhm: Es war vielmehr der deutsche Mineraloge Gustav Rose, der ein neues Mineral entdeckte und nach seinem russischen Fachkollegen benannte: den Perowskit.

Heute versteht man unter Perowskiten eine Klasse von häufig vorkommenden Mineralien mit einem verzerrten Atomgitter, das dem Material ganz bestimmte - und unerwartete - Eigenschaften verleiht: Perowskite sind die ersten bekannten Salze mit Halbleitereigenschaften (Photon) auf das Kristallgitter, regt es mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Elektron an. Im Perowskit sind diese freien Elektronen sehr langlebig und lassen sich einfach und effizient als elektrischer Strom ableiten. Das Interesse konzentriert sich zur Zeit auf die Un-

tergruppe der Halid-Perowskite, die sowohl organische als auch anorganische Verbindungen enthalten („Hybrid“).

Die Halid-Perowskite schlugen in der Photovoltaik-Forschung ein wie eine Bombe: 2009 testete ein japanischer Forscher das Material aus reiner Neugier als Bestandteil einer Solarzellen. Er erzielte dabei einen Wirkungsgrad von 3,8 Prozent. Auch wenn das nur für wenige Minuten gelang, war das für einen ersten Versuch ziemlich gut. Dazu kam, dass das Material billig ist: dass diese Art von Solarzellen sehr einfach und kostengünstig

herstellbar ist - man kann dabei Druck- oder Beschichtungsverfahren einsetzen, die für organische Solarzellen entwickelt wurden. Aus diesen Gründen wandten sich auch andere Forschergruppen den Perowskiten zu - und binnen weniger Jahre vervielfachte sich der Wirkungsgrad. Der Rekord liegt aktuell bei 22,1 Prozent. Das ist gleich wie eine Silizium-Solarzelle, aber bei einem Bruchteil der Herstellungskosten. Kein anderes Solarzellenmaterial hat je eine solche rasche Steigerungsrate erlebt.

Allerdings sind Solarzellen aus Perowskiten noch sehr weit von

einer industriellen Anwendung entfernt. Ihre Stärke ist nämlich zugleich ihre Schwäche: Da es sich um Salze handelt, sind sie sehr empfindlich gegenüber Feuchtigkeit. Und noch ein zweites Manko haben die derzeit verwendeten Perowskite: In ihrem Kristallgitter ist Blei enthalten - und die europäischen Richtlinien verbieten aufgrund der Giftigkeit des Schwermetalls den Einsatz von Blei in Solarzellen. Grundsätzlich könnte das Blei durch Zinn ersetzt werden, doch Zinn oxidiert sehr leicht, dabei verändert sich die Kristallstruktur des Perowskites, wodurch es sei-

ne Fähigkeit verliert, Licht in Strom zu verwandeln.

An beiden Problemen wird intensiv geforscht. Auch in Österreich. Der Physiker Menno Bokdam z. B. versucht derzeit an der Universität Wien herauszufinden, wie ein vorgeschlagener Schutz gegen Feuchtigkeit funktionieren könnte. Da die Orientierung der beteiligten Moleküle in Experimenten nicht eindeutig bestimmt werden kann, simuliert er das Material in Computermodellen. Die Ergebnisse könnten den Wettlauf um noch effizientere und langlebigere Perowskit-Solarzellen weiter befeuern.



Niyazi Serdar Sarıçiftci

Pavillon kuratiert von Pavilion curated by

Niyazi Serdar Sarıçiftci

Niyazi Serdar Sarıçiftci ist Physiker und Leiter des Linzer Instituts für organische Solarzellen (LIOS) der Johannes Kepler Universität Linz. Sarıçiftci erhielt zahlreiche Auszeichnungen, unter anderem

JSU

UNIVERSITÄT

2012 den Wittgenstein-Preis des FWF. Er ist korrespondierendes Mitglied der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (OAW).

Mit Beiträgen von With contributions from

Menno Bokdam

Universität Wien

Johann Sumenhammer

TU

UNIVERSITÄT

Wien

Wolfgang Knoll

AIT

INSTITUT FÜR

TRASPARENTE

ENERGIESYSTEME

AN DER TU WIEN

JSU

UNIVERSITÄT

Salzburg

Markus Scharber

Bettina Friedel, Gregor Trimmel

TU

WIEN