

■ Anpassungen im Fischgenom als Reaktion auf eine wärmere Umwelt

Schon lange ist bekannt, dass Lebewesen in der Lage sind, auf Veränderungen in der Umwelt und den damit verbundenen „Stress“ angepasst zu reagieren. Solche individuellen Anpassungen wurden in letzter

Zeit immer wieder mit der Aktivität so genannter *transponierbarer und transponierter Elemente* in Verbindung gebracht. Das sind regulatorische genetische Elemente, die ihre Position in der DNA verändern können (BORGER 2023). Eine neue Studie hat nun gezeigt, dass Hitzestress direkte Auswirkungen auf die DNA der sich entwickelnden Embryonen von vier untersuchten Fischarten hat und die Gesamtheit aller im Genom genutzten Gene (das so genannte Genexpressionsmuster) der erwachsenen Tiere stark beeinflusst (RIPLEY et al. 2023).

Die Forscher studierten diese Genexpressionsmuster in den sich entwickelnden Embryonen des Kleingefleckten Katzenhais, des Zebrabärblings, des Europäischen Wolfsbarsches und des Dreistachligen Stichlings, die unter normalen und warmen Bedingungen großgezogen wurden (Abb. 1). Nach der Embryogenese wurden alle Fische unter normalen Bedingungen weitergezüchtet, um zu simulieren, dass erwachsene Fische in freier Wildbahn Gebiete mit ihrer bevorzugten Temperatur aufsuchen.

Anschließend wurden die Fische unter verschiedenen Bedin-

gungen aufgezogen. Die Wissenschaftler analysierten dann die *Transkriptome*. Das heißt, sie untersuchten, welche Gene tatsächlich abgelesen wurden. Mithilfe von Computermodellen zeigten sie, dass die Transkriptome von Fischen, die unter wärmeren Bedingungen aufgezogen wurden, „durch eine größere Unordnung ihrer paarweisen Geninteraktionsnetzwerke gekennzeichnet sind, was eine weniger strukturierte Reihe von Geninteraktionen bedeutet“ (RIPLEY et al. 2023). Gemeint ist damit offenbar, dass die für die Anpassungen verantwortlichen Geninteraktionen lockerer strukturiert sind, was auf einen anpassungsfähigen Mechanismus im Genom hinweist.

Eine weitere Analyse bei Zebrafischen, die unter warmen Bedingungen aufgezogen wurden, ergab, dass diese Veränderungen auch im späteren Leben noch vorhanden waren, was bei Tieren, die unter „Kontrollbedingungen“ aufgezogen wurden, nicht der Fall war. Und die Veränderungen wurden mit einer veränderten Reaktion auf eine weiterhin zu erwartende künftige Erwärmung im Erwachsenenalter in Verbindung gebracht.



Abb. 1 Kleingefleckter Katzenhai, Zebrabärbling, Europäischer Wolfsbarsch und Dreistachliger Stichling wurden Hitzestress ausgesetzt, um zu sehen, wie sich dies auf die Physiologie der Fische auswirkt. (Wikimedia: Jonathan Hornung, Gemeinfrei; Azul, Copyrighted free use; © Citron, CC BY-SA 3.0; Ron Offermans, CC BY-SA 3.0)

Dies zeigt, dass die Umwelt der sich entwickelnden Fische zu langfristigen Veränderungen der Transkriptomarchitektur, einschließlich der Organisation der Gennetzwerke, führt.

Was bedeuten diese Daten? Die Autoren meinen, dass die wärmeren Bedingungen, unter denen die Embryonen aufgezogen wurden, zukünftigen Bedingungen aufgrund des Klimawandels entsprechen. Um die Folgen der anthropogenen Erwärmung vorhersagen und somit abmildern zu können, sei es von entscheidender Bedeutung, dass wir beginnen, die Mechanismen zu verstehen, durch die die Entwicklungsumgebung die Physiologie eines Organismus und seine Fähigkeit, auf künftige Umweltprobleme zu reagieren, beeinflusst.

Einer der Autoren, Dan Ripley von der University of Manchester, kommentierte: „Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Exposition gegenüber erhöhten Temperaturen während der Entwicklung und des Wachstums eines Embryos die Fähigkeit der Fische beeinflussen kann, auf zukünftige Herausforderungen zu reagieren, mit denen sie im späteren Leben konfrontiert sind“ (RIPLEY et al. 2023).

Ein vielversprechender Weg für die künftige Forschung sei die Untersuchung der genauen epigenetischen Mechanismen (*Epigenetik* ist die Regulation bzw. Steuerung der Gene), die die entwicklungsbedingte Plastizität von Geninteraktionsnetzwerken bei Fischen vermitteln (RIPLEY et al. 2023).

Es kann in der Tat angenommen werden, dass wir es hier mit *epigenetischen Effekten* zu tun haben, die durch transponierbare und transponierte Elemente ausgelöst werden. Diese Elemente werden heute als bewegliche Gensteuerungselemente aufgefasst, als *genetische Schalter*, die beim Ein- und Ausschalten von Genen mitwirken (BORGER 2018). Es hat sich gezeigt, dass diese Elemente unter Stressbedingungen aktiviert werden und genomische Netzwerke umstrukturieren, um andere *angepasste Phänotypen* hervorzubringen (Phänotyp ist das Erscheinungsbild eines Lebewesens). Was wir also bei

diesen Fischen beobachten, ist eine individuelle Reaktion auf veränderte Umweltbedingungen. Die Organismen müssen nicht warten, bis eine zufällige, selektierbare Mutation auftritt, sondern das Genom ist schon auf Veränderungen vorbereitet und reagiert sofort. Solche Mechanismen zeugen von der Voraussicht eines allwissenden und allgegenwärtigen Schöpfers, der die Lebewesen genetisch bereits auf wechselnde Umweltbedingungen vorbereitet hat.

[BORGER P (2018) Darwin Revisited – How to understand biology in the 21st century. Scholars' Press, 142–163 • BORGER P (2023) Über den Entwurf des Lebens: Mobile genetische Element. Stud. Integr. J. 30, 22–30 • RIPLEY DM et al. (2023) Warming during embryogenesis induces a lasting transcriptomic signature in fishes. Science of The Total Environment vol. 902, 165954] P. Borger