

Handelt es sich bei den Duplikaten nun nur um „Datenmüll“, der sich unweigerlich im Erbgut ansammelt und nach einiger Zeit durch weitere, die Funktion auslöschende Mutationen wieder aussortiert wird? Schon lange wird vermutet, daß es sich hierbei um einen Mechanismus handelt, der Lebewesen hilft, sich an ihre Umwelt gezielter anpassen zu können. Duplizierte Gene könnten im Laufe der Zeit nämlich neue Funktionen annehmen, während das originale Gen nach wie vor seine Aufgabe erfüllt. In diesem Zusammenhang sprach OHNO hier vor dreißig Jahren von der „Spielwiese der Evolution“. Eine experimentelle Bestätigung dieses Konzepts steht jedoch aus; es wird vornehmlich vergleichend-biologisch begründet.

Neue Untersuchungen von GU und Mitarbeitern weisen in eine andere Richtung als von OHNO vermutet: Eventuell sind Duplikationen „Versicherungen“ gegen nachteilige Mutationen und helfen, das Genom zu stabilisieren. Denn wenn eine Kopie ausfällt, kann die andere die entsprechende Funktion immer noch ausüben. Um dies zu untersuchen wurden in der Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae* systematisch alle Gene, jeweils immer eines, ausgeschaltet und die Auswirkung unter fünf verschiedenen Wachstumsbedingungen beobachtet. Diese Daten wurden nun in Hinblick auf einzeln vorliegende Gene („Singles“) und doppelt vorhandene („Duplizierte“) ausgewertet: In 29% der Fälle war das Ausschalten von Singles für die Hefe tödlich, während dies nur für 12,4% der Duplizierten gilt. Auf der anderen Seite hat das Abschalten eines Duplizierten in knapp 65% aller Fälle keinen oder einen kaum meßbaren Effekt, während dies nur für knapp 40% der Singles gilt.

Weiterhin gibt es eine Korrelation zwischen den ausgeschalteten Duplizierten: War der Effekt des Ausschaltens bei der einen Kopie schwach, so war es meistens auch bei der anderen, war der Effekt stark oder tödlich, so galt das für die Kopie ebenso. Die damit zusammenhängende Beobachtung ist: Je ähnlicher sich die Kopien sind, desto mehr überlappt ihre Funktion, und um so mehr können die Duplizierten füreinander eintreten. Angesichts dieser Ergebnisse fragt MEYER in einem begleitenden Kommentar: „[...] es könnte darauf hindeuten, daß OHNO nach allem doch falsch lag. Sind duplizierte Gene eher der Stoff für eine Stabilisierung in der Entwicklung und der Konservierung einer Funktion als der Stoff für evolutionäre Innovation? Wenn dem so ist, wie entstand die Vielfaltigkeit der Lebewesen um uns herum?“ MEYER vermutet, daß die Antwort für die evolutionäre Entwicklung dafür mehr in regulativen Genen, in der Synthese mehrerer unterschiedlicher Proteine vom selben Gen, sowie in der Einbindung von Duplikaten in andere Funktionszusammenhänge gesucht werden muß (vergleiche hierzu aber NEUHAUS 2002). Wir dürfen mit Spannung die zukünftige Forschung abwarten, ob Funktionszusammenhänge in Lebewesen durch

Veränderung von Regelkreisen tatsächlich erweitert werden können und damit eine Evolution möglich wird. Es ist zu vermuten, daß die Antwort, wozu duplizierte Gene gut sind, nicht in einem „entweder-oder“ liegt. So ist es denkbar, daß Duplikationen zwar eine Feinanpassung der Lebewesen (Mikroevolution) zulassen, gleichzeitig aber einen stabilisierenden Effekt auf das Genom ausüben, um das Überleben der jeweiligen Art zu sichern.

[GU Z, STEINMETZ LM, GU X, SCHARFE C, DAVIS RW & LiW-H (2003) Role of duplicate genes in genetic robustness against null mutations. *Nature* 421, 63-66; MEYER A (2003) Duplication, duplication. *Nature* 421, 31-32; NEUHAUS K (2002) Gene-tinkering: Kann in komplexe biologische Systeme neue Information eingeflickt werden? *Stud. Int. J.* 9, 59-66] NW

Kupfermineral in Kiefer eines marinen Bluteagels

Mit Biomineralisation werden Prozesse bezeichnet, durch welche Lebewesen aktiv Mineralien als Bestandteile zum Aufbau und Wachstum ihres Körpers integrieren können. Bekannte Beispiele sind Phosphatmineralien (Hydroxylapatit) im Knochenskelett und in den Zähnen oder Kalkmineralien (Kalzit, Aragonit) in den Schalen von Schnecken und Muscheln. In geologischen Prozessen oder im Labor müssen zur Synthese von Mineralien häufig extreme Temperatur- und/oder Druckbedingungen angewendet werden, während Organismen diese biosynthetisch unter sehr viel milderen Bedingungen herstellen.

LOWENSTEIN beschrieb 1962 erstmals das magnetische Eisenoxid-Mineral Magnetit als Bestandteil der äußeren Zahnschicht bei der Meereschnecke *Chiton*. Seither ist eine Vielzahl von Mineralien als Bestandteil von Organismen gefunden und charakterisiert worden.¹ Als jüngstes Beispiel publizierten LICHTENEGGER et al. (2002) die Entdeckung, daß der marine Bluteagel *Glycera dibranchiata* das Kupferchlorid-Mineral Atakamit $\text{Cu}(\text{OH})_3\text{Cl}$ in seine Zähne einlagert. (Benennung nach der chilenischen Wüste Atacama, wo das Hauptvorkommen dieses Cu-Minerals ist.)

Bereits 1980 war der Befund publiziert worden, daß Kupfer in den Zähnen von marinen Polychäten (Vielborstern) der Gattung *Glycera* einen Anteil von 13 Gewichts-% ausmacht und zwar unabhängig vom Kupfergehalt im Meerwasser. *Glycera* setzt seine vier 1,5 mm langen Zähne ein, um die Körperhülle der Beutetiere zu durchstoßen und Gift zu injizieren.

LICHTENEGGER und Mitarbeiter wiesen nun mittels stoffspezifischer mikroskopischer Untersuchungsmethoden (electron microprobe) das Vorkommen von Atakamit in der Zahnschmelze nach. Das Mineral ist dort nicht gleichmäßig verteilt, sondern in spezifischer Weise eingelagert.

Elektronenmikroskopisch zeigten die Autoren, daß das Mineral in Form von Fasern, die von einer Proteinmatrix umgeben sind, in der Zahnschmelze ein-

gelagert ist. Diese Fasern sind annähernd parallel angeordnet und weisen einen Durchmesser von jeweils 81 ± 14 nm auf. Mittels Synchrotron-Röntgenstreuung wurde deren mineralische Struktur untersucht. Aufgrund der Daten scheint der mineralische Anteil der Fasern polykristallin vorzuliegen, d.h. diese bestehen aus aneinander gelagerten einzelnen Kristallen, die jeweils Größen von 10–50 nm aufweisen.

Die ausgeprägte Härte der Zahnschmelz korreliert nach den veröffentlichten Daten gut mit dem Gehalt an eingebautem Cu-Mineral. Ein Vergleich der physikalischen Eigenschaften mit menschlichen Zahnkomponenten zeigt, daß die Zahnschmelzen von *Glycera* sehr viel härter sind als menschliches Dentin (Zahnbein, Kernsubstanz des Zahns) und fast so hart wie humanes Enamel (Zahnschmelz) und das bei einem durchschnittlichen Mineralanteil von nur 3,95 % im Vergleich zu 70 % und 96 % bei Dentin bzw. Enamel.

Der gemessene Kupferanteil in *Glycera*-Zähnen ist höher als es dem Mineral Atakmit $\text{Cu}(\text{OH})_3\text{Cl}$ entspricht. Die Autoren führen an, daß Kupferionen wie andere Metallkationen (z.B. Eisen und Zink) durch Koordination mit mehreren Liganden als nichtkovalente Vernetzungselemente von Polymeren fungieren könnten. Diese Vermutung wird durch den Befund gestützt, daß im Matrixprotein der Zähne die Aminosäuren Glycin und Histidin mit 63,2 % bzw. 32,5 % einen auffällig hohen Anteil ausmachen. Histidin spielt eine wichtige Rolle in der Bindung von Metallionen an Proteine.

Möglicherweise, so spekulieren LICHTENEGGER et al., hat Kupfer über die strukturellen Eigenschaften hinaus noch eine weitere biologische Bedeutung für *Glycera*: Kupfer könnte das Gift während der Injektion aktivieren; derartige Wirkungen von Kupfer sind in der Literatur an anderen Beispielen beschrieben.

Mit diesem Befund ist die reichhaltige Palette von genial optimierten Materialkompositionen in der Natur um ein interessantes Beispiel erweitert. Wie LICHTENEGGER und Mitarbeiter erwähnen, stellt dies ein herausforderndes Beispiel und Vorbild für Materialwissenschaftler und Ingenieure dar.

[LICHTENEGGER HC, SCHÖBERL T, BARTL MH, WAITE H & STUCKY GD (2002) High abrasion resistance with sparse mineralisation: copper biomineral in worm jaws. *Science* 298, 389–392. Weitere Details und technische Informationen unter: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/298/5592/389/DC1>] HB

¹ Eine aktuelle tabellarische Auflistung kann im Internet unter der Adresse: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/298/5592/375/DC1> (Tabelle 1) eingesehen werden.

Pflanzensuche im Internet

Am schnellsten findet man etwas über Pflanzen, indem man den Namen und am besten auch ein Stichwort dazu in eine der üblichen Suchmaschinen eingibt. Man findet auf die Weise allerdings nur, was auf irgendeiner Webseite steht, nicht den Inhalt von Datenbanken. Besonders gut ist die Ausbeute z.B. bei www.google.de. Viele Suchmaschinen bieten neuerdings auch die Option **Bilder** an. Auch hier ist google sehr zu empfehlen.

Einen umfassenden **Überblick über alles rund um die Botanik** mit zahlreichen Links zu Gesellschaften, Arboreten, Adressen, Zeitschriften, Teildisziplinen, Länderspezifisches usw. liefert der „Internet Directory for Botany“, der von Helsinki aus aufgebaut wurde, aber jetzt von Edmonton in Canada aus weitergeführt wird: www.botany.net/IDB. – Interessant ist auch die Homepage der „International Association for Plant Taxonomy“, u.a. mit dem „Internationalen Code der Botanischen Nomenklatur“ und dem Inhaltsverzeichnis der Zeitschrift „Taxon“: www.bgbm.fu-berlin.de/iapt/.

Bei der **Suche nach Familien und Gattungen** empfiehlt sich ein Besuch im berühmten „Royal Botanical Garden Kew“ in der „List of Vascular Plant Families and Genera“ nach BRUMMITT. Hier findet man u.a. zu jeder Familie der Farn- und Blütenpflanzen die zugehörigen Gattungen: www.rbgekew.org.uk/data/vascplnt.htm. Benutzerfreundlich ist die Option „fuzzy search“, die auch dann zum Ergebnis führt, wenn der Name nicht ganz korrekt eingegeben wurde. – Gattungsnamen findet man auch im „Index Nominum Genericorum“ (ING), der etwas von der vorhergenannten Datenbank abweicht und neben den Gefäßpflanzen auch die übrigen Abteilungen des Pflanzenreiches berücksichtigt: rathbun.si.edu/botany/ing/. – Ähnliche Angaben finden sich auch in den „Names in Current Use“: www.bgbm.fu-berlin.de/iapt/ncu/genera/Default.htm.

Wer speziell Angaben über die **europäische Flora** sucht, hat dazu Zugriff durch die „Flora Europaea Database“, verwaltet vom „Royal Botanic Garden Edinburgh“. Sie enthält alle Farn- und Blütenpflanzen Europas inklusive ihrer länderspezifischen Verbreitung, des Autors und des Publikationsortes: www.rbge.org.uk/.

Seit kurzem gibt es den **International Plant Names Index** (IPNI), eine riesige Datenbank mit allen publizierten Namen von Pflanzen einschließlich ihrer Bastarde mit zugehörigen bibliographischen Angaben. IPNI ist das Ergebnis einer Zusammenarbeit zwischen den drei weltweit renommierten Institutionen „Royal Botanic Gardens Kew“, „Harvard University Herbaria“ und „Australian National Herbarium“: www.ipni.org/index.html. Der Umfang dieser Datenbank ist eindrucksvoll. Auch hier kann man zum Ziel kommen, wenn man