

Vertiefung

## Fallbeispiel: Was wir von Singvögeln lernen können



### Zeitaufwand

ca. 30 Minuten plus Zeit  
für Vorstellung und Diskussion

### Vorkenntnisse

Grundlegende Kenntnisse zum Aufbau der Nervenzellen.

### Der Zebrafink (*Taeniopygia guttata*) als Modellorganismus zur Erforschung des Spracherwerbs

Ähnlich wie bei uns Menschen müssen in einer Reihe von Tiergruppen Jungtiere ihre komplexen Lautäußerungen erst erlernen. Dazu gehören zum Beispiel Elefanten, Seehunde, Wale und auch Singvögel. Zebrafinken eignen sich daher als Modellorganismus, um an einem etwas "einfacheren" System die (neuronalen) Vorgänge beim Erwerb und dem späteren Abrufen komplexer Lautäußerungen zu untersuchen.

Zebrafinken stammen ursprünglich aus Australien und lassen sich als reine Körnerfresser relativ gut halten. Die Tiere sind gesellig und können in größeren Gruppen in Volieren recht problemlos gezüchtet werden. Bereits nach drei Monaten sind die Jungvögel geschlechtsreif – eine Zeit, zu der die männlichen Vögel ihren Gesang für die Partnerwahl beherrschen sollten.



© MPI für biologische Intelligenz / Sue Anne Zollinger

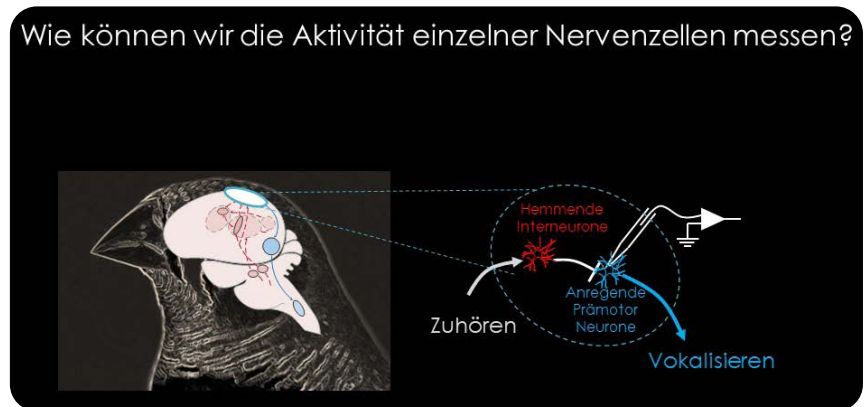
Bei Zebrafinken geben beide Geschlechter Rufe von sich, jedoch nur die Männchen singen. Der Gesang muss gelernt werden, wobei normalerweise der Vater als Tutor dient. Die Lernphase, in der das Gehörte antrainiert werden kann, ist auf die drei Monate nach dem Schlupf der Küken begrenzt. Zebrafinken gehören damit zu den sogenannten "closed-ended-learnern": Nach dieser definierten Phase ist die "Schulzeit" der Jungvögel vorbei und sie singen das bis dahin Gelernte fortan für den Rest ihres Lebens.

### Das Forschungsprojekt

Die Forschenden am Max-Planck-Institut für biologische Intelligenz wollen verstehen, wie das Gehirn von Zebrafinken den Gesang erlernt, speichert und wieder abrufen. Dabei gibt es einige Analogien zum Spracherwerb des Menschen. Wie unser Sprachenlernen erfolgt das Gesangslernen bei Zebrafinken über ähnliche Muster im Gehirn.

Das sogenannte Gesangskontrollsystem im Singvogelhirn umfasst mehrere miteinander verknüpfte Gehirnbereiche. So ähnelt das sogenannte caudomediale Nidopallium in seiner Funktion dem Wernicke-Areal beim Menschen, das für das Sprachgedächtnis zuständig ist. Bei Singvögeln ist vor allem eine Gehirnregion namens HVC (higher vocal center) für das Erlernen und die Produktion von Lautäußerungen wichtig. Diese Region, die während des Lernvorgangs aktiviert wird, entspricht dem Broca-Zentrum im menschlichen Gehirn, das für die sprachliche Ausdrucksfähigkeit zuständig ist.

Während bei menschlichen Gehirnen jedoch ein Hirnareal für mehrere Aktivitäten zuständig ist, lassen sich bei Zebrafinken abgrenzbare Bereiche definieren. So ist der oben erwähnte HVC-Kern ausschließlich für das Zuhören und Vokalisieren zuständig. Das bedeutet, dass der Vogel ohne diesen Bereich nicht singen kann. Diese eindeutige Lokalisation einzelner Aufgaben macht die Vögel für die Forschenden zu einem hervorragenden Modellorganismus, um diese Aufgabe zu untersuchen.



Innerhalb dieser Bereiche gibt es zwei Nervenzelltypen. Einmal die anregenden prämotorischen Neuronen, die dafür sorgen, dass der Vogel singt. Zum anderen bestimmte Interneurone, die die Aktivität der prämotorischen Neuronen hemmen können.

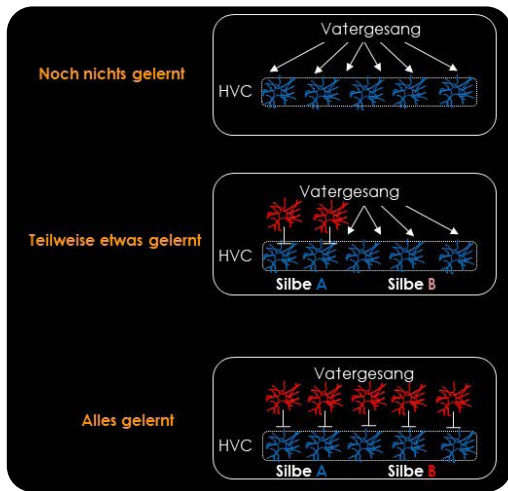
Ziel des Forschungsprojektes ist es auf einzelzellulärer Ebene zu verstehen, wie diese beiden Zelltypen sich gegenseitig beeinflussen und wie sich die Aktivität der Zelltypen auf das Gesangs-Lernverhalten der Zebrafinken auswirkt. Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Was verändert sich im Gehirn der Jungtiere während sie zu singen lernen?
- Welche Rolle spielen die hemmenden Neuronen?
- Ist es möglich erwachsenen Tieren noch etwas beizubringen oder die Lernphasen bei jungen Tieren zu beeinflussen, wenn diese Neuronen manipuliert werden?

## Verwendete Methoden

### **Beobachten und Aufzeichnen von Spektrogrammen des Vogelgesangs**

Wenn Jungvögel einen Gesang erlernen, hören sie zunächst zu und versuchen dann, das Gehörte zu imitieren. Dabei wird die vorgesungene Abfolge von Gesangssilben im akustischen Gedächtnis der Tiere abgespeichert. Sie dient als Vorlage, mit der der eigene Gesang abgeglichen wird. Auch bei den Vögeln gibt es, vergleichbar mit den Menschen, durchaus schnelle und etwas langsamere Schüler.



© MPI für biologische Intelligenz / D. Vallentin, F. Heim

Die Lautäußerungen können aufgezeichnet und so der Lernfortschritt dokumentiert und verfolgt werden. Um das Lernen mit der Aktivität einzelner Nervenzellen zusammen zu bringen, müssen die Ergebnisse dieser klassischen Methode durch Untersuchungen auf zellulärer Ebene, auf der auch genetische Manipulationen möglich sind, ergänzt werden.

**Aktivitätsmessung der Neuronen**

Die Forschenden haben vermutet, dass bei Jungtieren allein das aktive Zuhören ausreicht, um die prämotorischen Nervenzellen anzuregen. Im erwachsenen Tier sollten dagegen die hemmenden Interneurone aktiv sein und die Aktivität der prämotorischen Nervenzellen unterbinden. So würde die Fähigkeit noch etwas dazu zu lernen verhindert. Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde den Jungvögeln eine isolierte Silbe (A) des Vogelgesangs vorgespielt, die sie perfekt lernten. Danach wurde eine weitere Silbe (B) integriert. Parallel dazu wurde die Aktivität der beteiligten Nervenzellen durch das Ableiten von Membranpotentialen gemessen.

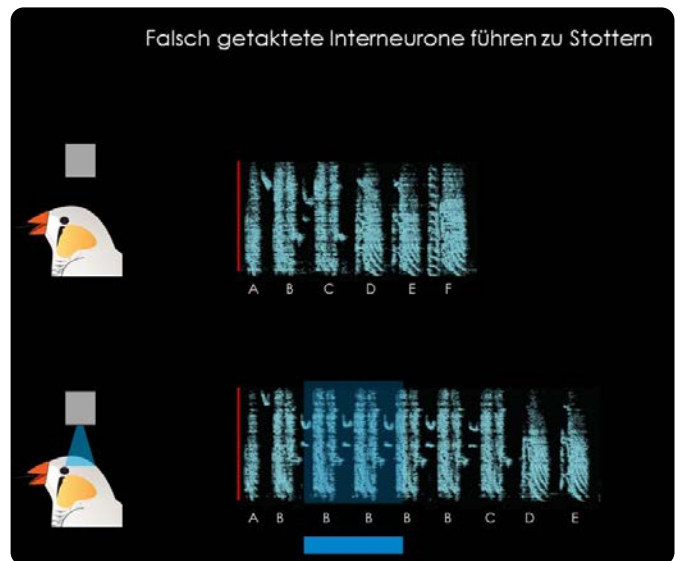
Die äußere und innere Umgebung von Nervenzellen sind unterschiedlich geladen. Diese Ladungen ändern sich, wenn eine Nervenzelle aktiv ist. Die Membranpotentiale können daher Rückschlüsse auf die Aktivität der jeweiligen Nervenzelle geben (siehe auch Fallbeispiel 2).

Beim Messen der Nervenzellaktivität bestätigte sich, dass die hemmenden Interneurone nur bei der bereits gelernten Silbe (A) aktiv waren. Während des Lernens der neuen Silbe (B) zeigten sie hingegen nur geringere Aktivität. Die Interneurone stellen somit sicher, dass die gelernten Silben und der daraus zusammengesetzte Gesang stabil bleiben. Eine für die Forschenden spannende Frage war nach diesen Ergebnissen natürlich, ob die Lernphase verlängert oder sogar wieder geöffnet werden kann.

Die äußere und innere Umgebung von Nervenzellen sind unterschiedlich geladen. Diese Ladungen ändern sich, wenn eine Nervenzelle aktiv ist. Die Membranpotentiale können daher Rückschlüsse auf die Aktivität der jeweiligen Nervenzelle geben (siehe auch Fallbeispiel 2).

**Moderne gentechnische Verfahren - Optogenetik**

Wie auch schon in den anderen Forschungsbeispielen beschrieben, gibt es inzwischen Möglichkeiten durch genetische Manipulation gezielt einzelne Zellen zu verändern. Im vorliegenden Beispiel wurden die hemmenden Interneurone in den HVC-Kernen so verändert, dass sie auf Licht reagierten. Dabei wurden die Ionen-Kanäle in den Zellen so manipuliert, dass bei blauem Licht elektrische Potentiale in der Zelle ausgelöst wurden. Alternativ kann die Kanalaktivität durch gelbes Licht reduziert werden. Die Nervenzellen lassen sich somit quasi durch Licht "fernsteuern". Mit Hilfe dieser optogenetischen Methode (siehe dazu auch Fallbeispiel: Arbeitsteilung) versuchen die Wissenschaftler:innen zu verstehen, wie solch ein komplexes Verhalten wie das Gesangslernen auf Zellebene gesteuert wird.



© MPI für biologische Intelligenz / D. Vallentin, F. Heim

Als die Forschenden während des Gesangs eines erwachsenen, genetisch modifizierten Vogels blaues Licht einschalteten – und somit die Interneurone aktivierten – zeigte sich, dass der Vogel zwar immer noch die gelernten Silben sang, dabei jedoch quasi aus dem Takt geriet: Er unterbrach seinen Gesang immer wieder nach einer einzigen Wiederholung und begann von vorn. Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist den Abruf des Gelernten zu beeinflussen. Als nächstes wollen die Forschenden unter anderem untersuchen, ob erwachsene Tiere durch Abschalten der Interneurone neue Silben erlernen können, oder ob die Lernphase bei Jungtieren durch das Aktivieren der Interneurone verkürzt werden kann.

Weitere Informationen:

[https://www.bi.mpg.de/1505594/news\\_publication\\_14209948\\_transferred](https://www.bi.mpg.de/1505594/news_publication_14209948_transferred)

[https://www.bi.mpg.de/1504458/news\\_publication\\_14340921\\_transferred](https://www.bi.mpg.de/1504458/news_publication_14340921_transferred)

## **Ausblick**

Zebrafinken erlernen, ähnlich wie der Mensch, ihre grundlegenden Lautäußerungen während einer sensiblen Phase und können dabei aufgrund einer genetischen Disposition arteigene von fremden, sinnlosen Lauten unterscheiden. Sprache ist bei beiden essentiell für soziale Interaktion und Kommunikation.

Sowohl Menschen als auch Singvögel besitzen spezialisierte neuronale Schaltkreise, die für das Hören verantwortlichen Gehirnareale mit den Sprachzentren verbinden. Es ist daher denkbar, dass es auch Parallelen bei der Sprachsteuerung gibt, welche die Kommunikation koordiniert, oder auch zum schlechteren Spracherwerb im höheren Alter führt.

Die bei Zebrafinken als Modellorganismen gewonnenen Erkenntnisse können somit wichtige Grundlagen für ein besseres Verständnis von Kommunikation und den zugrundeliegenden neuronalen Abläufen liefern. Durch die Ähnlichkeit der Systeme können so auch wichtige Einblicke in mögliche Abläufe und Störungen der menschlichen Kommunikation gewonnen werden.

