

# FORSCHUNG KOMPAKT

FORSCHUNG KOMPAKT

1. Dezember 2022 || Seite 1 | 3

## Photochemie

### Vom Klimagas zum industriellen Rohstoff

**Statt CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre zu entlassen, wo es den Klimawandel weiter antreibt, kann es auch als Rohstoff dienen: Etwa für industriell benötigte Substanzen wie Ameisensäure oder Methanol. Auf Laborebene wurde die Umsetzung von CO<sub>2</sub> bereits eingehend untersucht, Nanodiamanten dienten dabei als umweltfreundlicher Photokatalysator. Gemeinsam mit Partnern überführen Forschende des Fraunhofer-Instituts für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM diese Reaktion nun in einen kontinuierlichen Prozess – und bringen das Verfahren damit einen großen Schritt weiter in Richtung Anwendung.**

CO<sub>2</sub> ist ein »Klimakiller« – Regierung und Unternehmen arbeiten daher daran, den Ausstoß möglichst weitreichend einzuschränken. Dort, wo dennoch CO<sub>2</sub> entsteht, könnte es in Zukunft als Rohstoff dienen: Und zwar für industriell relevante C1-Bausteine wie Ameisensäure oder Methanol, die nur ein Kohlenstoffatom beinhalten. Eine Möglichkeit dazu bieten Nanodiamanten: Mit ihnen als Katalysator lässt sich das Klimagas zu Ameisensäure umwandeln, wenn man die Nanodiamanten in wässriger Umgebung mit kurzweiligem UV C-Licht bestrahlt – wie es in den Laboren von Prof. Dr. Anke Krüger an der Uni Würzburg, die mittlerweile an der Uni Stuttgart lehrt, durchgeführt wird. Auch wenn Diamant als Katalysator teuer klingt: Es handelt sich hier nicht um den kostenintensiven Schmuckdiamant, sondern um Detonationsdiamant, der auf industrieller Skala hergestellt wird. Der Katalysator ist also relativ preisgünstig. Zudem besteht er überwiegend aus Kohlenstoff und ist somit ein umweltfreundlicher »grüner« Katalysator.

Forschende des Fraunhofer IMM heben diese Reaktionen im Projekt CarbonCat nun einen Schritt weiter in Richtung Anwendung – gemeinsam mit Prof. Krüger und der Sahlmann Photochemical Solutions GmbH. »Bisher fanden die Versuche in einem Batch-Reaktor statt, also in einem Rührkolben. Das bringt einige Nachteile mit sich«, sagt Dr. Thomas Rehm, Wissenschaftler am Fraunhofer IMM. »So ist die Kontaktierung zwischen Gas- und Flüssigphase und Katalysator nicht optimal, auch muss der Katalysator – also die umherschwimmenden Nanoteilchen – nach der Reaktion wieder von der Lösung abgetrennt werden.«

### Großflächiger Diamant-Katalysator

Das Forscherteam hat den Katalysator daher zum einen auf große Flächen gebracht, genauer gesagt auf Reaktionsplatten von etwa fünf mal neun Zentimetern. »Während

---

#### Kontakt

**Roman Möhlmann** | Fraunhofer-Gesellschaft, München | Kommunikation | Telefon +49 89 1205-1333 | [presse@zv.fraunhofer.de](mailto:presse@zv.fraunhofer.de)

**Dr. Stefan Kiesewalter** | Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM | Leiter Kommunikation | Telefon +49 6131 990-323 | Carl-Zeiss-Str. 18-20 | 55129 Mainz | [www.imm.fraunhofer.de](http://www.imm.fraunhofer.de) | [stefan.kiesewalter@imm.fraunhofer.de](mailto:stefan.kiesewalter@imm.fraunhofer.de)

beim bisherigen Batch-Prozess alle Komponenten in einen Kolben gegeben werden und abgewartet wird, bis die Reaktion zu Ende gelaufen ist, setzen wir auf einen kontinuierlichen Betrieb«, erläutert Rehm. Dazu haben die Forschenden einen Mikroreaktor entwickelt. Auf seiner aufrechtstehenden Reaktionsplatte sind Mikrokanäle eingebracht, die mit dem Diamantkatalysator beschichtet sind. Oben an der Platte befindet sich ein Schlitz, in den fortlaufend Wasser eingepumpt wird. Die Flüssigkeit fällt in der Platte nach unten. Aufgrund der Kapillarkräfte bildet sich ein Flüssigkeitsfilm von zehn bis 50 Mikrometer Dicke, der die Mikrokanäle auskleidet. Das CO<sub>2</sub> wird im Gegenstrom von unten über die Reaktionsplatte geleitet. »Auf diese Weise können wir wesentlich größere Mengen an Kohlenstoffdioxid direkt auf den Katalysatorfilm bringen, und zwar in einem kleineren Volumen an Lösung. Man hat also eine bessere Gas-Flüssig-Fest-Kontaktierung – was sich in einem höheren CO<sub>2</sub>-Umsatz und somit in einer größeren Menge an produzierter Ameisensäure niederschlagen kann«, fasst Rehm zusammen.

---

**FORSCHUNG KOMPAKT**

1. Dezember 2022 || Seite 2 | 3

---

### **Sichtbares Licht statt UV-Licht**

Zudem verwenden die Forschenden kein energieintensives UV C-Licht mehr wie beim nanoskaligen Katalysator, sondern günstiger verfügbares sichtbares Licht, das sich zudem auch einfacher handhaben lässt. Dafür ist eine Modifikation der Diamantoberfläche nötig: Sie muss sichtbares Licht einfangen, aber dennoch die gleiche Reaktion anstoßen wie der nanoskalige Diamant. Dazu binden die Forschenden Metallkomplexe – organische Verbindungen mit einem Metallzentrum, die die Eigenschaften haben, sichtbares Licht einzufangen – chemisch an die Diamantoberfläche. Diese bedecken allerdings nicht die gesamte Oberfläche, Flüssigkeit und Kohlenstoffdioxid kommen also nach wie vor mit der Diamantschicht in Kontakt. Strahlt nun sichtbares Licht auf die so modifizierte Beschichtung, werden einige Elektronen aus dem Kristallgitter des Diamanten an die Oberfläche der Diamantschicht herausgehoben. Dort gehen sie auf das CO<sub>2</sub> über, zusammen mit dem Wasser kann Ameisensäure entstehen. »Wir haben also eine lichtgetriebene Elektronen-Pumpe«, bestätigt Rehm. Um Elektronen nachzuliefern, legt das Team eine geringe elektrische Spannung an der Diamantoberfläche an.

Einige Meilensteine – Stichwort großflächiger Katalysator und sichtbares Licht – hat das Forscherteam bereits gemeistert. Weiterer Forschungsbedarf besteht noch in der geringen Kontaktzeit: CO<sub>2</sub>, Wasser und Diamantschicht bleiben gerade einmal zehn bis 15 Sekunden für die Reaktion. Zu wenig, um im erforderlichen Anwendungsmaßstab Ameisensäure zu erzeugen. Die Forschenden planen dafür zwei Ansätze: effizientere Metallkomplexe, um die Reaktionsgeschwindigkeit zu erhöhen, und die Anpassung des Reaktors für längere Kontaktzeiten.

### **Kombination von Photochemie und Biokatalyse**

In einem weiteren Projekt treibt ein Team aus insgesamt vier Fraunhofer-Instituten die Nutzung von Licht in der Chemie noch weiter: Es kombiniert die photochemische Katalyse mit der Biokatalyse – also mit Reaktionen, in denen biologische Enzyme als Kataly-

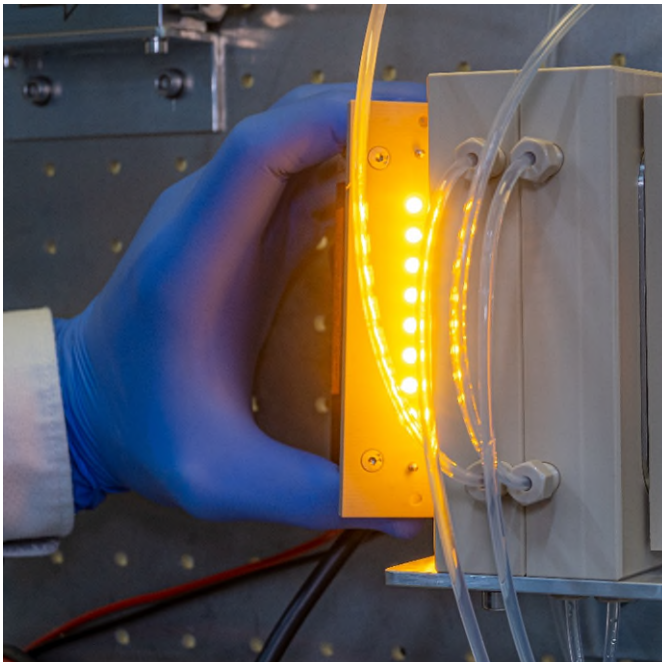
sator dienen. Auf diese Weise verbinden sie zwei sehr schonende Verfahren miteinander. Das Ziel: Die Herstellung von Feinchemikalien in hoher Enantiomeren-Reinheit, die beispielsweise für Pharmazeutika oder Agrochemikalien benötigt werden. Das Forscherteam nutzt hierbei die kaskadenartige Reaktionsführung aus, die durch die Kopplung beider Katalysemethoden möglich wird. Das Konsortium verspricht sich davon eine hohe Synergie für zukünftige Syntheseprozesse komplexer Moleküle.

---

**FORSCHUNG KOMPAKT**

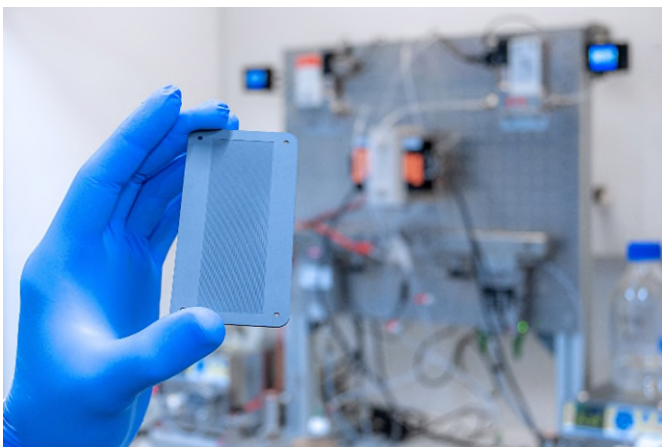
1. Dezember 2022 || Seite 3 | 3

---



**Abb. 1 Sichtbares Licht als Energiequelle für die photokatalysierte Umsetzung von CO<sub>2</sub> an Diamantoberflächen.**

© Fraunhofer IMM



**Abb. 2 Eine diamantbeschichtete Reaktionsplatte mit Mikrokanälen als Schlüsselement für den kontinuierliche betriebenen Durchflussreaktor zur Umsetzung von CO<sub>2</sub> in C<sub>1</sub>-Bausteine.**

© Fraunhofer IMM