



Dieser Kabelsalat kann hören wie ein Menschenohr: Ruedi Stoops künstliche Cochlea.

## Ein Kunstohr mit Musikgehör

David Werner

Es ist etwa ein Meter lang, besteht aus Transistoren, Kondensatoren, Drähten und rund dreissig Leiterplatten und ähnelt äusserlich nicht im Entferntesten einem Ohr. Und dennoch: Das Objekt, das eine halbe Tischplatte im Büro von Ruedi Stoop am Institut für Neuroinformatik bedeckt, kann exakt so hören wie ein Menschenohr. Es kann sogar aktiv hinhören. Es kann aus einem komplexen Mischklang Einzelklängen folgen und diese verstärken. In einem Kon-

zert zum Beispiel kann es, genauso wie das menschliche Ohr, der Stimme eines Einzelinstruments, etwa einer Oboe, lauschen.

Das beste dabei: Man kann anhand dieser künstlichen Gehörschnecke erforschen, was genau beim Vorgang des Hinhörens im Innenohr vor sich geht – und zwar weit besser als am natürlichen Objekt. An der Gehörschnecke eines Menschen oder eines Tieres kann man Messungen nur vornehmen, indem man Sensoren einführt. Dazu muss man sie an mindestens einer Stelle

anbohren, also partiell zerstören. Überdies kann man so das Verhalten der Hörnerven jeweils nur an bestimmten Stellen innerhalb des spiralförmig gewundenen Gehörgangs messen, nie überall zugleich. Genau dies ist bei der künstlichen Gehörschnecke möglich. Und man braucht sie dazu nicht einmal zu demolieren.

### Modell für Hörimplantate

In Ruedi Stoops künstlicher Gehörschnecke – oder Cochlea, wie sie auch genannt wird – simulieren dreissig Schalteinheiten, die beliebig durch weitere ergänzt werden können, die rund 3000 inneren und die rund 15000 äusseren Haarzellen der schlauchartigen, sich einwärts immer mehr verjüngenden menschlichen Cochlea. Frequenzumfang und Dynamik stimmen exakt mit der menschlichen Gehörschnecke überein, und Schallinformation wird nach denselben Gesetzmässigkeiten verarbeitet. Tiefe Frequenzen laufen bis hinten durch, hohe werden schon in den vorderen Regionen durch einen unterliegenden Reibungsprozess gestoppt.

Die künstliche Cochlea könnte als Vorlage für neuartige Hörimplantate dienen, weshalb Stoop sie 2007 bereits patentieren liess. Sie eignet sich aber auch, um damit Grundlagenforschung zu betreiben. Stoop konnte damit Phänomene der Tonwahrnehmung erklären, die schon jahrhundertlang Rätsel aufgeben. Zum Beispiel eben, wie es möglich ist, dass man einen Ton beim aktiven Hinhören viel deutlicher wahrzunehmen vermag wie beim beiläufi-

gen passiven Hören. Das Ohr kann das subjektive Lautstärkenempfinden eines bestimmten Klangs nahezu verdoppeln. Stoop und seine Mitarbeiter fanden heraus, wie das geht: Haarzellen in der Gehörschnecke können ein bestimmtes Klangmuster identifizieren, es festhalten und dann durch Eigenschwingung verstärken. Die Folgerung: An der Herstellung der subjektiven Tonempfindung sind biophysikalische Vorgänge im Ohr in viel stärkerem Masse beteiligt, als die Biologie bis vor kurzem noch vermutet hatte. Die nachgeschalteten neuronalen Vorgänge spielen also eine entsprechend geringere Rolle bei der Ton-Modulation als gedacht.

### Mit reiner Mathematik die Biologie erklärt

Erstaunlich ist, dass diese Erkenntnis einem Apparat zu verdanken ist, der selbst allein auf abstrakter Mathematik basiert. Um sein Kunstohr anzufertigen, brauchte Ruedi Stoop nämlich nichts weiter als einen Bleistift, eine Rechenmaschine und die Elemente eines beliebigen Elektronikbaukastens. Zunächst trug er die bekannten biophysikalischen Eigenschaften der Cochlea zusammen. Diese stellte er dann in einer einzigen Differenzialgleichung dar, welche er dann wiederum in ein elektronisches Schaltsystem übertrug.

«Die Tatsache, dass sich ein komplizierter biologischer Funktionszusammenhang mit reiner Mathematik perfekt nachmodellieren lässt, fasziniert mich bei meiner Arbeit mit der künstlichen Cochlea nach wie vor am meisten», sagt Ruedi Stoop.