

den Buckelzirpen auftreten. Wenn in zukünftigen Untersuchungen die genetischen Steuerelemente, die während der Ontogenese wirksam sind, beschrieben und plausibel erklärt werden, dann ist damit immer noch nicht die Art und Weise von deren (Neu-)Verwendung im Laufe der hypothetischen Stammesgeschichte verstanden. Es stellen sich Fragen nach den Umständen und den Instanzen, die die Faktoren in unterschiedlichen Zusammenhängen zur Anwendung bringen.

Anmerkungen

- ¹ Beispiele von exotischen Buckelzirpen hat das Magazin GEO veröffentlicht und im Internet zugänglich gemacht: <http://www.geo.de/GEO/natur/tierwelt/5218.html>; weitere sind unter folgender Adresse zu finden: <http://www.spiegel.de/fotostrecke/fotostrecke-67707.html> (Stand: 18. 5. 2011)
- ² Homologie: Gemeinsamkeit aufgrund (vermuteten) gemeinsamen evolutionären Ursprungs aus Vorfahren.

- ³ In der Tagespresse wurde die hier referierte Arbeit ebenfalls besprochen, allerdings suggerieren die Titelformulierungen viel mehr als inhaltlich geboten wird und auch die angeführten evolutionären Erklärungen erscheinen oberflächlich und sehr optimistisch. Unter der Adresse <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,761084,00.html> (Stand: 18. 5. 2011) wurde über „Darth Vader der Insektenwelt“ berichtet und die Befunde als „eindrucksvoller Beleg für die Macht der Evolution“ interpretiert. In der FAZ Ausgabe vom 11. 5. 2011 war zu lesen: „Wie die Evolution zum Großbildhauer wurde.“

Literatur

- GRIMALDI D & ENGEL MS (2005) Evolution of Insects. Cambridge University Press.
- PRUD'HOMME B, MINERVINO C, HOCINE M, CANDE JD, AOUANE A, DUFOUR HD, KASSNER VA & GOMPEL N (2011) Body plan innovation in treehoppers through the evolution of an extra wing-like appendage. *Nature* 473, 83–86.
- MOCZEK AP (2011) The origins of novelty. *Nature* 473, 34–35.

Zum Liebesleben der Rädertierchen

Neue Forschungsergebnisse führen immer wieder vor Augen, dass vermeintlich primitive Lebewesen bei genauerem Hinsehen eigentlich nie wirklich „primitiv“ sind. Sie sind es ganz sicher nicht im umgangssprachlichen Sinn von „einfach“ oder „unkompliziert“. Selbst im phylogenetischen Sinn von ursprünglich erlebt man Überraschungen wenn, wie nachfolgende beschrieben, Merkmale bei vermeintlichen Primitivlingen gefunden werden, die man eigentlich nur bei sogenannten höheren Lebewesen kennt und erwartet.

Hans-Bertram Braun

Rädertierchen (Rotatoria) sind bis zu 3 mm lange, aber oft viel kleinere Lebewesen, die aus einer definierten Anzahl von etwa 1000 Zellen aufgebaut sind (Eutelie) und die zumeist im Süßwasser leben (Abb. 1). Wenn sie festsitzen, strudeln sie sich ihre Nahrung durch das auffällige namensgebende Organ zu, das aus zwei Wimpernkränzen besteht. Vom Grund gelöst können sie ihr Räderorgan auch zur Fortbewegung nutzen. Rädertierchen sind interessante Objekte für jeden Hobby-Mikroskopierer, aber auch die Evolutionstheoretiker interessieren sich für sie, da sie sehr weit unten im angenommenen Stammbaum eingeordnet werden, auch wenn früheste fossile Belege für Rädertierchen (Bdelloida) erst aus tertiärem Bernstein der Dominikanischen Republik (POINAR & RICCI 1992) bekannt sind.

Rädertierchen pflanzen sich zumeist asexuell durch Parthenogenese (Jungfernzeugung) fort; bei manchen Arten, wie *Brachionus man-*

javacas allerdings nur, solange es ihnen gut geht. Werden die Umgebungsbedingungen härter, besinnen sie sich auf die Vorteile der Gemeinschaft, geben ihren Individualismus auf und gehen zur sexuellen Fortpflanzung über. Bei vielen anderen ökologisch durchaus erfolgreichen Arten der Rädertierchen ist dagegen noch nie sexuelle Vermehrung beobachtet worden. Evolutionstheoretisch stellt das eine Herausforderung dar, da sich selbst klonende und damit genetisch statische Organismen gegenüber ko-evolvierenden Konkurrenten oder Parasiten benachteiligt sein sollten. Erklärungsversuche, wie die Rädertierchen es doch geschafft haben könnten, gibt es zwar (WILSON & SHERMAN 2010), allerdings können sie kaum ein Überleben über die phylogenetisch postulierten extrem langen Zeiträume erklären.

E. Paige STOUT, Julia KUBANEKA und weitere Mitarbeiter von der School of Chemistry

and Biochemistry am Georgia Institute of Technology, Atlanta, haben nun unter Verwendung einer Vielzahl von Methoden nachgewiesen, dass vermeintlich primitive Rädertierchen der Art *B. manjavacas* sich „schon“ des Sexualhormons Progesteron bedienen (STOUT et al. 2010). Nach Extraktion aus *Rotatorien*-Biomasse gelang es ihnen, eine physiologisch sinnvolle Konzentration des Steroidhormons quantitativ zu bestimmen. Mit fluoreszenzmarkiertem Progesteron konnten sie auch die Existenz und Verteilung des Progesteron-Rezeptors im tierischen Organismus sichtbar machen. Dabei zeigte sich, dass der Rezeptor vor allem in Organen vorkommt, die mit der sexuellen Fortpflanzung zu tun haben. Die Beobachtung, dass weibliche Nachkommen von Rädertierchen deutlich seltener die Umstellung auf sexuelles Verhalten zeigen, wenn die Synthese ihres Progesteron-Rezeptors experimentell gehemmt wird, schlägt die Brücke vom Hormon zum Verhalten: Progesteron spielt bei der sexuellen Fortpflanzung eine entscheidende Rolle. Es erfüllt offensichtlich schon bei Rädertierchen eine Aufgabe, die seiner Funktion bei Säugetieren im Prinzip sehr nahe kommt.

Für die Autoren unterstützen diese Befunde die Sicht eines phylogenetisch alten Ursprungs der hormonellen Regelung durch Steroidhormone und legen nahe, dass sich die endokrine Regulierung der Fortpflanzung bei Säugetieren von „primitiven regulatorischen Stoffwechselwegen“ herleitet. Einmal mehr zeigen sich unerwartete Gemeinsamkeiten bei sehr unterschiedlichen Organismen, die in evolutionstheoretischer Sicht eine überraschend frühe Etablierung komplexer Stoffwechselwege erfordern.

Bevor Joseph W. THORNTON und Mitarbeiter (2003) bei Weichtieren (Kalifornischer Seehase) Östrogen¹-homologe Rezeptoren, also Rezeptoren für Steroidhormone, ähnlich dem oben beschriebenen Progesteron, nachweisen konnten, nahm man an, dass Steroidhormone nur in der Chordaten-Linie vorkämen (v.a. Wirbeltiere). Denn in vollständig sequenzierten Genomen von Vertretern anderer Tiergruppen wie Insekten und Fadenwürmern (*Drosophila* und *Caenorhabditis*) konnten sie nicht nachgewiesen werden. Aus dem Nachweis in phylogenetisch gegenüber Chordaten älteren Weichtieren folgte THORNTON damals, dass der ursprüngliche Steroidhormon-Rezeptor schon ein Östrogen-Rezeptor gewesen sein müsse. Durch Genduplikationen hätten sich erst danach Seitenzweig- oder Zwischenprodukte aus dem Syntheseweg zum Östrogen als weitere Steroidhormone etabliert, wie z. B. die ursprünglich aus Säugetie-



Abb. 1 Das Rädertierchen *Keratella cochlearis*. Foto: Timm REINISCH (Wikipedia, Creative Commons Lizenz)

ren bekannten Hormone Progesteron und Testosteron. In den Tiergruppen, in denen man keine solchen Rezeptoren findet, seien sie im Laufe der Stammesentwicklung dann wieder verloren gegangen.

Wenn aber Östrogen das ursprünglichste Steroidhormon darstellen soll, muss man sich vor Augen halten, dass Östrogen den Endpunkt des Syntheseweges der Steroidhormone darstellt. Dieser Biosyntheseweg besteht – angefangen vom Ausgangsstoff Acetyl-CoA bis zum Endprodukt Östrogen – aus etwa 30 enzymatisch regulierten spezifischen Schritten. Zur Entfaltung der hormonellen Wirkungen wird dabei nicht nur das Hormon mitsamt den seine Biosynthese regelnden Enzymen, sondern zumindest auch der entsprechende Hormon-Rezeptor benötigt, ein weiteres hochspezifisches Protein. Dass so komplexe Biosynthesewege in den ursprünglichsten Tiergruppen schon vorhanden sind, um dann in verwandten Klassen einfach wieder aufgegeben zu werden, erscheint wenig plausibel. Selbst der Weg zum Progesteron, das wie oben gezeigt bei den „einfachen“ Rädertierchen schon komplizierte Verhaltensweisen kontrolliert, ist nur um wenige Syntheseschritte kürzer.

Es kann kaum von „primitiven regulatorischen Stoffwechselwegen“ gesprochen werden, wenn man die Funktion von Progesteron in Rädertierchen beschreibt.

Warum macht die Natur es sich eigentlich so kompliziert, wenn es auch wesentlich einfacher vorstellbar wäre? Immerhin werden im Tier- und Pflanzenreich selbst in hoch entwickelten Arten neben komplizierten auch sehr viel einfacher gebaute Verbindungen zur Re-

gulation und Signalübermittlung benutzt (z. B. Ethylen, CO, NO). Ein Charakteristikum von Hormonen ist, dass sie ihre Wirkung im Körper weit entfernt vom Ort ihrer Bildung entfalten. Die auf den ersten Blick einfach erscheinenden, nur 1000 Zellen umfassenden und drei Millimeter kleinen Rädertierchen scheinen in dieser Hinsicht Hormone nicht wirklich zu benötigen.

Egal ob nun Östrogen oder Progesteron die ursprünglichsten Steroidhormone darstellen, es kann in jedem Fall kaum von „primitiven regulatorischen Stoffwechselwegen“ gesprochen werden, wenn man die Funktion von Progesteron in Rädertierchen beschreibt. Und warum sich schon Rädertierchen ein so kompliziertes Liebesleben leisten, ist (noch?) ihr Geheimnis.

Es ist durchaus wahrscheinlich, dass in Zukunft noch weitere Regulationsmechanismen wie hier beschrieben bei vermeintlich primitiven Organismen gefunden werden. Erfahrungsgemäß treten so komplexe Merkmale im phylogenetischen Stammbaum unregelmäßig auf und sind in vielen Arten mosaikmäßig verteilt. Dies legt, wie auch der obige Befund bei Rädertierchen, den Vergleich mit

einem „Baukastensystem“ nahe, aus dem je nach Bedarf Elemente eingesetzt werden. Die Annahme, dass schon sehr früh in der Stammesgeschichte komplexeste Synthesewege durch unbekannte Mechanismen entstanden seien, erscheint komplizierter und hat damit eine vergleichsweise geringere Erklärungskraft.

Anmerkung

¹ Östrogene sind die wichtigsten weiblichen Sexualhormone. Sie gehören zur Klasse der Steroidhormone und werden v.a. in den Eierstöcken, in der Schwangerschaft auch in der Plazenta gebildet.

Literatur

- POINAR GO & RICCI C (1992) Bdelloid rotifers in Dominican amber: Evidence for parthenogenetic continuity. *Experientia* 48, 408–410.
- WILSON GW & SHERMAN PW (2010). Anciently asexual bdelloid rotifers escape lethal fungal parasites by drying up and blowing away. *Science* 327, 574–576.
- STOUT E et al. (2010) Conservation of progesterone hormone function in invertebrate reproduction. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 10.1073/pnas.1006074107.
- THORNTON JW et al. (2003) Resurrecting the ancestral steroid receptor: ancient origin of estrogen signaling. *Science* 301, 1714–1717.

Die Entstehung neuer Enzyme – ganz einfach?

Die evolutionäre Entstehung eines Enzyms mit neuen funktionellen Eigenschaften im pflanzlichen Sekundärstoffwechsel aus einem vorhandenen Enzym des Primärstoffwechsels konnte durch experimentelle und vergleichend-biologische Untersuchungen plausibel gemacht werden. Die experimentell erfolgten Einzelschritt-Änderungen von Aminosäurebausteinen waren jede für sich selektionspositiv. Die hier vorgestellte Entstehung neuer Enzymfunktionen ist jedoch gemessen an den bisher bekannten Variationsmechanismen nicht überraschend und kann als Ausdruck einer bereits angelegten Polyvalenz im Wechselspiel von Genen und der durch sie codierten Proteine interpretiert werden.

Reinhard Junker

Pflanzen sind gegen Fraß nicht wehrlos: So nutzen viele Kreuzblütler wie das Wiesenschaumkraut (*Cardamine pratensis*) oder die viel untersuchte Acker-Schmalwand (*Arabidopsis thaliana*) Senfölglykoside, um sich gegen Fraßfeinde (z. B. Raupen) zur Wehr zu setzen. Diese „Senfölbomben“ sind sekundäre Stoffwechselprodukte* und werden bei Beschädigung der Pflanze zur Abwehr gegen den Schädling freigesetzt (vgl. Abb. 1). Forscher des Max-Planck-Instituts für chemische Ökologie in Jena haben nun eine interessante Entdeckung gemacht:

Ein Enzym, das für die Bildung der Senfölglykoside benötigt wird – Methylthioalkylmalat-Synthase (MAM) – ist in seiner Struktur dem Stoffwechselenzym Isopropyl-Malat-Synthase (IPMS) sehr ähnlich (DE KRAKER & GERSHENZON 2011). Die IPMS hat aber eine ganz andere Funktion, sie ist bei der Bildung der Aminosäure Leucin beteiligt und damit Teil des Primär-Stoffwechsels.

Die beiden Enzyme unterscheiden sich in nur zwei bedeutsamen strukturellen Merkmalen: Bei MAM fehlen im Vergleich zur IPMS