

Gesangsstunde für Zebrafinken

Am Institut für Neuroinformatik von Universität und ETH Zürich lässt Richard Hahnloser Vögel zwitschern. Der Neurowissenschaftler will herausfinden, was in ihrem Hirn passiert, wenn sie singen lernen. Von Michael T. Ganz

Taeniopygia guttata castanotis, der australische Zebrafink, ist ein hübscher kleiner Ziervogel aus der Familie der Prachtfinken. Er ist für wenig Geld in fast jeder Tierhandlung zu haben und bevölkert deshalb Vogelbauer rund um die Welt, auch jene des Instituts für Neuroinformatik auf dem Universitätscampus Irchel. Hier sind gleich dreihundert der bunten Piepmätze zuhause. Nicht zur Belustigung von Professoren und Doktoranden freilich: Die Tiere dienen der Wissenschaft.

«Zebrafinken sind einfach zu züchten und wachsen rasch, sie singen nicht nur im Frühling, sondern das ganze Jahr durch, und vor allem singt jeder Fink nur ein einziges Lied. Anders als Amseln zum Beispiel. Amseln wären für unsere Zwecke zu kompliziert», erklärt Richard Hahnloser. Seit einem Jahrzehnt beschäftigt er sich mit Vogelgesang. Hahnloser ist weder Klangforscher noch Zoologe, sondern theoretischer Physiker. Der 39-jährige Professor für Neurowissenschaften will alles übers Lernen lernen.

Dem Papa nachpiepsen

Und genau dafür sind die einsilbigen Zebrafinken ideal. In den drei Monaten ihrer Kindheit im Nest wiederholen die Jungvögel den Gesang ihres Vogelvaters so lange, bis sie die Melodie beherrschen. Wo ungefähr im Finkenhirn dieser Kopierprozess geschieht, weiss man seit den Siebzigerjahren des letzten Jahrhunderts. Damals orteten Forscher die motorischen, später auch die auditorischen Gesangszentren, die für das Lernen notwendig sind. Auditorische Hirnzellen ermöglichen das Hören, motorische Zellen steuern die vokale Muskulatur, welche die Töne bildet.

Doch wie baut der Vogel sein Gesangsgedächtnis auf, und wo ruft er es bei Bedarf wieder ab? Geschieht dies während des Singen? Oder in Ruhephasen? Im Schlaf sogar vielleicht? Seit kurzem experimentieren Hahnloser und sein Team rund

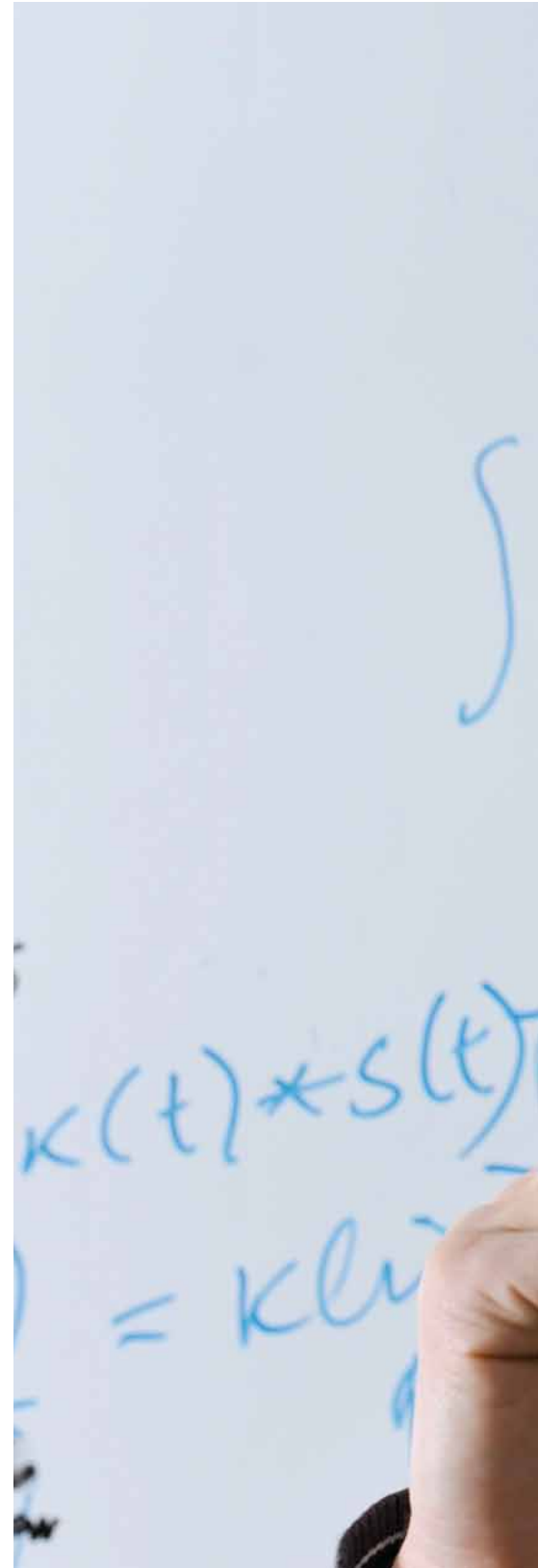
um letztere These. Und ihr erstes Schlaf-Experiment begann gleich mit einer Panne, die sich dann allerdings als Glücksfall erwies.

Einem Teil der Zebrafinken implantierten die Forscher winzige Elektroden – je eine Anode und eine Kathode pro Hirnhälfte – und beschickten sie einmal pro Sekunde mit einem Stromstoss im Mikroampère-Bereich. Die Stösse waren so bemessen, dass sie die Tiere in ihrem Schlafverhalten zwar nicht stören, ihre Hirnzellen jedoch auf unnatürliche Art stimulieren sollten. «Auf diese Weise unterdrücken wir die natürliche Zellaktivierung», erklärt Hahnloser, «überschreiben also gewissermassen die Tätigkeit der Zellen in der Schlafphase.»

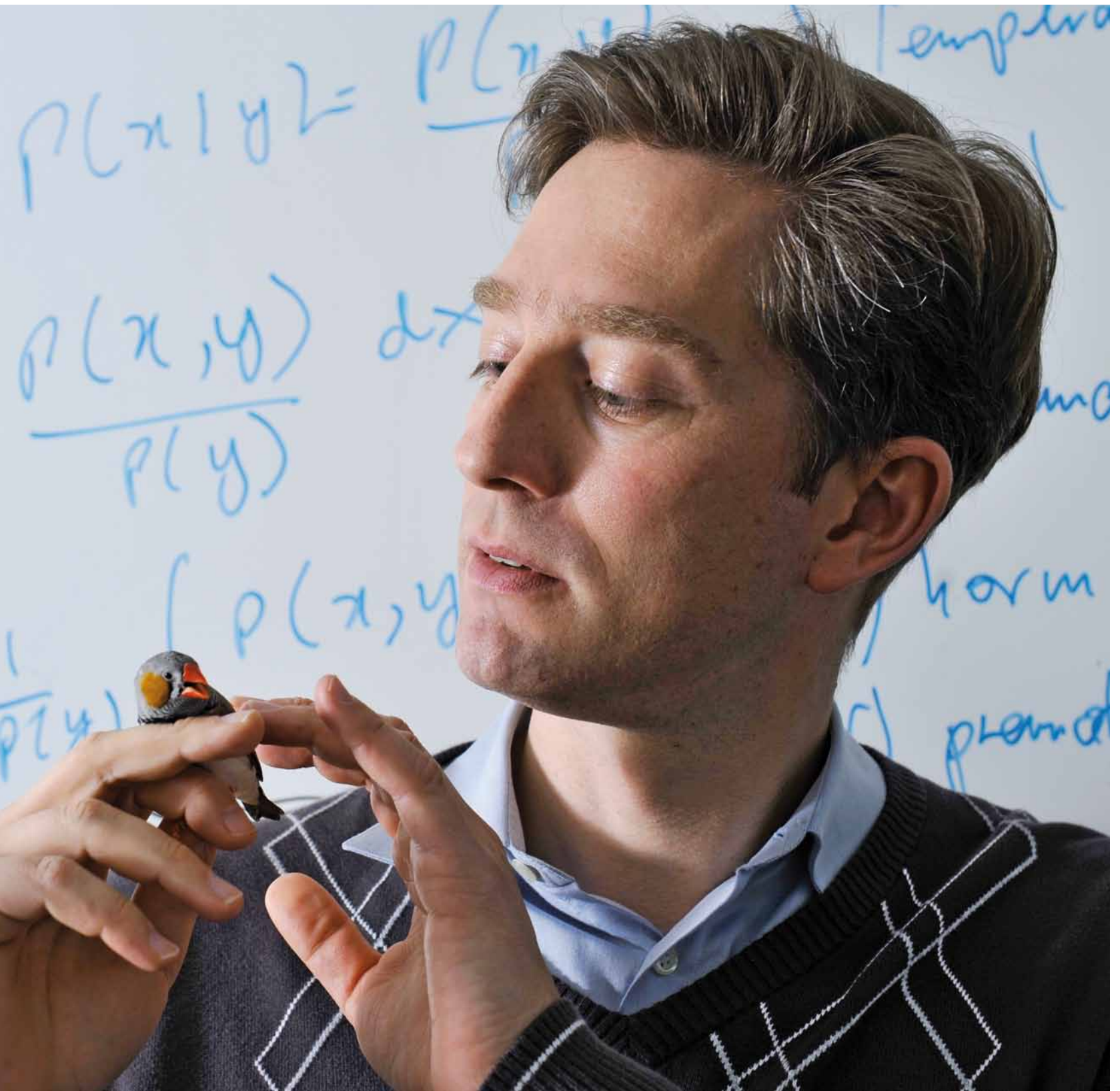
Robustes Gehirn

Tagsüber setzte man die verdrahteten Jungtiere jeweils dem so genannten Tutor-Gesang aus, damit sie sich die väterliche Melodie aneignen konnten. Die Idee war, den Gesang der Probanden in regelmässigen Abständen aufzuzeichnen und seine grafische Umsetzung am Bildschirm mit jener des Tutor-Gesangs zu vergleichen. Hahnlosers These: Die in ihrer nächtlichen Hirnaktivität gestörten Tiere würden das Lied langsamer lernen als alle anderen.

Nun aber sorgte ein Softwarefehler dafür, dass die Testtiere statt nur nachts auch tagsüber mit Stromstössen beschickt wurden. Die Panne blieb längere Zeit unbemerkt; trotzdem machten die Vögel weiterhin Fortschritte. «Wir staunten, wie robust ihr Hirn sein musste, als wir die Panne schliesslich entdeckten», sagt Hahnloser. «Ich hätte tausend Franken darauf gewettet, dass die Tiere bei dauernder Stimulation nichts mehr lernen können.» Aufgrund der Erkenntnis änderten die Forscher ihre Versuchsanlage. In einer ersten Phase werden die Vögel nun so lange mit höherfrequentigen Stromstössen – fünf Mal pro Sekunde – beschickt, bis eine Beeinträchtigung beim



Putzig, aber einsilbig: Der Physiker Richard Hahnloser erforscht,



wie Zebrafinken singen lernen.

Lernen auszumachen ist. Erst dann soll die zweite Phase mit den Schlafexperimenten beginnen.

«Versuche mit lebenden Tieren brauchen Geduld», sagt Hahnloser. «Wie gesagt, es dauert drei Monate, bis die Vögel ausgewachsen sind. Und gültige Aussagen können wir erst machen, wenn wir zwei Dutzend Vögel bis zu ihrer vollen Reife untersucht haben.» Kaum zu glauben, dass da ein gelernter Theoretiker spricht. Richard Hahnloser studierte Physik an der ETH Lausanne und Zürich und schloss mit einer viel beachteten Diplomarbeit über neuronale Netzwerke ab. Am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge USA dachte er vorerst auf diesem Gebiet weiter, um in den Bell Laboratories von Murray Hill – sie sind die Geburtsstätte der Radioastronomie, des digitalen Bildsensors und des Unix-Betriebssystems – schliesslich das praktische Experimentieren zu entdecken.

Birdsong-Cracks unter sich

Damals machte Hahnloser, gerade dreissigjährig, in der so genannten Birdsong-Szene Furore. Es gelang ihm, den Prozess des Singens im Vogelhirn glaubhaft darzustellen, indem er nachwies, dass immer eine Hirnzelle für die Codierung eines Tons zu einem bestimmten Zeitpunkt verantwortlich ist – vergleichbar mit den einzelnen Metallstiften einer alten Musikwalze. Das Wissenschaftsmagazin «Nature» publizierte die Entdeckung, und an der Birdsong-Konferenz 2002 in New York nahm man staunend davon Kenntnis. Hahnlosers Arbeit habe, so hiess es, das Verständnis von Gesangszentren im Vogelhirn revolutioniert.

Über Vogelgesang wird in etwa hundert Labors rund um die Welt geforscht, sei es zum Gesangserwerb wie in Zürich, sei es zur Funktion des Zwitscherns beim Sozialverhalten der Vögel. «Und das Feld wächst, weniger in Europa, aber in den USA», meint Richard Hahnloser. Mittlerweile nimmt er regelmässig an den internationalen Birdsong-Konferenzen teil. Da trafen sich jeweils fünfzig, sechzig ambitionierte Forscher und tauschten Erfahrungen aus, erzählt Hahnloser. Ziel und Zweck ist die Wissensvernetzung.

Gerade eben ist Hahnloser von einer solchen Konferenz in Nordamerika zurückgekehrt; der Jetlag ist ihm während unseres Gesprächs anzumerken. «Diesmal», sagt er und schmunzelt trotz

der Müdigkeit, «habe ich keinerlei Versuchsdaten und Resultate gezeigt, sondern nur Theorie. Ich habe erstmals meine neusten Thesen präsentiert, eine Theorie, die fast allem anderen widerspricht. Das war echtes Glatteis.»

Klavier mit Geistertaste

Ganz neu sei die Theorie nicht, man kenne sie aus der Robotikwissenschaft. Und sie geht so: Das Hirn lernt, sensorische Ziele direkt in motorische Signale umzuwandeln, indem es Verbindungen zwischen auditorischen und motorischen Zellen herstellt. Man nennt diesen Vorgang auch inverse Abbildung; invers, weil sie nicht von der Ursache zur Konsequenz, sondern von der Konsequenz zur Ursache führt. Das auditorische Feedback – was der Vogel hört – ist hier die Konsequenz, das motorische Signal – was der Vogel singt – die Ursache. «Stellen Sie sich», sagt Hahnloser, «ein Klavier vor, das den Ton eines anderen Klaviers hört, und in der Folge senkt sich wie von Geisterhand die entsprechende Taste.»

Das inverse Lernmodell hat den Vorteil, dass sich wahrgenommene Laute auf diese Weise direkt in korrespondierende motorische Signale umwandeln lassen. So können inverse Modelle etwa erklären, warum der erwachsene Mensch ein neu gehörtes Wort auf Anhieb korrekt imitieren kann, ohne es einüben zu müssen.

Wenn es die Verbindung denn gebe, die seine Theorie postuliere, werde das Singenlernen sehr einfach, meint Hahnloser: Der Vogel müsse nur die väterlichen Tutor-Gesänge im auditorischen Gedächtnis speichern, die auditorischen Reize durch die bestehende Verbindung zwischen den Zellen auf inverse Art in motorische Signale umwandeln und damit den eigenen Gesang erzeugen.

Konstrukteure von Robotern nutzen die inverse Denkweise schon seit längerem zum Steuern komplexer Greifbewegungen. Hält die Roboterhand einen schweren Gegenstand, gilt es, ihre Aktuatoren anders anzusteuern, als wenn die Hand leer ist. Ohne inverses Modell liesse sich der Roboter nicht rasch und gleichwohl präzise bewegen. «Bis anhin hat sich offenbar niemand überlegt, dass dies auch beim Singenlernen so funktionieren könnte», sagt Hahnloser. Doch seine Theorie bleibt vorerst Theorie. Nun will er sie am lebenden Objekt testen; die Experimente

mit den schlafenden Zebrafinken werden Teil davon sein.

Richard Hahnloser ist sich bewusst, dass er mit seiner These anecken wird. «Ich bin theoretischer als andere, ich bin Mathematiker und Physiker, nicht Biologe, Genetiker oder Verhaltensforscher. Meine Hypothesen unterscheiden sich deshalb von jenen anderer Birdsong-Forscher und gelten mitunter als Provokation. Aber ich provoziere gern, und ich stehe dazu, weil ich von meiner Theorie überzeugt bin.» Erste Reaktionen aus Fachkreisen waren positiv, aber Hahnloser weiss: Jetzt muss er nach Evidenz suchen und beweisen, dass die Theorie stimmt.

Wissen wie das Hirn funktioniert

Einige Befunde aus eigenen Versuchen und auch aus Experimenten anderer Forschenden deuten bereits in diese Richtung. So ist schon mehrfach belegt, dass die motorischen Zellen im Vogelhirn während des Singens nicht auf Signale von auditorischen Zellen reagieren, dass die klassische Feedback-Mechanik also nicht funktioniert. «Das kommt meiner These entgegen» sagt Hahnloser, «denn für mich ist klar, dass die auditorischen Zellen die motorische Aktivität nicht beeinflussen dürfen, während sie dem Gesang der motorischen Zellen zuhören und so ihre inverse Abbildung erlernen.»

Ein bis zwei Jahre will Hahnloser experimentieren, um seine Thesen abzustützen. Und wenn er sie schliesslich beweisen kann – was bringt es der Menschheit? Der Zürcher Neurowissenschaftler geht davon aus, dass sich das Lernverhalten seiner dreihundert zwitschernden Ziervögel auf jenes der Lebewesen schlechthin übertragen lässt. «Aber meine Hypothesen werden sicher nicht alles über den Haufen werfen», meint Hahnloser. Gängige Theorien wie etwa die des bestärkenden Lernens durch Belohnung würden zweifellos bleiben, und das dürfe so sein. «Mein Ziel», sagt er, «ist es vor allem, mehr Einsicht in die Funktionsweisen des Hirns zu gewinnen.»

Kontakt: Prof. Dr. Richard Hahnloser, rich@ini.phys.ethz.ch

Finanzierung: Universität und ETH Zürich, Schweizerischer Nationalfonds, ERC advanced grant