

dass diese Merkmalswidersprüche gegenwärtig eine Entscheidung über die systematische Zugehörigkeit nicht erlauben.

Kommentar. Einmal mehr wird vom *Nature*-Kommentator FIELD (2020, 222) die evolutionsbiologische Deutung einer „Experimentierung“ herangezogen und er argumentiert, dass innerhalb der Gegenvögel auch gegen Ende ihrer Existenz mit neuen Formen „experimentiert“ worden sei. Ein „Experimentieren“ hat im evolutionstheoretischen Sprachspiel jedoch keinen Platz, weil der Begriff Zielorientierung beinhaltet. *Falcatakely* ist eine evolutionstheoretisch unerwartete Form, die evolutionstheoretisch eine neue Linie erfordert statt Lücken in etablierten Linien zu füllen.

Es scheint allgemein einen Trend zu geben: Je mehr Funde, desto vernetzter die Merkmalsbeziehungen, was evolutionstheoretischen Erwartungen wiederum nicht entspricht. Bei *Falcatakely* handelt es sich wohl um eine Vernetzung zwischen Gegenvögeln und Urvögeln, angereichert mit nicht ins gängige System einordenbaren Merkmalen. Diese Situation entspricht einer freien Kombinierbarkeit von Merkmalen, nicht dem Ergebnis eines nach bestimmten Regeln verlaufenden natürlichen Evolutionsprozesses.

FIELD (2020, 222) merkt noch an, dass es eines der größten Rätsel der Evolutionsgeschichte der Vögel sei,

warum die Gegenvögel durch das Massenaussterben an der Kreide-/Tertiär-Grenze verschwanden, während die frühesten modernen Vogelstämme überlebten. „Also, lasst uns weiter graben!“ so sein Schlusssatz. Aber vielleicht machen weitere Funde das Rätsel nur noch größer, wie es bei *Falcatakely* der Fall ist.

[FIELD DJ (2020) The changing face of birds from the age of dinosaurs. *Nature* 588, 221–222 • O'CONNOR PM et al. (2020) Late Cretaceous bird from Madagascar reveals unique development of beaks. *Nature* 588, 272–276.] R. Junker

■ Nachtfalter mit optimaler Antennenstruktur

Fliegende Insekten können sich typischerweise über weite Distanzen mittels ihres auffällig gut ausgebildeten Geruchssinns (olfaktorische Wahrnehmung) orientieren und finden so geeignete Lebensräume, Nahrung und Fortpflanzungspartner. Bei vielen Schmetterlingsarten scheiden die Weibchen geringe Mengen von Pheromonen aus, um damit spezifisch die artgleichen Männchen anzulocken. Diese nehmen mit ihren gut ausgebildeten Antennen diese flüchtigen Sexuallockstoffe wahr und machen sich auf den Weg, um die Weibchen zu befruchten. Die entsprechende Signalwirkung funktioniert bei Entfernungen von einigen hundert Metern bis zu wenigen Kilometern. Beim Empfänger kommen daher

nur wenige Moleküle an, die zuverlässig detektiert werden müssen, um den Fortpflanzungserfolg zu ermöglichen.

JAFFAR-BANDJEE et al. (2020) haben Untersuchungen bei Pfauenspinnern (Saturniidae) angestellt, um besser zu verstehen, wie eine derart hohe Sensitivität realisiert wird. Die Autoren haben für ihre Untersuchungen den Götterbaum- oder Ailanthus-Spinner (*Samia cyynthia*) als Modellobjekt gewählt (Abb. 1). Dies ist eine in Ostasien beheimatete Art, mit der aber weltweit Seidenzuchten durchgeführt wurden und die in Gegenden mit verwildertem Götterbaum (z. B. um Wien oder im Tessin) sich seit langem als Neozoon (Neubürger) etabliert hat. Bei allen Pfauenspinnern – also auch beim Götterbaum-Spinner – muss die Fortpflanzung in einem sehr engen Zeitfenster erfolgen, da diese als erwachsene Tiere (Imagines) nur verkümmerte Verdauungsorgane aufweisen und daher keine Nahrung aufnehmen; sie leben von den Reserven, die sie in den Larvenstadien angesammelt haben, und leben nur bis wenige Tage. Die Antennen der Saturniidae-Männchen und vieler weiterer Nachtfalter weisen eine an Federn erinnernde Struktur auf: Sie besteht aus einem Hauptast, dem Flagellum, von dem Seitenäste (Rami) abgehen; von diesen gehen noch feine Härchen ab (Sensillen). Für ihre strömungsdynamischen Untersuchungen haben die Autoren ein vergrößertes 3D-Modell einer Ramusspitze gedruckt. Damit haben sie sich in ihren Untersuchungen darauf konzentriert, wie der Einfang der Pheromonmoleküle, die sich in der umgebenden Luft befinden, durch die Sensillen erfolgt.

JAFFAR-BANDJEE et al. konnten an ihrem Modell den in der Literatur bereits beschriebenen Effekt der „olfaktorischen Linse“ nachvollziehen. Dieser beschreibt das Phänomen, dass an der Spitze der Sensillen die Konzentration der Pheromonmoleküle am höchsten ist. Am Modell lässt sich nachvollziehen, dass dafür die Anströmung sowie der Aufbau und die Geometrie der Sensillen ausreichen.



Abb. 1 Der Götterbaum- oder Ailanthus-Spinner *Samia cyynthia* (Hectonichus, CC BY-SA 4.0)

Die Untersuchung an dem vergrößerten Modell der Antennen von *S. cynthia* ergab, dass die Geometrie der Antenne entscheidend für die hochempfindliche Detektion von Pheromonmolekülen ist. Die Ergebnisse an dem kleinen Ausschnitt der komplexen Antenne zeigen, dass die Sensitivität bei den Fluggeschwindigkeiten dieser Pfauenspinners-Art optimal ist. Die Autoren gehen davon aus, dass durch detaillierte Untersuchungen der Geometrien der Antennen von verschiedenen Saturniidae-Arten noch viele spannende und technisch inspirierende Erkenntnisse zu gewinnen sind.

[JAFFAR-BANDIEE M, STEINMANN T, KRIJNEN G & CASAS J (2020) Insect pectinate antennae maximize odor capture efficiency at intermediate flight speed. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 117, 28126–28133] H. Binder

■ „Tarnkappen“-Flügel von Nachtschmetterling: ein Metamaterial?!

Manche Materialien mit entsprechender Beschaffenheit zeigen bei Wechselwirkung mit elektromagnetischen Wellen oder mit Druckwellen außerordentliche Effekte. Sie werden als Metamaterialien bezeichnet. Ein Beispiel dafür sind sogenannte Tarnkappen: Aufgrund sehr feiner und regelmäßiger Oberflächenstrukturen lässt sich z.B. der Brechungsindex des Lichts so beeinflussen, dass das Objekt bei entsprechendem Licht unsichtbar wird. In manchen Definitionen für Metamaterialien wird betont, dass solche Materialien aufwändig konzipiert werden müssen und in der Natur nicht vorkommen.

Nun haben NEIL et al. (2020) eine Arbeit veröffentlicht, in deren Titel sie die Flügel von Nachtschmetterlingen als akustische Metamaterialien bezeichnen. Durch den Aufbau des Flügelsystems sind die Nachtfalter vor Fledermäusen, die sie mit Hilfe akustischer Signale und Echoortung jagen, mit einer Tarnkappe geschützt. Sie können sich damit der Ultraschallortung durch diese Fressfeinde weitgehend entziehen. Die komplexen Schuppen auf den Fal-



Abb. 1 Chinesischer Eichenseidenspinner (*Antheraea pernyi*), ein Nachtfalter, an dem NEIL et al. (2020) aufgrund von elektronenmikroskopischen und mikrocomputertomographischen Aufnahmen zeigen konnten, dass die Struktur der Flügel diese als akustisches Metamaterial ausweist. (Kugamazog commonswiki, CC BY-SA 2.5)

terflügeln absorbieren 72 % der Schallintensität bei einer Frequenz von 78 kHz. Durch die Kombination der einzelnen Schuppen mit der sehr dünnen, vernetzten Flügelmembran bilden sie einen akustischen Breitbandabsorber, der wie eine akustische Tarnkappe gegenüber dem Ortungssystem der Fledermäuse wirkt. Die Autoren bemerken, dass diese ultradünnen Strukturen, die als akustisches Metamaterial wirken, interessante Möglichkeiten zur Lärmdämmung aufzeigen. Sie argumentieren mit dem Stereotyp der evolutionären Reaktion der Nachtfalter auf den Fraßdruck durch die mit Ultraschall-Echoortung jagenden Fledermäusen. Dabei ist aber nicht klar, wie der vorherrschende Druck durch den Jäger beim Beutetier die Entwicklung eines solchen Metamaterials auslösen und erreichen soll; ein solches soll doch – zumindest nach manchen Definitionen – in der Natur gar nicht vorkommen, sondern nur von intelligenten und beharrlichen Entwicklergruppen konzipiert und realisiert werden können.

Wenn dieses akustische Metamaterial bei Nachtfaltern realisiert ist, dann kann das als Hinweis auf eine Konzeption und damit auf einen Schöpfer interpretiert werden.

[NEIL TR, SHEN Z, ROBERT D, DRINKWATER BW & HOLDERRIED MW (2020) Moth wings are acoustic metamaterials. *Proc. Nat. Acad. Sci.*; doi:10.1073/pnas.2014531117] H. Binder

■ Flugunfähigkeit bei Vögeln – ein verbreitetes Phänomen

Ein seit Langem bekanntes Phänomen ist der Verlust der Flugfähigkeit bei Vögeln. In den meisten Fällen sind flugunfähige Vogelarten mit flugtauglichen Arten nah verwandt, so dass ein sekundärer Flugverlust offenkundig und eine primäre Flugunfähigkeit (s. u.) unwahrscheinlich ist. Besonders häufig kommen flugunfähige Vogelarten auf ozeanischen Inseln vor; ein relativ bekanntes Beispiel ist der Galapagos-Kormoran, der auf zwei der Galápagos-Inseln im Pazifik lebt (Abb. 1).

Unter den heutigen Vogelarten sind etwa 60 Arten flugunfähig. Doch in einer aktuellen Analyse zeigt ein Forscherteam um Manuel Steinbauer von der Universität Bayreuth, dass Flugverlust in der Geschichte der Vögel viel öfter eingetreten ist. Denn seit dem Ende der Eiszeit sind überproportional viele flugunfähige Vögel – mindestens 166 Arten – ausgestorben, direkt oder indirekt bedingt durch menschliche Tätigkeit (SAYOL et al. 2020).

Es zeigt sich, dass in mehr als der Hälfte aller Vogelordnungen mindestens eine Vogelart ihre Flugfähigkeit verloren hat; insgesamt mindestens 150 Mal unabhängig; 35 Mal bei den heute lebenden Arten (SAYOL et al. 2020, 2). Durch weitere Un-