



Pressemitteilung

Wie sich vor 2,5 Milliarden Jahren Sauerstoff in der Erdatmosphäre anreichern konnte

Forschungsteam der Universität Tübingen untersucht, wie Cyanobakterien in den frühen Ozeanen dem Eisenstress standhielten und sich massenhaft vermehren konnten

Christfried Dornis
Leitung

Janna Eberhardt
Forschungsredakteurin

Telefon +49 7071 29-77853
janna.eberhardt[at]uni-tuebingen.de

presse[at]uni-tuebingen.de
www.uni-tuebingen.de/aktuell

Tübingen, den 26.02.2026

Die bis heute existierenden Cyanobakterien waren in den frühen Ozeanen vor rund 2,5 Milliarden Jahren die ersten Lebewesen, die Fotosynthese betrieben und dabei Sauerstoff freisetzten. Dieser reicherte sich in immensem Ausmaß in der Erdatmosphäre an. Wie das möglich war, obwohl das reichlich im Ozeanwasser gelöste Eisen das Wachstum der Cyanobakterien stark hemmte, hat ein Forschungsteam unter der Leitung von Professor Andreas Kappler aus der Geomikrobiologie der Universität Tübingen in Laborversuchen erforscht. Die Forschenden entdeckten, dass das ebenfalls im Ozeanwasser vorhandene Silikat eine entscheidende Rolle spielte und auch der tageszeitliche Wechsel von Licht und Dunkel. Die Studie wurde in der Fachzeitschrift *Nature Communications* veröffentlicht.

Sauerstoff war für die Cyanobakterien ein schwieriges Abfallprodukt. Als er sich anreicherte, reagierte die Evolution flexibel. Heute ist er für die meisten Lebensformen, die wir kennen, nicht wegzudenken. „Die frühen Ozeane enthielten viel gelöstes Eisen, das mit Sauerstoff reagiert und dabei hochreaktive Sauerstoffradikale bildet. Diese sogenannten reaktiven Sauerstoffspezies sind giftig für Bakterien“, erklärt Andreas Kappler. Bisher sei man daher davon ausgegangen, dass die Sauerstoffradikale die Sauerstofffreisetzung der Cyanobakterien stark hemmten und dass erst mehrere Millionen von Jahren nach der Entstehung der Cyanobakterien freier Sauerstoff in die Atmosphäre gelangte. „Diese Annahme warf aber auch die Frage auf, wie die Cyanobakterien unter diesen Bedingungen überleben konnten“, sagt die Doktorandin Carolin Dreher aus Kapplers Arbeitsgruppe, die Erstautorin der Studie.

Die Rolle des Silikats

Um die Lebensbedingungen der Cyanobakterien in den frühen Ozeanen besser zu verstehen, untersuchte das Forschungsteam das Wachstum

von Cyanobakterien der Gattung *Synechococcus* im Labor bei verschiedenen Konzentrationen von gelöstem Eisen – und Silikat. Dabei handelt es sich um gelöstes Silizium, das ebenfalls im Wasser der Urmeere in größeren Mengen vorkam. „Das wissen wir aus den heute größten Eisenlagerstätten der Welt, den gebänderten Eisenerzen, die auf mehreren Kontinenten vorkommen. Dort wurden beide Elemente, Eisen und Silizium, abwechselnd in Schichten abgelagert“, erklärt Kappler.

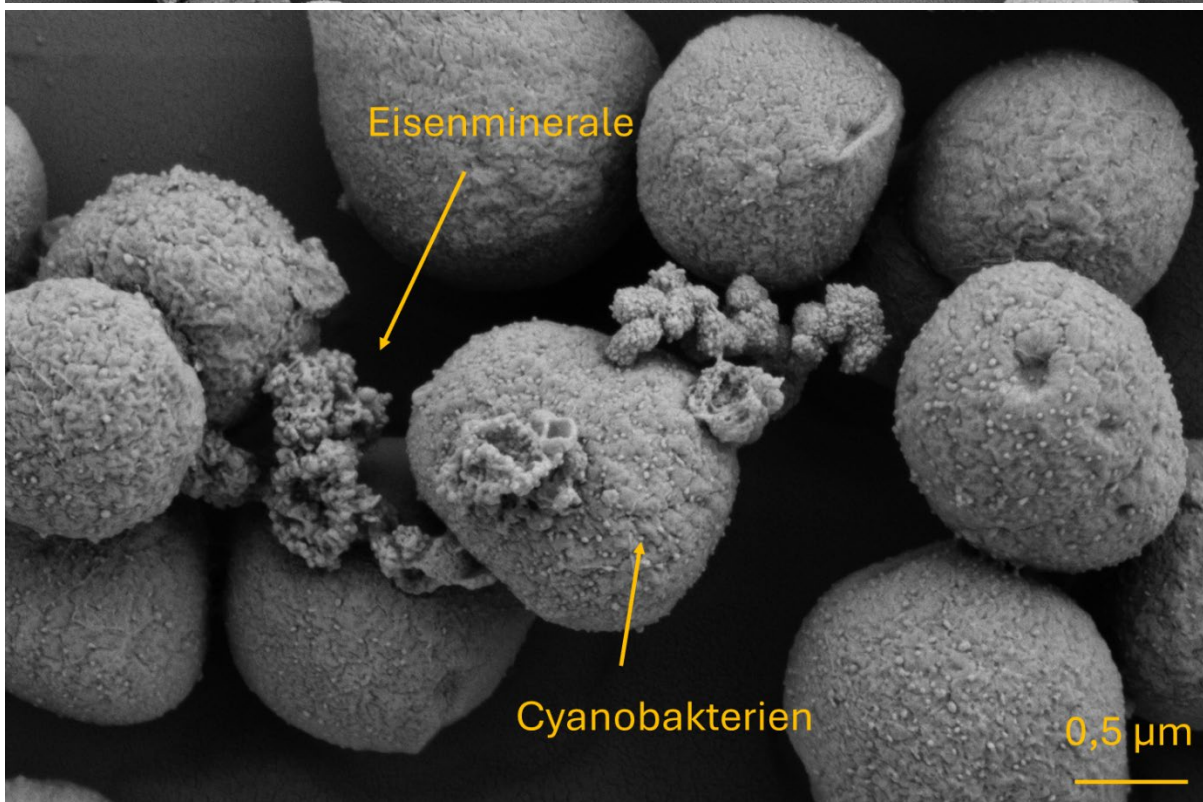
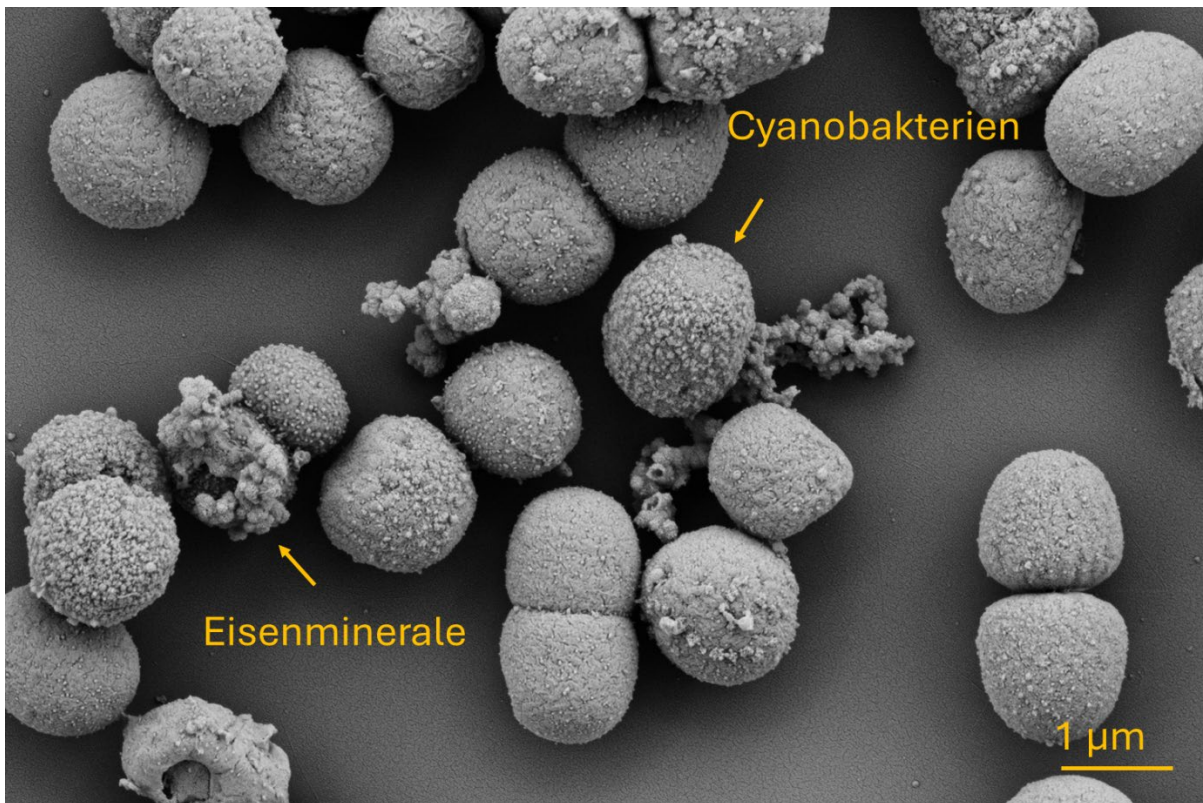
Im Experiment verstärkten hohe Eisenkonzentrationen die Bildung reaktiver Sauerstoffverbindungen und hemmten das Wachstum der Mikroorganismen. „Wenn in den Versuchen allerdings auch die für die damaligen Ozeane realistischen Mengen an Silikat vorhanden waren, ging die Bildung dieser toxischen Verbindungen deutlich zurück“, berichtet Carolin Dreher. Unter diesen Bedingungen konnten die Cyanobakterien wachsen und weiterhin Sauerstoff produzieren. „Hohe Silikatkonzentrationen wirkten offenbar wie ein chemischer Schutzmechanismus, der die Bildung schädlicher Sauerstoffverbindungen reduzierte und so das Wachstum der Cyanobakterien trotz hoher Eisenkonzentrationen ermöglichte“, erklärt die Forscherin.

Einfluss des tageszeitlichen Hell-Dunkel-Wechsels

Darüber hinaus fanden die Forschenden heraus, dass auch der Wechsel von Tag- und Nachtphasen eine wichtige Rolle bei der Sauerstoffanreicherung spielte. „Bei vorangegangenen Forschungsarbeiten war eine Dauerbeleuchtung verwendet worden. Wir stellten fest, dass sich die Bildung schädlicher Sauerstoffverbindungen bei unseren Laborversuchen unter einem tageszeitlichen Lichtzyklus zusätzlich reduzierte“, berichtet Dreher. Rechenmodelle der Forschenden auf Basis der experimentellen Daten hätten gezeigt, dass sich unter solchen Bedingungen in den oberflächennahen Bereichen der damaligen Ozeane sauerstoffreiche Zonen gebildet haben könnten.

„Unsere Ergebnisse legen nahe, dass die chemischen Bedingungen in den eisenreichen Ozeanen der frühen Erde die Ausbreitung von Cyanobakterien weniger stark behinderten als bisher angenommen“, sagt Kappler. „Das könnte entscheidend dazu beigetragen haben, dass diese Mikroorganismen langfristig genügend Sauerstoff produzierten, um die Zusammensetzung der Erdatmosphäre nachhaltig zu verändern.“

„Die Studie liefert neue faszinierende Einblicke in die langfristige Entwicklung der Erdatmosphäre. Sie zeigt, dass viele Bedingungen im Zusammenhang berücksichtigt werden müssen, um die Prozesse in den frühen Ozeanen nachzuvollziehen“, sagt Professorin Dr. Karla Pollmann, die Rektorin der Universität Tübingen.



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der kugelförmigen Cyanobakterien *Synechococcus* sp. PCC7002 und der ausgefällten Eisenminerale. Abbildungen: Carolin Dreher, Jeremiah Shuster



Laborflaschen nach 31 Tagen Versuchsdauer: Beide Flaschen enthalten gleich viel Eisen. Links, die Flasche mit Silikat, zeigt eine grüne Färbung aufgrund des dichten Wachstums der grünen Cyanobakterien, welche die Orangefärbung der Eisenminerale überdeckt. Rechts, die Flasche ohne Silikat, zeigt eine Orangefärbung durch Ausfällung von Eisenmineralen und weniger dichtes Wachstum der grünen Cyanobakterien. Foto: Carolin Dreher



Gebänderte Eisenerze bei Tom Price, Westaustralien: Blick auf eine Mine am südlichen Rand der Formation. Foto: Mark Barley



Gebänderte Eisenablagerungen in Gamohaam Hill in der Nähe von Kuruman, Provinz Nordkap, Südafrika. Das untere Bild zeigt eine Nahaufnahme der oberen Gesteinsformation.
Fotos: Andreas Kappler



Probe von gebänderten Eisenerzen der Hamersley-Gruppe, Westaustralien.
Foto: Jan-Peter Duda

Publikation:

Carolin L. Dreher, Olaf A. Cirpka, Manuel Schad Kurt O. Konhauser, Andreas Kappler: Survival of cyanobacteria and mitigation of Fe(II) toxicity effects in a silica-rich Archean ocean. *Nature Communications*, <https://doi.org/10.1038/s41467-026-69826-x>

Kontakt:

Prof. Dr. Andreas Kappler
Universität Tübingen
Geo- und Umweltnaturwissenschaften – Geomikrobiologie
Telefon +49 7071 29-74992
[andreas.kappler\[at\]uni-tuebingen.de](mailto:andreas.kappler[at]uni-tuebingen.de)