DARSTELLUNG DER SCHWIMMBLASEN- & OTOLITHENBEWEGUNG ANHAND HOCHAUFLÖSENDER RADIOGRAPHIE

Grundlagen der Schallübertragung im Fischohr

von DR. TANJA SCHULZ-MIRBACH und PD DR. MARTIN HESS

»Der Zebrabärbling und der Goldfisch sind wichtige Modellorganismen bei der Erforschung der Funktion des Innenohrs. Diese beiden Arten sind Vertreter einer speziellen Gruppe, den sogenannten Otophysen.«

Seit Anfang des letzten Jahrhunderts wurden intensive Studien, u. a. von Karl von Frisch, zum Hörorgan und dem Hörvermögen von Fischen betrieben. Obwohl einige Arten sehr gut untersucht sind, fehlen für die diverse Gruppe der modernen Knochenfische (>25.000 Arten) immer noch sowohl morphologische als auch hörphysiologische Daten, um die enorme Vielfalt abdecken zu können.

Der Zebrabärbling und der Goldfisch (Abb. 1) sind wichtige Modellorganismen bei der Erforschung der Funktion des Innenohrs. Diese beiden Arten sind Vertreter einer speziellen Gruppe, den sogenannten Otophysen. Die Otophysen zeichnen sich durch den Weberschen Apparat aus, der aus ein bis vier Knöchelchen und Ligamenten besteht und die Schwimmblase mit den Innenohren verbindet. Aufgrund dieser morphologischen Besonderheit verfügen Vertreter dieser Gruppe im Vergleich zu Fischen ohne diese Spezialisierung über ein sehr gutes Hörvermögen, d. h. eine große Hörempfindlichkeit und einem wahrgenommenen Frequenzbereich bis zu mehreren Kilohertz. Jedoch haben sich auch in anderen Gruppen Spezialisierungen entwickelt, die zu einer Verbesserung des Hörvermögens geführt haben. Meist ist bei solchen Arten die Schwimmblase über Fortsätze an die Innenohren angebunden, wie dies z. B. beim Buntbarsch *Etroplus canarensis* (Abb. 1) der Fall ist. Basierend auf einigen wenigen experimentellen Studien sowie mathematischen Modellierungen wird vermutet, dass bei Fischen mit enger Anbindung zwischen Schwimmblase und Ohren (Goldfisch, *Etroplus canarensis*) im Schallfeld zwei Wege zur Stimulation der Ohren existieren. Zum einen erfolgt die Stimulation direkt über die schallinduzierte Partikelbewegung (Abb. 2C blau). Denn die kalkigen Otolithen stellen im Fischohr eine träge Masse dar aufgrund ihrer höheren Dichte im Vergleich zum Sinnesepithel, dem sie aufliegen. Die entstehende Relativbewegung von Otolith und Sinnesepithel führt dann zur Reizung der Haarsinneszellen. Zum anderen können durch die schallinduzierten Druckschwankungen, die Wände der Schwimmblase in Schwingung versetzt werden, wodurch eine lokale Partikelbewegung nahe der Ohren entsteht, was wiederum zur Stimulation führt (Abb. 2C rot). ➜

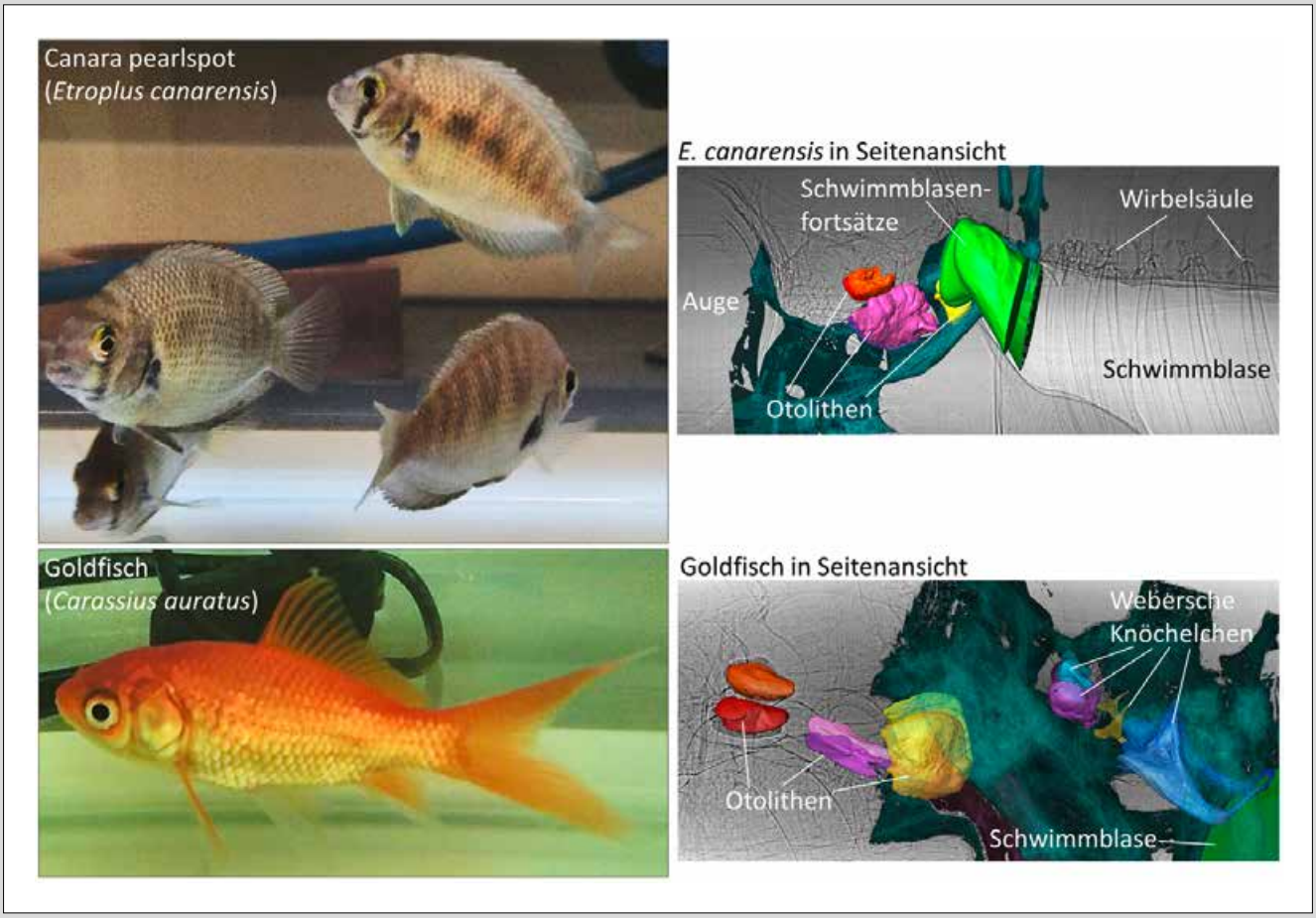

Abb. 1. Links: Fotos der beiden untersuchten Fischarten. Rechts: Tomographie-Daten zeigen den Zusammenhang von Schwimmblase und Otolithen.

➜ Bisher wurde jedoch eine schallinduzierte Bewegungsübertragung von der Schwimmblase auf die Ohren noch nie direkt beobachtet. Ein großes Problem der wenigen experimentellen Untersuchungen war es, dass die Ohren freigelegt werden mussten und somit eine zerstörungsfreie Beobachtung dieser Bewegungen im Tier nicht gelang.

In Zusammenarbeit mit Kollegen an der Universität Wien und an der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF, Grenoble) konnten wir eine Versuchsanordnung entwickeln, die genau das ermöglichte. Dazu konstruierten wir einen Schallzylinder aus Plexiglas mit einem Schwingerreger an jedem Ende (Abb. 2A). Werden die beiden Schwingerreger in Phase (0°) angetrieben, entsteht in der Mitte des Tanks und damit im Zentrum des Wasserkörpers ein Druckmaximum, während ein Maximum an Partikelbewegung entsteht, wenn die Schwingerreger um 180° phasenversetzt betrieben werden (Abb. 2B). Diese Trennung der beiden Schallkomponenten war für uns wichtig, da wir die Bewegung von Schwimmblase, Weberschem Apparat (beim Goldfisch) und Otolithen in Abhängigkeit von Schalldruck bzw. Partikelbewegung für einen 200 Hz Sinuston darstellen wollten.

In unseren Experimenten mit frischen (allerdings toten) Tieren konnten wir zeigen, dass nur bei der Einstellung „in Phase“ (also durch Schalldruck) die Schwimmblasenwände oszillieren (Abb. 3) und die Schwimmblase einen deutlichen Verstärkereffekt hinsichtlich der Otolithenbewegung hat (vgl. Abb. 4B2-B3 mit B4-B5). Weiterhin konnten wir für den Goldfisch und *Etroplus canarensis* den Bewegungsablauf von der Oszillation der Schwimmblasenwände, der Weberschen Knöchelchen (beim Goldfisch) und den Otolithen charakterisieren.

Unser Projekt konnte durch eine Förderung des ESRF (Projekt-Nr. LS-2752) und dank der Münchener Universitätsgesellschaft realisiert werden.

»Bisher wurde jedoch eine schallinduzierte Bewegungsübertragung von der Schwimmblase auf die Ohren noch nie direkt beobachtet.«

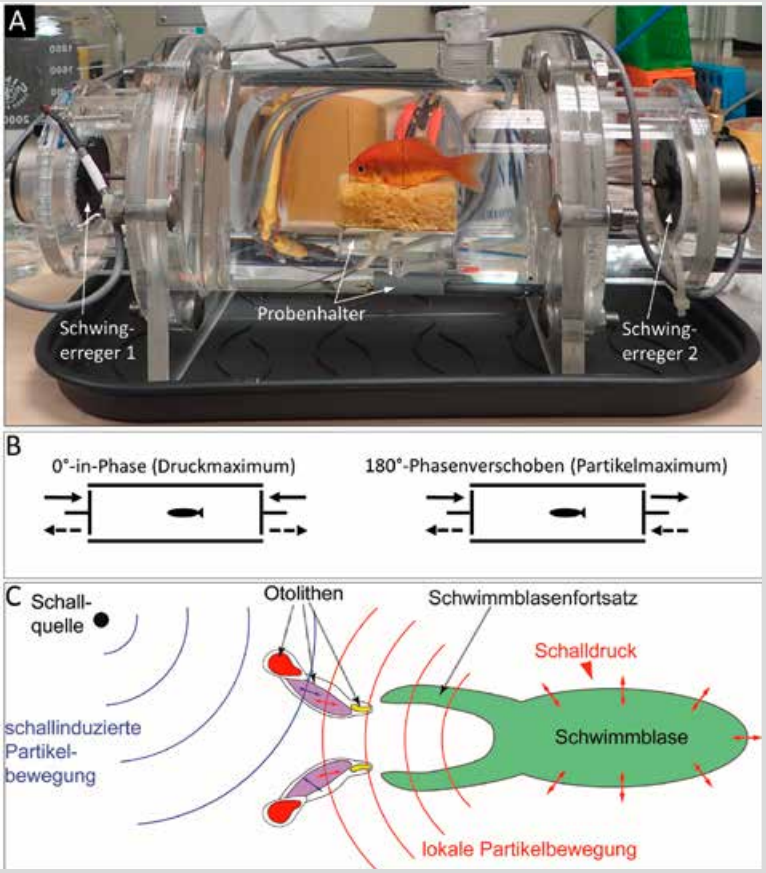

Abb. 2. Übersicht über die Konstruktion A) und Funktionsweise B) des Schallzylinders. C) Die beiden Stimulationswege sind in rot und blau dargestellt.

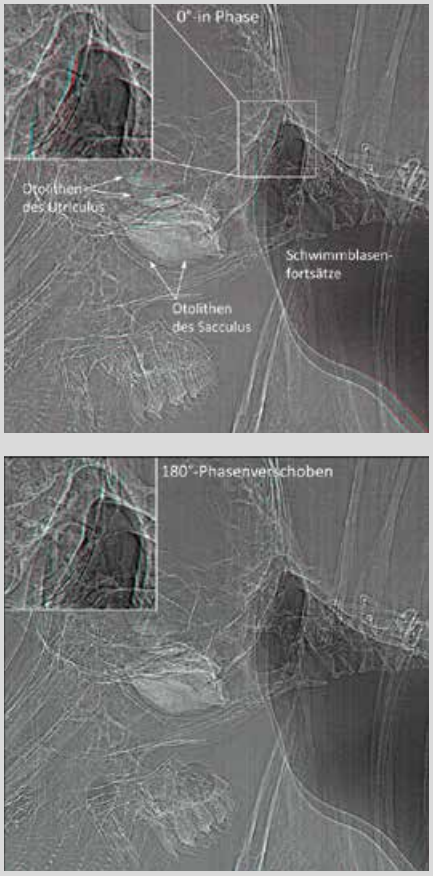

Abb. 3. Überlagerung der gemittelten Bilder der Minimal- bzw. Maximalauslenkung der Schwimmblase.

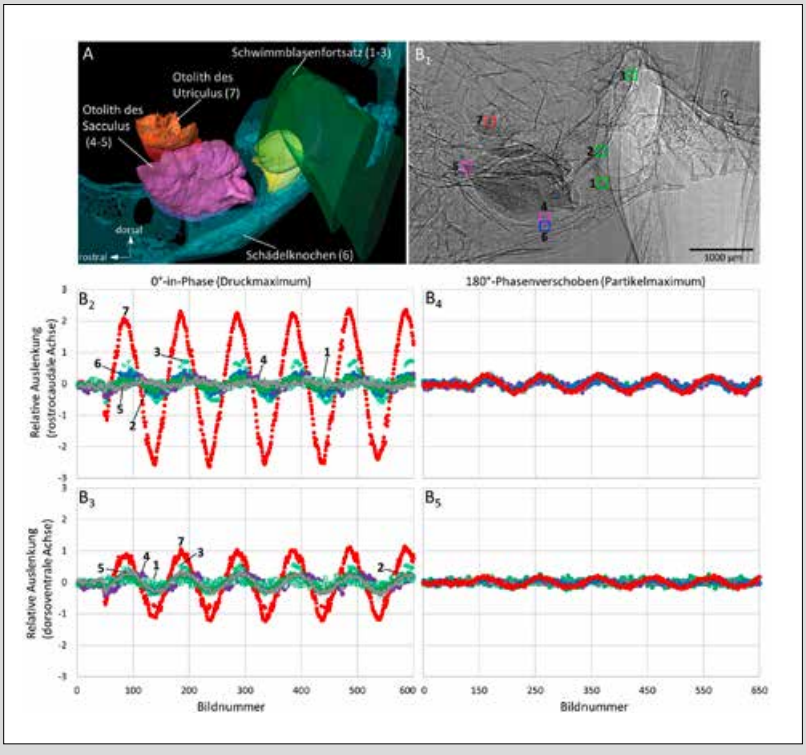

Abb. 4. Die Ananlyse des Bildstapels ergab, dass der Otolith des Utriculus (rot) eine starke Bewegung bei „0°-in-Phase“.

Fakultät Biologie/Department Biologie II, Systematische Zoologie/Großhaderner Straße 2, 82152 Planegg-Martinsried
Dr. Tanja Schulz-Mirbach, PD Dr. Martin Heß, Tel.: +49 89 2180-6575 bzw. 74130, schulz-mirbach@biologie.uni-muenchen.de;
hess@bio.lmu.de, http://de.syszoo.bio.lmu.de/mitarbeiter/mitarbeiter/2hess/index.html