

anderen Genen. Welches ursprüngliche Gen ist also verdoppelt worden?

Insgesamt, so schließt der Artikel, muss man wohl mehrere Evolutionspfade zu neuen Lebewesen annehmen, die sich gegenseitig ergänzen: Veränderungen der Regulation bestehender Gene, *de novo*-Entstehung und Genduplikation.

Die taxonomisch begrenzt vorkommenden Gene sind ein äußerst interessantes Forschungsfeld, auf dem sicher noch einige Überraschungen auf uns warten. Die Waisengene sind deshalb so interessant, weil man mit ihrer Hilfe möglicherweise tatsächlich herausfinden kann, wie neue Gene evolvieren. Die Frage beispielsweise nach der Entstehung einer ersten Zelle ist viel zu komplex. Doch die Frage nach der Entstehung eines

Waisengens, welches zwar in einer Art, aber nicht in einer nahe verwandten Art vorkommt, ist viel einfacher untersuchbar. Antworten, wie und ob Waisengene entstehen, werden dann auch bei Fragen der Lebensentstehung weiterhelfen.

Niko Winkler

Literatur

KHALTURIN K, HEMMRICH G, FRAUNE S, AUGUSTIN R & BOSCH TCG (2009) More than just orphans: are taxonomically-restricted genes important in evolution? *Trends Genet.* 25, 404-413.

JUNKER R (2009) Evo-Devo: Schlüssel für Makroevolution? Teil 2: Wiederverwendung, Umfunktionierung und Neuprogrammierung. *Stud. Int. J.* 16, 17-21.

K O M M E N T A R E

Die Netzhaut: Optimal konstruiert für ein scharfes Sehen

Oder: „Wie die Evolution fehlerhaften Augen einen besseren Durchblick verschafft“

Immer wieder bemühen sich Kritiker des Intelligent Design bzw. einer Schöpfung das Auge als Kronzeuge eines unintelligenten Designs bzw. eines pfuschenden Schöpfers zu instrumentalisieren. DARWIN war demgegenüber vom Auge noch so beeindruckt, dass er mit Respekt über die „*unnachahmlichen Einrichtungen*“ schrieb, deren Entstehung durch den von ihm vorgeschlagenen Mechanismus der natürlichen Zuchtwahl zunächst „*im höchsten Grade als absurd*“ erscheine. Aber DARWIN blieb optimistisch:

„... so kann die Schwierigkeit des Glaubens, daß ein vollkommenes, kompliziertes Auge durch natürliche Zuchtwahl gebildet worden sein könne (so unüberwindlich sie unserer Einbildungskraft auch erscheinen mag), kaum als real betrachtet werden“ (1872, S. 192).

Der Optimismus hinsichtlich der kreativen Möglichkeiten von Evolution ist ungebrochen. Doch das Auge als „vollkommen“ oder „unnachahmlich“ zu bezeichnen, ist nach Ansicht mancher Evolutionsbiologen nicht mehr zeitgemäß. Der zelluläre Aufbau der Netzhaut von Wirbeltieraugen (die Sinneszellen werden von Hilfszellen und ihren Fortsätzen überlagert) und die Existenz des Blinden Flecks (Austrittsstelle aller Sehnerven aus dem

Auge) gaben lange Zeit Rätsel auf, die funktionell nicht einleuchten wollten und deshalb als Konstruktionsfehler deklariert wurden. Nur wer diesen „Pfusch“ aus der Sicht der „Evolution“ betrachtet, könne verstehen, weshalb am Auge nicht alles perfekt, sondern eher dahingeschustert sei (engl.: „tinkering“), so dass manches funktionell unbrauchbar oder hinderlich konstruiert sei. Ein klassisches Zitat dazu kommt von STEVE JONES, der vor einigen Jahren in dem Wochenmagazin „Zeit“ unter der Überschrift „Gott pfuscht auch“ folgendes schrieb:

„Zwar sind Augen komplexe Systeme, und wir verstehen nicht in allen Details, wie sie funktionieren, aber die Evidenzen, dass sie ohne bewusste Intervention entstanden, sind überwältigend. ... Alle Augen in der Natur sind gerade nur so kompliziert wie nötig. Tatsächlich ist ihre nur scheinbare Vollkommenheit ein Argument gegen Intelligent Design, denn jede Augenkonstruktion hat ihre eigenen großen Schwächen. ... Das evolutionäre Lied von den Augen hat viele Dissonanzen. Es ist nicht das Werk eines großen Komponisten, sondern eines Arbeitstiers ohne Bewusstsein. Kein grandioser Ingenieur hat Augen und alles andere in der Welt des Lebens geschaffen. Es war ein Kesselflicker. Ob es einen großen Designer da draußen gibt, ist nicht Gegenstand

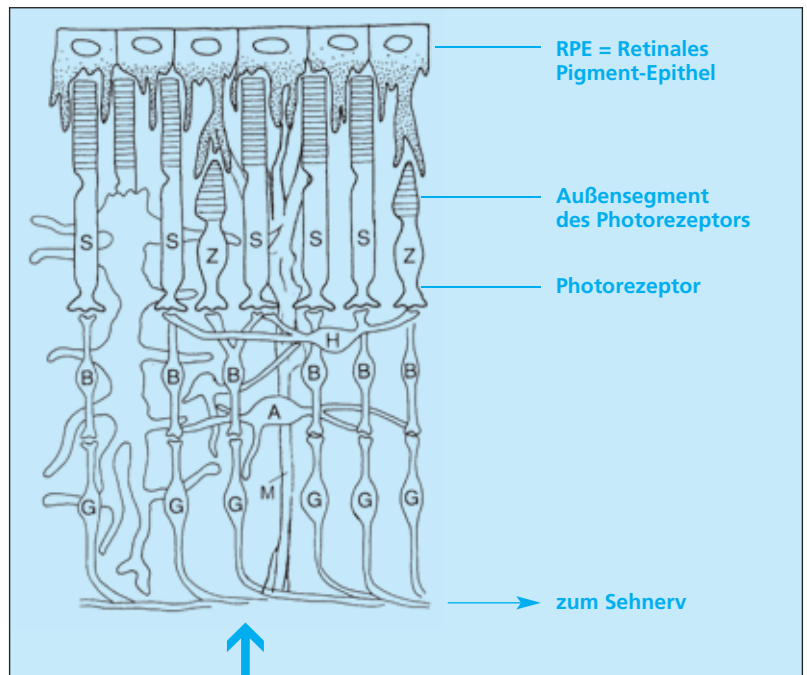
der Wissenschaft. Wenn es ihn geben sollte, beweist die Evolution vor allem eins: Er erledigt seinen Job miserabel“ (DIE ZEIT; 11. 8. 2005).

Zahlreiche Variationen dieses Themas durchziehen bis heute die wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Publikationen bis hin zur Tagespresse. Und das obwohl die wissenschaftliche Forschung neben den bereits bekannten Details (NEUHAUS & ULLRICH 2000) eine Fülle neuer Zusammenhänge aufdecken konnte und damit dem Argument des fehlerhaften Augendesigns jegliche Existenzberechtigung entzog (Vgl. dazu ULLRICH et al. 2006, ULLRICH 2008; 2010a). Aber das Argument wird weiter mit vielen intellektuellen Verrenkungen am Leben erhalten. Aufgrund der aus evolutionärer Perspektive unerwarteten neuen Datenlage kleidet man die Begründungen nun völlig neu ein. Und da reibt sich der interessierte Beobachter schon verwundert die Augen. Zusammengefasst lauten sie so: Zunächst kann die Evolution nicht anders, als fehlerbehaftete Lösungen zu liefern, diese bügelt sie dann jedoch erstaunlich kreativ und perfekt aus. Ein aufschlussreiches Beispiel dafür findet sich im *New Scientist* vom 6. 5. 2010.

Unter den Überschriften: „*The eye was evolution's great invention*“ (Das Auge war die große Erfindung der Evolution) und „*Evolution gave flawed eye better vision*“ (Die Evolution gab mangelhaften Augen ein besseres Sehvermögen) wird auf eine neue Entdeckung israelischer Forscher eingegangen. (Ich verzichte an dieser Stelle auf die Analyse des quasireligiösen Umganges mit dem Begriff Evolution, möchte es aber nicht unterlassen, den Leser auf dieses Phänomen hinzuweisen, siehe dazu den Beitrag von H. ULLRICH über Evolutionstheorien in dieser Ausgabe).

A. M. LABIN und E. N. RIBAK, Physiker vom Israel Institute of Technology in Haifa berichteten im Januar 2010 von experimentellen Untersuchungen mit Müller-Zellen aus der Netzhaut des Menschen. 2007 gelang es einem Leipziger Forscherteam um K. FRANZE zu zeigen, dass jene Müller-Zellen über Zellfortsätze verfügen, die senkrecht die Netzhaut von der Oberfläche bis zu den Sinneszellen durchlaufen und als Lichtleitkabel verlustfrei das ankommende Licht zu den Stäbchen und Zapfen führen (Abb. 1 und 2; vgl. dazu ULLRICH 2008). Das Rätsel der scheinbar falsch herum liegenden Netzhaut (inverse Retina) und ihrer unerwarteten perfekten Funktionalität erhielt eine unerwartete Antwort, die weltweit höchste Begeisterung hervorrief.

Nun untersuchten LABIN und RIBAK, wie das Licht in den Nervenfortsätzen der Müller-Zellen weitergeleitet wird. Geschieht dies unspezifisch, verlustbehaftet oder trägt der zellmorphologische Aufbau der dünnen Kanälchen bzw. Zellfortsätze zur Optimierung der Sehfähigkeit des Auges bei? Ihr Resümee ist im wahrsten Sinne des Wortes erhellend:



„Die grundlegenden Eigenschaften in der Anordnung der Glia-Zellen müssen als eine optimale Struktur betrachtet werden, die designt wurde, um die Schärfe der Bilder in der menschlichen Retina zu garantieren. Diese Tatsache besitzt eine Schlüsselrolle für die Qualität des Sehens bei Menschen und anderen Arten“ (LABIN & RIBAK 2010,1)

Die Messergebnisse von LABIN und RIBAK dokumentieren also: Durchmesser, Länge oder die Verjüngung der Lichtleiter sind so gestaltet, dass auf der Netzhaut ankommende Lichtstrahlen optimal gesammelt (durch becherförmige Erweiterung des oberen Kabelschachtes), gefiltert (z. B. durch Ausblenden von Streulicht und von Wellenlängen außerhalb des sichtbaren Spektrums) und refokussiert (Ausgleich der Streuung des Lichtes durch Aberration der Linse) zu den Stäbchen und Zapfen gelangen. Im Ergebnis tragen alle diese Konstruktionsdetails dazu bei, die Bildinformationen verlustfrei, die resultierenden Bilder klarer und die Farben schärfer zu präsentieren. Damit liefern LABIN und RIBAK eine wunderbare Bestätigung und feine Ergänzung der Entdeckungen von FRANZES Team.

Kenneth MILLER, nach den Worten des *New Scientist* ein berühmter „Veteran des Krieges zwischen Schöpfung und Evolution“, sieht in diesen neuen Details jedoch seine alte Meinung bestätigt. Das Auge sei fehlerhaft und trage unverkennbar die Spuren der Darwinschen Evolution. Die Müller-Zellen sind dabei nichts anderes, als eine Art nachträglicher evolutionärer Einbauten („retrofit“) in die Netzhaut:

„..., eine erfolgreiche und höchst funktionelle Anpassung, die notwendig wurde aufgrund der ursprünglichen Architektur der Netzhaut, aber trotz allem eine Nachbesserung“ (zitiert nach McALPINE 2010).

Abb. 1: Schematisches Diagramm einer Wirbeltier-Retina inklusive der Lage der neu entdeckten Müller-Zelle. Der dicke Pfeil zeigt die Richtung des einfallenden Lichts an. A Amakrine Zelle, B Bipolar-Zelle, G Ganglienzelle, H Horizontalzelle, M Müller-Zelle, S Stäbchen, Z Zapfen. (Nach ADLER & FARBER 1986 und FRANZE et al. 2007)

Abb. 2: Aufnahme einer Müller-Zelle (vom Schwein) mittels Interferenz-Kontrast-Mikroskopie (links) und als schematische Darstellung (rechts).

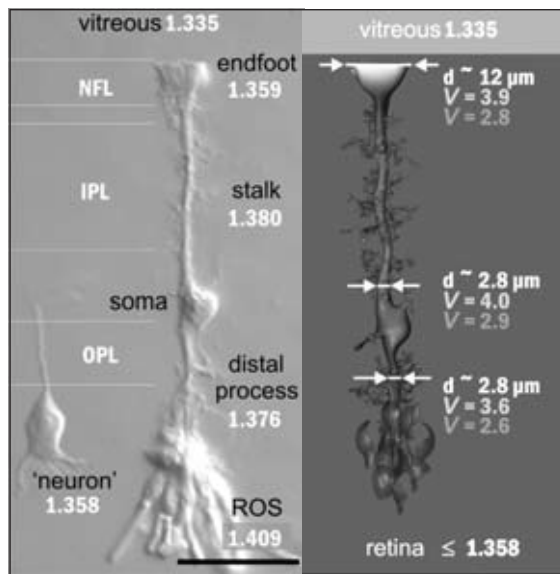
Aus FRANZE et al. (2007), © 2007 National Academy of Sciences, USA.

Die Müller-Zellen verlaufen radial zur Netzhaut und durchziehen diese in ihrer gesamten Breite. Die Fortsätze dieses besonderen Typs von Gliazellen dienen als Lichtleiter, die einen nahezu verlust- und verzerrungsfreien Transport des Lichts zu den äußeren Segmenten (ROS) der optischen Sinneszellen garantieren.

Rechts: Einzelne Zellschichten (NFL, IPL, OPL) der Netzhaut mit ihrem jeweiligen Brechungsindex.

Links: Brechungsindizes (V-Wert) für rotes und blaues Licht in unterschiedlichen Abschnitten eines Fortsatzes der Müller-Zelle. Trotz der unterschiedlichen V-Werte erfolgt der Lichttransport ohne Kapazitätsverluste.

vitreous: Glaskörper (dem Licht zugewandte Seite der Retina).
Messbalken: 25 Mikrometer.



Selbst für MILLER steht demnach fest: Das vorliegende Ergebnis, die Netzhaut, ist erfolgreich und höchst funktionell. Sogenannte Konstruktionsfehler sind aktuell nicht (mehr) zu finden; anderslautende Behauptungen resultieren aus der Unkenntnis über die Feinstruktur und Funktion der Netzhaut. Aber die ursprüngliche, evolutionär frühe Architektur der Netzhaut müsse schlecht gewesen sein. Denn es hat ja der Nachbesserungen durch den Einsatz der Müller-Zellen bedurft, so MILLER. Die Evolution merzt offensichtlich ihre eigenen Fehler eindrucksvoll und erfolgreich aus.

An dieser Stelle sollten wir ein wenig innehalten und uns klar machen, was hier mit der Attitüde wissenschaftlicher Seriosität geschieht. Ein Argument, das man einst provokativ jedem ID-Befürworter und Schöpfungsgläubigen vorhielt („Das Auge ist einer der größten Fehler der Evolution“) wird auf den Kopf gestellt („Das Auge ist in seiner heutigen Perfektion eine der größten Reparaturleistungen der Evolution“). Das erinnert mich spontan an „Des Kaisers neue Kleider“.

Wenn also die Evolution in der Lage sein soll, einst sehbehinderten Augen einen besseren Durchblick zu verschaffen, um die Wortwahl des Kommentars von *New Scientist* zu gebrauchen, dann erwarte ich nicht nur markige Sprüche, sondern fundierte Erklärungen dieses Prozesses. Die Evolutionsbiologie muss nicht erklären, wie das Auge funktioniert, das gelingt ohne Rückgriff auf irgendeine evolutionsbiologische Hypothese – wie man an den Ergebnissen der letzten Jahre leicht erkennen kann – sehr erfolgreich. Die Evolutionsbiologie steht u. a. vor der Aufgabe zu erklären, wie, unter welchen Umständen und warum sich bei den Wirbeltieren zunächst eine funktionell unvollkommene Netzhaut entwickelte und wie und wann in einem weiteren Schritt die Müller-Zellen umfunktioniert bzw. funktionserweitert wurden. Letzteres ist übrigens so geschehen, dass den jeweiligen

funktionellen Ansprüchen (Sehen unter Wasser, Sehen an Land, Nachtsehen, Tagsehen) der einzelnen Arten Rechnung getragen wurde. Wie häufig evolvierte die „primäre“ Netzhaut unabhängig voneinander und wie häufig vollzog sich der Reparaturprozess in den einzelnen Linien der Wirbeltiere? Welche Rolle spielte die Selektion in diesem Prozess, wenn diese zunächst unvollkommene und später vollkommene Lösungen favorisierte?

Die Liste der offenen Fragen lässt sich noch um viele weitere Fragen verlängern.

Die bisher vorliegenden Antworten zur Evolution der Augen (ausführliche Darstellungen zum Forschungsstand siehe Heft 1/2008 der Zeitschrift *Evolution Education and Outreach*) geben nicht im Geringsten dazu Anlass, unter Berufung auf die wissenschaftliche Datenlage die Evolution der Augen als geklärt anzusehen und Schöpfung als alternativen Erklärungsansatz auszublenden. Das Gegenteil ist der Fall. Je mehr wir über das Auge wissen, umso unglaublicher werden die Fähigkeiten, die man einem blinden natürlichen Werdegang zutrauen muss, und umso verwickelter und widersprüchlicher sind die Abläufe, die man annehmen muss.

150 Jahre nach DARWIN sind es unverändert die bekannten wissenschaftlichen Daten über die Augen, die bestätigen, wie „vollkommen“ oder „unnachahmlich“ deren Einrichtungen sind. Dagegen erweisen sich die bisher favorisierten und neuen naturalistischen Erklärungen ihrer Entstehung unverändert „im höchsten Grade als absurd“.

Henrik Ullrich

Literatur

- ADLER R & FARBER D (1986) *The Retina*. New York.
- DARWIN C (1872) *Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl*. Reclam, 7. Auflage 1978.
- Editorial: The eye was evolution's great invention *New Scientist* (6 May 2010) (<http://www.newscientist.com/article/mg20627592.400-the-eye-was-evolutions-great-invention.html>)
- FRANZE K et al. (2007) Müller cells are living optical fibers in the vertebrate retina. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 104, 8287-8292. (online: <http://www.pnas.org/cgi/reprint/104/20/8287>)
- LABIN AM & RIBAK EN (2010) Retinal Glial Cells Enhance Human Vision Acuity. *Phys. Rev. Lett.* 104, 158102
- MCALPINE K (2010) Evolution gave flawed eye better vision. *New Scientist* (2759: 6 May 2010) (<http://www.newscientist.com/article/mg20627594.000-evolution-gave-flawed-eye-better-vision.html>)
- NEUHAUS K & ULLRICH H (2000) Das Wirbeltierauge „Ein Konstruktionsfehler ohne funktionellen Sinn? *Stud. Int. J.* 7, 3-11.
- ULLRICH H, WINKLER N & JUNKER R (2006) Zankapfel Auge. Ein Paradebeispiel für „Intelligent Design“ in der Kritik. *Stud. Int. J.* 13, 3-14.
- ULLRICH H (2008) Augenblicke – raffiniertes Design der Linsenaugen. *Stud. Int. J.* 15, 32-35.
- ULLRICH H (2010a) Intelligente Konstruktion für eine optimierte Nachtsicht. *Stud. Int. J.* 17, 29-32.
- ULLRICH H (2010b) Evolution und Evolutionstheorien. *Stud. Int. J.* 17, 76-87.