



Tribolons

Im Projekt «Scalable self-assembling robots» geht es um spontane Strukturbildung, also um Selbstorganisation und Emergenz. Welche Strukturen gebildet werden, hängt von vielen Faktoren ab – insbesondere von Form und Materialeigenschaften. Die im Bild gezeigten Tribolons, Robotermodule mit einem Durchmesser von zirka 3 bis 4 cm, können zu Strukturen zusammengebaut werden, die unterschiedliche elektronische Schaltungen darstellen.

Schöner hören

Der Neuroinformatiker Ruedi Stoop hat nichts weniger als das Geheimnis des Hörens gelüftet. Die Lösung hat er – dank genauer Beobachtung der Biologie – in einer mathematischen Gleichung gefunden. Von Theo von Däniken

2003, eine Festveranstaltung in der Hamburger St. Michaeliskirche: Kurz vor dem Festkonzert verlässt der deutsche Alt-Kanzler und grosse Musikliebhaber Helmut Schmidt die Kirche. «Es ist ein grosser Schmerz meines Alters, dass ich nach weitgehendem Verlust des Gehörs Musik nicht mehr vernehmen kann», begründet er seinen Rückzug. Schmidt, selber ein hoch begabter Pianist, hat zwar ein Hörgerät, aber Musik oder Gespräche von mehreren Personen nehme er nur als Krach wahr. Der Alt-Kanzler rückte damit in die Schlagzeilen, was für hörgeschädigte Menschen Alltag ist: Was Hörgeräte oder Implantate als Signal an das Hirn schi-

lagernder Geräusche bewusst einzelne zu verfolgen und herauszuhören.» «Cocktail-Party-Effekt» nennen die Forschenden diese Fähigkeit der Cochlea zum aktiven Hinhören. Doch nicht nur das: Die Cochlea kann zur Schärfung des Klangbildes sogar Töne erzeugen, die im ursprünglichen Klangsignal gar nicht vorhanden sind.

Lange Zeit war nicht klar, wie diese aktive Signalverstärkung und -erzeugung in der Cochlea funktioniert. Dass Stoop dieses Rätsel gelöst hat, ist einer glücklichen Fügung zu verdanken. Als Doktorand und Postdoc beschäftigte er sich mathematisch mit nichtlinearer Dynamik und Bifur-

damit das System richtig beschrieben hatten», sagte Stoop. Als Mathematiker begeisterte ihn die Erkenntnis, einen so komplexen und bisher unverstandenen Vorgang mit einer letztlich einfachen mathematischen Gleichung ausdrücken zu können. Doch als Physiker wollte er den Beweis führen, dass seine Berechnung richtig war: «Erst wenn man es bauen und durch Messungen verifizieren kann, hat man es verstanden.»

Implantate für Hörgeschädigte

Stoop baute mit weiteren Mitarbeitern eine Reihe von elektronischen Hopf-Verstärkern, die – genau wie die Haarzellen in der Cochlea – miteinander verbunden sind und von denen jeder einen bestimmten Frequenzbereich abdeckt. Sie lieferten ihm den Beweis, dass er den Hörprozess wirklich verstanden hat: «Wir können mit unserer Cochlea alle Messungen reproduzieren, die in der Biophysik an Tieren gemacht werden», erklärt er. Viel mehr noch: Stoops Cochlea kann wie eine biologische Cochlea gezielt hinhören. In einem kürzlich durchgeführten Experiment konnte die Cochlea eine Trompetenstimme von einer Geige unterscheiden und mitverfolgen.

Stoops noch tischgrosse Cochlea könnte auf die Grösse eines Daumennagels verkleinert und Menschen mit Hörschwächen implantiert werden. Sie würde ein Signal an das Hirn senden, das weitestgehend dem natürlichen Signal entspricht. Über die Auswertung neuronaler Impulse kann es sogar vom Hirn aktiv modelliert werden. Die künstliche Cochlea zu verkleinern, sei kein Problem, so Stoop. Schwieriger ist, sie mit dem Nervensystem zu verbinden. «Dazu benötigt es besonders dünne und biegsame Elektroden sowie Chirurgen, die die Elektroden auf den Mikrometer genau platzieren können.» Beides sei heute möglich, sagt der Neuroinformatiker. Er hofft, im nächsten Jahr einen Versuch mit einem Implantat machen zu können. Das der Natur entlockte mathematische Geheimnis könnte künftig Menschen wie Helmut Schmidt helfen, die Schönheit der Musik wieder zu geniessen.

Kontakt: Ruedi Stoop, ruedi@ini.phys.ethz.ch

Wieder Musik hören: Ruedi Stoops künstliches Ohr kann eine Trompetenstimme von einer Geige unterscheiden.

cken, gleicht in keiner Weise dem klar strukturierten Klangbild, das ein gesundes Ohr wahrnimmt. Vielmehr ist es ein undifferenzierter Klangteppich, der als «Krach» empfunden wird.

Der Cocktail-Party-Effekt

Die Lösung für Helmut Schmidts Problem liegt auf einem Tisch des Physikers und Mathematikers Ruedi Stoop in seinem Büro an der Universität Zürich: eine künstliche Hörschnecke oder Cochlea aus Dutzenden von grünen Leiterplatten mit Widerständen, Kondensatoren, Drähten und Chips. Das Besondere daran: Stoops Cochlea «hört» genau so, wie eine biologische Cochlea dies auch tut. Denn die natürliche Cochlea ist kein passives Organ, das lediglich Schallwellen aufnimmt und sie als Nervensignale an das Hirn weiterleitet. «Die Cochlea verstärkt bestimmte Signale und kann andere unterdrücken», erläutert Stoop. «Dies ermöglicht uns, aus einem wirren Gemenge unterschiedlicher, sich über-

kationstheorien. Bifurkationen beschreiben die Übergänge eines Systems von stabilen in un stabile Zustände. Vor rund zehn Jahren erwähnte ein Paper die Möglichkeit, dass die Art und Weise, wie die Schwingungen in der Cochlea verstärkt oder unterdrückt werden, mit einer spezifischen Bifurkationsgleichung, der so genannten Hopf-Bifurkation, beschrieben werden könnte. «Aufgrund meiner früheren Arbeiten habe ich verstanden, dass hier eine Erklärung für das Funktionieren der Cochlea liegen könnte», erinnert sich Stoop.

Stoop begann daraufhin mit einem Doktoranden, die Effekte in der Cochlea mathematisch zu modellieren. Dazu wollte er zuerst verstehen, was in einer biologischen Cochlea physiologisch genau passiert. Also studierten sie, wie die Cochlea aufgebaut ist, wie die Haarzellen funktionieren, wie sie miteinander gekoppelt sind und welche molekularen Prozesse ablaufen. All das packten Stoop und seine Mitarbeiter in eine Differentialgleichung. «Wir waren überzeugt, dass wir