Jan Michael Schuller

2006–2012 Biochemiestudium, Universität Tübingen. 2012–2016 Promotion, TU München bei Prof. Dr. W. Baumeister. 2016–2020 Postdoc bei Prof. Dr. E. Conti, Max-Planck-Institut für Biochemie, Martinsried. Seit 2020 Emmy-Noether-Nachwuchsgruppenleiter am SYNMIKRO Forschungszentrum

und dem Chemie Department der Universität Marburg. 2021 Daimler-Benz Fellowship. 2021 Heinz Maier-Leibnitz-Preis der DFG.

DOI: 10.1007/s12268-021-1605-5

© Der Autor 2021

■ Cyanobakterien sind photosynthetische Bakterien, die einen erheblichen Anteil des marinen Phytoplanktons ausmachen. Ein wachstumslimitierender Faktor für Cyanobakterien ist die geringe Bioverfügbarkeit von gelöstem anorganischem Kohlenstoff in ihrer wässrigen Umgebung. Daher verfügen die Bakterien über einen intrazellulären Kohlenstoff-Konzentrationsmechanismus. Zentrales Element dieses Systems ist das Carboxysom, welche das eigentliche CO_2 -fixierende Enzym, die RuBisCO, zusammen mit einer Kohlensäureanhydrase enthält. Kohlensäureanhydrasen wandeln Bicarbonat in CO_2 um und erhöhen somit die lokale Konzentration von CO_2 , was die Effizienz von RuBisCO deutlich erhöht. Dieses System ist jedoch abhängig von einer hohen Konzentration an Bicarbonat. Daher besitzen Cyanobakterien eine Vielzahl von spezifischen Transportern, die Bicarbonat aus verfügbaren Kohlenstoff in großer Menge in der Zelle akkumulieren.

Eine besondere bioenergetische Maschine ist der photosynthetische Komplex I, der ähnlich wie sein respiratorisches Gegenstück, der Komplex I in Mitochondrien und Bakterien, eine membrangebundene und redoxgetriebene molekulare Protonenpumpe ist. Dieser bezieht allerdings seine Elektronen nicht aus NADH, sondern aus reduziertem Ferredoxin, dem allgegenwärtigen Redoxüberträger in der Photosynthese. Bei Kohlenstoffmangel werden in dem Komplex zwei Untereinheiten ersetzt. Die alternativen Varianten assoziieren nachfolgend mit

Heinz Maier-Leibnitz-Preis

Biomolekulare Maschinen des Kohlenstoff-Konzentrationsmechanismus

JAN MICHAEL SCHULLER

SYNMIKRO FORSCHUNGSZENTRUM UND DEPARTMENT FÜR CHEMIE, PHILIPPS UNIVERSITÄT MARBURG

einer Kohlensäureanhydrase, die entgegen dem chemischen Gleichgewicht CO_2 hydriert, um Bicarbonat herzustellen.

Die strukturelle Analyse des Komplexes zeigt, wie die Natur verschiedene Module, ähnlich Legosteinen, innerhalb dieser großen Proteine kombiniert hat, um eine neue biologische Funktion zu erhalten [1]. Der L-förmige photosynthetische Komplex I ähnelt tatsächlich in großen Teilen seinem respiratorischen Gegenstück, allerdings fehlt ihm naturgemäß das NADH-Akzeptor-Modul. Stattdessen enthält der cyanobakterielle Komplex I sieben photosynthesespezifische Untereinheiten, die eine effiziente Bindung von Ferredoxin sicherstellen.

Weiterhin konnten wir zeigen, wie ein zweiter modularer Legostein in der Enzymvariante, die im Kohlenstoff-Konzentrationsmechanismus eine Rolle spielt, im Laufe der Evolution adaptiert wurde: An der Spitze des „Membranarms“ wurden im NDH-1MS-Komplex zwei Protonenkanäle mit alternativen Untereinheiten ersetzt [2]. Diese rekrutieren eine Kohlensäureanhydrase, die – wie gewünscht und benötigt – in der Lage ist, Bicarbonat gegen das chemische Gleichgewicht herzustellen. Die Struktur dieses Komplexes zeigt interessanterweise Unerwartetes. Die assoziierte Kohlensäureanhydrase hat nämlich eine einzigartige Struktur und weist neuartige katalytische Mechanismen auf, die nach meinem Stand der Kenntnis noch nie zuvor beschrieben wurden. Insgesamt scheint der Mechanismus des Komplexes nicht allein der aktive Abfluss der bei der Bicarbonatbildung freiwerdenden Protonen zu sein. Stattdessen enthält diese Untereinheit einen hydrophoben

Druck das Gleichgewicht verschieben könnte. Zurzeit sind wir dabei, diesen möglichen Mechanismus mittels zellbiologischer Methoden nachzuweisen.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Elena Conti und Jürgen Plitzko für fortwährende Unterstützung meiner wissenschaftlichen Laufbahn über viele Jahre. Ebenso danke ich meinen Kooperationspartnern, vor allem aber Marc Nowaczyk und Ville Kaila. ■

Literatur

- [1] Schuller JM, Birrell JA, Tanaka H et al. (2019) Structural adaptations of photosynthetic complex I enable ferredoxin-dependent electron transfer. *Science* 363: 257–260
- [2] Schuller JM, Saura P, Thiemann J et al. (2020) Redox-coupled proton pumping drives carbon concentration in the photosynthetic complex I. *Nature Comm* 11: 494

Funding note: Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.
Open Access: Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Korrespondenzadresse:

Dr. Jan Michael Schuller
SYNMIKRO Forschungszentrum und Department für Chemie – KryoEM Molekularer Maschinen
Philipps Universität Marburg
Karl-von-Frisch-Straße 14
D-35043 Marburg
jan.schuller@synmikro.uni-marburg.de
www.schullerlab.org

Gastunnel, der zum aktiven Zentrum der Kohlensäureanhydrase führt, als „Rohrleitung“ für CO_2 dient und durch den aufgebauten

◀ **Abb. 1:** Membranständige Kohlensäureanhydrase – ein Schlüsselement im Kohlenstoff-Konzentrationsmechanismus von Cyanobakterien. **A**, Modell des Kohlenstoff-Konzentrationsmechanismus von Cyanobakterien. Eine Reihe von aktiven und Na^+ -Gradienten-getriebenen Symportern erhöht die cytoplasmatische Bicarbonatkonzentration. Parallel dazu wird gelöstes CO_2 von membranständigen Kohlensäureanhydrasen entgegen dem chemischen Gleichgewicht in Bicarbonat umgesetzt. Das so akkumulierte Bicarbonat dient nun als Treibstoff für das Carboxysom-RuBisCO-System. **B**, Schematischer Vergleich des respiratorischen und des photosynthetischen Komplexes I. **C**, Segmentierte und eingefärbte Elektronendichte in simulierter Thylakoidmembran. **D**, Ausschnitt des strukturellen Bändermodells, der den möglichen CO_2 -Kanal in der vordersten Antipporteruntereinheit aufzeigt.