

EVOLUTION IM LABOR

Cyanobakterien helfen dem Populationsgenetiker Homayoun Bagheri, einen der bedeutendsten Schritte in der Evolution des Lebens auf der Erde nachzuvollziehen: den vom Einzeller zum mehrzelligen Organismus. Von Ruth Jahn

wieder eliminiert, so dass die Trennung zwischen den Arten erhalten bleibt und verstärkt wird? Oder können Hybriden unter bestimmten Umweltbedingungen einen evolutionären Vorteil haben, so dass sie sich unter Umständen zu eigenen Arten entwickeln können? Eine weitere Frage ist, welche Rolle die genetische Diversität für den Erfolg von Hybriden spielt. In einem früheren Projekt, das mich lange beschäftigt hat, ging es um die kooperative Aufzucht von Jungen bei Vögeln, wo sich Helfer nicht fortpflanzen, sondern anderen bei der Aufzucht des Nachwuchses helfen. Ein Konzept, das solch nur scheinbar selbstloses Verhalten erklären kann, ist das der «Verwandtenselektion». Die Grundidee: Wenn meine Hilfe Verwandten zugute kommt, trägt die Investition indirekt zur Verbreitung meines eigenen Erbgutes bei, denn in diesen Verwandten steckt ja zumindest ein Teil meines eigenen Erbmaterials. Das Konzept der Verwandtenselektion, das etwa 45 Jahre alt ist, liefert damit eine (aber nicht die einzige) Möglichkeit, die Evolution von sozialem Verhalten zu erklären. Darwin hatte damit grosse Mühe. Inzwischen haben zahlreiche genetische Untersuchungen bestätigt, dass viele soziale Verhaltensweisen tatsächlich auf Verwandtschaft basieren.

Unsere Schlussfrage ist spekulativ: Wenn Darwin heute lebte und Evolutionsforschung betriebe, womit würde er sich beschäftigen?

REYER: Darwin war ein unglaublich breit interessierter, gut gebildeter Wissenschaftler. Er würde sich heute wahrscheinlich für Disziplinen interessieren, die relevant für seine Theorie sind, aber damals noch nicht existierten, wie etwa Genetik, Molekularbiologie oder moderne Neurobiologie. Aber auch die evolutionäre Erkenntnistheorie, die evolutionäre Psychologie und die evolutionäre Ethik wären für ihn interessant. Und Darwin würde wahrscheinlich weiterhin seine Hobbys pflegen – seinen Garten etwa. Er hat auch Tauben gezüchtet, und er war ein begeisterter Käfersammler. Es wäre ihm wohl kaum langweilig.

Am Anfang des Lebens auf unserem Planeten, vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren, lebten fast ausnahmslos Einzeller auf der Erde. Kleine, undifferenzierte, simple Organismen, soweit ist sich die evolutionsbiologische Forschungsgemeinde im Hinblick auf die Entwicklung des Lebens einig. Doch wie wurden die Lebewesen immer komplexer? Entwickelten sich – quasi als erster Siebenmeilenschritt der Evolution – zunächst verschiedenartige einzellige Spezialisten mit unterschiedlichem Stoffwechsel, die symbiotisch zusammenlebten? Und wuchsen diese dann irgendwann später zu mehrzelligen, heterogenen Zellverbänden zusammen? Oder war es genau umgekehrt? Entwickelten sich zuerst homogene mehrzellige Organismen, die dann in einem zweiten Schritt dazu übergingen, sich zellweise zu spezialisieren, um so die Arbeit des Stoffwechsels und der Vermehrung untereinander aufzuteilen?

MHRZELLIGKEIT VOR ARBEITSTEILUNG

Das zweite Szenario ist wahrscheinlicher, wie die Forschung des Populationsgenetikers Homayoun Bagheri zeigt. Mit mathematischen Modellen zu Cyanobakterien konnten der Wissenschaftler und sein Team herleiten, dass sich im Laufe der Evolution die Mehrzelligkeit vor der Arbeitsteilung und Differenzierung von Zellen herausgebildet haben muss: «Multizellularität scheint eine notwendige Bedingung dafür zu sein, dass sich Zellen in der Evolution differenzierten und begannen, Arbeitsteilung zu betreiben», so Bagheri.

«Diese Hypothese stützen auch grundsätzliche Überlegungen», betont Bagheri und liefert die entsprechende Argumentation: Angenommen, in einer Gemeinschaft von einzelligen, verschieden differenzierten Einzellern entsteht durch zufällige Mutation des Erbguts unter den Nachkommen dieser Einzeller ein einzel-

ner «Betrüger», der sich um Kooperation und das Haushalten mit den vorhandenen Ressourcen focht. So könnte sich dieser parasitäre Betrüger Typus einen Überlebensvorteil verschaffen und sich über kurz oder lang durchsetzen, während anders differenzierte Einzeller womöglich ausgerottet würden. «Das Nebeneinander von verschiedenen differenzierten Einzellern scheint somit in der Evolution ein eher wackeliges Konstrukt», sagt der Populationsgenetiker.

Die Mehrzeller schlagen sich da evolutionsbiologisch besser: Taucht ein eigennütziger «Betrüger» als ein Zelltypus innerhalb eines mehrzelligen Verbandes auf, könnten sich mehrzellige Organismen mit «Betrüger»-Zellen gegen Mehrzeller ohne «Betrüger»-Zellen durchsetzen. «Die Mehrzelligkeit an sich wird dabei kaum ausselektiert, darum sind Mehrzeller in der evolutionären Entwicklung wahrscheinlich ziemlich stabil», erklärt Bagheri.

Bagheris mathematische Modellierungen stützen diese Hypothese. Dass es zunächst Mehrzeller und dann Spezialisten in der Evolution der Cyanobakterien gegeben haben muss, versucht er aber noch anders zu beweisen: durch die Analyse des genetischen Stammbaums von Cyanobakterien.

DER STAMMBAUM DER CYANOBAKTERIEN

«Auffällig ist ja, dass bereits unter den allerältesten Mikrofossilien schon einige multizellulär waren. Dass diese demnach schon bald nach der Entstehung des ersten Lebens aufgetaucht sein müssen, lange bevor differenzierte Cyanobakterien dann die sauerstoffhaltige Atmosphäre auf der Erde erschufen», erklärt Bagheri: «Diese Mikrofossilien gleichen übrigens – zumindest äusserlich – den heutigen Mehrzellern unter den Cyanobakterien aufs Haar.» Homayoun Bagheris siebenköpfiges Team –

darunter Wissenschaftler die aus der Populationsgenetik, der aquatischen Ökologie, der Mikrobiologie oder der Mathematik kommen – hat deshalb einen genetischen Stammbaum von mehreren Dutzend Cyanobakterien erstellt: «Viele Arten von heute existierenden Cyanobakterien sind bereits isoliert und genetisch sequenziert worden. Das erlaubt uns, die Verwandtschaftsverhältnisse dieser Cyanobakterienarten abzuleiten und auch zu eruieren, wann sich in der Evolution bei den Cyanobakterien Mehrzeller gebildet haben und wann mehrzellige Cyanobakterien begannen, Arbeiten unter ihren verschiedenen Zellen aufzuteilen», so der Populationsgenetiker.

Und siehe da: Die Analyse der Gene der verschiedenen Cyanobakterien bestätigt die theoretischen Vorhersagen der mathematischen Modelle: Multizellularität ohne Arbeitsteilung findet sich schon unter den ältesten Bakterienarten, während sich die Zelldifferenzierung erst bei jüngeren Cyanobakterienarten herausgebildet hat. Bleibt die Frage, weshalb heute Einzeller die Mehrzahl der Bakterienarten ausmachen. Homayoun Bagheri: «Ein gutes Beispiel für erfolgreiche Einzeller sind

schnell wachsende, pathogene Bakterien wie zum Beispiel Staphylokokken. Diese sind Opportunisten: Sie sind nicht auf Kooperation mit anderen angewiesen und leben ganz nach der Devise «Jeder ist sich selbst der nächste». Evolutionär gesehen geht dieses egoistische Modell – zumindest bei pathogenen Winzlingen – ebenfalls voll auf.»

RUCOLA STATT ALGEN

Auch experimentell versucht sein Forscherteam solche und andere evolutionäre Vorgänge zu ergründen: Die Wissenschaftler lassen etwa zwei Bakterienstämme in Konkurrenz zueinander im Labor wachsen und testen, wie die Stämme auf Veränderungen in ihrer Umgebung wie etwa neuartige Futterquellen reagieren und wie sie dabei interagieren. Wenn den Bakterien andere Nahrung angeboten wird, könnte man unter Umständen im Laufe einiger Generationen Adaptationsprozesse (genetische und biochemische) bei den Bakterien feststellen: «Wir erleben im Labor einen evolutionären Schritt mit und können so die Evolution besser verstehen lernen. Für mich als Forscher das Spannendste, was es überhaupt gibt», schwärmt Bagheri.

Eine solche künstliche Mini-Evolution im Labor des Populationsgenetiklers vollzieht sich derzeit bei zwei Bakterienarten, die die Forscher aus dem Nordsee-Wattenmeer entnommen haben: Die beiden Bakterienarten ernähren sich dort von agarosehaltigen Meeresalgen – «Sushi-Algen». Die Wissenschaftler geben den Bakterien im Labor nun zellulosehaltige Nahrung, die es nur an Land gibt, wie etwa Rucola. «Wir sind gespannt, ob wir bei Folgegenerationen einer dieser Bakterienarten eventuell eine gänzlich neue Fähigkeit feststellen werden: nämlich die, Zellulose im Stoffwechsel zu verarbeiten. Gut möglich, dass wir somit im Labor einen weiteren Meilenstein der Evolution miterleben und besser verstehen lernen: Den vom Leben im Wasser zum Leben auf dem Land.»

KONTAKT Prof. Dr. Homayoun Bagheri, Zoologisches Institut, Universität Zürich

ZUSAMMENARBEIT Zentrum für Mikroskopie und Bildanalyse, Universität Zürich; Functional Genomics Center Zurich, Universität und ETH Zürich

FINANZIERUNG Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Zürich



Wenn Bakterien unterschiedliche Futterquellen erhalten, kommt es zu evolutionären Anpassungen.