



Auf das erste Elektron kommt es an

12. Januar 2022, Themen: Ökosysteme, Schadstoffe, Energie

Wer atmet, muss Elektronen loswerden. Für den Transport von Elektronen aus der Atmung von Mikroben kommen in sauerstofffreien Umgebungen besondere Moleküle zum Einsatz, extrazelluläre Elektronen-Shuttles. Jetzt hat eine Gruppe von Forschenden herausgefunden, welche Eigenschaft dieser «Taxis» ihre Effizienz bestimmt: die Energieunterschiede der transportierten Elektronen.

Alles, was lebt, braucht Energie. Das gilt auch für Mikroorganismen. Oftmals wird die Energie durch Atmung, also durch das Verbrennen organischer Verbindungen, der Nahrung, in den Zellen erzeugt. Dabei werden Elektronen freigesetzt, welche die Mikroorganismen loswerden müssen. Ist dafür kein Sauerstoff vorhanden, können Mikroorganismen andere Wege nutzen, darunter den Transport der Elektronen auf Minerale ausserhalb der Zellen.

Reduktionsraten schwanken stark

In Böden oder sauerstofffreien Seesedimenten spielen insbesondere Eisenoxide eine wichtige Rolle als Akzeptoren der freigesetzten Elektronen. Doch wie gelangen die Elektronen von der Verbrennung in den Zellen zu den Eisenoxiden, die sich ausserhalb der Zelle befinden? Dafür nutzen Mikroorganismen besondere Moleküle, die zwei Elektronen an der Zelloberfläche abholen und dann, wie ein Taxi, zu den Eisenoxiden transportieren. Dort steigen beide Elektronen aus und reduzieren dabei dreiwertiges zu zweiwertigem Eisen. Das Taxi ist dann wieder frei und kann erneut Elektronen transportieren.

Diese Extracellular Electron Shuttles, kurz EES, sind schon länger bekannt. Jedoch war bisher unklar, weshalb ihre Effizienz stark von ihrer Struktur und den Umweltbedingungen abhängt – und somit das Tempo der Eisenoxidreduktion über mehrere Grössenordnungen variiert. Bisherige Versuche, die grossen Effizienzunterschiede mit bekannten Grössen wie pH-Wert oder Temperatur zu erklären, waren bisher nicht erfolgreich.

Elektronen müssen individuell betrachtet werden

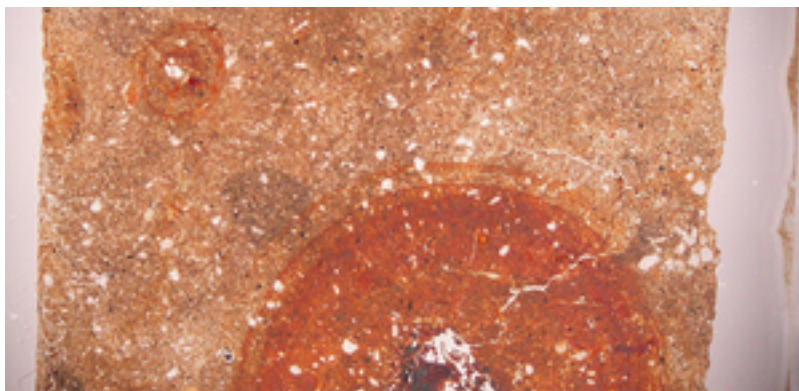
Eine soeben in der Zeitschrift PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America) veröffentlichte Studie von Forschenden der Eawag und der ETH Zürich zeigt nun, wie Effizienzunterschiede der EES mit einer einzigen, eindeutigen Beziehung erklärt werden können. "Wir haben nicht, wie bisher, die gemittelte Energie beider transportierter Elektronen, sondern das jeweilige Energieniveau der einzelnen Elektronen berücksichtigt", schildert Meret Aeppli, die Erstautorin der Studie. Eawag-Umweltchemiker Thomas Hofstetter ergänzt: "Es stellte sich heraus: Der Transfer des ersten Elektrons vom EES auf das Eisenoxid ist oftmals energetisch deutlich ungünstiger als der Transfer des zweiten." Die Forschenden konnten zeigen, dass die Energiedifferenz zwischen dem ersten, vom EES übertragenen Elektron zum Eisenoxid die Eisenreduktionsrate bestimmt. Mit diesem Ansatz liessen sich die Effizienzunterschiede verschiedener EES erklären, und zwar sowohl über einen grossen pH Bereich als auch für zwei unterschiedliche Eisenoxide. Michael Sander von der ETH Zürich fasst den Vorgang bildlich zusammen: «Unter vielen Bedingungen will das erste Elektron eigentlich gar nicht aus dem EES Taxi aussteigen, wird aber vom zweiten Elektron gleichsam von der Rückbank nach draussen geschubst.»

Elektronentransfer mit UV-Licht sichtbar gemacht

Für ihre Erkenntnis haben die Autorinnen und Autoren der Studie sowohl eigene Experimente entwickelt und Daten erhoben als auch Ergebnisse vergangener Studien integriert. Für die Versuche in den Laboren der Eawag und ETH haben die Forschenden natürliche und synthetische EES-Moleküle verwendet und zwei weit verbreitete Eisen(III)-Oxide untersucht. Die Rate des Elektronentransfers von den EES auf die Eisenoxide, und somit die Effizienz des Elektronentransports, konnte mit UV-Licht sichtbar gemacht werden. Denn dieses wird unterschiedlich absorbiert von den EES, je nachdem ob sie mit oder ohne die beiden Elektronen unterwegs sind.

Klein aber zentral

Die Studie beschreibt nur einen kleinen Schritt in der mikrobiellen Atmung. Doch er ist zentral in vielen Prozessen. Und weil er nun endlich allgemeingültig verstanden ist, kann die anaerobe Atmung auf Mineralphasen zwischen Studien und Systemen jetzt besser verglichen werden. Wer sich mit anaerob arbeitenden Mikroorganismen und deren Kohlenstoffumsatz befasst, dürfte kaum darum herumkommen, die Arbeit zu lesen. Denn so klein der Schritt scheint, so relevant kann er sein für das Verständnis globaler biogeochemischer Prozesse – zum Beispiel beim anaeroben Abbau der organischen Substanz in auftauenden Permafrostböden, ein Prozess, bei dem riesige Mengen an klimawirksamen CO₂ freigesetzt werden.



Rund um Wurzeln, die Sauerstoff in den Boden bringen, lagert sich dreiwertiges Eisenoxid ab. Mikroorganismen können dieses nutzen und wieder zu zweiwertigem Eisenoxid reduzieren. (Foto: Andreas Voegelin, Eawag)

Titelbild: Flickr, CC BY 2.0

Originalpublikation

Aeppli M., Giroud S., Vranic S., Voegelin A., Hofstetter T.B., Sander M. (2022):
Thermodynamic Controls on Rates of Iron Oxide Reduction by Extracellular Electron Shuttles,
Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 119, e2115629119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2115629119>

Finanzierung / Kooperationen

Eawag ETHZ SNF

Kontakt an ETHZ

[Michael Sander \(D-Usys, Umweltchemie\)](#)

Erstellt von Andri Bryner

Kontakt



Thomas Hofstetter

Tel. +41 58 765 5076

thomas.hofstetter@eawag.ch



Andri Bryner

Medienverantwortlicher

Tel. +41 58 765 5104

andri.bryner@eawag.ch

<https://www.eawag.ch/de/news-agenda/news-plattform/news/auf-das-erste-elektron-kommt-es-an/>