

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-existenten 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-

lischen und sauren Seen der Insel North Uist der Äußeren Hebriden und zwei marine Populationen. Entsprechend den Unterschieden im pH-Wert der Seen (alkalisch/sauer) unterscheiden sich die Fische in der Panzerung. Während die Fische in alkalischen Seen gegenüber den marinen Formen deutlich reduzierte Stacheln und Panzerung aufweisen, besitzen Fische aus sauren Seen fast gar keine Stacheln oder Seitenpanzer und sie sind auch viel kleiner. Die Fische in den jeweiligen Seetypen sind untereinander jedoch sehr ähnlich, obwohl diese Ähnlichkeiten ausgehend von einer marinen Population jeweils unabhängig erworben wurden.

Die Forscher hatten hier die seltene Möglichkeit eines Vergleichs der in den Seen vorkommenden Formen mit der im Meer lebenden Vorfahrenpopulation unter der plausiblen Annahme, dass sich deren Aussehen und genetische Ausstattung seit der Besiedlung der Seen bis heute nicht nennenswert geändert hat. Es stellte sich dabei heraus, dass die Fische aus alkalischen Seen eine deutliche genetische Ähnlichkeit zu ihren jeweiligen vermuteten marinen Vorfahren aufweisen, während bei Fischen in sauren Seen mehr Allele vorkommen, die in der marinen Population selten sind. Möglicherweise bleiben diese seltenen Allele in den Meerespopulationen erhalten, weil sie in geringer Anzahl selektionsneutral sind, so die Vermutung der Forscher.

Außerdem zeigte sich, dass in jedem Typ von Habitat dieselben genetischen Varianten vorliegen. Die Autoren schreiben: „Insgesamt hebt unsere Arbeit hervor, dass phänotypische Parallelität durch parallele Evolution auf genomischer Ebene gespiegelt werden kann.“ Die genetischen Unterschiede in den verschiedenen Habitaten könnten somit vorhergesagt werden.

Die Studie von HAENEL et al. (2019) zeigt, dass die Meerespopulation über eine bereits bestehende genetische Vielfalt verfügt, die es den Stichlingen ermöglichte, sich auf vorhersehbare Weise an unterschiedliche lokale Gegebenheiten anzupassen.

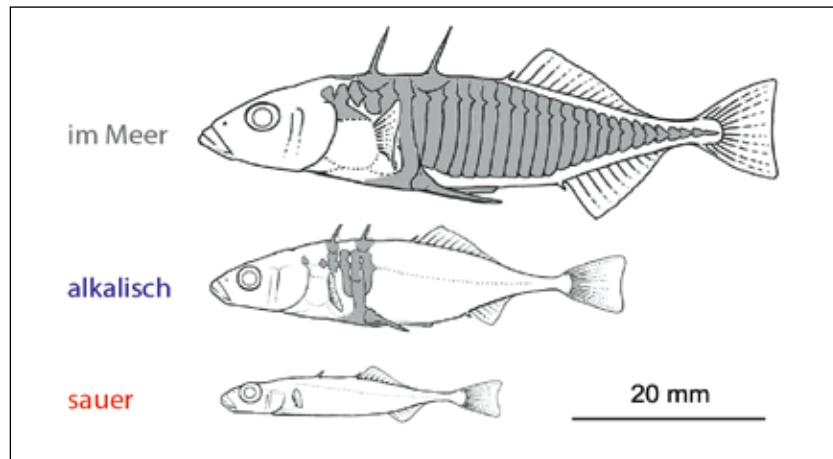


Abb. 1 Die drei im Text genannten Ausprägungen von Stichlingen. (Aus HAENEL et al. 2019; CC BY 4.0)

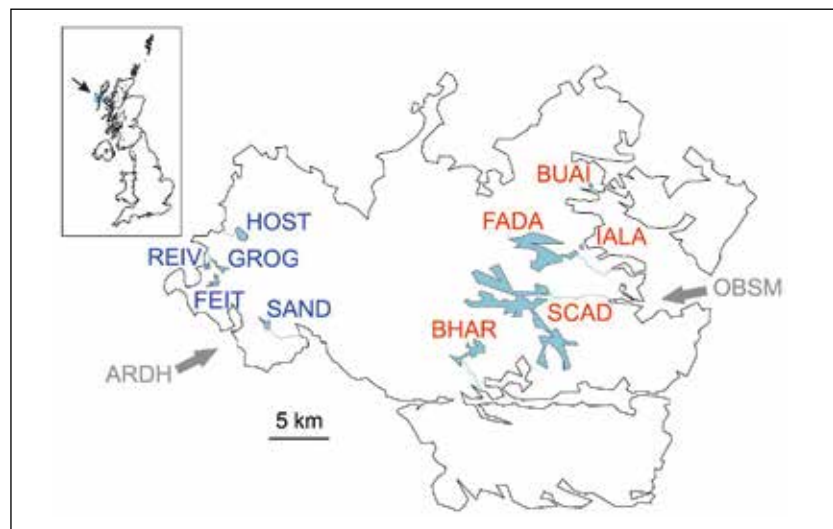


Abb. 2 Geographische Lage der alkalischen (blauen) und sauren (roten) Seen auf North Uist, einer Insel der Äußeren Hebriden, Schottland, mit ihren Verbindungen zum Meer, die als feine blaue Linien dargestellt sind (der Ausgang von FEIT ist ungewiss). Die grauen Pfeile zeigen die beiden Küstenlagunen an, in denen die im Meer lebenden Stichlinge entnommen wurden. Die Vier-Buchstaben-Abkürzungen stehen für verschiedene Lokalitäten. (Aus HAENEL et al. 2019; CC BY 4.0)

Das Beispiel der unterschiedlich spezialisierten Stichlinge veranschaulicht, dass Anpassung nicht durch das Auftreten glücklicher Mutationen und deren anschließend langwieriger Fixierung in der Population erfolgen muss, sondern dass vorliegende genetische Varianten Anpassungen in kurzer Zeit ermöglichen. Auf dieser Basis sind auch Vorhersagen von Veränderungen möglich und erfolgreich und auch parallele Anpassungen keine Überraschung. Die Stichlinge sind weiterhin ein Beispiel dafür, dass Arten mit der Fähigkeit ausgestattet sind, sich an verschiedene lokale Lebensräume anzupassen, indem präexistente genetische Programme genutzt und unterschiedliche Ausprägungen je nach Eignung für eine bestimmte ökologische Nische selektiert und im Genpool angereichert werden.

[HAENEL Q, ROESTI M, MOSER D, MACCOLL ADC & BERNER D (2019) Predictable genome-wide sorting of standing genetic variation during parallel adaptation to basic versus acidic environments in stickleback fish. *Evol. Lett.* 3, 28-42 • JUNKER R (2016) In 50 statt in 12000 Jahren: Wiederholte Anpassungen bei Stichlingen. *Stud. Integr. J.* 23, 121-122 • LESCAK EA, BASSHAM SL, CATCHEN J, GELMOND O, SHERBICK ML, VON HIPPEL FA & CRESKO WA (2015) Evolution of stickleback in 50 years on earthquake-uplifted islands. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, E7204-E7212] R. Junker

■ Bisher unbekannter Luftwirbel trägt die Schirmchen der Pustelblume

Der Faszination der Schirmchenflieger des Löwenzahns kann man sich kaum entziehen. Die Pustelblume entzückt nicht nur Kinder. Was ganz selbstverständlich aussieht, war bis vor Kurzem tatsächlich noch ein Rätsel.