

Grundlagen

# Großstadtvögel – Lärm um nichts? Welchen Effekt hat Lärm auf Zebrafinken?



## Zeitaufwand

ca. 90 Minuten inklusive der Bearbeitung  
der Fragen

## Vorkenntnisse

Grundlegende Methoden der Verhaltensbiologie

Derzeit lebt ca. die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten, Tendenz steigend. Damit nimmt auch die Lärmbelastung in Ballungsgebieten zu. Die Weltgesundheitsorganisation hat Lärmbelastung als eines der größten Umweltrisiken für den Menschen identifiziert, und sie wurde mit einer Vielzahl kurz- und langfristiger gesundheitlicher Auswirkungen bei exponierten Personen in Verbindung gebracht. Dabei führt Lärm nicht nur zu Beeinträchtigungen des Hörvermögens, sondern er wirkt auf den gesamten Organismus, indem er körperliche Stressreaktionen auslöst. Langfristig kann dies zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie arteriosklerotische Veränderungen („Arterienverkalkung“), Bluthochdruck und bestimmte Herzkrankheiten einschließlich Herzinfarkt führen.



© Max-Planck-Institut für biologische Intelligenz / Sue Anne Zollinger

Aber auch manche Vögel zieht es in die Städte. Sei es, weil der ursprüngliche Lebensraum immer mehr reduziert und zerstört wird oder weil Tiere, wie die Amsel, beispielsweise vom Lebensraum Stadt durch das wärmere Mikroklima und durch das erhöhte Nahrungsangebot profitieren. An den höheren Lärmpegel durch den höheren Stadtverkehr haben sich Nachtigallen durch Verhaltensänderungen angepasst. Sie singen in einer lärmintensiven Umgebung lauter. Das geht sogar so weit, dass sie am Wochenende leiser trällern als an Werktagen, wenn der Berufsverkehr dröhnt. Um Paarungspartner anzulocken und ihr Revier zu verteidigen, singen Rotkehlchen bis in die Nacht hinein, wenn der Feierabendverkehr und der damit einhergehende Straßenlärm abgeflaut sind.

Welchen Effekt langfristige anthropogene Lärmexposition auf die Gesundheit und den Bruterfolg von Vögeln hat, ist bisher jedoch weniger bekannt.

## Ziel des Unterrichtprojekts

Am Max-Planck-Institut für biologische Intelligenz wird der Effekt von Straßenlärm auf Zebrafinken und deren Nachwuchs untersucht. Der Zebrafink dient dabei den Forschenden als Modellorganismus, da bereits sehr viel über sein Verhalten und seine Genetik bekannt ist.

Anhand dieses konkreten Forschungs-Projekts wird beispielhaft ermöglicht, einen Einblick in die Fragestellungen und Methoden der modernen Verhaltensbiologie zu bekommen. Nach einer Beschreibung der Fragestellung werden Sie eine eigene Hypothese formulieren, Überlegungen zur wissenschaftlichen

## Welchen Effekt hat Lärm auf Zebrafinken?

Planung des Experiments anstellen, Daten auswerten und interpretieren und die eigene Hypothese überprüfen und gegebenenfalls anpassen. Dadurch lernen Sie wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen kennen und können die Bedeutung von Umweltveränderungen auf Verhalten und mögliche evolutionäre Prozesse erfassen. Die beschriebenen verhaltensbiologischen Methoden werden ergänzt durch stoffwechselphysiologische Methoden.

### Vorüberlegungen

#### Welchen Sinn haben Verhaltensweisen?

„Nichts in der Biologie ergibt Sinn außer im Licht der Evolution“ (Theodosius Dobzhansky).

Die meisten Verhaltensweisen stellen eine Anpassung an die Umwelt dar, die dazu dient, das Überleben zu sichern. Verhaltensweisen unterliegen ebenso wie genetische oder physiologische Veränderungen der Evolution, können aber auch Evolutionsprozesse verursachen. So auch durch die Wahl eines anderen Lebensraumes wie einem städtischen Umfeld. Dadurch verändern sich die Selektionsbedingungen, was langfristig zu neuen evolutiven Anpassungen führt.

Langfristig setzt sich eine Verhaltensweise durch, wenn sie dem Individuum Vorteile bringt und sich damit dessen Nachkommenzahl, also seine biologische Fitness erhöht. Nur wenn dauerhaft der Nutzen größer als die Kosten sind, wird sich ein Verhalten durchsetzen können.

### Die Fragestellung

Ein Forschungsteam vom Max-Planck-Institut für biologische Intelligenz unter Leitung von Henrik Brumm hat untersucht, wie sich Lärm auf den Stresshormonspiegel, die Gesundheit und den Fortpflanzungserfolg von Zebrafinken auswirkt.

Nach derzeitigem Wissensstand können anthropogene Lärmquellen wie Straßenlärm zu Störungen und Beeinträchtigungen der Kommunikation zwischen den Tieren, der Ortung von Beutetieren, bei der Paarung sowie bei der Aufzucht des Nachwuchses führen.

Als Forschungsansatz folgt daraus, den Stress zu messen und schließlich die Auswirkungen der physiologischen Stressantwort auf die Fitness abzuschätzen. Als Fitness wird dabei die Anzahl der überlebenden, fortpflanzungsfähigen Nachkommen verstanden. Dieser letzte Punkt wurde bis dahin kaum untersucht. Als Parameter für Kommunikation wird das Gesangslernen des Nachwuchses gewählt.

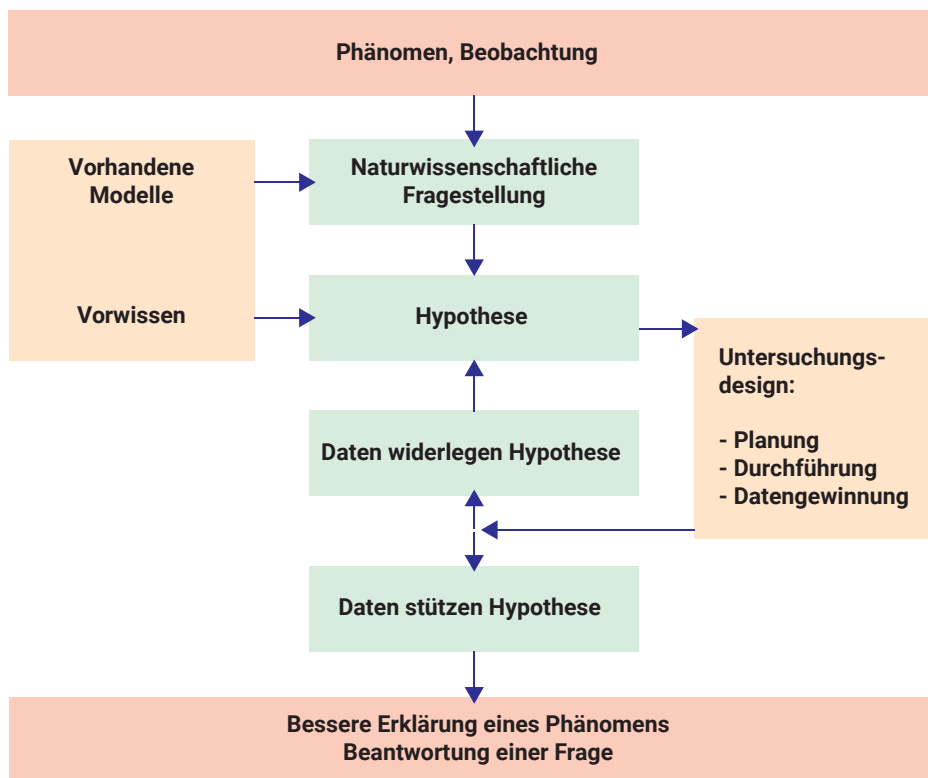


© Max-Planck-Institut für biologische Intelligenz / Sue Anne Zollinger

## Die Vorgehensweise

Um die Ursachen von Phänomenen zu klären, folgen die Forschenden einem naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg:

- Nach der Fragestellung erfolgt zunächst die Formulierung der **Hypothese**. Sie wird vor der eigentlichen Untersuchung aufgestellt und strukturiert das systematische Planen der Untersuchung und das Auswerten von Daten. Eine Hypothese ist eine begründete Vermutung über den kausalen Zusammenhang zweier Größen. Eine Größe besteht aus einer unabhängigen Variablen – die Ursache – und einer zweiten Größe, der abhängigen Variable– die vermutete Wirkung. Wenn es mehr als eine Variable gibt, ist es nicht möglich herauszufinden, welche nun wirklich für die beobachtete Auswirkung verantwortlich ist.
- Das **Experiment** dient als zentrale Methode in den Wissenschaften. Die Planung des Experimentes dient der Strukturierung des Vorgehens bei der Durchführung und der Dokumentation der Methodik. Sie ist der wichtigste Abschnitt einer empirischen Forschungsarbeit, denn von ihrer Präzision hängt es ab, ob die Untersuchung zu aussagekräftigen Resultaten führt.
- Nach der Durchführung des Experiments werden diese nach der **Datenaufbereitung** in Hinblick auf die Hypothese interpretiert und bezüglich ihrer Produktion kritisch reflektiert.
- Abschließend muss die Hypothese **verifiziert oder falsifiziert** werden.



### Aufgabe

Formulieren Sie die für die Forschungsfrage passende Hypothese.

Straßenlärm beeinflusst die Fitness von Zebrafinken und deren Nachkommen, indem Verkehrslärm als chronischer Stressor auf die Zebrafinken wirkt.

## Planung des Experiments

Die Planung und Durchführung eines Experiments ist, wie oben erwähnt, die zentrale Methode der Wissenschaft. Bei verhaltensbiologischen Experimenten ist dies sehr komplex, da in einem natürlichen Lebensraum sehr viele Parameter eine Rolle spielen können. Zunächst muss deshalb die Frage geklärt werden, ob das Experiment im Freiland oder unter Laborbedingungen durchgeführt werden soll.

### Aufgabe

Nennen Sie einige Größen die, außer der unabhängigen Variable „Verkehrslärm“, Einfluss auf die abhängige Variable haben können (sogenannte Störvariablen).

Tiere, die in städtischen Lebensräumen leben, sind neben Lärm einer Vielzahl anthropogener Störungen ausgesetzt. Genannt werden kann z.B. chemische Kontamination (Feinstaub, giftige Abgase), Lichtverschmutzung durch Straßenbeleuchtung und Verkehr, anderes Nahrungsspektrum (Abfälle der Menschen), fehlende Nistmöglichkeiten.

### Aufgabe

Stellen Sie allgemein die Vorteile und Nachteile eines Freilandexperiments einem Laborexperiment gegenüber.

Der Vorteil von Freilandstudien ist, dass Tiere in ihrer natürlichen Umgebung studiert werden können. Sie zeigen natürliches Verhalten.

Der Nachteil ist, dass mehrere Faktoren einen Einfluss auf das Verhalten haben können, und es nahezu unmöglich ist, den einzelnen Faktor quantitativ zu erfassen. Eine Aussage über den Zusammenhang zwischen Ursache und deren Wirkung ist so meist nicht zu beweisen. Die Bedingungen können sich auch während des Experiments oder bei Wiederholungen ändern, sind somit nicht stabil (Wetter).

Unter Laborbedingungen können kontrollierte Bedingungen durchgeführt und reproduziert werden. Es kann nur ein Parameter (die abhängige Variable) untersucht werden. Alle anderen Parameter können stabil gehalten werden (Kontrollvariablen). Die natürlichen Bedingungen können jedoch nicht immer simuliert werden. Dies kann zu Verhaltensänderungen der Versuchstiere führen.

## Kontrollexperimente

Kontrollexperimente sind Vergleichsversuche, die sich in genau einem Faktor unterscheiden. Alle anderen Faktoren bleiben gleich.

### Aufgabe

Beschreiben Sie die Notwendigkeit von Kontrollexperimenten.

Ein Kontrollexperiment ist ein Begleitexperiment zum Ausschluss von Störfaktoren oder zur Verifikation der zu einem Experiment entwickelten Methodik. Kontrollversuche sind ein zentraler Bestandteil der wissenschaftlichen Methodik. Im Idealfall existieren bei einem Experiment Kontrollversuche für jede mögliche Variable.

## Welchen Effekt hat Lärm auf Zebrafinken?

### Wie lässt sich biologische Fitness untersuchen?

Die Forschungsfrage erfordert den Stress zu messen und schließlich die Auswirkungen der physiologischen Stressantwort auf die Fitness abzuschätzen. Dazu müssen relevante Parameter untersucht werden.

Ob ein Vogel durch eine Störung gestresst wird oder nicht, kann man unter anderem am Stresshormon Kortikosteron feststellen. Mehrere Vogelarten haben Korrelationen zwischen dem Hormon Kortikosteron und chronischem Umweltlärm gezeigt. Die Effekte variierten jedoch stark, abhängig von der Vogelart und dem Kontext. Auch bei der Brutpflege wurden leicht erhöhte Kortikosteron-Werte gemessen. Ebenfalls können bestimmte Lymphozyten als Stressindikatoren dienen. Das Heterophil-Lymphozyten-Verhältnis (H/L-Verhältnis), wurde bei mehreren Vogelarten als guter Indikator für chronischen Stress gefunden. Unter Stress wurde ein höheres H/L-Verhältnis gemessen.

Ausdruck biologischer Fitness ist der Fortpflanzungserfolg der Zebrafinken. Im vorliegenden Experiment werden folgende Parameter bestimmt:

- Anzahl der Eier
- Schlupfrate
- Bruterfolg
- Wachstum der Nestlinge während der Aufzucht
- Brutverhalten und Fütterungsrate der Eltern
- Bestimmung des Stresshormons Kortikosteron und Heterophil-Lymphozyten-Verhältnis (H/L-Verhältnis) im Blut, als Indikator für chronischen Stress
- Als Indikator für die Kommunikation wird weiterhin das Gesangslernen der Jungvögel untersucht.

### Aufgabe

Da die Vorteile für die Fragestellung überwiegen, wird das Experiment unter Laborbedingungen durchgeführt.

Entwerfen Sie ein allgemeines Design für die Fragestellung und beschreiben Sie den Ablauf der für die entsprechenden Parameter passenden Experimente. Überlegen Sie dabei auch:

- mit wie vielen Vögeln Sie das Experiment durchführen würden,
- wie die Kontrollexperimente aussehen müssen,
- wie ahmen Sie den Verkehrslärm möglichst realitätsnah nach,
- wie kann die Überwachung des Nestes erfolgen, um den Bruterfolg zu kontrollieren,
- in welchen Zeitabständen führen Sie sinnvollerweise Ihre Messungen und Blutabnahmen durch.
- Für die Untersuchung des Gesangslernens ist ein separates experimentelles Design notwendig. Begründen Sie dies und designen Sie ein passendes Experiment.

Dokumentieren Sie, bevor Sie das konkrete Experiment planen, welche Ergebnisse Sie erwarten würden.

### Verwenden Sie für die Planung auch die nachfolgenden Informationen:

Das Zebrafinken-Weibchen legt drei bis acht Eier von rund 15 mm Größe in ein vom Männchen gebautes, ausgepolstertes Nest in einer kleinen, natürlichen Höhle oder einem Nistkasten. Ab dem dritten Tag bebrüten beide Partner abwechselnd die Eier. Die Jungen schlüpfen nach 12 bis 16 Tagen.

Mit schaukelnden Kopfbewegungen betteln sie um Futter. Die Alten reagieren darauf prompt mit Füttern. Im Alter von acht Tagen kann man die Bettelstimmen schon hören. Sie werden von Tag zu Tag lauter. Binnen 18 bis 25 Tagen verlassen die jungen Zebrafinken erstmals das Nest, allerdings kehren die Jungen zum Schlafen ins Nest zurück. Hennen sind ab drei, Hähne ab vier Monaten geschlechtsreif.

Singvögel besitzen analog zum Spracherwerb beim Menschen eine sensible Phase für das Erlernen ihres Gesangs, der bei Zebrafinken zwischen dem 26. und 90. Tag liegt und das der späteren Balz dient. Junge Zebrafinkmännchen lernen ihren Gesang, indem sie die Gesangsvorlage ihres Tutors, meist ihres Vaters, imitieren. In dieser Lernphase ist es zwingend, dass der Jungvogel seinen eigenen Gesang hören, überwachen und laufend mit der Gesangsvorlage vergleichen kann. Den eigenen Gesang passt er über das sogenannte auditorische Feedback an die akustische Vorlage an. Der einmal erlernte Gesang bleibt danach ein Leben lang weitgehend unverändert erhalten. Rufe dagegen sind angeboren und dienen zur Kommunikation und zur Warnung.

### **Design des Experiments**

Die Brutpaare (eine statistisch große auszuwertende Anzahl, etwa 20 Paare) werden in zwei Gruppen geteilt. Die eine Gruppe brütet in einer ruhigen Umgebung (Kontrolle), die zweite Lärm-exponiert. Dieser Lärm sollte möglichst identisch zu einem typischen Straßenlärm sein. Dazu könnte man Tonaufnahmen einer befahrenen Straße während der Hauptverkehrszeit und während der Nacht machen. Nach Abschluss der ersten Brut und Entfernung der Nachkommen (also frühestens nach 90 Tagen) werden beide Gruppen getauscht (ein sogenanntes cross-design- Experiment) und die Paare dürfen ein zweites Mal brüten. Die Beobachtung des Nistverhaltens und der Fütterungsrate im Nistkasten kann über Video oder persönlich erfolgen.

### **Feststellung des Bruterfolgs**

Jeden (zweiten) Tag werden die Nester überprüft und das Schicksal jedes Eis und jedes Nachwuchses aufgezeichnet. Die Eltern, die die Nester besuchen, werden durch Beobachtung oder per Video identifiziert und die Anzahl der (Fütterungs-)Besuche gezählt. Die gelegten Eier werden gezählt und beobachtet, ob daraus Nestlinge schlüpfen. Die geschlüpften Nestlinge werden regelmäßig gewogen (Tag 10, 21 und 120). Als Fitnessindikator für jeden Vogel kann der Anteil der Nachkommen, die das Erwachsenenalter erreichen (120 Tage alt) und der Anteil der Embryonen, die vor dem Schlüpfen starben (Embryosterblichkeit) gewertet werden. Dies kann durch Begutachtung der Eier bewertet werden.

Erwartung: Bei den Lärmexponierten Vögeln wird durch chronischen Stress eine größere Sterblichkeit der Jungen sowie ein geringeres Gewicht erwartet. Durch Lärm muss möglicherweise die Wachsamkeitszeit erhöht werden, was zu einer Verringerung der Fütterungsrate führen kann, und somit ebenfalls zu einem geringeren Gewicht der Jungtiere.

### **Bestimmung des Stress-Levels**

Zur Bestimmung des Stress-Levels wird das Stresshormons Kortikosteron und das Heterophil-Lymphozyten-Verhältnis (H/L-Verhältnis) im Blut gemessen. Dazu müssen die Zebrafinken und deren Nachkommen eingefangen werden. Um den Stress dadurch nicht künstlich zu steigern, sollten die Blutproben nicht zu oft, sondern nur während der unterschiedlichen Phasen der Aufzucht genommen werden.

Erwartung: das Stress-Hormon Kortikosteron im Blut steigt und das Heterophil-Lymphozyten-Verhältnis (H/L-Verhältnis) ändert sich.

### **Gesangs-Lernen der Nestlinge**

Um einen kausalen Zusammenhang zwischen abhängiger und unabhängiger Größe herzustellen ist es notwendig, immer nur eine Variable zu untersuchen. Deshalb ist für die Fragestellung des Gesangs-Lernens ein separates Versuchsdesign notwendig.

Um andere Störfaktoren während der Aufzucht zu minimieren, können zwei Gruppen von Nestlingen isoliert von den Vätern aufgezogen werden, sog. Teil-Kaspar-Hauser Versuch, und ihnen die typischen Gesänge erwachsener Männchen während ihrer sensiblen Zeit vorgespielt werden. Alternativ wird nur der Gesang der Jungvögel aufgezeichnet, alle anderen Parameter bleiben gleich. In einer Gruppe werden die Vögel zusätzlich Verkehrslärm ausgesetzt. Die Gesangsaktivitäten jedes Männchens werden aufgezeichnet und mit dem Verlauf des Lernerfolgs verglichen. Darüber hinaus sollten kleine Blutproben während des Aufwachstums genommen werden und die Plasma-Kortikosteron-Konzentrationen gemessen werden, als Maß für den Stress.

Erwartung: durch die Lärmexposition singen die Eltern weniger, die Lernkurve ist somit schlechter. Dieser Effekt kann bei der isolierten Variante durch konstantes künstliches Vorspielen der Melodien eliminiert werden. Eine Verschlechterung oder ungenaue Wiedergabe des elterlichen Gesangs könnte trotzdem durch lärminduzierte Kopierfehler entstehen.



Auswertung

## Großstadtvögel – Lärm um nichts? Welchen Effekt hat Lärm auf Zebrafincken?

Im Folgenden finden Sie das **tatsächlich verwendete Versuchsdesign**:

Nach einem Zeitraum von zwei Monaten, in dem sich die Vögel an die Volieren gewöhnen durften wurden zwei Volieren mit je 12 Nistkästen und Nistmaterial versorgt. Die Vögel wurden in zwei Gruppen geteilt. Die eine Gruppe brütete in einer ruhigen Umgebung (Kontrolle), die zweite Lärm-exponiert. Der Lärm wurde durch Aufnahmen lärmexponierter Hauptstraßen simuliert. Am Tag betrug der Lärmpegel zwischen 65 und 85 dB(A) und wurde in 80 sich wiederholenden 5 Minuten Intervallen abgespielt. In der Nacht war der Lärm reduziert auf 45 und 75 dB(A) mit nur 40 Intervallen. Jeden zweiten Tag wurden Nester überprüft und das Schicksal jedes Eis und jedes Nachwuchses aufgezeichnet. Die Eltern, die die Nester besuchten, wurden durch Beobachtung in Person oder per Video identifiziert und die Anzahl der (Fütterungs-) Besuche gezählt. Jedes Paar durfte sich nur einmal fortpflanzen, (d.h. sobald die erste Brut floh, wurden Eier aus weiteren Zuchtversuchen entfernt). Wenn Jungtiere schlüpften, wurden die Nestlinge gewogen. Als Fitnessindikator für jeden Vogel wurde der Anteil der Nachkommen, die das Erwachsenenalter erreichten (120 Tage alt) und der Anteil der Embryonen, die vor dem Schlüpfen starben (Embryosterblichkeit) gewertet. Zusätzlich wurde jeder Nachwuchs an den Tagen 10, 21 und 120 nach dem Schlüpfen gewogen. Nach Abschluss der ersten Brut und einer Pause von 30 Tagen wurden beide Gruppen getauscht (ein sogenanntes Cross-design-Experiment) und die Paare durften ein zweites Mal brüten.



© Max-Planck-Institut für biologische Intelligenz / Frank Lehmann

### Bestimmung des Stress-Levels

Zur Bestimmung des Stress-Levels wurde das Stresshormons Kortikosteron und das Heterophil-Lymphozyten-Verhältnis (H/L-Verhältnis) im Blut der Eltern gemessen. Dazu mussten die Zebrafincken-Eltern eingefangen werden. Um den Stress dadurch nicht künstlich zu steigern, wurden die Blutproben nicht zu oft, sondern nur während der unterschiedlichen Phasen der Aufzucht genommen. Den Eltern wurde vor dem Experiment, zu Beginn der Balz, während der Brut und am Ende des Experiments Blut abgenommen.

### Gesangs-Lernen der Nestlinge

Um einen kausalen Zusammenhang zwischen abhängiger und unabhängiger Größe herzustellen ist es wie bereits oben besprochen notwendig, immer nur eine Variable zu untersuchen. Deshalb war für die Fragestellung des Gesangs-Lernens ein separates Versuchsdesign notwendig.

Um andere Störfaktoren während der Aufzucht zu minimieren, wurden zwei Gruppen von Nestlingen isoliert von den Eltern aufgezogen (Teil-Kaspar-Hauser Versuch) und ihnen die typischen Gesänge erwachsener Männchen während ihrer sensiblen Zeit vorgespielt. In einer Gruppe wurden die Vögel zusätzlich Verkehrslärm ausgesetzt, ähnlich zu dem ersten Experiment. Die Gesangsaktivitäten jedes Jungtier-Männchens wurden aufgezeichnet und mit dem Verlauf des Lernerfolgs verglichen. Darüber hinaus wurden kleine Blutproben während des Aufwachsens genommen und die Plasma-Kortikosteron-Konzentrationen als Maß für den Stress gemessen.



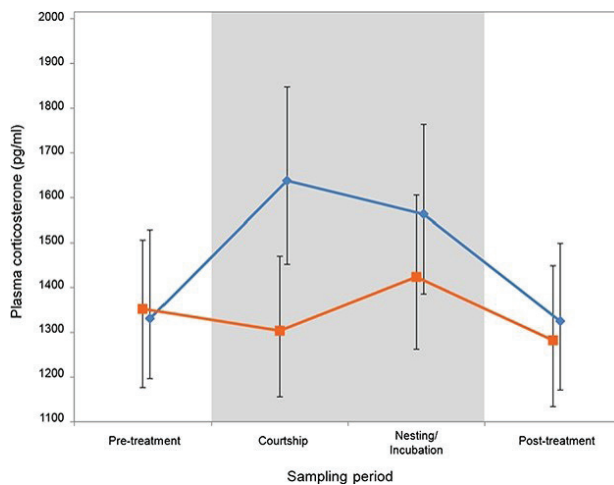
## Welchen Effekt hat Lärm auf Zebrafinken?

### Aufgabe

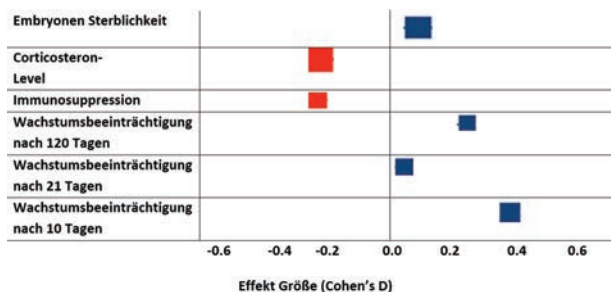
Schauen Sie sich nun die gemessenen Daten an. Beschreiben und interpretieren Sie diese.

Zur Auswertung der Daten wurden geeignete statistische Methoden verwendet. Zur besseren Übersichtlichkeit werden diese in den folgenden Abbildungen nicht näher erläutert. Entsprechende Signifikanzen wurden aber bei der Darstellung der Daten berücksichtigt.

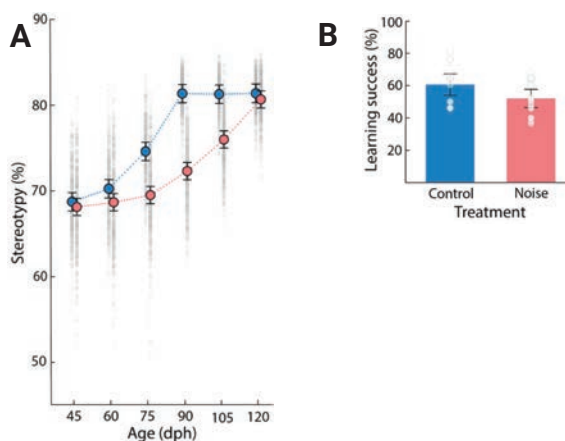
Überprüfen Sie nun Ihre aufgestellte Hypothese mit den tatsächlichen Ergebnissen und verifizieren oder falsifizieren Sie Ihre Hypothese.



**Abb. 1** Kortikosteronkonzentration der Elterntiere vor dem Experiment, während der Balz, während der Aufzucht und nach dem Experiment. (Blau) Kontroll-Gruppe, (Rot) lärmexponierte Zebrafinken (nach Zollinger et al. 2019)



**Abb. 2** Dargestellt ist die Effektgröße der jeweiligen Parameter (nach der Methode Cohen's D). Die Datenpunktgröße spiegelt die Stichprobengröße wider. Rote Symbole zeigen Effekte an, die den Erwartungen entgegengesetzt waren (Darstellung vereinfacht nach Zollinger et al. 2019).



**Abb. 3**

**A)** Variabilität des Jugendgesangs ohne (Blau) und mit (Rot) Lärmexposition in Abhängigkeit des Nestlings-Alters.

**B)** Lernerfolg der Nestlinge mit und ohne Lernexposition (Darstellung nach Brumm et al. 2021).

### **Beschreibung und Interpretation der Ergebnisse**

Chronischem Verkehrslärm ausgesetzte Zebrafinken hatten während des Brütens weniger Stresshormone im Blut als jene Tiere, die ihre Jungtiere in ruhiger Umgebung aufzogen. Das ist überraschend, da Stress oft zu einer höheren Konzentration von Kortikosteron führt, denn das Hormon hilft dem Organismus bei der Regulierung von stressigen Situationen. Der Pegel an Stresshormonen stieg bei den Tieren, die während der Brutzeit Lärm ausgesetzt waren, gar nicht erst an. Auch das H/L-Verhältnis ist anders als erwartet, deutet also nicht auf Stress hin. Mit welchen Folgen diese Regulierung verknüpft ist, bleibt unklar – es handelt sich aber eindeutig um eine abnormale Stressreaktion.

Es ist also wahrscheinlich nicht so, dass sich die Vögel mit der Zeit an den Lärm gewöhnten. Möglicherweise steuert der Organismus der Tiere von vorne herein gegen, um die negativen Auswirkungen eines chronischen, erhöhten Stresshormonpegels auf das Immunsystem zu vermeiden. Denn während die unmittelbare, aber kurzzeitige Ausschüttung von Stresshormonen hilft, auf den akuten Stressfaktor schnell zu reagieren, können chronisch erhöhte Hormonwerte unter anhaltenden Stresssituationen erhebliche gesundheitliche Folgen haben. Eine reduzierte hormonelle Stressantwort könnte daher eine Anpassung an die chronische Lärmexposition sein.

Nestlinge die mit Straßenlärm aufwuchsen, waren nach 10 Tagen kleiner als Nestlinge, die einen ruhigen Nistplatz hatten. Später in der Brutzeit, wenn die Jungvögel das Nest verlassen hatten und selbst Futter suchten, holten sie den Rückstand allerdings wieder auf. Ob dieser Gewichtsmangel in der frühen Entwicklungsphase Einfluss auf die spätere Fitness der Vögel haben kann, lässt sich aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht beurteilen. Dazu wären Langzeitstudien notwendig, bei dem man die Jungvögel über eine oder mehrere Brutzyklen beobachten müsste.

Einen deutlichen Effekt zeigt sich beim Gesangslernen der Vögel. Verkehrslärm ist ein starker Stressor bei Jungvögeln und führt zu Ungenauigkeiten und verzögerter Entwicklung beim Gesangslernen. Zwischen dem Tag 60 und dem Tag 90 ist der Unterschied in der Gesangsentwicklung am stärksten ausgeprägt. Diesen Unterschied holen die Jungvögel allerdings bis zum Tag 120 wieder auf, d.h. die Vögel zeigen eine verzögerte Gesangsentwicklung um etwa 30 Prozent. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass junge Singvögel besonders anfällig für die Auswirkungen von Lärm sind, wenn sie in einer kritischen Entwicklungsphase des Lernens gestört werden.

### **Überprüfung der Hypothese**

Es hat sich gezeigt, dass Lärmexposition zu Veränderungen in der Physiologie führen und sich auf das Wachstum der Jungvögel auswirkt. Ebenso führt es zu Ungenauigkeiten und verzögerter Entwicklung beim Gesangslernen. Auch wenn die Vögel scheinbar gut mit dem Lärm zurechtkommen, werden sie durch chronischen Verkehrslärm beeinträchtigt.

**Ausblick**

Die vorliegenden Ergebnisse sind teilweise überraschend, belegen aber einen eindeutigen Effekt von chronischer Lärmexposition bei Zebrafinken.

Langzeitfolgen wurden nicht untersucht, können jedoch nicht ausgeschlossen werden. In einer früheren Studie wurde herausgefunden, dass sich unter Verkehrslärm die Enden der Chromosomen, die sogenannten Telomere, schneller verkürzen. Dies wirkt sich möglicherweise auf die Lebensdauer der Küken aus.

Ein Anstieg von Stresshormonen dient dazu, auf eine gefährliche Situation schnell zu reagieren. Bleiben der Stresspegel und damit auch das Niveau der Stresshormone jedoch über einen längeren Zeitraum hoch – man spricht dann von chronischem Stress –, kann dies Fortpflanzung, Immunabwehr und Gehirnfunktion beeinflussen. Tiere, die in Städten leben, würden unter den urbanen Bedingungen leiden, wenn sie ihre physiologische Stressantwort nicht den Stadtbedingungen angepasst hätten. Die hormonelle Verfassung eines Tieres ist daher von großer Bedeutung für seinen Fortpflanzungserfolg und ist möglicherweise eine wichtige Schaltstelle der Evolution.



© Max-Planck-Institut für biologische Intelligenz / Adobe Stock

Tiere, die in städtischen Lebensräumen leben, sind einer Vielzahl anthropogener Störungen ausgesetzt und es ist wahrscheinlich, dass selbst Arten, die in lauten Umgebungen zu gedeihen scheinen, kumulative Auswirkungen dieser vielfältigen Störungen erleiden können, die zusammen ihre Fitness in städtischen Umgebungen beeinträchtigen können. Insofern hat die Untersuchung nur eines Faktors nämlich des Lärms nur bedingte Aussagekraft in Bezug auf die Gesamt-Fitness.

Trotzdem liefern die Ergebnisse wichtige Einblicke in die Folgen der Lärmbelastigung. Sie dienen dabei als experimentelles Modell für die Untersuchung lärmbedingter physiologischer Effekte und Lernbeeinträchtigungen. Die Studie legt nahe, dass Verkehrslärmbelastigung sogar das Potenzial hat, die kulturelle Entwicklung des Vogelgesangs zu beeinflussen, da sich lärminduzierte Kopierfehler wahrscheinlich ansammeln, wenn das Lied von einem Vogel zum anderen übergeht. "Unser Experiment ist ein Durchbruch in der Untersuchung der Auswirkungen von anthropogenem Lärm", sagt eine Autorin der Gesangsstudie, Sue Anne Zollinger. So kann anthropogener Lärm tatsächlich Selektionsbedingungen verändern, was langfristig zu neuen evolutiven Anpassungen führt.

## Welchen Effekt hat Lärm auf Zebrafinken?

Welche Bedeutung kann das Untersuchungsergebnis für die Untersuchung von anthropogenem Lärm auf Menschen haben?

Seit Jahrtausenden verändern die Menschen die Umwelt dramatisch, und während die Weltbevölkerung größer wird, nimmt die Urbanisierung ständig zu. Verkehrslärm ist dabei eine allgegenwärtige Umweltbelastung, die die Gesundheit und das Wohlbefinden von Millionen von Menschen beeinträchtigt. Dass Lärm als Stressfaktor auf den menschlichen Organismus wirkt, ist unbestritten. Die gesundheitliche Gefahr, die von dauerhaftem Lärm ausgeht ist aber bisher noch nicht ausreichend untersucht.

Neben schweren lärmbedingten Krankheiten bei Erwachsenen wurde der Verkehrslärm auch mit Lernbehinderungen und Sprachdefiziten bei Kindern in Verbindung gebracht. Auch sie müssen wie Singvögel ihre Vokalisation während einer sensiblen Phase lernen. Der Vogelgesang kann damit als primäres Modell für Sprachentwicklung beim Menschen dienen.

*„Beobachte das Schwimmen der Fische im Wasser und du wirst den Flug der Vögel in der Luft begreifen“.*

(Leonardo da Vinci)

