

Fuxianhuia jedenfalls zeigt, dass das dreigliedrige Gehirn der heutigen höheren Krebse und Insekten schon seit mehr als einer halben Milliarde radiometrischen Jahren existiert und sich zumindest morphologisch nicht erkennbar geändert hat. Man könnte es damit als ein weiteres Beispiel für sogenannte „lebende Fossilien“ anführen, analog zu Quastenflosser und Pfeilschwanzkrebs.

Beide Befunde sind sperrig gegenüber einem Modell allmählicher Evolution im Sinne einer Höherentwicklung von einfach zu komplex. Wie auch schon bei ähnlichen Beobachtungen (BRAUN 2012b) können sie einfacher schöpfungstheoretisch, im Sinne eines der geschaffenen Natur zugrunde liegenden „Baukastensystems“ gedeutet werden, dessen Komponenten keine größeren Abwandlungen über die Zeit mehr erfahren.

Anmerkung

- ¹ Das Kambrium besteht aus geologischen Schichten, die konventionell auf etwa eine halbe Milliarde Jahre

datiert werden. Bekannt ist dieses geologische System vor allem durch die sogenannte „Kambrische Explosion“, das unvermittelte Auftreten von Fossilien der meisten bekannten Tierstämme ohne klar zuordenbare Vorläufer im Präkambrium, den unmittelbar darunterliegenden Schichten.

Literatur

- MA X, HOU X, EDGEcombe GD & STRAUSFELD NJ (2012) Complex brain and optic lobes in an early Cambrian arthropod. *Nature* 490, 258–261.
- BRAUN HB (2012a) Warten auf einen neuen Einstein. *Stud. Int. J.* 19, 12–18.
- BRAUN HB (2012b) Kryptische Krebse: Moderne Crustaceen-Fossilien aus dem Kambrium. *Stud. Int. J.* 19, 93–94.
- BUDD GE (2012) Cambrian nervous wrecks. *Nature* 490, 180–181.
- PATERSON RJ, GARCÍA-BELLIDO DC, LEE MSY, BROCK GA, JAGO JB & EDGEcombe GD (2011) Acute vision in the giant Cambrian predator *Anomalocaris* and the origin of compound eyes. *Nature* 480, 237–240.
- ZHANG Z, HOLMER LE et al. (2013) A sclerite-bearing stem group entoproct from the early Cambrian and its implications. *Scientific Reports* 3, doi:10.1038/srep01066

Rätselhafter Ursprung des Linsenauges der Wirbeltiere

Vergleichende genetische Studien am sehr einfach gebauten Frontalauge des Lanzettfischchens zeigen eine Reihe von Gemeinsamkeiten mit Linsenaugen der Wirbeltiere. Die Augentypen sind aber morphologisch weit voneinander entfernt. Das Linsenauge der Wirbeltiere erscheint im Fossilbericht in fertiger Form.

Reinhard Junker

Abb. 1 Das gut 2 cm lange Lanzettfischchen (*Amphioxus*). (Foto: Hans HILLEWAERT, Wikimedia Commons)



Die evolutionäre Entstehung des Auges gilt in populären Darstellungen häufig als im Wesentlichen geklärt. Meist wird auf eine Reihe verschiedener Augentypen verwiesen (Flachauge – Grubenaug – Lochkamerauge – verschiede-

ne Typen von Linsenaugen), um die schrittweise Entstehung beispielsweise unseres Linsenauges als plausibel erscheinen zu lassen. Wie schon an anderer Stelle dargestellt, sind diese Reihen aus mindestens zwei Gründen bei weitem nicht beweiskräftig für Evolution: 1. Die Unterschiede zwischen den einzelnen (mutmaßlichen) Stufen sind teilweise so enorm, dass die Übergänge völlig neue Konzepte erfordern würden. 2. Diese Serien sind nur modellhaft und nicht gleichbedeutend mit phylogenetischen Abfolgen (vgl. ULLRICH et al. 2006).

Im Fossilbericht tauchen zudem die Komplexaugentypen bereits sehr früh auf (vgl. LEE et al. 2011), aber auch die Linsenaugen sind – gemessen am Fossilbericht – von Anfang an fertig. Daher beginnen die Autoren einer aktuellen Studie ihren Artikel über das

„Frontalauge“ (Pigmentbecherauge) des Lanzettfischchens (*Amphioxus*) mit der Feststellung, dass der Ursprung der Wirbeltieraugen immer noch rätselhaft sei (VOPALENSKY et al. 2012). Das klingt überraschend, wenn man sich die eingangs genannten Behauptungen vor Augen hält. Weiter stellen die Autoren fest, dass ein Teil des Problems im Mangel heutiger Tierstämme mit brauchbaren Abstufungen liege, die ein Szenario zur Entstehung des Wirbeltierauges ermöglichen könnten. So sei beispielsweise das Auge ausgewachsener Neunaugen (Petromyzontidae, die als ursprüngliche Vertreter der Wirbeltiere gelten) den Augen von kiefertragenden Wirbeltieren im Gesamtaufbau, den Zelltypen der Netzhaut und in vielen Klassen der Opsine (Proteinanteil eines Sehpigments) bemerkenswert ähnlich. Eine Serie von Augentypen zunehmender Komplexität zum Linsenauge der Wirbeltiere hin ist also bloße Hypothese.

Es sind kaum brauchbare Abstufungen von Augen bekannt, die ein Szenario zur Entstehung des Wirbeltierauges ermöglichen könnten.

Eine Hypothese zur Entstehung der Linsenaugen der Wirbeltiere besagt, dass das Pigmentbecherauge am vorderen Ende von *Amphioxus* ein Vorläufer dafür gewesen sein könnte. Allerdings ist es vergleichsweise sehr einfach gebaut und besteht aus einfachen bewimperten Zellen, unähnlich den Zapfen und Stäbchen der Wirbeltieraugen, die ausgefeiltere Cilien über der Oberfläche besitzen (Abb. 2). Der einzige Hinweis darauf, dass die Becheraugen lichtempfindlich sind, bestand bisher darin, dass die bewimperten mutmaßlichen Sinneszellen in unmittelbarer Nähe zu dunklen Pigmentzellen angeordnet sind (VOPALENSKY et al. 2012).

In ihrer Studie verglichen VOPALENSKY et al. (2012) das Pigmentbecherauge von *Amphioxus* in Bezug auf Gemeinsamkeiten mit Linsenaugen von Wirbeltieren in molekularer Hinsicht und fanden viele Gemeinsamkeiten bei Transkriptionsfaktoren (Proteine, die bei der Regulation wichtig sind), Opsinen (s. o.) und Proteinen der Phototransduktionskaskade (Umwandlung eines äußeren Lichtreizes in ein physiologisches Signal). Außerdem fanden sie molekulare Gemeinsamkeiten zwischen den Pigmentzellen von *Amphioxus* und dem retinalen Pigment-Epithel der Wirbeltieraugen (Melaningehalt, Regulationsgene). Und schließlich ähneln Nervenfortsätze des Frontalorgans Strukturen im Vorderhirn der Wirbeltiere.

Damit können die Autoren eine (vor allem molekular begründete) Homologie zwischen dem Frontalauge von *Amphioxus* und dem

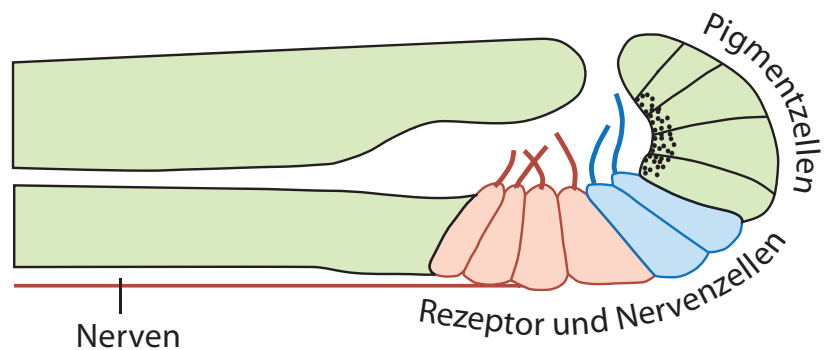


Abb. 2 Schematische Darstellung des *Amphioxus*-Auges. (Nach MIT OpenCourseWare)

Wirbeltier-Linsenauge begründen. Ein stammesgeschichtlicher Zusammenhang kann daraus jedoch nicht abgeleitet werden; die verglichenen Strukturen sind, trotz der erstaunlichen Ähnlichkeiten auf biochemischer bzw. molekularbiologischer Ebene, morphologisch weit voneinander entfernt. Zur Klärung der Frage nach den Mechanismen der stufenweisen Entstehung und Abwandlung des Wirbeltierauges sind bloße Vergleiche überfordert (das war allerdings auch nicht das Ziel der Untersuchungen). Die Studie von VOPALENSKY et al. steuert jedoch ein weiteres interessantes Beispiel dafür bei, dass die ontogenetische Entwicklung morphologisch verschiedener Organe unterschiedlicher Tierstämme oder -klassen auf der Basis ähnlicher molekularer Grundlagen erfolgt – ein Befund, der bei vielen anderen Organsystemen verschiedener Tierstämme bekannt ist.

Aus den Befunden kann geschlossen werden, dass bereits im hypothetischen Ausgangsindividuum die molekularen Grundlagen des Sehens in Form funktionierender hochkomplexer biochemischer Kaskaden existiert haben müssen. Wie diese entstanden sind, liegt ebenso weiterhin im Dunkeln wie der Ursprung der Sehorgane, die sich ihrer zur Lichtwahrnehmung bedienen.

Anmerkung

¹ Zum retinalen Pigment-Epithel vgl. die Ausführungen in ULLRICH et al. (2006).

Literatur

- LEE MSY, JAGO JB, GARCÍA-BELLIDO DC, EDGEcombe GD, GEHLING JG & PATERSON JR (2011) Modern optics in exceptionally preserved eyes of Early Cambrian arthropods from Australia. *Nature* 474, 631–634.
- VOPALENSKY P, PERGNER J, LIEGERTOVA M, BENITO-GUTIERREZ E, ARENDT D & KOZMIK Z (2012) Molecular analysis of the amphioxus frontal eye unravels the evolutionary origin of the retina and pigment cells of the vertebrate eye. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, early ed., doi: 10.1073/pnas.1207580109.
- ULLRICH H, WINKLER N & JUNKER R (2006) Zankapfel Auge. *Stud. Int. J.* 13, 3–14,.