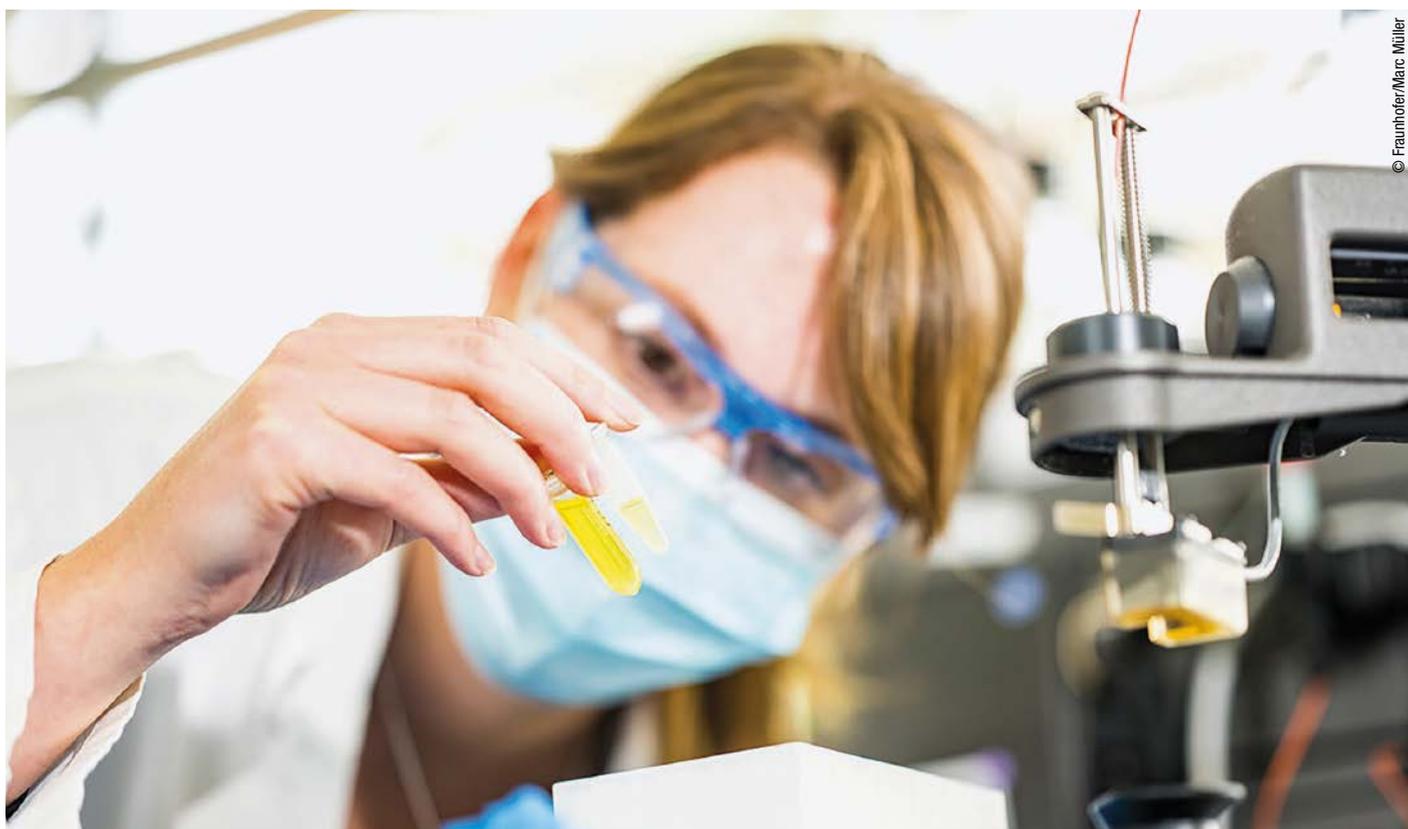


# Chemikalien aus klimaschädlichem CO<sub>2</sub>

Elektrobiokatalytische CO<sub>2</sub>-Fixierung ersetzt fossile Rohstoffe



© Fraunhofer/Marc Müller

Einem Team aus Wissenschaftlern des Fraunhofer IGB ist es im Max-Planck-Kooperationsprojekt eBioCO<sub>2</sub>n gelungen, CO<sub>2</sub> in einer auf dem Transfer von Elektronen basierenden Enzymkaskade zu fixieren und in einen festen Ausgangsstoff für die chemische Industrie umzuwandeln. Das Verfahren zur elektrobiokatalytischen CO<sub>2</sub>-Fixierung gilt als vielversprechend.

Erdöl ist aktuell immer noch einer der wichtigsten Rohstoffe – nicht nur als Energieträger, sondern auch als Ausgangsmaterial für die chemische Industrie. An verschiedenen Alternativen für fossile Quellen wird daher intensiv geforscht. Nachwachsende Rohstoffe sind eine Möglichkeit, aber nicht die einzige alternative Rohstoffbasis, um die Verfügbarkeit von grünen Syntheseprodukten in den nächsten Jahren abdecken zu können. Eine nachhaltige Ergänzung hierzu im Sinne einer kreislauforientierten Kohlenstoffwirtschaft ist die Möglichkeit, CO<sub>2</sub> gezielt und unter milden Reaktionsbedingungen zu fixieren.

## Abscheidung aus der Luft für weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen

Einem Forscherteam am Straubinger Institutsteil des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB ist es nun gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen des Max-Planck-Instituts für terrestrische Mikrobiologie in Marburg und der TU München erstmals gelungen, CO<sub>2</sub> elektrobiokatalytisch in wertvolle Substanzen für die chemische Industrie umzuwandeln. Durch Kombination verschiedener Ansätze aus Bioelektrochemie, Enzymbiologie und synthetischer Biologie wurden hierfür spe-



**Dr. Michael Richter,**  
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

zielle Bioelektroden entwickelt, um mit Strom aus erneuerbarer Energie Enzyme anzutreiben, die in einer gekoppelten Reaktion ähnlich der Photosynthese feste organische Moleküle aus dem Treibhausgas herstellen.

Ziel ist es, damit CO<sub>2</sub> direkt aus der Luft abzuscheiden: „Das Verfahren könnte dann nicht nur

dazu beitragen, dass die Industrie auf fossile Rohstoffe verzichten kann, sondern durch die CO<sub>2</sub>-Reduktion die Klimawende außerdem aktiv vorantreiben“, erklärt Dr. Michael Richter, Leiter des Innovationsfelds Bioinspirierte Chemie am Fraunhofer IGB. „Zunächst ging es uns jedoch darum zu zeigen, dass unsere Idee überhaupt funktioniert, eine solch komplexe biokatalytische Multienzym-Reaktion auf diese Art mit Strom anzutreiben.“ Für den Prozess werden Enzymreaktionen kombiniert: eine für Bereitstellung und Regeneration des Cofaktors, eine für die CO<sub>2</sub>-Fixierung.

### Hydrogel transportiert Elektronen für CO<sub>2</sub>-fixierende Enzyme

Die Forschenden haben sich vom Stoffwechsel der Mikroorganismen inspirieren lassen und ein strombasiertes Verfahren für die CO<sub>2</sub>-Fixierung entwickelt. Hauptakteure sind CO<sub>2</sub>-fixierende Enzyme, die von den Kollegen Dr. David Adam und Prof. Tobias Erb, Direktor am MPI in Marburg, entwickelt wurden. Eine Herausforderung bestand nun darin, die CO<sub>2</sub>-fixierenden Enzyme kontinuierlich mit den für die Reduktion von CO<sub>2</sub> benötigten Elektronen zu versorgen, die regenerativer Strom liefern kann. Dies gelang durch Einbetten der Enzyme in ein redoxaktives Hydrogel, wodurch sie elektrochemisch so

angetrieben werden können, dass sie Kohlenstoffdioxid an ein Substrat binden und damit in einen wertvollen Zwischenstoff umwandeln. „Das Verfahren ist ein sehr effizienter Reaktionsweg, eine reduktive Carboxylierung, die sehr ökonomisch und sauber abläuft, weil man keine weiteren Substanzen im System braucht – lediglich Kohlenstoffdioxid, Substrat und Elektronen, bevorzugt aus erneuerbaren Quellen“, erläutert Dr. Leonardo Castañeda-Losada, der in seiner Doktorarbeit auf dem Gebiet der Elektrobiokatalyse forschte und nun am Fraunhofer IGB gemeinsam mit Dr. Melanie Iwanow und Dr. Steffen Roth im Projekt arbeitet.

Die an der TU München am Lehrstuhl von Prof. Nicolas Plumeré eigens entwickelten Hydrogele, in denen die Enzyme ihre Arbeit verrichten, sind so modifiziert, dass sie Elektronen gut leiten und den Biomolekülen gleichzeitig optimale Arbeitsbedingungen bieten. „So können wir nicht nur Monolagen an Enzymen einsetzen, sondern dies auch dreidimensional um ein Vielfaches erweitern, da die Elektronen im Gel an jeden Ort geleitet werden. Das sind gute Voraussetzungen für eine zukünftige Skalierung des Verfahrens für die chemische Industrie“, verdeutlicht Prof. Volker Sieber, der am Straubinger Institutsteil des Fraunhofer IGB schon lange Strategien zur CO<sub>2</sub>-Speicherung verfolgt.

### Cofaktoren werden gleichzeitig permanent regeneriert

Der völlig neue Ansatz der Wissenschaftler beruht aber nicht nur auf der Tatsache, dass eine enzymatische Reaktionssequenz erfolgreich mit Strom angetrieben werden kann, sondern beinhaltet auch ein weiteres äußerst innovatives Modul: Damit die Reaktionen wie gewünscht ablaufen und am Ende eine möglichst hohe Produktausbeute steht, braucht es in dem Fall eine kontinuierliche Zufuhr an „Doping“ fürs Enzym: die passenden und funktionalen Cofaktoren. Diese kleinen, organischen Moleküle werden im Lauf jeder einzelnen Reaktion verbraucht und müssen regeneriert werden, um wieder einsatzfähig zu sein. Sie in großen Mengen neu bereitzustellen, ist sehr teuer und damit für die Industrie unwirtschaftlich. Deshalb haben die eBioCO<sub>2</sub>-n-Experten eine Möglichkeit gefunden, um sie mithilfe von Strom innerhalb des gleichen Reaktionssystems in den Hydrogelen wieder erneuern zu können – theoretisch unendlich lange. „Eigentlich müsste man nur ein einziges Mal Cofaktor ins System geben, und dieser würde dann immer wieder automatisch regeneriert. Aber in der Praxis funktioniert das nur annähernd so gut, weil der Cofaktor nicht unendlich lange stabil bleibt – aber durchaus schon sehr lange“, sagt Richter.



## JUMO flowTRANS US W01 und W02

[www.jumo.net](http://www.jumo.net)

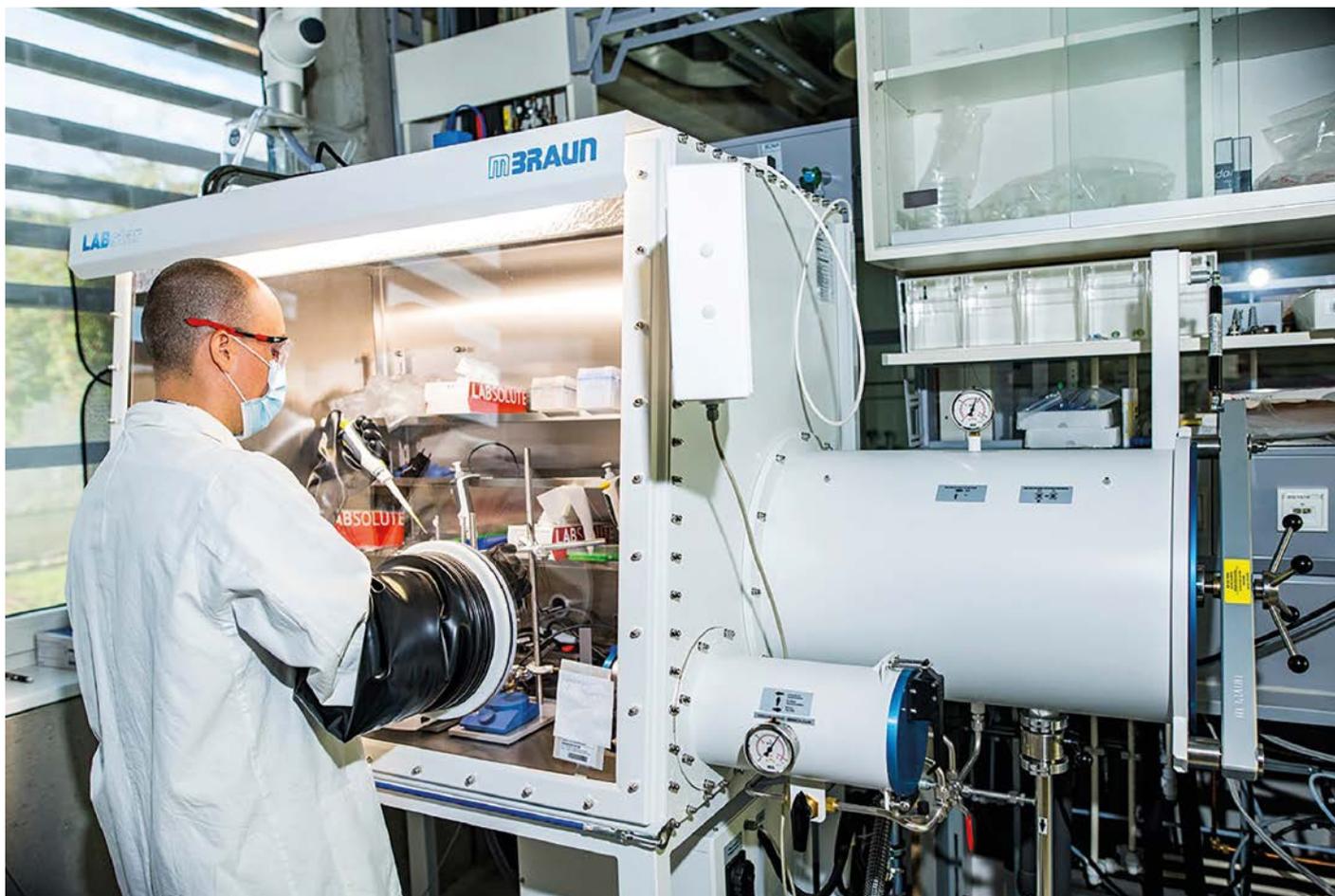
### Ultraschall-Durchflussmessgeräte für Flüssigkeiten

Produkte der JUMO flowTRANS US W Serie sind hochpräzise Ultraschall-Durchflussmessgeräte für leitfähige und nichtleitfähige Medien. Sie können flexibel in den unterschiedlichsten Prozessen eingesetzt werden und sind auch resistent gegen korrosive Medien. Zusätzlich zur reinen Durchflussmessung stehen Varianten mit einem Drucksensor, Bluetooth und IO-Link zu Verfügung.

- hohe Prozesssicherheit durch präzise Messung
- flexibler Einsatz in unterschiedlichen Prozessen
- Einsparung von Wartungskosten durch verschleißarmen Aufbau ohne bewegliche Teile
- unkomplizierte Integration in bestehende Anlagen
- Einsatz bei korrosiven Medien dank metallfreiem Aufbau

Besuchen Sie uns am  
26. Oktober 2022 in Bochum





In der Glovebox wird die Funktionalität der Enzyme elektrochemisch unter Ausschluss von Luft gemessen.

Für den bioelektrokatalytischen Recyclingprozess der Cofaktoren steht den Forschenden sogar ein ganzer Werkzeugkasten an unterschiedlichen Enzymen zur Verfügung, die sie aus verschiedenen Organismen aufgespürt haben. So ist das Spektrum dieser Biomoleküle für weitere Arbeiten je nach Anwendung modular erweitert und als Plattformsystem verwendbar. „Man kann aus bioinformatischen Datenbanken praktisch beliebig Enzyme auswählen, diese biotechnologisch herstellen und in die Hydrogele einbauen“, sagt Richter. „So wäre die Herstellung verschiedener biobasierter Feinchemikalien denkbar, die man bei entsprechendem Ausbau über weitere Enzymkaskaden praktisch nach Bedarf diversifizieren könnte.“ Hier bringt insbesondere das Marburger MPI seine Expertise ein. Gelingt dies in einer entsprechenden Skalierung, könnte die Plattformtechnologie ein zukunftsträchtiges Geschäftsmodell für die chemische Industrie werden.

### Plattformsystem soll beliebig erweiter- und skalierbar werden

Mithilfe der bioinspirierten CO<sub>2</sub>-Fixierung aus dem Labor konnte man am Fraunhofer IGB ein Coenzym-A-Derivat carboxylieren, ein für viele Stoffwechselvorgänge in Lebewesen wichti-

ges Biomolekül. „Hierbei handelt es sich um das bislang anspruchsvollste Molekül, an das auf biokatalytischem Weg CO<sub>2</sub> fixiert werden konnte“, so Richter. „Das ist bei weitem nicht selbstverständlich, eine so große und strukturell anspruchsvolle Substanz mit dieser Technologie zu modifizieren.“ Nun steht für die Projektmitarbeitenden die letzte Herausforderung an: zu beweisen, dass ihre Idee zuverlässig und skalierbar funktioniert sowie modular erweitert werden kann. Am IGB ist man jedoch optimistisch, vor allem auch vor dem Hintergrund eines gut funktionierenden interdisziplinären Teams, wie der Wissenschaftler betont. In Folgeprojekten sollen dann auch möglichst schnell Industriepartner mit einbezogen werden.

### Weitere Informationen zum Projekt

Das Projekt wird unter dem Titel eBioCO<sub>2</sub>n – Stromgetriebene CO<sub>2</sub>-Konversion durch synthetische Enzymkaskaden zur Herstellung von Spezialchemikalien geführt und im Rahmen des Fraunhofer-Max-Planck-Kooperationsprogramms von Januar 2019 bis Dezember 2022 gefördert.

Teile der Arbeiten wurden zudem über das ERC Starting Grant Redox SHields (715900) und

das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie im Rahmen des Projekts „Zentrum für Energiespeicherung“ finanziert.

### Der Autor

**Dr. Michael Richter**, Leiter Innovationsfeld Bioinspirierte Chemie, Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

Diesen Beitrag können Sie auch in der Wiley Online Library als pdf lesen und abspeichern:

<https://dx.doi.org/10.1002/citp.202201018>

### Kontakt

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Straubing  
Tel.: +49 711 970-4401  
info@igb.fraunhofer.de  
www.igb.fraunhofer.de/