

Labo (Life Science) 4/2017 S. 58-59

Denn ein Team um Tobias Erb, Leiter einer Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie in Marburg hat nach dem Vorbild der Fotosynthese einen künstlichen, aber komplett biologischen Stoffwechselweg entwickelt, der CO₂ aus der Luft mit 20 % höherer Effizienz bindet, als das Pflanzen fotosynthetisch schaffen. Die Forscher haben das neue System, zunächst am Reißbrett geplant – und dann im Labor in die Realität umgesetzt.

Eine der drängendsten Herausforderungen unserer Zeit ist der Klimawandel. Seit Beginn der industriellen Revolution ist die Konzentration an Kohlendioxid in der Luft durch den Menschen stetig angestiegen. Diese Zunahme heizt nach aller wissenschaftlichen Erkenntnis den Treibhauseffekt an und verändert das Klima. Die Konsequenzen sind bereits spürbar. Um die ökologische, aber auch soziale Herausforderung des Klimawandels zu meistern, „müssen wir also neue Wege finden, um das überschüssige CO₂ nachhaltig aus der Luft zu entfernen und in etwas Nützliches umzuwandeln“, betont Erb, der im Marburger Max-Planck-Institut eine Nachwuchsgruppe leitet.

Theoretisch könnte man das Problem mit einer höheren land- und forstwirtschaftlichen Produktivität angehen. Denn Pflanzen fixieren über die Fotosynthese Kohlendioxid aus der Luft. Aus dem CO₂ produzieren sie über einen schrittweisen Prozess, den sogenannten Calvin-Zyklus, Zucker für ihre Ernährung. Jeder einzelne biochemische Schritt hin zum Zucker wird von einem eigenen Enzym angestoßen beziehungsweise beschleunigt. Die verschiedenen Biokatalysatoren sind dabei genau aufeinander abgestimmt, damit sie zusammenarbeiten können. Doch es gibt ein Problem: Das CO₂-bindende Enzym des Calvin-Zyklus in Pflanzen, in Fachkreisen RuBisCo genannt, ist vergleichsweise langsam. Außerdem irrt es sich häufig: Bei jeder fünften Reaktion schnappt sich RuBisCo statt eines CO₂-ein Sauerstoffmolekül.

Ein Bakterien-Enzym bindet CO₂ fehlerfrei und mit Turbo

„Da gibt es in der Natur CO₂-fixierende Enzyme ganz anderer Qualität“, betont Erb. Solche Enzyme, die schneller und effizienter sind als die RuBisCo in Pflanzen, arbeiten natürlicherweise im Stoffwechsel von Mikroorganismen. Eines dieser Enzyme, mit dem unaussprechlichen Namen „Crotonyl-CoA Carboxylase/Reductase“, hat Erb selbst aus einem Bakterium isoliert. Dieses Enzym irrt sich so gut wie nie – und arbeitet zudem gewissermaßen mit Turbo, denn es funktioniert

zwanzigmal schneller als sein Gegenstück aus der Pflanzenwelt.

Noch in seiner Zeit an der ETH Zürich begannen Erb und sein Team darüber nachzudenken, wie man das Turbo-Enzym nutzen könnte, um damit CO₂ in organische Kohlenstoffverbindungen umzuwandeln. Doch dafür braucht es, wie im Calvin-Zyklus, weitere Enzyme. Diese konnten die Forscher aber nicht einfach aus dem Calvin-Zyklus übernehmen, weil dessen Biokatalysatoren nicht zum Turbo-Enzym passen.

Ein Stoffwechselweg mit 17 Enzymen aus 9 Organismen

Daher hat Tobias Erb zunächst theoretisch einen neuen, auf den Namen CETCH getauften Zyklus (für Crotonyl-CoA/Ethylmalonyl-CoA/Hydroxybutyryl-CoA) mit möglichen passenden Enzymen und sämtlichen biochemischen Reaktionen entworfen. Aus Datenbanken mit 40000 bekannten Enzymen hat er dann ein paar Dutzend Kandidaten gefischt, die die geplanten Aufgaben erfüllen könnten.

Anschließend hat Erbs Team in nur zwei Jahren sämtliche Enzyme in einem Reagenzglas zu einem „robust funktionierenden, optimierten Zyklus“ zusammengefügt. Dabei haben die Forscher immer wieder neue Biokatalysatoren getestet, oft gentechnisch verändert und neue Kombinationen von Enzymen ausprobiert, um das System zu finden, indem die Komponenten optimal zusammen arbeiten.

Am Ende stand ein künstlicher CO₂-fixierender Zyklus – etwas, das in dieser Art nach Erbs Wissen „noch niemand geschafft haben dürfte.“ Beteiligt sind 17 verschiedene Enzyme, darunter drei „Designer-Enzyme“, aus neun verschiedenen Organismen bis hin zum Menschen. Unterm Strich bindet der CETCH-Zyklus, mit dem die Marburger Forscher die Dunkelreaktion der Fotosynthese nachahmen, CO₂ mit 20 % höherer Effizienz als der Calvin-Zyklus der Pflanzen.

CETCH-Zyklus kann verschiedene Substanzen produzieren

Der synthetische Stoffwechselweg des Marburger Max-Planck-Teams ist somit eine Pionierarbeit auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie. In deren Zuge wollen Wissenschaftler unter anderem nach biologischen Prinzipien neue, für den Menschen nützlichen Systeme und Organismen bauen.

In Erbs Modell-Zyklus zieht seine Energie derzeit aus einer chemischen Reaktion und nicht aus Licht wie bei der Fotosynthese der Pflanzen, und am Ende kommt dabei die sogenannte Glyoxalsäure heraus. „Der CETCH-Zyklus“, sagt der

Marburger, „kann aber so verändert werden, dass dabei zum Beispiel Rohstoffe für Biodiesel entstehen.“ Oder ein Antibiotikum oder viele andere Substanzen.

Anwendung in Bakterien, Algen oder mit Solarzellen

Für die praktische Anwendung könnten die nötigen Gene für den Zyklus in ein Bakterium oder eine Alge verfrachtet werden. Diese veränderten Mikroorganismen würden dann das jeweils gewünschte Produkt herstellen – und könnten dazu einfach das CO₂ aus der Atmosphäre verwenden. Sie würden also das atmosphärische Treibhausgas nutzbringend umwandeln. Der CETCH-Zyklus könnte sich aber auch an Solarzellen koppeln lassen und die Elektronen, die diese liefern, zur Umwandlung von CO₂ in nützliche chemische Verbindungen verwenden.

Technisch erscheinen derlei Visionen nicht mehr unmöglich. Das Verständnis, wie man biologische Prozesse von Grund auf neu konstruieren kann, wird momentan innerhalb des MaxSynBio-Netzwerkes der Max-Planck-Gesellschaft intensiv erforscht. Tobias Erb möchte seinen Teil dazu beitragen, die grundlegenden Konstruktionsprinzipien des Metabolismus zu verstehen. „Unsere Wissenschaft zielt darauf ab, die Umwandlung von unbelebtem CO₂ in organische Materie neu zu erfinden. Unser Traum ist es, mithilfe von maßgeschneiderten Enzymen einen synthetischen Metabolismus 2.0 zu erschaffen, der jede beliebige Verbindung aus CO₂ herstellen kann.“

Originalpublikation

Thomas Schwander, Lennart Schada von Borzyskowski, Simon Burgener, Niña Socorro Cortina und Tobias J. Erb: A synthetic pathway for the fixation of carbon dioxide in vitro. *Science*, 18. November 2016; DOI: 10.1126/science.aah5237.

Ansprechpartner:

Dr. Tobias Erb

Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie, Marburg

E-Mail: toerb@mpi-marburg.mpg.de

www.cem.de

Tel. 02842/9644-0

Chemische Synthese mit fokussierter Mikrowelle.

CEM