An der natürlichen Quelle solarer Brennstoffe

An der natürlichen Quelle solarer Brennstoffe
Mit Erkenntnissen zu Details der fotosynthetische Wasserspaltung verbessert sich die Aussicht für saubere Energieträger aus Wasser und Sonnenlicht.
Seit mehr als drei Milliarden Jahren nutzt die Natur das Sonnenlicht als primäre Energiequelle für die Fotosynthese. Pflanzen, aber auch Algen und Cyanobakterien (Blaualgen) spalten dabei mit Sonnenlicht Wasser und stellen aus Kohlendioxid (CO_2) energiereiche chemische Verbindungen her. So entstehen Kohlenhydrate, die der Natur als solarer Brennstoff in der lebenden Zelle dienen. Der grundlegende Ablauf der Fotosynthese ist zwar schon seit Langem bekannt, doch Forscher des Mülheimer Max-Planck-Instituts für Chemische Energiekonversion und des Kommissariats für Atomenergie und alternative Energien (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - CEA) im französischen Saclay haben nun wichtige Details der lichtinduzierten Wasserspaltung aufgeklärt. Sie legen so auch das wissenschaftliche Fundament, um im Rahmen einer künstlichen Fotosynthese aus Sonnenlicht und Wasser umweltfreundlich und kostengünstig Brennstoffe zu erzeugen und uns von den fossilen Energieträgern Erdöl, Kohle und Erdgas unabhängig zu machen.
Ein wasserspaltender Katalysator
Die lichtinduzierte katalytische Wasserspaltung läuft an einem Metallkomplex ab, der in ein großes Membranprotein (Fotosystem II) eingebettet ist. Dieser Komplex setzt sich aus vier Mangan-Atomen (Mn) und einem Kalzium-Atom (Ca) zusammen, die durch ein Netzwerk von Sauerstoffbrücken verbunden sind (siehe Abbildung). Dieser Wasser-oxidierende oder Sauerstoff-entwickelnde Komplex durchläuft einen komplizierten Zyklus, der Protonen und Elektronen, also letztlich Wasserstoff, und molekularen Sauerstoff freisetzt.
In einem Forschungsartikel, der diese Woche in Science veröffentlicht wurde, präsentiert das deutsch-französische Forscherteam die Struktur des Komplexes aus Mangan und Kalzium direkt vor der Sauerstoffbildung. Dieser Einblick in einen Schlüsselschritt der pflanzlichen Fotosynthese ist von großer Bedeutung, um den Mechanismus der Fotosynthese genau zu verstehen und um nach deren Vorbild künstliche Systeme zur lichtinduzierten Wasserspaltung zu entwickeln.
Die Arbeit ist das Ergebnis einer engen Kooperation zwischen der biophysikalischen und der theoretischen Abteilung des Max-Planck-Instituts für Chemische Energiekonversion unter der Leitung von Prof. Wolfgang Lubitz und Prof. Frank Neese. In diesen Abteilungen haben Dr. Nicholas Cox und Dr. Dimitrios Pantazis ein interdisziplinäres Team zusammengestellt, das die molekularen Details der Wasserspaltung in der Natur verstehen möchte.
Bei der Erforschung des Fotosystems II stellen sich drei Herausforderungen
Die erste Herausforderung stellte sich den Forschern, als sie das Fotosystem II mit voll intaktem wasserspaltenden Komplex aus dem ursprünglichen Organismus, einem thermophilen Cyanobakterium, das in heißen Quellen und Vulkanen in Japan gefunden wurde und sehr robust ist, isolierten und anschließend reinigten. Um die sehr hohen Anforderungen an die Qualität der Präparation zu erfüllen, benötigten Forscher in Saclay in einer Kooperation mit Forschern aus Japan mehrere Jahre Entwicklungsarbeit.
Der zweiten Herausforderung begegnete das Team, als es den Mangan-Komplex im Fotosystem II in den verschiedenen Zuständen der Wasserspaltung charakterisierte. Diese Hürde nahmen die Forscher der biophysikalischen Abteilung des Mülheimer Instituts mithilfe der Elektronenspinresonanz-Spektroskopie (ESR). Diese ermöglicht es, die Elektronenverteilung in einem Molekül oder Metallkomplex sichtbar zu machen, und erlaubt damit einen tiefen Einblick in die einzelnen Schritte der Wasserspaltung. "Diese Messungen liefern neue Erkenntnisse und lösen Probleme bei der exakten Analyse molekularer Strukturen in Reaktionsabläufen, die mit anderen Methoden nicht zugänglich sind", sagt Dr. Alain Boussac vom CEA Saclay.
Eine dritte Herausforderung bestand schließlich darin, die gesammelten Informationen so zu nutzen, dass ein komplettes Strukturmodell des Bio-Katalysators entsteht. Neue theoretische Methoden und die Supercomputer der Theorieabteilung des Max-Planck-Instituts ermöglichten die dafür benötigten Berechnungen. Auf diese Weise zeigten die Forscher, dass sich in der späten Phase des Reaktionsablaufs ein zweites Wassermolekül in unmittelbarer Nachbarschaft zu einem aktiven Sauerstoffatom an den Komplex anlagert und dabei ein Proton abgibt. Dies führt dann im nächsten Schritt direkt zur O-O Bindungsbildung.
Brennstoff aus Sonnenlicht - die Natur kopieren
Durch die Entschlüsselung der Struktur und Funktion des wasserspaltenden Katalysators im Fotosystem II auf atomarer Ebene ist auch die Aufklärung des Mechanismus der Wasserspaltung in greifbare Nähe gerückt. Mit diesen Erkenntnissen, ergeben sich wichtige Kriterien für das Design ähnlicher synthetischer Katalysatoren, die Wasser mit umweltfreundlichen, kostengünstigen und gut verfügbaren Elementen spalten. Derzeit werden zu diesem Zweck vielfach das teure Platin und andere seltene Metalle oder Metallkomplexe eingesetzt. Das verteuert die großtechnische Produktion von erneuerbaren Energieträgern wie Wasserstoff oder macht sie gar unmöglich.
Mit bioinspirierten Katalysatoren könnte sich Wasserstoff oder ein anderer solarer Brennstoff dagegen kostengünstig erzeugen lassen, wenn man Fotovoltaikanlagen mit wasserspaltenden Katalysatoren kombinieren würde, um solare Brennstoffe zu erzeugen statt Strom zu produzieren. So könnte die Energiewirtschaft das Hauptproblem der Fotovoltaik überwinden: Sonnenlicht steht als Energiequelle nicht rund um die Uhr zur Verfügung, und Elektrizität eignet sich auch wenig, um Fahrzeuge anzutreiben. Das Konzept des solaren Brennstoffs ermöglicht es hingegen, Sonnenenergie direkt in chemischen Verbindungen zu speichern und somit unabhängig von Zeit und Ort zu nutzen.
"Künstlicher Solar-Brennstoff eröffnet regenerativen Energietechnologien weitreichende Möglichkeiten, insbesondere für den Verkehrs- und Infrastruktursektor, der immer noch auf fossile Brennstoffe angewiesen ist, sagt Prof. Wolfgang Lubitz, Direktor am Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion "Ein effizienter, lichtgetriebener, wasserspaltender Katalysator auf Basis von häufigen Metallen wie Mangan brächte hier einen großen Fortschritt. Der Einblick in das wasserspaltende Enzym der Natur hat die Grundlage für solche Entwicklungen geschaffen."

Mehr Informationen:
Prof. Dr. Wolfgang Lubitz
Direktor am Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion in Mülheim an der Ruhr
0208/306-3614
wolfgang.lubitz@cec.mpg.de
  http://www.cec.mpg.de
<img src="http://www.pressrelations.de/new/pmcounter.cfm?n_pinr_=572886" width="1" height="1">

Pressekontakt

Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion

45470 Mülheim an der Ruhr

Firmenkontakt

Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion

45470 Mülheim an der Ruhr

Das MPI CEC ist ein junges, zukunftsfähiges Institut, dass gerade am Anfang steht. Jedoch bedeutet die Neugründung des Instituts nicht, dass wir noch keine Fußstapfen in der Wissenschaftswelt hinterlassen hätten. Vielmehr können wir in unserem neuen Institut auf eine forschungsreiche Vergangenheit aufbauen. Was als unabhängige Abteilung des Max-Planck-Institutes für Kohlenforschung begann, ist in nur wenigen Jahren zum eigenständigen MPI mit eigenem Forschungsfokus gewachsen.Begleiten Sie uns auf eine Reise von der Neugründung des MPI CEC zu unseren Forschungswurzeln!