

sind immens (JUNKER 2016) und der Erwerb der Flugfähigkeit müsste auf der Basis bekannter Evolutionsmechanismen große Zeiträume beanspruchen und ließe viele Zwischenstufen in Bezug auf Flugapparat und Flugfähigkeit erwarten. Die meisten mutmaßlichen Zwischenformen stammen aber aus der geologisch jüngeren Kreide (ausführliche Diskussion zu diesen Formen bei JUNKER 2017). In der Schichtenfolge tauchen fossile Zeugnisse flugtüchtiger Formen mit dem neuen Fund noch abrupter auf. Einige älter datierte, zur Dinosauriergruppe der Troodontiden gestellte Gattungen aus dem Oberjura wie z. B. *Anchiornis* waren zwar offenbar voll gefiedert (vgl. SAIITA et al. 2017; vgl. JUNKER 2018), doch ihre Merkmalskombinationen erschweren eine Interpretation als Vorfahrenstadien und sprechen eher dafür, dass es sich aus evolutionstheoretischer Sicht um eine unabhängige Linie handelt. Der neue Fund vergrößert weiter die Vielfalt fossiler Formen, die schon bisher nur mit Annahme zahlreicher Konvergenzen in ein Baumschema gebracht werden kann und eher netzförmige Beziehungen aufweist. Zum Modus des Flugerwerbs kann der neue Fund nichts aussagen, denn mit ihm verkleinern sich die enormen Probleme aller Flugentstehungshypothesen (vgl. JUNKER 2017, 59ff.) in keiner Weise.

[ALBAT D (2019) Gesellschaft für den Archaeopteryx. <https://www.wissenschaft.de/erde-klima/gesellschaft-fuer-den-archaeopteryx/> • JUNKER R (2016) Vogelfedern und Vogelflug. 1. Was eine Evolutionstheorie erklären müsste. Stud. Integr. J. 23, 75-82. • JUNKER R (2017) Dino-Federvieh. Zum Ursprung von Vogelfeder und Vogelflug. http://www.wort-und-wissen.de/artikel/sp/b-17-1_feder-und-flug.pdf • JUNKER R (2018) Neuartiger Federtyp bei mutmaßlichem Dinosaurier. https://www.genesisnet.info/schoepfung_evolution/n257.php • KUNDRÁT M, NUDDS J, KEAR BP, LÜE J & AHLBERG P (2019) The first specimen of *Archaeopteryx* from the Upper Jurassic Mörnsheim Formation of Germany. Hist. Biol. 31, 3-63 • RAUHUT OWM, TISCHLINGER H & FOTH C (2019) A non-archaeopterygid avialan theropod from the Late Jurassic of southern Germany. eLife 2019;8:e43789. doi: 10.7554/eLife.43789 • SAIITA ET, GELERTNER R & VINTHER J (2017) Additional information on the primitive contour and wing feathering of paravian dinosaurs. Paleaontology, DOI: 10.1111/pala.12342] R. Junker

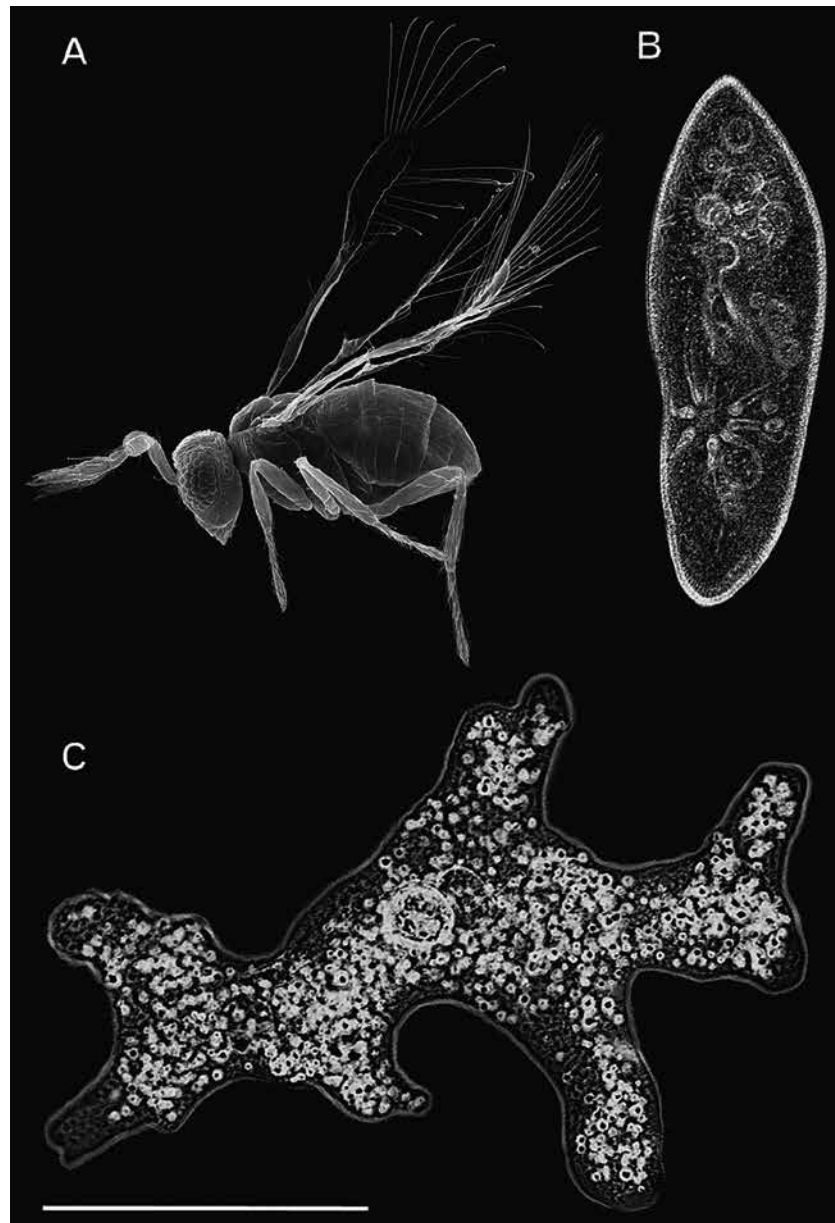


Abb. 1 Miniaturwespe im Größenvergleich mit einem Pantoffeltierchen und einer Amöbe. **A** *Megaphragma mymaripenne*. **B** *Paramecium caudatum*. **C** *Amoeba proteus*. Balken: 0,2 mm. (AUS PALAVALLI-NETTIMI & SANE 2018, mit freundlicher Genehmigung)

■ Zwergwespen – extreme Miniaturisierung im Insektenreich

Auf Englisch heißen sie „Fairyflies“, frei übersetzt Feen-Fliegen, denn winzig wie sie sind, sind sie praktisch unsichtbar, gerade so wie die märchenhaften Feen. Mit ihrer Kleinheit stoßen die Tiere an die Grenzen des physikalisch Möglichen.

Wer würde damit rechnen, dass es Insekten gibt, die ausgewachsen nicht größer sind als das vom Mikroskopieren bekannte einzelne Pantoffeltierchen? (Abb. 1) Und doch ist es so. Die kleinsten Exemplare der Insektenfamilie der Zwergwespen sind nur wenig

länger als der Durchmesser eines menschlichen Haares. Und doch handelt es sich dabei um komplette, allerdings aufs absolute Mindestmaß reduzierte Insekten mit Nervensystem, Verdauungstrakt, Reproduktions-, Atmungs- und Sinnesorganen (s. z. B. WALDBAUER 2008, NOYES & VALENTINE 1989). Sie besitzen zwar kleinere Organe und Zellen, aber die Miniaturisierung stößt dabei schon an physikalische Grenzen: Nervenzell-Fortsätze können nicht beliebig dünner werden, irgendwann spielt das Grundrauschen durch sporadische Ionenkanal-Aktivität eine limitierende Rolle für die Signalübertragung. Um Platz in den Nervenzellen freizuräumen, verlieren

deshalb Zwergwespen der Art *Megaphragma mymaripenne*, die nicht größer sind als eine einzellige Amöbe, den Großteil der Zellkerne ihrer Nervenzellen. Für die kurze Zeit ihres Lebens als ausgewachsenes Tier – das sind nur wenige Tage – müssen die Nervenzellen dann aus der Substanz betrieben werden. Auch die Komplexaugen der Insekten müssen eine Mindestgröße haben. Denn in dieser minimalen Größenordnung kommen die Linsenbrennweiten der Wellenlänge des sichtbaren Lichts schon bedenklich nahe. Es reicht aber gerade noch, dass die Wellennatur des Lichts den Augen nicht durch Beugung am Gitter einen Streich spielt. So kommen die Zwergwespen mit Komplexaugen aus etwa 20 Einzelaugen aus, man nimmt an, dass sie nicht besonders gut sehen.

Der Rekordhalter der Miniaturisierung, das Männchen der Art *Dicopomorpha echmepterygis*, ist mit 0,139 mm Länge allerdings blind und besitzt keine Flügel. *Tinkerbella nana* dagegen ist mit ihrer Länge von weniger als einem Viertel Millimeter eine komplette „Fee“, mit den typisch gefiederten Flügeln und den langen, bei Weibchen keulen-, bei Männchen fadenförmigen Antennen der Zwergwespen. Bei den „größeren“ Zwergwespen sind die Flügel durch lange „Wimpern“ verlängert, bei sehr kleinen Arten, wie *Tinkerbella* oder *Kikiki huna*, dem mit 0,16 mm Körperlänge bisher kleinsten bekannten flugfähigen Insekt, bestehen die Flügel praktisch nur noch aus diesem feinen Kamm, ganz ohne flächige Flügel. Denn hier hat die Physik der Miniaturisierung dann auch mal einen Vorteil: Für die fliegenden Zwerge wirkt Luft so viskos, dass der feine Kamm durch die Grenzflächen um jedes Haar herum wie ein flächiger Flügel wirkt und das Fliegen ermöglicht. Und da in dieser Zwergen-Physik der Unterschied zwischen Luft und Wasser auch nicht mehr so bedeutend ist, gibt es auch Zwergwespen, die unter Wasser leben, mit ihren Kammflügeln durchs Wasser „fliegen“ und es bis zu 15 Tage untergetaucht aushalten können. Verlassen können sie das Wasser allerdings nur, indem sie

sich an Halmen herausziehen, die die Wasseroberfläche durchstechen, denn einfach so könnten sie die Oberflächenspannung des Wassers nicht überwinden.

Wer so klein ist, muss sparen. Da Fortpflanzung ein eher energieintensives Geschäft ist, betreiben die Zwergwespen eine parasitische Art der Aufzucht ihrer Nachkommen. Um keine Eier mit großem Energievorrat vorstrecken zu müssen, legen sie ihre Eier immer in Eier anderer Insekten ab. So bedienen sich die heranwachsenden „Feen“-Larven am nährstoffreichen Inhalt fremder Eier. Da es sich bei den Wirten (in unseren Augen) teils auch um „Pflanzenschädlinge“ handelt, können die fast unsichtbaren Insekten für die menschliche Landwirtschaft durchaus nützlich sein. Die Zwergwespen sind sehr effektiv darin, die Eier ihrer Wirte zu finden, hierzu bedienen sie sich vor allem ihres Geruchssinns. Weil sie auch auf diverse Wirte angesetzt werden können, wurden und werden die Insektenei-Aufspürer schon erfolgreich und auch kommerziell als biologische Schädlingsbekämpfer gegen unterschiedliche Bedrohungen eingesetzt. Dabei ist es erstaunlich, dass diese Lebewesen selbst mit miniaturisiertem Nervensystem doch so komplexe Verhaltensweisen wie Brutparasitismus an den Tag legen können und über einen ausgeprägten Geruchssinn verfügen, der ja eine riesige Vielfalt an Verbindungen durch spezifische Rezeptoren an den Antennen erkennen muss.

Zwergwespen, diese miniaturisierten Spezialisten, sind auch fossil gut überliefert, in Bernstein oder als Abdrücke in Sedimentgestein. Schon die ältesten Fossilien von Zwergwespen, die auf ein Alter von 100 Millionen radiometrische Jahre datiert werden, sehen den heutigen Arten erstaunlich ähnlich. Erstaunlich allerdings nur dann, wenn man erwartet, dass eine evolutive Höherentwicklung dieser Familie in dieser langen Zeitspanne stattgefunden haben müsste. Aber offensichtlich waren sie schon beim ersten fossilen Erscheinen die märchenhaften Zwerg-Spezialisten, die sie heute noch sind.

[RAVINDRA PALAVALLI-NETTIMI R & SANE SP (2018) Fairyflies, Quick guide, Curr. Biol. 28, R1331-R1332 • WALDBAUER G (2008) A walk around the pond: Insects in and over the water. Harvard University Press. pp. 25–26 • NOYES JS & VALENTINE EW (1989) Mymaridae (Insecta: Hymenoptera) – introduction, and review of genera. Fauna of New Zealand] H.-B. Braun

■ Parallele Anpassung bei Stichlingen

Der Dreistachelige Stichling (*Gasterosteus aculeatus*) gehört zu den meistuntersuchten Tieren in der Freilandforschung. Er kommt in Küstengewässern und im Süßwasser der Nordhemisphäre vor. Der ca. 10 cm lange Fisch tritt in verschiedenen Formen auf: Die im Meer lebenden Stichlinge besitzen seitliche Panzerplatten, z.T. mit stacheligen Auswüchsen, vermutlich ein Schutz vor Raubfischen. Die Süßwasser-Stichlinge dagegen besitzen entweder verkleinerte oder gar keine Seitenstacheln und Panzerplatten (Abb. 1), was mit dem geringen Angebot an Calcium für den Knochenaufbau oder mit dem Fehlen von nur im Meer lebenden Raubfischen zusammenhängen könnte.

Die Erforschung von Neubesiedlungen von Inseln im Gebiet der Südküste von Alaska durch diese Fischart brachte das Ergebnis, dass verschiedene Ausprägungen in der Ausrüstung mit Rückenstacheln und seitlichen Panzerplatten sich schnell ändern können und auf einer prä-existent Vielfalt beruhen (LESCAK et al. 2015; vgl. JUNKER 2016).

Stichlinge kommen auch in zahlreichen Seen Schottlands vor und haben diese unabhängig nach der letzten Eiszeit besiedelt. Die Seen unterscheiden sich aufgrund eines markant verschiedenen geologischen Untergrunds durch ihren pH-Wert (mehr sauer oder mehr alkalisch). Die Seen im Westen sind alkalisch und meso- bis eutrophisch (mittlere bis gute Nährstoffversorgung), im Osten sind sie sauer und nährstoffarm und weisen relativ wenig gelöste Ionen auf; so ist die Calciumkonzentration etwa zehnmal geringer als in den alkalischen Seen. HAENEL et al. (2019) untersuchten je fünf Populationen aus den alka-