

worked Teleoperation Systems« der SFB-Mitglieder Dipl.-Ing. Sandra Hirche, Dipl.-Ing. Peter Hinterseer, Prof. Eckehard Steinbach und Prof. Martin Buss steht die Entwicklung von Methoden zum Umgang mit beschränkten Kommunikationsressourcen im Internet im Vordergrund. Die Anzahl der für die Kraft- und Bewegungsvermittlung notwendigen Datenpakete wird unter Ausnutzung der Unzulänglichkeiten der menschlichen haptischen Wahrnehmung reduziert. Der Mensch kann, so zeigen Erkenntnisse der Psychophysik, nicht beliebig kleine Änderungen der Kraft wahrnehmen. Der Ansatz der TUM-Wissenschaftler verwendet entsprechende Wahrnehmungsschwellen der haptischen Modalität: Wenn Änderungen in der Kraft unterhalb einer Wahrnehmungsschwelle liegen, werden die Daten nicht gesendet. Umfangreiche Untersuchungen im Rahmen psychophysischer Experimente zeigten, dass sich der erforderliche Datenverkehr um bis zu 90 Prozent reduzieren lässt, ohne dass die Wirklichkeitsnähe spürbar beeinträchtigt wird. Auch sichert das Verfahren die Stabilität des Systems, wie Analysen ergaben. Der Erfolg dieser Arbeit basiert vornehmlich auf einem interdisziplinären Ansatz, in dem sich die Kompetenzen der beteiligten Mitarbeiter hervorragend ergänzen. Damit ist ein weiterer Schritt in Richtung der Realisierung wirklichkeitsnaher Telepräsenz und Teleaktion gelungen.

*Klaus Diepold,
Sandra Hirche,
Peter Hinterseer*

Prof. Klaus Diepold
Lehrstuhl für
Datenverarbeitung
Tel.: 089/289-23602
kldi@tum.de

Neurobiologie: Schallortung

Wer Ohren hat zu hören...

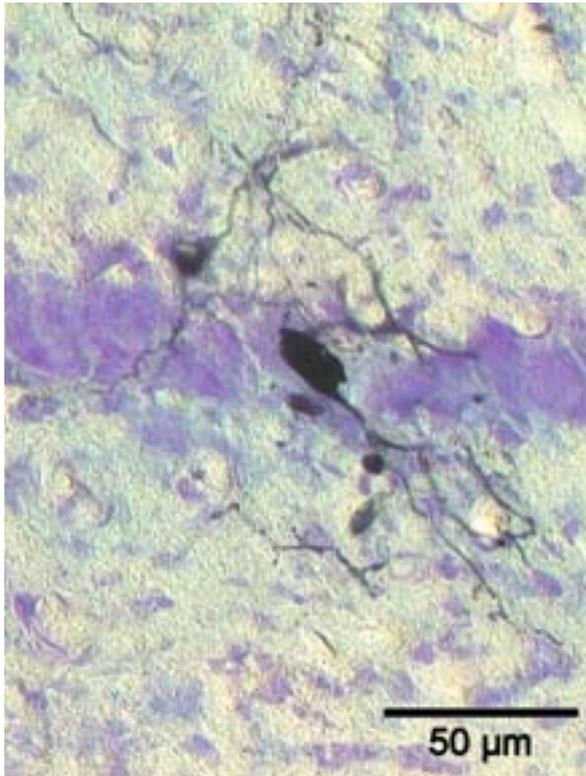
Bereits zum vierten Mal wurde der Lehrstuhl für Zoologie der TUM in Garching (Prof. Geoffrey Manley) von einem Träger des renommierten Humboldt-Forschungspreises als Gastinstitution gewählt: Die international bekannte Neurobiologin Prof. Catherine Carr von der University of Maryland hat in den vergangenen Monaten gemeinsam mit der TUM-Zoologin Prof. Christine Köppl Experimente zur Verarbeitung von Schallreizen im Gehirn von Vögeln durchgeführt. Die Wissenschaftlerinnen möchten klären, wie die räumliche Ortung von Schallsignalen auf neuronaler Ebene funktioniert.

Umweltreize räumlich zu orten, ist eine der zentralen Aufgaben jedes Sinnessystems. Auch wir Menschen lokalisieren ständig unbewusst die auf uns einwirkenden Reize: Wir registrieren, dass im Baum vor dem Fenster ein Vogel singt, dass jemand hinter uns den Raum betritt und aus welcher Richtung ein Auto auf uns zukommt. Schallreize zu orten, ist besonders aufwendig und viel komplizierter, als uns bewusst wird. Sie lassen sich nur indirekt lokalisieren, da das zuständige Sinnesorgan, das Innenohr, anders als etwa die Retina im Auge keine räumliche Repräsentation der Außenwelt enthält.

Um ein Geräusch präzise zu orten, braucht man zwei Ohren. Ausgenutzt wird die physikalische Tatsache, dass der Schall an dem seiner Quelle zugewandten Ohr etwas früher und lauter ankommt als am abgewandten. Aus diesen kleinen interauralen Unterschieden kann die Position einer Schallquelle bestimmt werden. So gelangt das Gehirn zu einer Repräsentation des akustischen Raums auf neuronaler Ebene. Viele Details dieser Vorgänge, vor allem was die Ausnutzung der Zeitunterschiede zwischen beiden Ohren betrifft, wurden in den

vergangenen 20 Jahren durch Experimente an Schleiereulen aufgeklärt; Catherine Carr hat hierzu ganz entscheidend beigetragen.

Als nächtliche Jäger sind Schleiereulen besonders auf ihr Hörvermögen angewiesen. Sie können außerordentlich genau orten, in manchen Situationen sogar besser als der Mensch. In den beiden Innenohren wird ein Schallreiz in Nervenimpulse umgewandelt, wobei die zeitliche Abfolge der Impulse äußerst exakt (mit einer Präzision von weniger als einer zehntausendstel Sekunde!) die Ankunftszeit des Schalls widerspiegelt. Die Gehirnzellen, die diese Impulse - noch getrennt nach Ohren - empfangen, senden sie weiter, bauen aber geringe systematische Verzögerungen ein. Die nachgeschalteten Nervenzellen erhalten diese veränderten Signale von beiden Ohren und senden ihrerseits nur dann Impulse aus, wenn sie von beiden Seiten genau gleichzeitig Impulse erhalten. Sie melden quasi »kein Unterschied zwischen meinen Eingängen«. Das gilt für Schallsignale, die genau aus der Mitte des Gesichtsfelds kommen, also den gleichen Weg zu beiden Ohren haben. Bei seitlich gelegenen Schallquellen wird



Auschnitt aus einem histologischen Schnitt des Hirnstamms eines Huhns. Durch die Mitte des Bildes verläuft eine bläulich markierte Reihe von Zellen, die zu dem untersuchten auditorischen Gehirngewebe gehören. Eine dieser Zellen (und eine zweite, nur teilweise erfasste) sind durch einen ganz lokal platzierten Farbstoff intensiv schwarz markiert. So lässt sich nachweisen, von wo genau die gemessenen Zellantworten stammen. Die Zelle in diesem Beispiel antwortete am besten, wenn Schall das gegenüberliegende Ohr 60 µs früher erreichte als das gleichseitige. Viele solcher Färbungen in Gehirnen verschiedener Individuen weisen zusammen eine systematische Repräsentation interauraler Zeitunterschiede nach.

dies erreicht, indem die Nervenimpulse des zugewandten Ohres von der ersten Instanz der Gehirnzellen verzögert werden. So entsteht eine Repräsentation des akustischen Umfelds, in der für jede mögliche Raumposition einer Schallquelle immer nur wenige Nervenzellen antworten. Diese Methode der Verzögerungsleitungen und nachgeschalteten Koinzidenzdetektoren, bekannt als Jeffress-Modell, ist bei Schleiereulen in beeindruckender Präzision verwirklicht.

In jüngster Zeit sind Zweifel aufgekommen, ob diese neuronalen Mechanismen der Schallortung typisch sind für alle höheren Tiere. Neue Versuchsergebnisse ließen eine entscheidende Zwickmühle erkennen: Die beachtliche zeitliche Präzision, mit der die Ankunftszeit eines Schallreizes an den beiden Ohren kodiert werden kann, ist -

beispielsweise durch die Zeitkonstanten der beteiligten Zellmembranen - biologisch begrenzt. Christine Köppl konnte zeigen, dass die Leistungen der Schleiereule hierbei außergewöhnlich und keineswegs typisch sind. Für viele Tiere liegt der Bereich von natürlich auftretenden, interauralen Zeitunterschieden »gefährlich« nah an der Grenze ihres neuronalen Zeitkodierungsvermögens. Besonders gilt das für Tiere mit kleinen Köpfen und damit kurzen interauralen Schalllaufzeiten. Laut Modellrechnungen kann hier das Jeffress-Modell nicht mehr greifen. Versuche an Meerschweinchen und Wüstenrennmäusen haben bereits wichtige Hinweise auf einen alternativen Mechanismus geliefert. Statt einer feinkörnigen Ortskarte, in der jede Nervenzelle eine andere horizontale räumliche Koordinate kodiert, wurde ein Populationscode vorgeschlagen: Die

horizontale Schallposition wird durch die Höhe der Gesamtaktivität aller Zellen abgebildet.

Derzeit diskutiert man also zwei verschiedene neuronale Mechanismen, die beide experimentell gut belegt sind. Unklar ist noch, was die Entscheidung für den einen oder anderen bedingt. Handelt es sich um einen grundsätzlichen Unterschied zwischen Vögeln und Säugern? Oder hat die Evolution des Gehirns die Kodierungsstrategie an die jeweiligen Gegebenheiten der Kopfgröße angepasst? Die Antwort auf diese Fragen wird letztlich auch klären, wie der - relativ großköpfige - Mensch die Schallortung auf neuronaler Ebene bewältigt. Im Rahmen des Humboldt-Forschungspreises haben Carr und Köppl die neuronalen Mechanismen beim Huhn untersucht, einem Vogel mit kleinem Kopf und durchschnittlichem neuronalem Zeitkodierungsvermögen, ähnlich wie die jüngst untersuchten kleinen Säugtiere. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Huhn eine feinkörnige Ortskarte ausbildet - was es eigentlich gar nicht können dürfte. Welchen Trick das Huhn anwendet, wollen die beiden Forscherinnen jetzt herausfinden.

Christine Köppl

Prof. Christine Köppl
Lehrstuhl für Zoologie
Tel.: 089/289-13671
Christine.Koeppl@wzw.tum.de