

## Pressedienst Wissenschaft

Garching, den 27. August 2009

**Die mathematische Entschlüsselung eines faszinierenden Sinnesorgans:**

### Unsichtbare Spuren im Wasser

**Fische und einige Amphibien verfügen über ein einzigartiges Sinnessystem, das der Seitenlinienorgane. Mit ihnen tasten sie Objekte in ihrer näheren Umgebung ab, ohne direkten Körperkontakt zu ihnen. Professor Leo van Hemmen erforscht mit seinem Team am Physik-Department der Technischen Universität München (TUM) die Grundlagen dieser Wahrnehmung. Seine Forschungsergebnisse veröffentlichte van Hemmen kürzlich in der Fachzeitschrift *Physical Review Letters*. Das angesehene Wissenschaftsjournal *Nature* stellt sie in der aktuellen Ausgabe als „Research Highlight“ vor.**

Mit unseren Sinnen nehmen wir nur einen Bruchteil der Informationen wahr, die uns umgeben. Infrarotlicht, elektromagnetische Wellen und Ultraschall sind nur einige Beispiele von äußeren Einflüssen, die wir Menschen nur über Messgeräte erfassen können – während bestimmte Tiere eigens dafür ausgerichtete Sinnesorgane besitzen. Ein solches fremdartiges Sinnessystem von Fischen und einigen Amphibien nimmt Professor Leo van Hemmen mit seinem Forschungsteam am Lehrstuhl für Theoretische Biophysik am Physik-Department der TU München unter die Lupe.

Selbst in trüben Gewässern, in die kaum mehr Licht eindringt, erspüren Hechte und Zander ihre Opfer, noch bevor sie diese tatsächlich berühren. Der blinde mexikanische Höhlenfisch weicht mühelos Hindernissen aus und kann Strukturen seiner Umgebung erahnen. Welse verfolgen auf der Jagd eine unsichtbare Fährte, die sie direkt zu ihrer Beute führt. Das geheimnisvolle Organ, das sie dabei leitet, ist das Seitenliniensystem, das Strömungsänderungen registriert und so besonders im Dunklen oder in trübem Wasser den Sehsinn unterstützt.

Dieser auf den ersten Blick mysteriöse Fern-Tastsinn beruht auf einer Messung der Druckverteilung und des Geschwindigkeitsfeldes im umgebenden Wasser. Die dafür zuständigen Seitenlinienorgane ziehen sich links und rechts am Fischkörper entlang und umgeben zusätzlich Augen und Maul. Sie bestehen aus gallertartigen, biegsamen Fähnchen, die etwa einen Zehntel Millimeter messen, so genannten Neuromasten. Diese sitzen entweder direkt auf der Oberfläche der Tiere oder in Kanälen dicht unter ihrer Haut, in die über Poren Wasser eindringt. Sensibel folgen die Fähnchen bereits kleinsten Wasserbewegungen. Daran gekoppelt sind Haarsinneszellen, die den Schalldrucksensoren im menschlichen Innenohr ähneln. Nerven leiten die Signale aus den Haarsinneszellen weiter zur zentralen Verarbeitung im Gehirn, das mögliche Quellen der Strömungsänderungen lokalisiert und identifiziert.

Diese Änderungen können auf unterschiedliche Weise entstehen: Ein vorbei schwimmender Fisch erzeugt Schwingungen, die direkt auf das Organ übertragen werden. Darüber erkennen Schwarmfische einen nahenden Angreifer und synchronisieren ihre Schwimmbewegungen so, dass sie einem einzigen großen Organismus gleichen. Der mexikanische Höhlenfisch schiebt hingegen eine regelrechte Bugwelle vor sich her, die von Hindernissen zurück geworfen wird. Der Wels wiederum nutzt die Tatsache aus, dass ein

Technische Universität München Corporate Communications Center 80290 München

Name	Position	Telefon	E-Mail
Dr. Ulrich Marsch	Sprecher des Präsidenten	+49 89 289 22779	marsch@zv.tum.de
Dr. Andreas Battenberg	PR-Referent Campus Garching	+49 89 289 12890	battenberg@zv.tum.de

schwimmender Beutefisch, der mit seiner Schwanzflosse schlägt, eine Spur aus Wasserstrudeln hinterlässt, eine so genannte Wirbelstraße, die über eine Minute lang bestehen bleibt und ihn verraten kann.

Leo van Hemmen und sein Team erforschen seit fünf Jahren die Leistungen des Seitenliniensystems und ermitteln sein Potential für eine mögliche technische Umsetzung. Wie weit ist die Reichweite eines solchen Sinnesorgans und welche Auskunft kann es über bewegte Objekte geben? Welche Stimuli erhalten die Seitenlinien aus dem Wassersog eines anderen Fisches und wie werden diese verarbeitet? Um diesen Fragen auf den Grund zu gehen, erstellen die Wissenschaftler mathematische Modelle und vergleichen diese mit tatsächlichen elektrischen Nervensignalen, so genannten Aktionspotentialen. Die Daten dafür gewinnen experimentelle Biologen, mit denen sie zusammenarbeiten, aus Messungen an Seitenlinienorganen von Krallenfröschen oder Höhlenfischen. „Biologische Systeme folgen eigenen, aber innerhalb der Biologie universell gültigen Gesetzmäßigkeiten. Man kann sie mathematisch beschreiben, wenn man nur die richtigen biophysikalischen beziehungsweise biologischen Begriffe und damit die richtige Formel findet“, so van Hemmen.

Jeder Fisch überträgt eindeutige und differenzierte Informationen über sich selbst in das Strömungsfeld. Die Untersuchungen zeigten, dass Fische in einem Umkreis, dessen Radius ihrer eigenen Körperlänge entspricht, andere Fische verlässlich orten können. So kann ein Raubfisch dank der Informationen über Größe und Gestalt eines Beutefisches entscheiden, ob sich eine Verfolgung lohnt oder nicht. Gleichzeitig kann so auch der Beutefisch zwischen Artgenossen und Räubern unterscheiden.

Mit einer weiteren am Lehrstuhl entwickelten Formel kann aus den Signalen, die ein Seitenliniensystem erhält, der Winkel zwischen Fischachse und einer Wirbelstraße berechnet werden – und das auf einem Leistungsniveau, das dem des Nervensystems der Fische entspricht. Erstaunlich genau stimmen die rechnerischen ermittelten Werte für die Nervensignale am Sinnesorgan der Tiere mit den tatsächlich gemessenen elektrischen Impulsen aus der Ableitung von Nervenzellen überein.

„Der Seitenliniensinn hat mich sofort fasziniert, da er nicht nur auf den ersten, sondern auch auf den zweiten Blick grundlegend anders ist als beispielsweise der Seh- oder Hörsinn. Er beschreibt nicht nur eine andere Qualität der Wirklichkeit, sondern wird auch statt von nur zwei Augen oder Ohren von circa 180 einzelnen Seitenlinienorganen beim Krallenfrosch und mehreren Tausenden beim Fisch gespeist, die jeweils aus mehreren Neuromasten bestehen. Die Integration dahinter ist eine Meisterleistung.“ begründet van Hemmen sein Interesse.

Die neuronale Verarbeitung und Integration verschiedener Sinneseindrücke zu einem einheitlichen Abbild der Wirklichkeit ist ein Schwerpunkt an seinem Lehrstuhl, sie wird auch am Beispiel der Infrarotwahrnehmung von Wüstenschlangen, Vibrationssensoren an den Füßen von Skorpionen oder dem Gehör von Schleiereulen untersucht. „Die Technik ist der Natur zwar in einigen Bereichen überlegen, doch in der kognitiven Verarbeitung gewonnener Eindrücke hinkt sie der Natur weit hinterher. Mein Traum ist es, Roboter mit mehr als einer Sinnesmodalität auszustatten. Statt ihnen immer mehr Kameras einzubauen, sollte man ihnen zusätzlich Sensoren für Schall und Tastempfinden mit auf den Weg geben,“ sagt van Hemmen.

Technische Universität München Corporate Communications Center 80290 München

Name	Position	Telefon	E-Mail
Dr. Ulrich Marsch	Sprecher des Präsidenten	+49 89 289 22779	marsch@zv.tum.de
Dr. Andreas Battenberg	PR-Referent Campus Garching	+49 89 289 12890	battenberg@zv.tum.de



Mit einem nach gebauten Seitenliniensystem, das in Luft näherungsweise ebenso gut funktioniert wie unter Wasser, könnten sich Roboter in Menschenmengen bewegen, ohne anzuecken. Aber auch im Wasser bietet das System viel versprechende Anwendungen: Unterwasserroboter könnten sich bei der Erforschung von unzugänglichen Höhlensystemen und Tiefseevulkanen orientieren, Tauchboote auch in trüben Gewässern Hindernisse orten. Ein solches Unterwasserfahrzeug wird zurzeit im Rahmen des EU-Projektes „CILIA“ in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik entwickelt.

Kooperationen mit dem Exzellenzcluster *CoTeSys* (Cognition for Technical Systems) und des neu geschaffenen *Leonardo da Vinci Zentrums* für Bionik an der TUM, vom *Bernstein Center for Computational Neuroscience* sowie mit dem Lehrstuhl für humanoide Roboter bieten die ideale Grundlage für weitere Forschung.

#### Originalpublikationen:

Hydrodynamic Object Recognition: When Multipoles Count,  
Andreas B. Sichert, Robert Bamler, and J. Leo van Hemmen,  
Physical Review Letters, **102**, 058104 (2009) – Link: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.058104>

Wake Tracking and the Detection of Vortex Rings by the Canal Lateral Line of Fish  
Jan-Moritz P. Franosch, Hendrik J. A. Hagedorn, Julie Goulet, Jacob Engelmann, and J. Leo van Hemmen,  
Physical Review Letters **103**, 078102 (2009) – Link: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.103.078102>

Following in the wake, Nature **460**, 1061 (27 August 2009) – Link: <http://dx.doi.org/10.1038/4601061a>

#### Kontakt:

Prof. Dr. Leo van Hemmen  
Technische Universität München  
Physik Department T35, Lehrstuhl für Theoretische Biophysik  
James-Franck-Str., D 85747 Garching  
Tel.: +49 89 289 12362  
Fax: +49 89 289 14656  
E-Mail: [lvh@tum.de](mailto:lvh@tum.de)  
Inernet: <http://www.T35.ph.tum.de/>

Die **Technische Universität München (TUM)** ist mit rund 420 Professorinnen und Professoren, 6.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern (einschließlich Klinikum rechts der Isar) und 23.000 Studierenden eine der führenden technischen Universitäten Europas. Ihre Schwerpunktfelder sind die Ingenieurwissenschaften, Naturwissenschaften, Lebenswissenschaften, Medizin und Wirtschaftswissenschaften. Nach zahlreichen Auszeichnungen wurde sie 2006 vom Wissenschaftsrat und der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Exzellenzuniversität gewählt. Das weltweite Netzwerk der TUM umfasst auch eine Dependence in Singapur. Die TUM ist dem Leitbild einer unternehmerischen Universität verpflichtet.

Technische Universität München Corporate Communications Center 80290 München

Name	Position	Telefon	E-Mail
Dr. Ulrich Marsch	Sprecher des Präsidenten	+49 89 289 22779	<a href="mailto:marsch@zv.tum.de">marsch@zv.tum.de</a>
Dr. Andreas Battenberg	PR-Referent Campus Garching	+49 89 289 12890	<a href="mailto:battenberg@zv.tum.de">battenberg@zv.tum.de</a>