

Der Mikro-Motor *im Fliegenohr*



Bildquellen: Göpfert/FZK/Wikipedia

Laser-Doppler-vibrometrische Einsichten in die Funktionsweise von Fruchtfliegen-Ohren

Ohren sind komplexe mikromechanische Maschinen, die winzige, durch Schall ausgelöste Vibrationen verstärken und in elektrische Signale wandeln. Welche Strukturen und Prozesse vermitteln die Signalverarbeitung im Inneren des Ohrs? Messungen mit dem Laser-Doppler-Vibrometer an Fruchtfliegen bieten Einblicke in die ausgefeilten Mechanismen des Hörens.

Der Hörvorgang

Auch Fruchtfliegen (*Drosophila*) haben Ohren. Diese Insekten hören mit ihren winzigen Antennen. Die Antenne selbst bildet einen Schallempfänger, wie unser Trommelfell. Durch Schall ausgelöste Schwingungen der Antenne werden auf Sinneszellen an der Antennenbasis übertragen. Dort führen sie zum Öffnen spezieller Ionenkanäle, welche die Schwingungen in elektrische Signale übersetzen. Unser eigenes Ohr zeigt dasselbe Funktionsprinzip, die Ohren von Fruchtfliegen bieten jedoch einen entscheidenden Vorteil für experimentelle Untersuchungen: Während unser



Trommelfell tief im Gehörgang versteckt ist, steht die Antenne der Fruchtfliege frei vom Körper ab und ist mechanischen Messungen zugänglich.

Messungen und Ergebnisse

Mit Hilfe des PSV-400 Scanning Vibrometers lassen sich diese winzigen, mit bloßem Auge kaum sichtbaren Schwingungen der Fruchtfliegen-Antenne an definierten Messpunkten erfassen und die Schwingungseigenschaften des Schallempfängers somit systematisch analysieren (Bild 1 und 2).

Die Antennen-Schwingungen spiegeln allerdings nicht nur die Mechanik des Schallempfängers wider. Da die Antenne, die Sinneszellen und deren Ionenkanäle eng miteinander gekoppelt sind, spiegeln die Schwingungen der Antenne auch die zellulären und molekularen Vorgänge im Inneren des Ohrs wider. Wie ein Stethoskop erschließt das Laservibrometer folglich einen Zugang zu den verborgenen, zellulären und molekularen Prozessen des Hörens. Nicht nur das Öffnungsverhalten der Ionenkanäle lässt sich auf diese Weise analysieren.

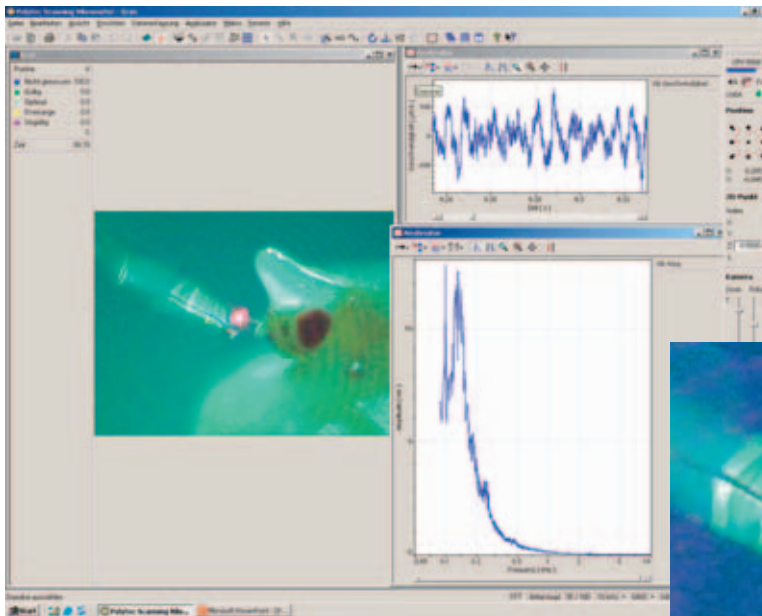
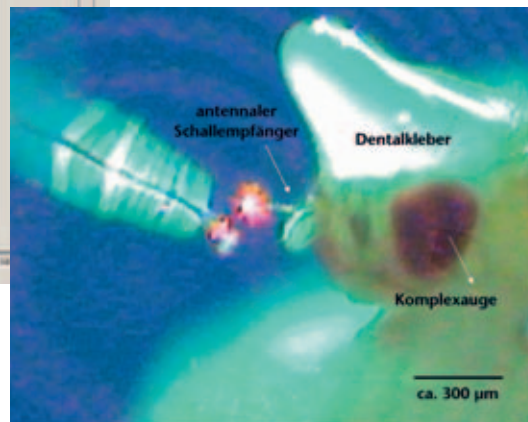


Bild 1: Messbildschirm in der PSV-Software. Im oberen Analysatorfenster wird die Antennenschwingung (Geschwindigkeit über Zeit) dargestellt, im unteren Fenster die Frequenzabhängigkeit des Schwingwegs in Nanometern

Bild 2: Drosophila-Kopf mit Schallempfänger und darauf fokussiertem Laserpunkt, gesehen von der Videokamera des PSV-400 Scanning Vibrometers



Molekulare Motoren

Jüngste Messungen zeigen, dass die Sinneszellen neben Ionenkanälen auch molekulare Motoren besitzen, die mechanische Energie in die Antennenschwingungen pumpen. Wie das Anstoßen einer Schaukel deren Schwingung verstärkt, so verstärken diese Motoren durch ihre Bewegungen aktiv die durch Schall ausgelösten Schwingungen im Ohr. Die für diese Verstärkung benötigte Energie ist äußerst gering. Auf laservibrometrischen Messungen basierende Fluktuationsanalysen zeigen, dass die Motoren das Brownsche Rauschen der Antenne im Mittel um lediglich 20 Zepto-Joule (20×10^{-21} Joule) anheben müssen. Das ist zwanzig Mal weniger als die Energie eines einzigen grünen Photons!

Fazit

Das PSV-400 Scanning Vibrometer ermöglicht die berührungslose Messung mechanischer Schwingungen auch an sensiblen biologischen Objekten. Die Schwingungseigenschaften des Schallempfängers bei der Fruchtfliege *Drosophila* konnten systematisch analysiert werden; die hohe Empfindlichkeit des Verfahrens erlaubt tiefer greifende Rückschlüsse auf die zugrundeliegenden zellulären und molekularen Prozesse.

AUTOREN · KONTAKT

Dr. Martin Göpfert, Dr. Jörg T. Albert
VolkswagenStiftungs-Forschungsgruppe
Zoologisches Institut der Universität zu Köln
D-50923 Köln
m.gopfert@uni-koeln.de, joerg.albert@uni-koeln.de

Über das Projekt

Hörvorgänge bei Insekten, insbesondere die mechanischen Prozesse und zellulären sowie molekularen Mechanismen, sind der Gegenstand des von der VolkswagenStiftung geförderten Projekts mit dem Titel „Active auditory mechanics in insects“. Konkret geht es um die genauen Abläufe der mechanischen Verstärkung ins Ohr einfallender Reize. Zur Erforschung der zugrundeliegenden biophysikalischen Prozesse sollen neurobiologische, biophysikalische und genetische Methoden kombiniert werden. Untersuchungsobjekte sind die Taufolie *Drosophila*, Stechmücken und Nachtfalter. Kennzeichen des im hohen Maße interdisziplinären Vorhabens der Nachwuchsgruppe ist es, dass die Gebiete Biomechanik, Akustik und Genetik in noch ungewohnter Weise verbunden werden.

<http://www.uni-koeln.de/math-nat-fak/zoologie/tierphysiologie/goepfert>