

Was sind chemolithoautotrophe Bakterien?

Sie tragen komplizierte Namen wie *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Nitrobacter winogradskyi* oder *Methanobacterium thermoautotrophicum*. Genauso komplex, gleichzeitig aber auch enorm faszinierend, sind die Eigenschaften und Fähigkeiten dieser sogenannten chemolithoautotrophen Bakterien. Die Mikroben kommen nämlich ganz ohne Energiequellen wie Sonnenlicht oder organische Verbindungen wie Vitamine, Zucker oder Aminosäuren aus, die für die Ernährung der meisten Organismen lebenswichtig sind.¹ Sie betreiben nicht wie die grünen Pflanzen Photosynthese, bei der Wasser und Kohlenstoffdioxid mithilfe von Licht und Chlorophyll zu Glucose und Sauerstoff umgewandelt wird. Ihre Form des Energiestoffwechsels nennt sich Chemosynthese. Dabei wird Energie aus der Oxidation anorganischer Substrate wie Schwefelverbindungen, Nitrit, Eisen- und Ammoniumionen oder Wasserstoff gewonnen, weshalb die Bakterien als „chemolithotroph“ bezeichnet werden. Und da die meisten von ihnen den für den Prozess notwendigen Kohlenstoff aus nur einer Quelle – dem Kohlenstoffdioxid – beziehen, spricht man wie bei den grünen Pflanzen von einem autotrophen Wachstum und somit von „chemolithoautotrophen Bakterien“.² Der Grund für diese besondere Art des Metabolismus besteht nach Ansicht der Experten darin, dass in der frühen Zeit der Entstehung von Leben auf der Erde, also vor etwa 4000 und 3500 Jahrmillionen, die Atmosphäre vermutlich reich an den Gasen CO, CO₂ und H₂ war und das Meer sowie Boden und Gestein hohe Konzentrationen an Metallionen und Schwefelkomplexen enthielten. So konnten die Bakterien diese zum Aufbau der eigenen Biomasse nutzbar machen³ – eine biochemische Glanzleistung! Der russische Mikrobiologe Sergej Nikolaevitch Winogradsky (1856–1953), einer der bedeutendsten Bakteriologen des ausgehenden 19. und frühen 20. Jahrhunderts, war der Erste, der durch umfassende Studien nachweisen konnte,

1 Margulis, Lynn/Schwartz, Karlene V.: Die fünf Reiche der Organismen. Ein Leitfad. Heidelberg 1989, S. 64.

2 Munk, Katharina: Grundstudium Biologie. Mikrobiologie. Heidelberg/Berlin 2009, S. 3–21.

3 Drews, Gerhart: Bakterien – ihre Entdeckung und Bedeutung für Natur und Mensch. 2. Auflage, Berlin/Heidelberg 2015, S. 112.

dass nicht nur Pflanzen, sondern auch Bakterien autotroph wachsen können. Durch Experimente mit Schwefel- und nitrifizierenden Bakterien (1887–1890) lieferte er erste Beweise dafür, dass ein Lebewesen eine anorganische Substanz (z.B. Stein) als Energiequelle nutzen, oxidieren und mit Kohlendioxid als Fixierer Zellmasse aufbauen konnte. Das Erstaunliche an den chemolithoautotrophen Bakterien ist also ihre Fähigkeit, aus toter Materie lebendige Materie zu generieren. Winogradskys Konzept der „Chemolithoautotrophie“⁴ wird bis heute durch intensive Forschung kontinuierlich weiterentwickelt. Abhängig von der jeweiligen „Nahrung“ der chemolithoautotrophen Bakterien, den sogenannten Energiesubstraten, lassen sie sich in verschiedene Gruppen einteilen: Nitrit- und Ammoniakoxidierer (Nitrifizierer), Schwefeloxidierer, Eisenoxidierer sowie Wasserstoffoxidierer.⁵ Sie alle sind an geobiologischen und biochemischen Prozessen beteiligt, die nicht nur für den Fortschritt der Wissenschaft von essenzieller Bedeutung sind, sondern auch Einfluss auf ökologische Fragestellungen oder gar wirtschaftliche Entwicklungen nehmen können. Sowohl aus historischer als auch aus gegenwärtiger Perspektive bieten die chemolithoautotrophen Bakterien dabei viele spannende Erkenntnisse, von denen an dieser Stelle nur einige exemplarisch ausgewählt werden: Eine herausragende Position unter den chemolithoautotrophen Bakterien nehmen die Schwefel- und Eisenoxidierer ein. Acidophile, also säureliebende Arten wie *Acidithiobacillus ferrooxidans*, die auch Thomas Feuerstein in seinem Projekt verwendet, leben bevorzugt in hochtoxischen, sauren Grubenabwässern, die große Mengen an Eisenverbindungen enthalten. Gerade deshalb sind etwa Halden von Bergbauschutt, wo erzhaltiges Gestein verwittert, ein Schlaraffenland für die Bakterien. Sie nutzen die anorganischen Schwefelverbindungen in den Gesteinen als Nahrung und setzen durch ihren Stoffwechsel Metalle wie Kupfer, Gold, Nickel, Molybdän, Zink oder Uran aus dem restlichen Erz frei. Dieser Vorgang wird als „Biomining“ bezeichnet, werden doch auf biologische Weise, ohne umweltschädliche Abgase und mit geringem Energieaufwand wertvolle Ressourcen gewonnen. Und nicht nur das: Die Halden werden dadurch saniert und entgiftet. Das ist auch der Grund, warum Forscher der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover versuchen, die chemolithoautotrophen Bakterien gezielt dafür einzusetzen. Biolaugung und Biooxidation sind laut Axel Schippers, dem Leiter der Arbeitsgruppe für Geomikrobiologie, etablierte Methoden der Metallgewinnung aus Erzen. Während bei der Biolaugung unlösliche Verbindungen (Metallsulfide) biologisch in das lösliche Sulfat umgewandelt werden und das Metall aus der Lösung extrahiert wird, zersetzen bei der Biooxidation Mikroben das Mineral, geben das Metall frei und bilden Säuren. Erstere findet besonders bei der Kupfergewinnung Anwendung, Letztere bei der Freisetzung von Gold aus sogenannten Refraktärerzen. Hier ist der Rohstoff in den Mineralien des Gesteins – vor allem in Pyrit – gebunden und muss herausgelöst werden. Biologische Metallgewinnung wurde bereits in früheren Jahrhunderten praktiziert, aber erst seit der wissenschaftlichen Erforschung der Prozesse in den 1940er-Jahren wissen die Chemiker um die gewichtige Rolle der Schwefelbakterien bei der Laugung. Gegenwärtig existieren Projekte, die den Versuch unternehmen, die Bakterien zu kultivieren, um sie für den Biobergbau rund um den Globus einzusetzen. Hiermit soll das traditionelle, energieintensive und umweltschädliche Smelting-Verfahren abgelöst werden, das Kohle als Reduktionsmittel zur Erhitzung von Erzkonzentrat nutzt, um das Herauslösen des Metalls zu beschleunigen, wodurch Schwefelsäure freigesetzt wird, die die Luft belastet und als saurer Regen Böden und Trinkwasser vergiftet. Und auch das Deutsche Patentamt hat 2008 neue Patente zur biologischen Gewinnung von Phosphat aus schwer-

4 Madigan, Michael T./Martinko, John M.: Brock Mikrobiologie. 11. aktualisierte Auflage, München 2009, S. 625–626.

5 Munk 2009, S. 3–21/3–22.

metall- und phosphathaltigen Lösungen erteilt. Die einzigartige Fähigkeit der Mikroorganismen kann nach Ansicht der Experten also durchaus in großem Maßstab Anwendung finden.⁶ Ein prominentes Beispiel aus der Geschichte zeigt, dass die Bakterien offenbar bereits im Mittelalter wichtig für die Herstellung von Schießpulver waren. Dies war den Menschen des 14. Jahrhunderts natürlich nicht bekannt, wohl aber, dass Salpeter dafür benötigt wurde. Durch Erfahrungswerte wussten sie, dass dieser am besten in gut durchlüfteten Beeten aus Erde, Kalkstein und stickstoffhaltigen Substanzen wie Urin, Blut oder Fleischabfällen gedeiht (besser gesagt: die Salze der Salpetersäure wie Ammonium-, Natrium- oder Kaliumnitrat). Nach einiger Zeit wurden die weißen Ablagerungen dann mit Wasser ausgelaugt und zu einer Lösung eingedampft, die den gewünschten Salpeter lieferte. Der mikrobiologische Prozess dahinter, also die Zersetzung des organischen Materials, wodurch Ammoniak entsteht, der durch nitrifizierende Bakterien mithilfe von Sauerstoff zu Nitrat oxidiert wird und mit Kohlendioxid deren Zellsubstanz aufbaut, ist eine Entdeckung der modernen Wissenschaft.⁷ Chemolithoautotrophe Bakterien leben an extremen Standorten – so auch einige Vertreter von Schwefeloxidierern, die ihren Lebensraum in der Tiefsee haben, an den sogenannten Hydrothermalquellen, wo das Wasser mit einem hohen Schwefelwasserstoffgehalt und Temperaturen von bis zu 405 Grad Celsius aus dem Meeresboden austritt (Schwarze Raucher). Die ersten Tiefseequellen wurden erst 1979 in der Nähe der Galapagosinseln in 2600 Metern Tiefe aufgespürt und mit ihnen eine fantastische Unterwasserwelt, die ein Team um Mikrobiologie-Professorin Colleen Cavanaugh von der Harvard University 1981 erstmals beschrieb. Das Besondere an diesem Biotop sind ihre tierischen Bewohner, gigantische Röhrenwürmer (*Riftia pachyptila*), die eine Länge von mehr als einem Meter erreichen können und in absoluter Dunkelheit unabhängig vom Prozess der Photosynthese leben. Sie gehen mit den Mikroben eine Art Symbiose ein. Dabei übernehmen chemolithoautotrophe Bakterien die Rolle der Sonne als Energiespender, indem sie den reichlich vorhandenen vulkanischen Schwefelwasserstoff zu Schwefel oder Sulfat oxidieren. Den für den Aufbau ihrer eigenen Zellsubstanz notwendigen Kohlenstoff liefert das im Wasser gelöste Kohlendioxid. Symbiotisch leben die Bakterien und Würmer deshalb, weil die Mikroorganismen den Tieren als Nahrung dienen (teils komplett, teils durch ausgeschiedene Zuckermoleküle aus Kohlendioxid). Als Gegenleistung bieten die Würmer „ihren“ Bakterien Schutz durch ihren eigenen Körper (Trophosom) und sorgen durch ihre wasserfilternden Kiemenbüschel für eine stetige Zufuhr von Schwefelwasserstoff und Sauerstoff.⁸ Während diese Gruppe der chemolithoautotrophen Bakterien eine wesentliche Rolle im Ökosystem Tiefsee spielen, könnten bestimmte Wasserstoffoxidierer, auch Knallgasbakterien genannt, künftig wertvoll für den Lebensraum der Menschen sein. Denn sie verfügen über die Fähigkeit, das giftige Kohlenmonoxid, das mit Industrie- und Autoabgasen oder privaten Heizungen in die Atmosphäre gelangt, zu Kohlendioxid zu oxidieren.⁹ Man darf gespannt sein, an welchen innovativen Technologien der Zukunft die genialen chemolithoautotrophen Bakterien noch beteiligt sein werden!

6 Schacht, Rüdiger: Bakterien als Bergleute. In: Welt.de, Wissen, 20.09.2010.

Unter: https://www.welt.de/welt_print/wissen/article9748604/Bakterien-als-Bergleute.html (10.10.2017).

7 Gottschalk, Gerhard: Welt der Bakterien. Die unsichtbaren Beherrscher unseres Planeten. Weinheim 2009, S. 114–115.

8 Gottschalk 2009, S. 47–48.

9 Munk 2009, S. 3-22.