

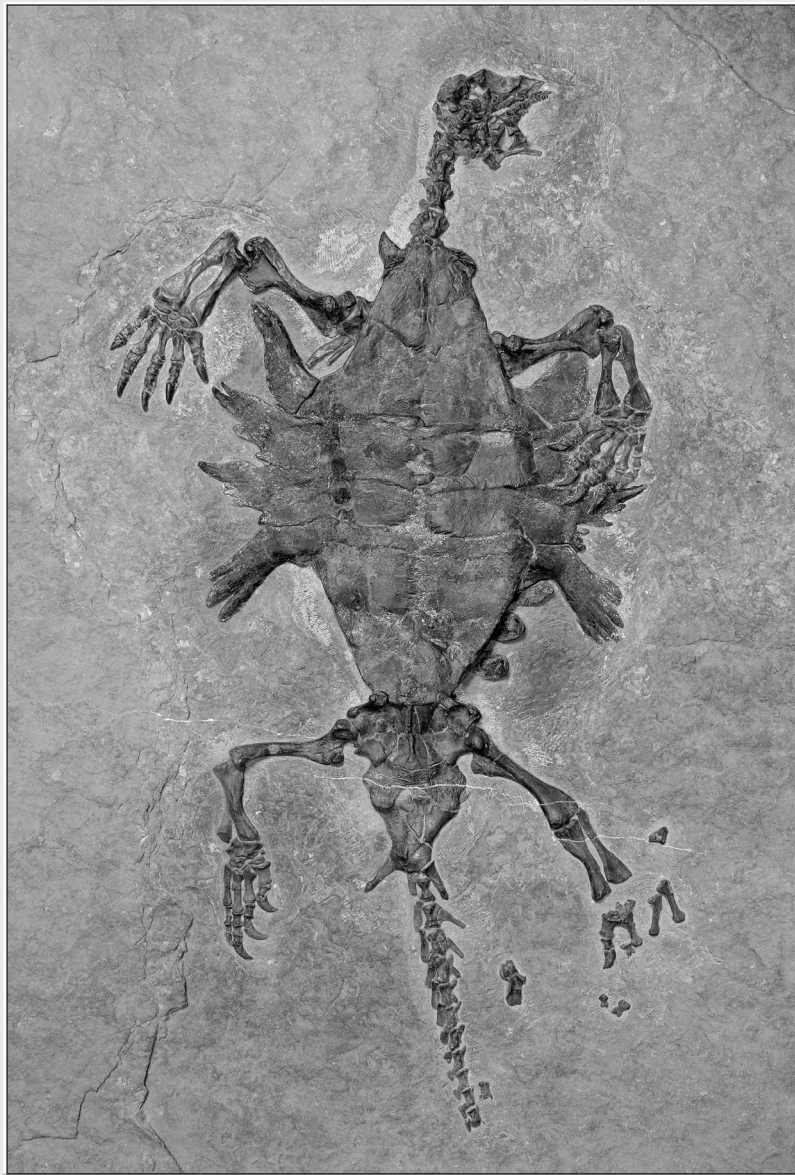


Abb. 1: *Odontochelys semitestacea*, specimen number IVPP V13240. Foto: Mr. Wei Gao. Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Chun Li.

tation von *Odontochelys* führe zur Möglichkeit, dass dessen Panzer nicht primitiv, sondern stattdessen eine spezialisierte Anpassung durch einen sekundären Verlust gewesen sei (REISZ & HEAD 2008, 451), also keine Ausprägung, die einem frühen Ontogenesestadium entspricht. Eine Reduktion der Hautknochen ist bei wasserlebenden Schildkröten verbreitet; die Deutung einer Spezialisierung passt also zum vermutlichen Lebensraum von *Odontochelys* im küstennahen Wasser. Diese Ausprägung könne durch ein Stehenbleiben der Entwicklung auf einem jugendlichen Stadium (sog. Pädomorphose) zustande gekommen sein.

Allerdings passt die Bezahnung, die evolutions-theoretisch als ursprüngliches Merkmal gelten muss, nicht ohne weiteres zu dieser Deutung. Insgesamt handelt es sich also um ein Merkmalsmosaik, das nicht leicht in ein stammesgeschichtliches Schema eingeordnet werden kann. Wie in vielen anderen Fällen auch zeigt sich, dass Mosaikformen nicht mit evolutiven Übergangsformen gleichzusetzen sind.

Die alternative Interpretation der Befunde durch REISZ & HEAD würde die Frage nach dem Ursprung der Schildkröten unverändert offen lassen, wenn nicht sogar verschärfen: Denn demnach wäre ausgerechnet eine spezialisierte Form die bislang älteste. Die Funde von *Odontochelys* machen auch beispielhaft deutlich, wie schwierig die Interpretation fossiler Funde sein kann.

Reinhard Junker

Literatur

- LI C, WU XC, RIEPPEL O, WANG LT & ZHAO LJ (2008) An ancestral turtle from the Late Triassic of southwestern China. *Nature* 456, 497-501.
REISZ RR & HEAD JJ (2008) Palaeontology: Turtle origins out to sea. *Nature* 456, 450-451.

Ameisen — weitere Neuigkeiten. Teil V

Ameisen als eusoziale Tiere vollbringen viele faszinierende Leistungen. Interessant sind aber oft die z. T. verblüffenden Interaktionen dieser kleinen Krabbler mit anderen Organismen. Ameisen tragen mit dazu bei, das Gesicht der Erde zu formen. Oft schimmert in den wissenschaftlichen Publikationen mit ihrer formalisierten Sprache etwas von der Faszination der Wissenschaftler an ihren Forschungsobjekten durch. HUGHES und Mitarbeiter (2008) bezeichnen in ihrem Übersichtsartikel die Ergebnisse über Fadenwürmer und Ameisen sogar als eine Geschichte mit Wow!-Faktor. Wow! lässt sich mit Toll! oder Irre! übersetzen. Fragen nach

der Entstehung solcher zwischenartlichen Beziehungsgeflechte können bislang gar nicht gestellt werden, denn die Zusammenhänge entziehen sich bisher aufgrund ihrer Komplexität einem experimentellen Zugang.

Ameisen als Gärtner. Viele Pflanzen lassen ihre Samen von Ameisen verbreiten. Dazu zählen in Deutschland u. a. das Schöllkraut, Veilchen und Lerchensporn. Diese Pflanzensamen tragen zusätzlich ein Nährgewebe, das Elaiosom, welches Öl und Eiweiß enthält (Abb. 1). Dadurch werden die Samen für die Ameisen attraktiv, die solche Samen

sammeln, das Nährgewebe fressen und die Samen dadurch ausbreiten. Im Amazonas-Urwald gibt es aber eine besondere Beziehung zwischen Ameisen und Pflanzen. Einige Ameisenarten (z.B. *Camponotus femoratus*) kultivieren bestimmte Aufsitzerpflanzen in ihren Baum-Nestern, die sich dadurch in auffällige Ameisengärten verwandeln. Einige Ameisenarten sind auf die Pflanzen sogar angewiesen, denn die Wurzeln bilden in den Nestern aus einem Karton-ähnlichen Stoff (ähnlich wie Wespennester) das innere Gerüst des Nestbaus. Dort wo Ameisengärten-Ameisen auftreten, sind sie ein sehr wichtiger Bestandteil des amazonischen Ökosystems, denn die Ameisengärten sind mit das wichtigste Substrat für die entsprechenden Pflanzen und diese Ameisen sind dann die häufigsten baumbewohnenden Insekten. Weiterhin sind mindestens zehn Pflanzenarten bekannt, die nur in solchen Ameisengärten wachsen.

Trotz ihrer Wichtigkeit war es aber bisher unbekannt, wie die Ameisen bestimmte Samen geeigneter Pflanzen auswählen, während sie andere links liegen lassen, denn die Samen der Aufsitzerpflanzen haben kein Nährgewebe, mit dem sie die Ameisen anlocken. In einer kürzlich erschienenen Arbeit konnten YOUNGSTAEDT und Mitarbeiter (2008) das Rätsel lösen. Wie so oft in der Ameisenwelt beruht auch die Erkennung der Samen auf ihrem Geruch. Wurden Samenextrakte einer solchen Ameisengartenpflanze (*Peperomia macrostachya*) auf Samen geträufelt, die sonst nicht gesammelt werden, so wurden diese Samen für die Ameisen attraktiv. Allerdings betasteten die Ameisen die Samen nach dem Auffinden und entschieden sich in der Regel dafür, die Samen doch liegen zu lassen. Offensichtlich dient der Geruch dem Auffinden und das Betasten einer weiteren Kontrolle. Es gelang den Forschern, aus den Antennen einzelner Ameisen Nervensignale abzuleiten, wenn die Ameisen die Samen rochen. Dadurch konnten immerhin fünf chemische Komponenten identifiziert werden, die für den attraktiven Samengeruch zuständig waren. Eine geeignete Mischung dieser fünf Substanzen lockte die Ameisen an, wirkte aber etwas schlechter als der natürliche Extrakt. Vermutlich sind an der Erkennung noch weitere der bis zu 50 verschiedenen Geruchskomponenten beteiligt. Einer der identifizierten Geruchsstoffe ähnelt einem Pheromon (Sexuallockstoff). Noch ist unklar, wie die Pflanzen diese chemische Komponente herstellen, die bislang nur aus Pilzen oder anderen Ameisenarten bekannt war.

Akazien wachsen besser, wenn Giraffen davon fressen. In der afrikanischen Savanne wachsen mehrere Akazienarten; am bekanntesten davon ist sicher die Schirmakazie, doch auf den lehmigen Hochebenen wächst vor allem die Flötenakazie (*Acacia drepanolobium*). Sie besitzt eigenartig aufgeblasene Dornen, daher der Name. Vielfach



Abb. 1: Üppige Ölkörper (Elaiosomen) an den schwarz glänzenden Samen des Lerchenspornes (Foto: R. JUNKER)

kommt aus den Blattdornen sofort eine Menge von Ameisen gelaufen, sobald deren Zweige erschüttert werden. Es handelt sich um *Crematogaster mimosae*, die ihre Pflanze aggressiv gegen die Pflanzenfresser der Region, also vor allem Giraffen, verteidigen (Abb. 2). Normalerweise sind ca. 50% der Bäume mit *C. mimosae* besiedelt. Die Ameisen werden als Gegenleistung für ihre Sicherheitsdienste von den Bäumen mit Wohnungen in den Blattdornen und mit Nektar aus zusätzlichen Nektarien versorgt.

Eigentlich, so sollte man daher meinen, müssten die Pflanzen besser gedeihen, wenn man den Wildverbiss durch die Giraffen generell verhindert. Ein solches Experiment unternahmen PALMER und Mitarbeiter (2008). Sie zäunten einen Bereich ein und beobachteten über zehn Jahre hinweg, wie sich dieser Teil der Savanne entwickeln würde. Da die Bäume nicht mehr auf die Sicherheitsdienste der Ameisen angewiesen waren, verringerten sie das Volumen der Blattdornen ebenso wie das Angebot an zusätzlichem Nektar. Diese schlechteren Wohnbedingungen für *C. mimosae*-Ameisen führte dazu, dass nur noch 20% der Bäume mit dieser Ameisenart besiedelt waren. Die übrigen Bäume bleiben aber nicht ameisenfrei, sondern werden von einer nahe verwandten Art, der *C. sjostedti* besiedelt. Diese

Abb. 2: Die Flötenakazie (*Acacia drepanolobium*) beherbergt Ameisen der Art *Crematogaster mimosae*. (© Todd PALMER, Abdruck mit freundlicher Genehmigung.)





Abb. 3: *Cephalotes atratus* mit einem rot glänzenden Hinterleib.
(© Steve YANOVIAK,
University of Arkansas;
Abdruck mit freundlicher Genehmigung)

zweite vorherrschende Art lebt aber nicht in den Blattdornen, sondern in Holzgängen, die von Käferlarven gebohrt wurden. Sie verteidigt die Bäume zwar auch, aber bei weitem nicht so aggressiv. Diese zweite Ameisenart ist auch nicht auf den zusätzlichen Nektar der Bäume angewiesen. Das größte Problem dürfte sein, dass diese *C. sjostedti* die Bäume nicht gegen die holzbohrenden Käferlarven schützt, in deren Gängen sie ja lebt. Das schwächt die Bäume, sie wachsen langsamer und sterben doppelt so häufig wie solche, die mit *C. mimosae* besiedelt sind, die auch die Holzlarven bekämpfen.

Letztendlich führte das Aussperren der Giraffen zu einer Abwärtsspirale: Der ausbleibende Wildverbiss verschlechtert die Wohnbedingungen für die aggressive Baumpolizei *C. mimosae*. Die nun von *C. sjostedti* übernommenen Bäume gedeihen aber letztlich schlechter und sterben schneller. Es scheint sich also um ein austariertes Beziehungsgeflecht zu handeln. Es wäre interessant zu wissen, ob sich im Laufe der Jahre ein neues Gleichgewicht einstellen würde, wenn die Giraffen dauerhaft fehlen würden, z. B. weil sie ausgestorben sind.

Fadenwürmer verwandeln Ameisen in leckere Beeren.

In Zentral- und Südamerika lebt die Große Schildkrötenameise (*Cephalotes atratus*, Abb. 3) in den Baumkronen des Regenwaldes. Natürlich kommt es vor, dass ab und zu solche Ameisen abstürzen. Diese Ameisen sind aber Gleitflieger und um am Boden des Urwalds nicht verloren zu gehen, gleiten sie während des Absturzes gezielt zum Stamm ihres Baumes zurück, um dann wieder nach oben zu krabbeln. Einige dieser Ameisen haben nun nicht einen schwarzen, matten Hinterleib, sondern einen roten, glänzenden. Als die Ameisen 1894 als neue Arten beschrieben wurden, wurde die rote Form sogar als Varietät beschrieben, weil sie so auffällig ist.

Es zeigte sich jetzt jedoch, dass hinter dieser roten Färbung eine komplexe Geschichte steckt. Die Ameisen verfüttern an ihre Larven u. a. auch

Vogelkot. Enthält dieser die Jugendstadien eines bestimmten Fadenwurms (Nematoden), so infizieren sich die Ameisenlarven mit diesen. In den Ameisenlarven entwickeln sich die Fadenwürmer zu den erwachsenen Tieren. Die Ameisenlarve verpuppt sich, scheinbar ohne sichtbare Schädigungen. Kurz nachdem die neue Ameise aus der Puppe schlüpft, paaren sich die Nematoden im Hinterleib der Ameisen. Die männlichen Fadenwürmer sterben daraufhin, die Weibchen fangen an, Eier zu produzieren, und der Hinterleib der Ameisen schwillt an. Die Fadenwurm-Eier sind gelb und die Nematoden schwächen von innen heraus die dunkle Haut der Ameisen. Im Endeffekt sorgt das für die auffällige rote Farbe des Hinterleibes.

Gleichzeitig verändern die Fadenwürmer das Verhalten der Ameisen: 1. Sie zwingen die Ameise dazu, ständig mit dem Hinterleib zu winken. 2. Die Ameisen sind wenig aggressiv und 3. sie produzieren keinen Alarmduftstoff, wenn sie gestört werden. Diese Veränderungen korrelieren mit der Qualität der Farbe: Je mehr infektiöse Eier die Ameisen enthalten, um so stärker ändert sich ihr Verhalten. Die Veränderungen gehen aber weiter. Die Ameisen laufen also mit rotem glänzendem und erhobenem Hinterleib in den Baumkronen umher und sind für Vögel, die rote Beeren lieben, sehr attraktiv. Jedoch heißen die Ameisen nicht umsonst Große Schildkrötenameisen, ihre Außenhaut ist dick und sie sind zusätzlich mit recht großen Dornen bewehrt und daher keine angenehme Mahlzeit für einen Vogel, der auf eine leckere Frucht aus ist. Bemerkenswerterweise schwächen die Nematoden das Gelenk zwischen Brust- und Hinterleib. Wird am Hinterleib gezogen, so löst er sich ab, längst bevor die gesamte Ameise vom Blatt abgezogen wird. Die notwendige Kraft ist etwa 14-mal niedriger, als normalerweise nötig wäre, um den Ameisen den Hinterleib abzureißen. Das Pflücken dieser Frucht wird den Vögeln wirklich einfach gemacht. Im Vogel schlüpfen die Fadenwurm-Eier und die verschiedenen Jugendstadien der Fadenwürmer vollziehen wieder ihren Kreislauf.

Die Veränderungen, die die Fadenwürmer mit den Ameisen vornehmen, werden von Biologen als erweiterter Phänotyp bezeichnet. Gleichzeitig kommt der Nematode so indirekt natürlich in den Besitz von Flügeln, die er selbst nicht hat. Alles in allem eine Geschichte mit großem Wow!-Faktor, so HUGHES und Mitarbeiter (2008), die darüber berichten.

Niko Winkler

Literatur

HUGHES DP, KRONAUER DJC, BOOMSMA JJ (2008) Extended phenotype: Nematodes turn ants into bird-dispersed fruits. *Curr. Biol.* 18, R294-R295.

PALMER TM, STANTON ML, YOUNG TP, GOHEEN JR, PRINGLE RM, KARBAN R (2008) Breakdown of an ant-plant mutualism follows the loss of large herbivores from an African savanna. *Science* 319, 192-195.

YOUNGSTADT E, NOJIMA S, HABERLEIN C, SCHULZ S & SCHAL C (2008) Chemical Ecology Special Feature: Seed odor mediates an obligate antplant mutualism in Amazonian rainforests. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 4571-4575.

Evolutionäres Proteindesign

Zusammenfassung: Ein wichtiger angenommener evolutiver Mechanismus zur Neuentstehung von genetischer Information soll die Verdoppelung eines Ausgangsgens mit anschließenden Mutationen in einem der beiden resultierenden Gene sein. Während die ursprüngliche Funktion durch ein unverändertes Gen aufrechterhalten wird, kann das andere Gen als „Spielwiese der Evolution“ ohne Schaden für den Gesamtorganismus mutieren. Eine schwedische Arbeitsgruppe hat jetzt ein solches Szenario experimentell an einem *Escherichia coli*-Protein nachzustellen versucht.

Nach gängigen evolutionären Vorstellungen soll die „Neukombination“ von Genabschnitten (Gen-„Shuffling“) die Entstehung von neuen Proteinen ermöglichen. Ein solches neues Protein kann dann durch weitere Mutationen und Selektion optimiert werden. Andere Forscher weisen dagegen auf das Fehlen plausibler mechanistischer Vorstellungen hin, wie selbst unter der Voraussetzung von Gen-Shuffling auf molekulargenetischer Ebene tatsächlich neue Proteine aus dem bisher Vorhandenen entstanden sein könnten (z.B. BEHE 2007, 145-158). Zu dieser bisher offenen Frage hat eine Arbeitsgruppe um den renommierten Stockholmer Bioinformatiker Gunnar VON HEIJNE mit einer Publikation in der Fachzeitschrift *Science* eine interessante Studie vorgelegt.

Die Proteine der „Multiresistenz-Familie gegen kleine chemische Giftstoffe“ (Small multiple-drug resistance family oder SMR-Familie) machen das Darmbakterium *Escherichia coli* resistent gegen vielerlei chemische Stoffe, die aus kleinen Molekülen bestehen. Die Schutzproteine befinden sich in der äußeren Membran. Sie pumpen dort die schädlichen Moleküle aus der Bakterienzelle. Eines dieser Proteine ist z. B. EmrE, welches das Wachstum in Gegenwart des Giftstoffes Ethidiumbromid ermöglicht. Es besteht aus zwei (oder mehr) identischen Einzelbausteinen, die in der Membran abwechselnd in jeweils umgekehrter Orientierung angeordnet sind: Ein Einzelbaustein besitzt vier schraubenförmige Bereiche (Helices), die einmal mit dem „Kopf und Schwanz“ nach außen und ein anderes Mal mit „Kopf und Schwanz“ nach innen ragen.

Normalerweise wird die Anordnung von Proteinen in einer Membran durch die „Positiv-Innen-Regel“ (*positive inside rule*) vorhergesagt: Oft liegen

zwischen zwei schraubenförmigen Bereichen Proteinbausteine, die positiv geladen sind (es handelt sich um die Aminosäuren Lysin und Arginin). Diese positiv geladenen Bereiche kommen üblicherweise innerhalb der Zelle zu liegen. Bei EmrE gibt es aber keinen besonders positiv geladenen Bereich. Das ist bei diesem Protein mit der zweifachen Einbau-richtung auch zu erwarten, da es hinsichtlich seiner Orientierung nicht festgelegt ist. Das EmrE-Protein von *E. coli* wird demzufolge nur von einem Gen kodiert, denn dieses Protein kann – wie gesagt – beide Richtungen einnehmen und so eine funktionsfähige Pumpe bauen.

Bei anderen Lebewesen, auch bei Eukaryoten, gibt es weitere ähnliche Proteine aus der SMR-Familie. Sie bestehen allerdings aus zwei verschiedenen Untereinheiten, die dann in der Membran jeweils entgegengesetzt orientiert sind. Die beiden Gene für die beiden Untereinheiten liegen auf dem Erbgut nebeneinander. Diese Anordnung soll evolutionär aus einem Protein mit einer unbestimmten Einbau-richtung, wie des EmrE aus *E. coli*, entstanden sein – das Gen habe sich verdoppelt (Genduplikation) und anschließend sollen sich Mutationen in den beiden resultierenden Proteinen angehäuft haben, die durch Austausch anderer Aminosäuren hin zu positiv geladenen die gegensätzliche Orientierung der beiden Untereinheiten in der Membran fixierten (vgl. Abb. 1). Nach weiteren hypothetischen Evolutionsschritten fusionierten diese beiden Einzelgene und bildeten ein neues Protein, welches nun insgesamt acht schraubenförmige Bereiche besitzt, da es aus zwei Proteinen mit je vier Schrauben hervorgegangen ist.

Simulation im Labor. Die Arbeitsgruppe von HEIJNE wollte dieses hypothetische evolutionäre Szenario im Labor nachstellen (und zugleich die bis dato noch nicht völlig bewiesene zweifache Einbau-richtung von EmrE bestätigen). Die Arbeitsgruppe veränderte den Gehalt positiv geladener Aminosäuren der innen bzw. außen liegenden Schleifen des EmrE-Proteins und beobachtete das Wachstum von *E. coli* in einem Nährmedium mit Ethidiumbromid. Bakterien ohne das EmrE-Gen wuchsen in diesem Medium nicht, im Gegensatz zu solchen Bakterien, die das intakte EmrE-Gen erhalten hatten. Dann veränderten die Forscher das ursprüngliche Gen: Die neue EmrE-IN-Variante wurde so