

briums in Estland gefunden wurde. Trilobiten sind eine im Kambrium weit verbreitete Gruppe der Gliederfüßer. Die fossilen Augen zeigen, dass ihr Aufbau im Wesentlichen dem Bau heutiger sogenannter Ap-positionsaugen wie z.B. von Bienen oder Libellen entspricht. Bei Ap-positionsaugen ist jedes Einzelaug (Ommatidium) durch Pigmente von seinen Nachbargaugen abgeschirmt. Es fehlt bei *Schmidtellus* allerdings die Linse, was jedoch durch einen besonderen Bau der Einzelaugen ausgeglichen wird, sodass nach Abschätzung der Wissenschaftler die Lichtstärke des Auges nicht geringer war als bei vergleichbaren heutigen Einzelaugen. „There is an elegant physical solution, however, of how to develop a quality image of modern type“ (SCHOENEMANN et al. 2017, 1); „So, in total, the system of the trilobite *S. reetae* is in a state similar to modern aquatic arthropods, even without a lens“ (SCHOENEMANN et al. 2017, 5).

Das Auge besteht aus etwa 100 Einzelaugen, die im Vergleich zu heutigen Formen relativ weit auseinander stehen. Jedes Ommatidium bestand wie in modernen Facettenaugen aus acht Sinneszellen: ein zentrales Lichtleiterstäbchen (Rhabdom) und sieben sich darum gruppierende Elemente. Der Fund zeigte, dass „hochentwickelte („sophisticated“) Augen schon zu Beginn des Fossilberichts höherer Organismen existierten“, stellen die Wissenschaftler fest (SCHOENEMANN et al. 2017, 1).

Mit nur etwa 100 „Pixeln“ war die Sehleistung freilich gering, doch ermöglichte die Anordnung der ca. 1 x 0,5 cm großen Augen ein breites Sichtfeld nach vorne und zur Seite, innerhalb dessen Bewegungen und Helligkeitsverteilungen wahrgenommen werden konnten. Doch wie erwähnt sind aus dem Unterkambrium auch ausgesprochen hochauflösende Komplexaugen bekannt; SCHOENEMANN et al. (2017, 5) weisen selbst auf einen weiteren baltischen Trilobiten, *Holmia kjerulfi*, hin, der in nur wenig jünger datierten Schichten gefunden wurde und hochauflösende Augen mit dicht gepackten Einzelaugen besaß, eine Konstellation, die den

Augen heutiger Libellen vergleichbar war.

SCHOENEMANN et al. (2017, 1) merken an, dass der Ursprung der Trilobiten insgesamt unklar sei. Der fossile Nachweis von Facettenaugen, deren Grundaufbau im Wesentlichen „modern“ ist, in den ältesten kambrischen Schichten entspricht ziemlich dem Gegenteil dessen, was evolutionstheoretisch zu erwarten wäre. [JONASOVA K & KOZMIK Z (2008) Eye evolution: Lens and cornea as an upgrade of animal visual system. *Sem. Cell Dev. Biol.* 19, 71–81 • PATERSON RJ, GARCÍA-BELLIDO DC, LEE MSY, BROCK GA, JAGO JB & EDGE-COMBE GD (2011) Acute vision in the giant Cambrian predator *Anomalocaris* and the origin of compound eyes. *Nature* 480, 237–240 • SCHOENEMANN B, PÄRNASTE H & CLARKSON ENK (2017) Structure and function of a compound eye, more than half a billion years old. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114, 13489–13494 • ULLRICH H, WINKLER N & JUNKER R (2006) Zankapfel Auge. Ein Paradebeispiel für „Intelligent Design“ in der Kritik. *Stud. Integr. J.* 13, 3–14.] R. Junker

■ Winzige Pfauenspinne kann mikroskopische Regenbogen erzeugen

Pfauenspinnen (*Maratus*) gehören zu den Springspinnen und sie zeigen wie die Vögel, auf die ihr Name hinweist, ein auffälliges Farbspiel. Die irisierenden Farben der langen Schwanzfedern, die der Pfau zur Werbung bei Hennen einsetzt, weisen Pfauenspinnen an ihrem Hinterleib auf. Sie nutzen sie mit tänzerischen Bewegungen zum selben Zweck, der Werbung um Spinnenweibchen. Bei einigen australischen Vertretern der Pfauenspinnen ist das gesamte sichtbare Spektrum, also alle Regenbogenfarben, abhängig vom Betrachtungswinkel zu beobachten. Irisierende Farbmuster von Oberflächen im Pflanzen- und Tierreich zeigen oft nur einen kleinen Ausschnitt des sichtbaren Spektrums.

Wie ein internati-

onales Forscherteam um Matthew SHAWKEY jetzt durch mikroskopische und spektroskopische Untersuchungen gezeigt hat, können die beiden winzigen (nur ca. 2,5 mm großen) Pfauenspinnen *Maratus robinsoni* und *M. chrysomelas* die irisierenden Farben durch Lichtbrechung an mikroskopisch kleinen (bis zu 40 x 10 µm² großen) Schuppen hervorrufen, die ihren Hinterleib bedecken (HSIUNG et al. 2018). Die Autoren fanden jeweils zwei verschiedene Typen von Schuppen: In bestimmten Arealen des Hinterleibs einen Typs sind die einzelnen Schuppen unregelmäßig angeordnet und samtig, sie verursachen schwarze Bereiche, die den farblichen Kontrast auf dem Hinterleib verstärken. Die Felder mit den irisierenden Regenbogenfarben sind durch regelmäßiger angeordnete Schuppen gekennzeichnet, die sich an die Oberfläche anschmiegen. Der zweite Schuppentyp weist parallele Gitterstrukturen auf, wie bei einem optischen Gitter. Die Schuppen zeigen bei *M. robinsoni* im Querschnitt ein tragflächenartig gewölbtes, asymmetrisches Profil, wobei die Abstände der Gitterstrukturen auf beiden Seiten unterschiedlich sind. Die besondere Gitterstruktur der Schuppen führt zu einer Streuung des gesamten sichtbaren Spektrums, sodass dieses bereits auf geringe Distanz vollständig in Spektralbereiche zerlegt ist. Auf mikroskopisch kleinem Raum wird Licht spektral



Abb. 1 Pfauenspinne *Maratus robinsoni* (© Jürgen Otto)

zerlegt, sodass man sagen kann, dass an den Schuppen auf dem Hinterleib dieser Pfauenspinnen die kleinsten bisher bekannten Regenbögen hervorgerufen werden.

Aufgrund der mikroskopischen Befunde stellten HSIUNG et al. die Hypothese auf, dass das extreme winkelabhängige Schillern der Regenbogenfarben auf der Wechselwirkung des Lichts mit dem Nanogitter auf den mikroskopisch kleinen tragflächenartig gewölbten Schuppen beruht. Um diese Vorstellung zu prüfen, stellten die Autoren verschiedene Modelle mit optischen Gittern her (flache Gitter, Gitter auf Prismen und Gitter auf tragflächenartigen Profilen) und simulierten daran die reflektierten Spektren in Abhängigkeit vom Blickwinkel. Diese Simulationen bestätigen, dass sowohl das Profil, auf dem die Gitterstruktur aufgebracht ist, als auch die Gitterabmessungen, wie sie bei den Pfauenspinnen gefunden wurden, erforderlich sind, um den beschriebenen Schillereffekt des gesamten sichtbaren Spektrums hervorzubringen. HSIUNG et al. heben zusammenfassend hervor, dass die innovative Kombination der regelmäßigen Gitterstruktur auf einer tragflächenartig gewölbten Schuppe das auffällige Schillern verursacht.

Die irisierenden Schuppen am Hinterleib von *M. robinsoni* und *M. chrysomelas* stellen das erste Beispiel in der Natur dar, in dem schillernde Regenbogenfarben als Signal genutzt werden (wobei die biologische Funktion des Signals im Detail noch nachzuweisen ist).

Da Licht auch in der Technik ein hohes Potenzial hat, z.B. in der Kommunikation, Sensorik, Sicherheitstechnik und in anderen Bereichen, sehen die Autoren in dem bei Pfauenspinnen entdeckten System der irisierenden Regenbogenfarben eine Inspiration für die Entwicklung kleinster lichtstreuender Bausteine mit extrem hoher Auflösung. Damit ist ein weiteres Kapitel der Bionik aufgeschlagen, in dem Entdeckungen in der Natur richtungsweisend genutzt werden können, um technische Entwicklungen voranzutreiben.

Einen Eindruck dieses faszinierenden Farbspiels kann man sich

im Internet verschaffen: <https://youtube/eGS4JdewROU>. Bei youtube sind noch weitere eindrucksvolle Pfauenspinnen dokumentiert.

Einer der Autoren sagte in einem Gespräch: „Selbst mit High-End-Fertigungstechniken konnten wir die genauen Strukturen nicht reproduzieren. Ich frage mich, wie die Spinnen diese fantastischen strukturellen Muster überhaupt entwickeln konnten.“ (Bild der Wissenschaft online vom 4.1.2018: http://www.wissenschaft.de/web/wissenschaft.de/leben-umwelt/natur/-/journal_content/56/12054/22009003/Schillerndes-Naturpatent-mit-Potenzial)

[HSIUNG B-K, SIDDIQUE RH, STAVENGA DG, OTTO JC, ALLEN MC, LIU Y, LU Y-F, DEHEYEN DD, SHAWKEY MD & BLACKLEDGE TA (2018) Rainbow peacock spiders inspire miniature super-iridescence optics. Nat. Comm.; doi: 10.1038/s41467-017-02451-x] H. Binder

■ Asymmetrien des menschlichen Gehirns finden sich nicht beim Schimpansen

Welchen Zusammenhang gibt es zwischen dem Aufbau des menschlichen Gehirns und der Fähigkeit des Menschen, sprechen zu können? Liefern die bekannten Asymmetrien von Hirnfurchen und Hirnwindungen bezüglich ihrer Größe und Lage beim Vergleich der rechten mit der linken Hemisphäre beim Menschen oder beim Vergleich mit der Situation bei Schimpansen tatsächlich belastbare Antworten? Seit mehr als 100 Jahren werden diese Hirnasymmetrien intensiv und kontrovers diskutiert, ohne dass eine Klärung ihrer funktionellen Bedeutung erreicht werden konnte (vgl. dazu BRANDT 2000). Nicht zuletzt war es die Unterschiedlichkeit der methodischen Ansätze und die Nichtvergleichbarkeit ihrer Ergebnisse, welche die Bewertung von Hirnasymmetrien beim Menschen und Schimpansen erschwerten. Forscher um X. LI von der University of Edinburgh wollten diesen verwirrenden Zustand beenden, indem sie mit einer standardisierten und auf alle Primaten übertragbaren Metho-

dik die Frage der Hirnasymmetrien und ihrer funktionellen Bedeutung erneut aufgriffen (LI et al. 2018). Die Forscher um X. LI nutzen digitalisierte 3D-Bilddaten von Gehirnen von 223 Menschen und von 70 Schimpansen, die mit spezialisierten Verfahren der Magnetresonanztomographie erstellt und mit mehreren statistischen Verfahren analysiert wurden. Die Ergebnisse waren in ihrer Deutlichkeit für die Forscher überraschend. Die bekannten Asymmetrien zwischen der rechten und linken Hirnoberfläche bei Menschen wurden bestätigt. Besonders auffällig waren dabei die Differenzen im Bereich des Frontallappens, des Temporallappens und des Okzipitallappens. Ebenso ließ sich als Besonderheit nachweisen, dass der linke vordere Temporallappen und Anteile der überlagernden linken temporalen Furche im Vergleich mit rechts mehr nach außen verlagert sind und die linke Sylvi'sche Fissur eine verstärkte Rechtsdrehung gegenüber ihrem Verlauf rechts zeigt. Keine dieser bei beiden menschlichen Geschlechtern analog nachweisbaren morpho-geometrischen Asymmetrien der menschlichen Gehirnareale, die u.a. große Bedeutung für die Sprachfähigkeit und das Sprachverständnis haben, konnte bei Schimpansen in dieser Signifikanz nachgewiesen werden. Einen geschlechtsspezifischen Unterschied bei Menschen fanden die Forscher im Bereich einer Oberflächenstruktur des Frontalhirns, die in unmittelbarer topographischer Nähe zur Riechbahn an der Schädelbasis verläuft. Die gesamte räumliche Ausdehnung der Hirnhemisphären zeigt ebenfalls Unterschiede zwischen Menschen und Schimpansen. Während die beiden Hemisphären des Schimpansengehirns in jeder der drei Dimensionen des Raumes gleich groß sind, ist die linke Hemisphäre im menschlichen Gehirn länger und weniger hoch, aber gleich breit im Vergleich zur rechten. Die Ergebnisse dieser Studie heben nach N. ROBERTS, Co-Autor der Studie, „... eine besondere, subtile Eigenschaft des menschlichen Gehirns hervor, die uns