

Perfekte Augen

Vom Ausbügeln der Evolution und dem Kopfstand der Biologen

In den letzten Jahren wurde vermehrt thematisiert, dass die Augen der Wirbeltiere und insbesondere ihre Netzhaut keine Fehlkonstruktionen sind. Diese Einsicht fällt vielen Evolutionsbiologen nicht leicht, weil damit eines ihrer beliebtesten Argumente gegen die Existenz eines intelligenten Schöpfers aufgegeben werden musste. Eine aktuelle Darstellung bestätigt die neue Sicht.

Henrik Ullrich

„Das Auge von Menschen und anderen Wirbeltieren ist von Anatomen ab und an scherzhaft als Fehlkonstruktion bezeichnet worden: Denn aus entwicklungsbiologischen Gründen ist unser Sehorgan falsch herum gebaut, also invertiert. ... Das Gegenteil ist allerdings der Fall: Tatsächlich verbessert der Retinaaufbau das Bild sogar, berichten Amichai LABIN vom Technion im israelischen Haifa und seine Kollegen“ (OSTERKAMP 2014).

Dieses erstaunliche Zitat aus *spektrum.de* dokumentiert eine 180°-Wende in der Beurteilung der Netzhaut (Retina) des Wirbeltierauges: Statt Fehlkonstruktion nun optimal gebaut. Die erwähnten Forscher LABIN & RIBAK konnten 2010 zum einen zeigen, dass die von FRANZE et al. (2007) beschriebenen Zellfortsätze der Müllerzellen das Licht nahezu verlustfrei durch die Netzhaut ähnlich wie Glasfaserkabel leiten können. Zum anderen konnten sie auch nach-

weisen, dass die Fortsätze der Müllerzellen durch ihren trichterartigen Aufbau an der Außenseite der Netzhaut (Einfallseite des Lichtes) zusätzlich auch dafür sorgen, dass die diskreten Unterschiede der Lichtbrechung (chromatische Aberration) nicht zu einer Verschlechterung der Bildqualität führen (vgl. dazu ULLRICH 2008; 2010; 2014 und s. u.).

In dem angesehenen Magazin *Current Biology* wird nun erneut von Tim BADEN und Dan ERIC NILSSON das Wirbeltierauge, konkret der Aufbau der Netzhaut, unter der Fragestellung „Ist unsere Retina wirklich verkehrt herum?“ diskutiert (BADEN & NILSSON 2022). Ihre Auswertung der Fakten ist eindeutig, aber ihre Begründungen für die vorgefundene Perfektion eine Flucht vor dem Offensichtlichen:

„Letztendlich haben Wirbeltiere und Kopffüßer sehr unterschiedliche Wege eingeschlagen, um Augen und das Sehvermögen zu erlan-

gen. Die Photorezeptoren der Netzhaut richteten sich in entgegengesetzte Richtungen aus, was zu unterschiedlichen Vorteilen und Herausforderungen führte. *Merkmale, die vielleicht ungünstig erscheinen, wurden mit der Effizienz und dem Einfallsreichtum der Evolution ausgeglichen.* Die gute Raumausnutzung in kleinen Augen mag dazu beigetragen haben, dass die frühen Wirbeltiere so effizienter waren, als sie es mit einer umgedrehten Netzhaut gewesen wären. Grundsätzlich kann man nicht sagen, dass eine der beiden Netzhautausrichtungen der anderen überlegen ist. *Es ist die Vorstellung vom richtigen oder falschen Weg, die versagt. Unsere Netzhaut ist nicht verkehrt herum, außer vielleicht, wenn wir auf dem Kopf stehen*“ (Hervorhebungen hinzugefügt).

„Unsere Netzhaut ist nicht verkehrt herum, außer vielleicht, wenn wir auf dem Kopf stehen.“

Ein notwendiger geschichtlicher Rückblick

Dass Augen der Wirbeltiere generell und der Aufbau der Netzhaut als Fehlkonstruktionen bewertet wurden, ist eine unmittelbare und zwingende Schlussfolgerung aus dem Evolutionsparadigma. Bereits 1874 wies Charles DARWIN auf diese Konsequenz seiner Theorie hin: „Wir haben keinen Grund, absolute Perfektion bei Strukturen zu erwarten, welche die sexuelle Selektion schön formte, ebenso wenig bei Strukturen, welche durch die natürliche Selektion für ihre normale Funktion gestaltet wurden, ..., zum Beispiel in jenem wundersamen Organ, dem Auge. Und wir wissen, was HELMHOLTZ, die größte Autorität in Europa zu diesem Thema, über das Auge gesagt hat, ...“ (DARWIN 1874, 441).

Der berühmte Berliner Physiologe Hermann Ludwig Ferdinand VON HELMHOLTZ (1821–1874) wollte die Zweckmäßigkeit und Fehlerhaftigkeit des Auges in einen kausalen Zusammenhang „mit den grossen und kühnen Gedanken in Beziehung setzen, welche neuerdings Darwin über die Art der fortschreitenden Vervollkommnung der organischen Geschlechter in unsere Wissenschaft geworfen hat“ (VON HELMHOLTZ 1865, 27). Bekannt wurde sein „Sündenregister“ des Auges (Tab. 1), in dem er zahlreiche vermeintliche Konstruktionsfehler, u.a. den blinden Fleck der Netzhaut, aufführte. Daraus resultierte für ihn folgendes Urteil über den Schöpfer des Auges:

„Wenn mir nun ein Optiker ein Instrument verkaufen wollte, welches die letztgenannten

Fehler hätte, so ist es nicht zu viel gesagt, dass ich mich vollkommen berechtigt glauben würde, die härtesten Ausdrücke über die Nachlässigkeit seiner Arbeit zu gebrauchen, und ihm sein Instrument mit Protest zurückzugeben“ (VON HELMHOLTZ 1865, 22–23).

- Individuelle Mängel der Akkommodationsbreite (Kurz- / Weitsichtigkeit)
- Sphärische und chromatische Aberration
- Astigmatismus (Stabsichtigkeit)
- inhomogene Lichtpunktdarstellung („Stern“) durch strahlige Faserzüge und Flecken der Linse
- Trübheit der Linse und der Hornhaut
- Fluoreszenz der Linse (UV)
- Glaskörperverunreinigungen
- Blinder Fleck
- Gefäße vor der Netzhaut
- Fovea centralis nicht empfindlich für schwaches Licht
- Ungleichheit des Feldes der Netzhaut

Tab. 1 Sündenregister des Auges nach VON HELMHOLTZ

Wie ein roter Faden zieht sich dieser von DARWIN und VON HELMHOLTZ begründete Argumentationsstrang des fehlkonstruierten Auges durch die evolutionsbiologische Literatur der letzten anderthalb Jahrhunderte. Selbst im Jahr 2010, als bereits durch die deskriptiv und analytisch arbeitende Biologie alle o.g. Konstruktionsfehler des „Sündenregisters“ eine anatomisch und physiologisch sinnvolle Erklärung gefunden hatten und sich damit als Ausdruck unseres bisherigen Unwissens darstellten, zählt Richard DAWKINS die Wirbeltieraugen immer noch zu den eindrucksvollsten Beispielen für Fehlkonstruktionen:

„Es ist nicht nur eine schlechte Konstruktion, es ist die Konstruktion eines völligen Idioten“ (DAWKINS 2010, 399).

Weil dieses krasse Fehlurteil bis heute noch in vielen populärwissenschaftlichen Darstellungen und in Schulmaterial zu finden ist, darf man den Beitrag von BADEN und NILSSON in *Current Biology* als einen erneuten und sehr zu lobenden Versuch werten, den Mythos der Fehlkonstruktion von Wirbeltieraugen zu entzaubern.

Die Mängelliste des Auges ist nicht mehr existent

Die Biologie als Wissenschaft vom Leben ist angesichts der nicht wegzudiskutierenden Zweckmäßigkeit der Konstruktionen des Lebens

grundsätzlich darauf angewiesen, die Organismen methodisch so zu untersuchen, als seien sie geschaffen worden. Das räumt indirekt sogar Richard DAWKINS ein, wenn er Biologie definiert als „das Studium komplizierter Dinge, die so aussehen, als seien sie zu einem Zweck entworfen worden“ (DAWKINS 1987, 13). Generationen von Naturwissenschaftlern haben in den letzten 160 Jahren dazu beigetragen, die scheinbar zwecklosen und angeblich nur durch eine evolutionäre Vergangenheit verstehbaren Konstruktionsfehler bei Wirbeltieraugen als anatomisch, physiologisch und ontogenetisch perfekte Konstruktionen unabhängig von einer hypothetischen evolutionären Geschichte zu verstehen. Zu diesem Urteil kommen auch BADEN und NILSSON:

„Bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit sind die Wirbeltieraugen nahezu perfekt.“

Und: „Es ist klar, dass in diesen kleinsten, perfekt funktionierenden Wirbeltieraugen die umgekehrte Netzhaut eine effiziente Nutzung jedes Kubikmikrometers der intraokularen Fläche ermöglicht hat.“

Die Unterschiede zwischen den Augentypen können eine überlegene oder unterlegene Konstruktion nicht begründen.

Die Autoren verweisen auf zahlreiche alte und neue Befunde, die das Wirbeltierauge in besonderer Weise auszeichnen und die sich beim Linsenauge der Kopffüßer anders darstellen. Letztere verfügen über eine sogenannte everse Netzhaut (siehe Abb. 2), was entsprechende Konsequenzen für anatomische und physiologische Gegebenheiten hat (z. B. die Position der Sinneszellen zum Gehirn nachgeschalteten Neuronen für die Signalverarbeitung). Diese Unterschiede können jedoch eine bessere oder schlechtere bzw. überlegene oder unterlegene Konstruktion nicht begründen. Sie

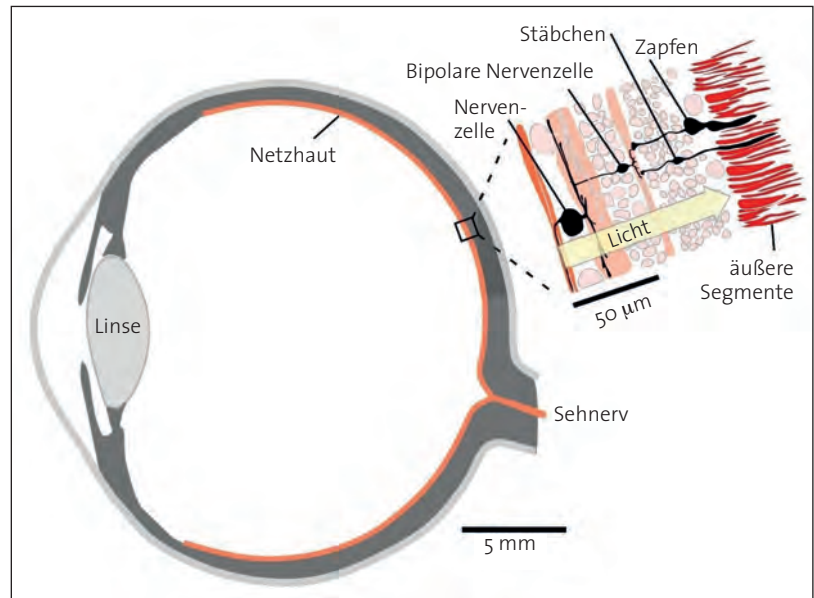


Abb. 1 Längsschnitt durch das menschliche Auge und die Netzhaut. Die lichtempfindlichen äußeren Segmente der Stäbchen- und Zapfenphotorezeptoren (dunkelrot) sind dem Licht abgewandt (inverser Aufbau der Netzhaut, nach BADEN & NILSSON 2022).

sind schlicht und einfach Ausdruck einer optimalen oder perfekten anatomisch-funktionalen Einpassung der Merkmalskomplexe in die Lebensumwelt der jeweiligen Arten. Zu den besonderen Eigenschaften der Wirbeltieraugen zählen Tim BADEN und Dan Eric NILSSON:

- den ontogenetischen Bildungsprozess der Netzhaut aus einer Ausstülpung des embryonal angelegten Gehirns und
- die Maximierung des Abstandes der Netzhaut von der Eintrittsstelle des Lichts in das Auge durch die Linse, den Glaskörper und die den Sinneszellen vorgelagerten Neuronen, was aus optischen Erwägungen zu einer besseren räumlichen Auflösung des Lichts beiträgt.
- Außerdem ermöglichen die den Sinneszellen vorgelagerten Neuronen zusätzlich eine raumsparende, unmittelbar primäre und extrem schnelle Signalverarbeitung und regulatorische Verschaltung der Sinneszellen, wodurch ein hoher Anteil an redundanten (nicht notwendigen) Informationen herausgefiltert wird.
- Die den Sinneszellen vorgelagerten Neuronen verfügen darüber hinaus in ihren Zellkörpern über lipidartige Tröpfchen, welche das Far-

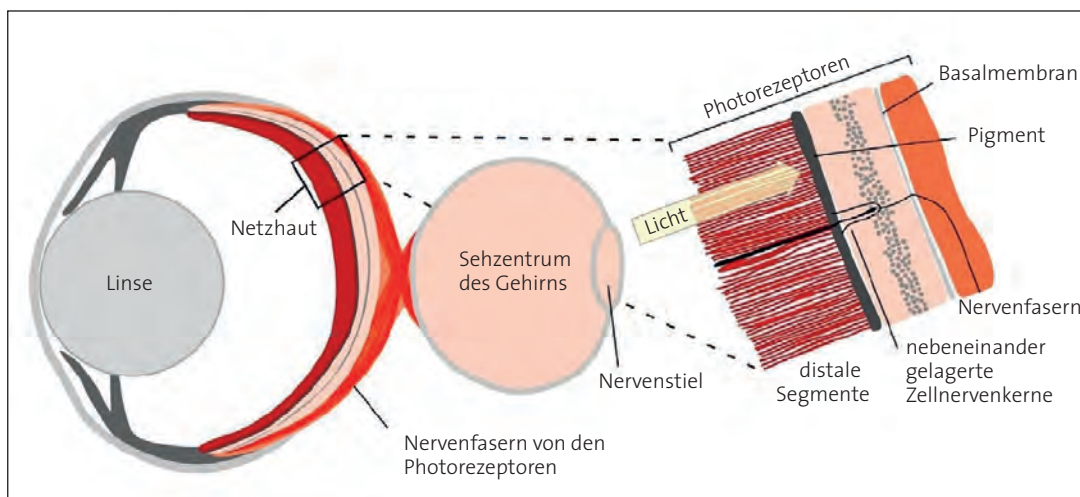


Abb. 2 Längsschnitt durch das Auge, die Netzhaut und den für das Sehen verantwortlichen Gehirnlappen eines Tintenfisches: Die lichtempfindlichen äußeren Segmente der Photorezeptoren (dunkelrot) sind dem Licht zugewandt (everser Aufbau der Netzhaut, nach BADEN & NILSSON 2022).

bensehen verbessern, und zeigen Ballungen von Mitochondrien, die neben der Energiebereitstellung zur Fokussierung des Lichts bis in die äußeren Bereiche der Sinneszellenleisten beitragen.

- Der nur bei Wirbeltieraugen vorhandene sogenannte blinde Fleck nimmt bei Menschen nur 1% der Oberfläche der gesamten Netzhaut ein. Er liegt außerdem in dem Bereich, in dem sich die Sichtfelder des binokularen (zweiäugigen) Sehens überlagern, sodass das Gehirn die „fehlende“ Information aus dem anderen Auge ergänzen kann.

Es verwundert, dass die Autoren nicht auf die bahnbrechenden Erkenntnisse von FRANZE et al. (2007) und LABIN & RIBAK (2010) verweisen, welche die Fortsätze spezieller Neuronen (Müllerzellen) als Lichtleitkabel identifizierten, die das Licht nahezu verlustfrei von der Oberfläche der Netzhaut bis zu den Sinneszellen führen. Die Konfiguration der Fortsätze ermöglicht zusätzlich eine Korrektur der chromatischen Aberration durch die Lichtbrechung von Hornhaut und Linse (Brechungsunterschiede unterschiedlicher Wellenlängen des Lichts führen zu Unschärfe des Bildes).

Ebenso fehlt eine Erwähnung des genialen Sachverhaltes, dass bei dämmerungs- bis nachtaktiven Säugetieren (zum Beispiel der Katze) die Stäbchen-Photorezeptoren des Auges eine invertierte Zellkern-Architektur (Verteilung des Heterochromatin und des Euchromatin) aufweisen, während die Stäbchen der tagaktiven Säuger (wie die des Javaneraffen-Makaken) eine konventionelle Kernarchitektur zeigen (SOLOVEI et al. 2009). Diese invertierte Architektur optimiert das Nachtsichtvermögen (vgl. dazu ULLRICH 2010).

Vom Ausbügeln der Evolution

Während sich die beschreibend und analytisch arbeitende Biologie sehr erfolgreich darum bemüht, Strukturen und Funktionsweisen von Organen aufzuklären, ist es die Aufgabe des historisch-rekonstruktiven Forschungsansatzes der Evolutionsbiologie, deren Entstehungsweise nachzuzeichnen (historische Evolutionsforschung) und zu erklären (kausale Evolutionsforschung).

Während hinsichtlich des makroskopischen und mikroskopischen Aufbaus des Auges sowie seiner Funktionen enorme Erkenntniszugewinne im Vergleich zum Wissensstand zu Zeiten von DARWIN und VON HELMHOLTZ zu verzeichnen sind, kann Gleiches aus dem Blickwinkel der Evolutionsbiologie nicht gesagt werden. Das Gegenteil ist der Fall. Evolutionstheorien für das Auge müssen nun nicht nur dessen Entstehung, sondern auch – im Gegensatz zu DARWINs theoretischem Ansatz – die vorgefundene Perfektion in Form und Funktion erklären. BADEN und NILSSON vermeiden es, auf diese qualitativ neuen Anforderungen evolutionstheoretischer Modellierungen konkret einzugehen. Sie verharren in der Darstellung klassischer Entstehungsgeschichten, ohne sich der Herausforderung einer Klärung der kausalen Mechanismen, die eine solche Entstehungsgeschichte erst möglich machen, zu stellen.

Als Beispiel dieser Erzählung, deren kausale Begründung völlig im Dunkeln bleibt, mag folgendes Zitat dienen (vgl. dazu auch die Erklärung zu Abb. 3): „In der Evolutionsgeschichte der Sinnesstrukturen ist es fast unvermeidlich, dass das Kleine dem Großen vorausgeht. Die alten Vorläufer der Wirbeltieraugen aus der Zeit vor dem Kambrium waren zunächst Ansamm-

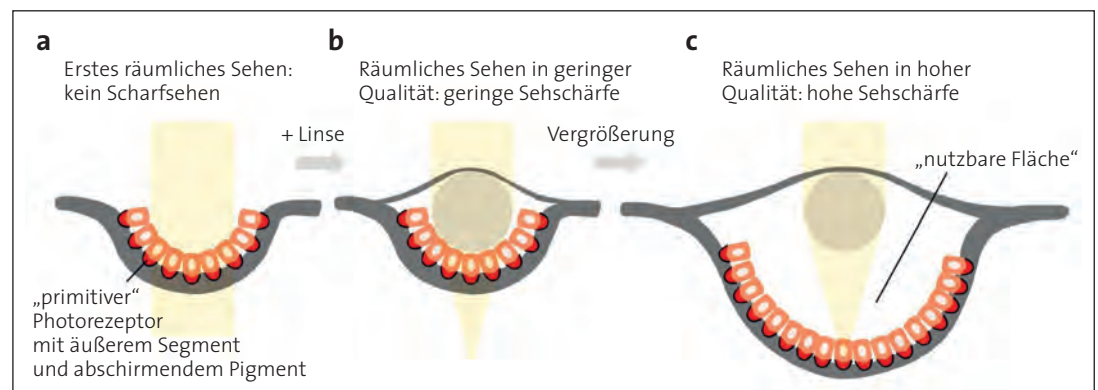


Abb. 3 Entwicklung eines Auges mit einer „umgekehrten“ Netzhaut (nach BADEN & NILSSON 2022):

„(a) Ein Fleck aus pigmentgeschützten ‚primitiven‘ Photorezeptoren beginnt sich zu einem Augenbecher zu wölben, der erste Ansatz von räumlichem Sehen ermöglicht. Die lichtempfindlichen Teile der Photorezeptoren sind dem Licht abgewandt.

(b) Das Hinzufügen einer sphärischen Linse unmittelbar über der Augenmuschel ermöglicht räumliches Sehen mit geringer Auflösung; das Auge bleibt jedoch stark unterfokussiert.

(c) Die allmähliche Vergrößerung des Auges entfernt die Linse von den Photorezeptoren, wodurch sich die Bildauflösung verbessert. Schließlich wird das Auge scharf gestellt. Zu diesem Zeitpunkt bietet das Auge viel ‚leeren‘ Raum zwischen der Linse und den Photorezeptoren. Dieser Raum könnte durch die Hinzufügung von Neuronen, die das von den Photorezeptoren aufgenommene Bild lokal vorverarbeiten, sinnvoll ergänzt werden.“

Auch hier wird nur ein hypothetisches Szenario aus sehr groben Schritten entworfen, ohne die bedingenden kausalen Ursachen anzusprechen.

lungen von abgeschirmten Photorezeptoren, die sich schließlich zu augenmuschelförmigen Gebilden zusammenschlossen, [...]. Dann kamen nach und nach primitive Linsen hinzu. In diesen frühen Augen gab es keinen Glaskörperraum, der die Linse und die Netzhaut trennte. [...] Angesichts grundlegender optischer Prinzipien war jeder zusätzliche Raum, der durch die allmähliche Entfernung der Photorezeptoren von der Linse entstand, für die Neuronen ein wirklicher Gewinn.“

Weder über die molekulargenetischen Grundlagen noch über die formenden Tendenzen der einzelnen Entwicklungsschritte legen die Autoren Rechenschaft ab.

Hier wird offensichtlich nichts erklärt. Es wird eine hypothetische Geschichte darüber erzählt, welche evolutionären Einzelschritte die Augenentwicklung durchlief und welche der Natur innewohnenden Tendenzen diesen Wandel ermöglichten. Doch weder über die molekulargenetischen Grundlagen noch über die formenden „unvermeidlichen“ Tendenzen der einzelnen Entwicklungsschritte legen die Autoren Rechenschaft ab. In der evolutionsbiologischen Fachliteratur gibt es keine kausalen Erklärungen dafür, dass das „Kleine dem Großen vorausgeht“ oder wie sich Ansammlungen von Photorezeptoren in augenmuschelförmigen Gebilden „zusammenschlossen“, wie primitive Linsen hinzukamen oder wie der zusätzliche Raum „entstand“ und für die Neuronen ein „wirklicher Gewinn“ wurde.

Schlussbetrachtung

Erstaunlich und außergewöhnlich gut konstruierte Augen sind bereits bei fossil erhaltenen Organismen in frühen kambrischen Gesteinschichten (mehr als 500 Millionen radiometrische Jahre) nachgewiesen (LAMB et al. 2007, NILSSON 2021). Augen waren und sind – nach

allem, was wir bis heute wissen – schon immer in jeder Hinsicht für den jeweiligen Zweck perfekt. Mit den Möglichkeiten des naturwissenschaftlichen Forschens konnten in ihnen weder „Narben“ der Evolution gefunden noch ihre evolutionären Entstehungswege widerspruchsfrei nachgezeichnet noch eine Erklärung der Entstehungsweisen geboten werden.

Wenn sich ein Naturgegenstand wie das Auge so beharrlich einer evolutionstheoretischen Erklärung entzieht, ist es mehr als gerechtfertigt, nach alternativen Deutungen zu suchen. Die Annahme eines allmächtigen Schöpfers, der ein geniales Design hervorbringt, ist deshalb keine Flucht vor den wissenschaftlichen Daten, sondern eine aus ihnen resultierende logische und plausible Konsequenz.

Literatur

- BADEN T & NILSSON DE (2022) Is our retina really upside down? *Curr. Biol.* 32, R295–R310.
- DARWIN C (1874) *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. 2nd ed. London: John Murray.
- DAWKINS R (1987) *Der blinde Uhrmacher*. Ein neues Plädoyer für den Darwinismus. München.
- DAWKINS R (2010) *Die Schöpfungslüge*–Warum Darwin recht hat. Berlin: Ullstein.
- FRANZE K et al. (2007) Müller cells are living optical fibers in the vertebrate retina. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 104, 8287–8292.
- LABIN AM & RIBAK EN (2010) Retinal glial cells enhance human vision acuity. *Phys. Rev. Lett.* 104, 158102.
- LAMB et al. (2007) Evolution of the vertebrate eye: Opsins, photoreceptors, retina and eye cup. *Nat. Rev. Neurosci.* 8, 960–976.
- NILSSON DE (2021) The diversity of eyes and vision. *Annu. Rev. Vis. Sci.* 7, 19–41.
- OSTERKAMP J (2014) Lichtleiter-Schichtdienst im Auge. www.spektrum.de/news/lichtleiter-schichtdienst-im-auge/1299836.
- SOLOVEI I et al. (2009) Nuclear architecture of rod photoreceptor cells adapts to vision in mammalian evolution. *Cell* 137, 356–368.
- ULLRICH H, WINKLER N & JUNKER R (2006) Zankapfel Auge. Ein Paradebeispiel für „Intelligent Design“ in der Kritik. *Stud. Integr. J.* 13, 3–14.
- ULLRICH H (2008) „Augenblicke“ – raffiniertes Design der Linsenaugen. *Stud. Integr. J.* 15, 32–35.
- ULLRICH H (2010) Intelligente Konstruktion für eine optimierte Nachtsicht. *Stud. Integr. J.* 17, 29–32.
- ULLRICH H (2014) „Fehlkonstruktion Auge“: Am Ende nur ein Scherz? *Stud. Integr. J.* 21, 114–115.
- VON HELMHOLTZ LF (1865) *Populäre wissenschaftliche Vorträge*. Erstes Heft. Braunschweig, Vieweg und Sohn.