

Tiere im Lärm

Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten



Praktikumsarbeit von:

Katja Polachowski
Fachstelle Lärmschutz,
Baudirektion Kanton Zürich
Dezember 2009

Inhaltsverzeichnis:

1. Akustische Informationen sind (überlebens-) wichtig	3
1.1 Akustische Kommunikation.....	3
1.2 Schall als Orientierungshilfe.....	3
2. Wirkung von Lärm	3
2.1 Definition.....	3
2.2 Natürliche Geräusche.....	3
2.3 Der Lärm in der Umwelt verändert sich – Pass dich an oder du verschwindest.....	3
2.4 Lärm wirkt nicht immer gleich.....	4
2.4.1 Artunterschiede.....	4
2.4.2 Erfahrung einzelner Individuen.....	4
2.4.3 Zustand und Lebensphase.....	4
2.4.4 Ökosystem und Habitatqualität.....	4
2.4.5 Eigenschaften des Lärms.....	4
2.5 Mögliche Auswirkungen von Lärm.....	4
2.5.1 Auswirkungen auf Individuen.....	5
2.5.1.1 Störung der akustischen Kommunikation.....	5
2.5.1.2 Störung der Orientierung.....	5
2.5.1.3 Scheueffekte.....	5
2.5.1.4 Anatomisch-physiologische Effekte (vorübergehend od. bleibend) inkl. Stress.....	5
2.5.2 Auswirkungen auf der Populationsebene.....	5
2.5.2.1 Dichterückgang.....	5
2.5.2.2 Artzusammensetzung.....	5
2.6 Wirkungen des Lärms auf verschiedene Tiergruppen.....	6
2.6.1 Wirbellose.....	6
2.6.2 Fische.....	6
2.6.3 Amphibien.....	7
2.6.4 Reptilien.....	7
2.6.4 Vögel.....	7
2.6.4.1 Strassenlärm.....	7
2.6.4.2 Fluglärm.....	8
2.6.4.3 Maschinenlärm.....	8
2.6.4 Säugetiere.....	8
3. Überlebensstrategien – wie sich Tiere an Lärm anpassen können	9
3.1 Anpassen des Signal-Designs.....	9
3.1.1 Erhöhen der Amplitude.....	10
3.1.2 Optimale Frequenzhöhe wählen.....	10
3.1.3 engere Frequenzbandweite wählen.....	11
3.1.4 Verlängern des Signals.....	11
3.1.5 Erhöhen der Ruftrate/Repetition des Signals.....	12
3.1.6 Zeitpunkt verschieben und in lauten Phasen kein Signal aussenden.....	12
3.1.7 Den Kommunikationskanal selbst verändern.....	12
3.2 Ausgewählte Beispiele aus der Tierwelt.....	13
3.2.1 Frösche quaken bei Verkehrslärm in höheren Tonlagen.....	13
3.2.2 Der neotropische Baumfrosch <i>Dendropsophus triangulum</i> erhöht im Lärm die Ruftrate.....	13
3.2.3 Wirkung des menschlichen Lärms auf eine ganze Froschgemeinschaft.....	13
3.2.4 Nachtigallen singen im Lärm lauter.....	14
3.2.5 Singammern rufen in lauten Gebieten in höheren Tönen.....	14
3.2.6 Der Gesang der Kohlmeisen unterscheidet sich je nach Lärmbelastung.....	15
3.2.7 Lärm führt bei Wanderdrosseln zu nächtlichem Singen.....	15
3.2.8 Bei Schiffslärm verlängern Orkas ihre Rufe.....	15
3.2.9 Buckelwalgesänge im Sonarlärm dauern länger.....	16
3.2.10 Während seismischen Untersuchungen rufen Blauwale öfter als in ruhigen Phasen.....	16
3.2.11 Grosse Mausohren vermeiden bei der Jagd laute Gebiete.....	16
3.2.12 Weissbüschelaffen schnattern im Lärm lauter und länger.....	17
3.3 Akustische Divergenz und Artbildung.....	17
4. Schlussfolgerungen	19

1. Akustische Informationen sind (überlebens-) wichtig

1.1 Akustische Kommunikation

Für viele Tiere spielen akustische Informationen eine wichtige Rolle. Wir alle kennen den Gesang von Vögeln, das Zirpen von Grillen oder das Quaken von Fröschen. Verschiedenste Geräusche werden von diesen Tieren als Kommunikationsmittel für diverse Zwecke benutzt:

- Anlocken von Paarungspartnern
- Abgrenzung von Revieren
- Kontaktaufnahme Mutter-Junges
- Anzeigen von Futterquellen
- Warnrufe
- Zusammenhalt der Gruppe

1.2 Schall als Orientierungshilfe

Daneben wird Schall aber auch als Orientierungshilfe benutzt. So sind viele nachtaktive Tiere stark auf ihr Gehör angewiesen, um potenzielle Beute aufzuspüren oder um Räuber zu hören. Einige Tiere wie etwa Fledermäuse und Meeressäuger benutzen sogar Echolot, um sich ein detailliertes Bild von ihrer Umwelt zu machen und sich zu orientieren.

Die wichtige Rolle von Schall für die Tierwelt zeigt sich auch darin, dass bis heute kein total taubes Wirbeltier bekannt ist!

2. Wirkung von Lärm

2.1 Definition

Lärm kann man als „störenden Schall“ definieren. Was stört und was nicht, ist allerdings von Mensch zu Mensch unterschiedlich, ist also sehr subjektiv und kann kaum verallgemeinert werden. Bei Tieren wird das Ganze noch ein bisschen komplizierter, da man sie nicht einfach fragen kann, was sie als störend empfinden und was nicht.

Lärm ist im vorliegenden Bericht deshalb folgendermassen definiert: „Jede Art von Geräuschen, welche auf das Verhalten oder die Gesundheit eines Tieres störend einwirken.“ Wenn nicht anders bezeichnet, ist dieser Lärm von Menschen verursacht, also anthropogener Lärm.

2.2 Natürliche Geräusche

Lästiger und lauter Schall wird nicht nur von Menschen verursacht, sondern kommt auch in der Natur vor. Zu diesen natürlichen Schallquellen gehören zum Beispiel das Rauschen des Windes oder eines Flusses, das Prasseln des Regens, aber auch Geräusche von den Organismen selbst. Im Verlauf der Zeit haben die verschiedenen Arten gelernt, mit dieser natürlichen Geräuschkulisse, die mitunter auch eine sehr hohe Lautstärke erreichen kann, umzugehen. Wie aber sieht es mit anthropogenem Lärm aus?

2.3 Der Lärm in der Umwelt verändert sich – Pass dich an oder du verschwindest

Der von Menschen verursachte Lärm in der Umwelt hat sich in Folge der Industrialisierung und Urbanisierung in den letzten Jahren stark verändert. Er hat in Volumen und Verbreitung zugenommen und seine Zusammensetzung ist anders geworden. Sogar die vom Menschen verursachte Klimaerwärmung sorgt für mehr Lärm, denn die vermehrte CO₂-Aufnahme durch die Ozeane versauert diese und dadurch wiederum verschlechtert sich die Schallabsorption des Wassers.

Betroffene Tiere müssen Strategien entwickeln, wie sie in dieser veränderten akustischen Umwelt zurechtkommen können. Kann sich eine Art nicht an die neue Lärmumgebung anpassen, so wird sie aus dem betroffenen Gebiet verschwinden. Lärm in der Umwelt teilt die Tierwelt also in zwei Gruppen: Solche, die sich daran anpassen können und solche, die es nicht können und lokal aussterben.

2.4 Lärm wirkt nicht immer gleich

Die Schädlichkeit des Lärms hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab, was das Thema ziemlich komplex und uneinheitlich macht. Folgende Punkte sind zu beachten:

2.4.1 Artunterschiede

Lärm wirkt sich auf jede einzelne Art anders aus. Manche Arten reagieren sehr empfindlich, andere hingegen stören sich kaum daran. Das hat unter anderem mit den verschiedenen Wahrnehmungsfähigkeiten der Tiere zu tun. Zudem sind nicht alle Arten gleich stark auf akustische Signale angewiesen und werden somit auch nicht gleich stark durch Lärm behindert.

2.4.2 Erfahrung einzelner Individuen

Ebenfalls eine Rolle spielt die Erfahrung des einzelnen Individuums. Zum Beispiel reagieren Tiere auf Knallgeräusche nur, wenn sie diese mit der Jagd assoziieren. Lebt ein Tier im Bereich einer Schiessanlage, wo es regelmässig knallt, diese Schallereignisse aber keine direkt schädigende Wirkung haben und nicht im Zusammenhang mit der Jagd stehen, wird es darauf kaum mehr eine Reaktion zeigen. Manche Tiere können sich also bis zu einem gewissen Grad an Lärm gewöhnen.

2.4.3 Zustand und Lebensphase

Ob Lärm stört hängt auch davon ab, in welcher Phase sich ein betroffenes Tier befindet. So ist zum Beispiel die Überlebensrate der Jungtiere von Kängururatten (*Dipodomys deserti*) durch Lärm deutlich herabgesetzt, weil dadurch die Eltern-Kind-Kommunikation gestört ist. Viele Tiere sind während der Nacht oder der Fortpflanzungsphase besonders empfindlich. Der Lärm ist zu diesen Zeitpunkten eine besonders grosse Bedrohung. Es gibt auch Unterschiede je nach Zustand des Tieres oder zusätzlichen Stresseinwirkungen.

2.4.4 Ökosystem und Habitatqualität

Besonders gefährlich ist Lärm in fragilen Ökosystemen wie Wüsten oder Feuchtgebiete, wo die Tiere auf Störungen sehr sensibel reagieren. Viele dort lebende Arten sind an eine relativ ruhige Umgebung gewöhnt und angepasst, und extrem laute Ereignisse, wie zum Beispiel das Vorbeifahren eines Off-Road-Fahrzeuges, sind dementsprechend gefährlich.

Die Habitatqualität und –Struktur und damit mögliche Verstecke und Schutzmöglichkeiten sind ebenfalls zu beachten.

2.4.5 Eigenschaften des Lärms

Nicht zuletzt spielt es auch eine Rolle, was der Lärm an sich für Eigenschaften aufweist. Je nach Intensität, Frequenz, Dauer, Regelmässigkeit, Richtung, Klang, zusätzlichen Störfaktoren, wie etwa visuelle oder olfaktorische Reize, kann die Wirkung unterschiedlich sein.

2.5 Mögliche Auswirkungen von Lärm

Zu den schädlichen Wirkungen des Lärms auf ein Individuum lassen sich, wegen den oben genannten Gründen, keine allgemeinen Aussagen machen. Auch die Folgen auf die Population oder das Ökosystem ist in den meisten Fällen unklar. Dennoch sind hier einige mögliche und beobachtete Wirkungen aufgelistet, welche bei verschiedenen Arten auftreten können:

2.5.1 Auswirkungen auf Individuen:

2.5.1.1 *Störung der akustischen Kommunikation*

Wenn der Lärm in der Umwelt zu laut wird, werden die Signale der Tiere überdeckt (maskiert) und sind für den Empfänger nicht mehr optimal wahrnehmbar. Das kann zu diversen Problemen führen, zum Beispiel wird kein Paarungspartner gefunden oder es kommt vermehrt zu energieraubenden Revierkämpfen.

2.5.1.2 *Störung der Orientierung*

Auch in Sachen Orientierung besteht das Problem der Maskierung. Räuber werden nicht mehr gehört oder die Beute nicht gefunden, was einen negativen Einfluss auf die Überlebensrate hat. Zudem steht der Lärm im Verdacht, das natürliche Echolotsystem einiger Tiere zu stören.

2.5.1.3 *Scheueeffekte*

Lärm kann panische Fluchtreaktionen auslösen, welche teilweise tödliche Folgen haben. Erschrickt ein Wal und taucht deshalb zu schnell auf, bekommt er Probleme mit dem Druckausgleich, was bis zum Tod führen kann. Zudem verliert ein Tier mit jeder Flucht wertvolle Zeit. Diese fehlt dann für andere, lebenswichtige Tätigkeiten, wie etwa der Nahrungssuche. Eine Flucht ist immer auch mit Verlust von Energie verbunden, was schlechte Auswirkungen auf die Kondition der Tiere hat. Wenn Fluchtreaktionen zum Verlassen eines Nestes führen, kann dies zudem einen verminderten Aufzuchtserfolg bewirken.

2.5.1.4 *Anatomisch-physiologische Effekte (vorübergehend oder bleibend) inkl. Stress*

Gehörschäden und -verluste, erhöhter Blutdruck und erhöhte Herzschlagfrequenz, Gewichtsreduktion, Schwächung des Immunsystems, weniger Milchproduktion, Schrumpfen von Nieren und Eierstöcken, Aborte,... das alles sind negative Konsequenzen, die Lärm an sich oder die durch ihn verursachte Stressreaktion mit sich bringen kann. Stress führt zu Verhaltensänderungen: das Tier ist aufmerksamer und befindet sich in erhöhter Handlungsbereitschaft. In wirklich gefährlichen Situationen ist dies zwar erwünscht, bei chronischer Belastung durch andauernden Lärm hat diese Stressreaktion aber einen negativen Effekt auf die Gesundheit des Tieres. Obwohl es scheint, dass sie sich an den Lärm angepasst haben, können Tiere unter einem hohen Level von physiologischem Stress leiden.

2.5.2 Auswirkungen auf der Populationsebene

2.5.2.1 *Dichterückgang*

Eine Folge dieser verschiedenen Störwirkungen auf das Individuum kann das langfristige oder endgültige Meiden des verlärmten Gebietes sein. Das wird insbesondere dann problematisch, wenn Tiere von einem engen Bereich an Habitateigenschaften abhängen und dann in marginale oder unpassende Habitate gehen müssen, wo das Überleben und die Reproduktion schwieriger sind. Zudem können viele Tiere oft nicht einfach in andere Gebiete flüchten, weil sie nur in einem ganz speziellen Ökosystem leben können oder grosse Wanderungen unmöglich sind. Also müssen sie sich anpassen und mit den Wirkungen des Lärms zurechtkommen, oder sie sterben am betreffenden Standort aus. Lärm und seine Folgen können also durchaus eine negative Wirkung auf die Populationsdichte haben und im schlimmsten Fall dazu führen, dass eine Art lokal ausstirbt.

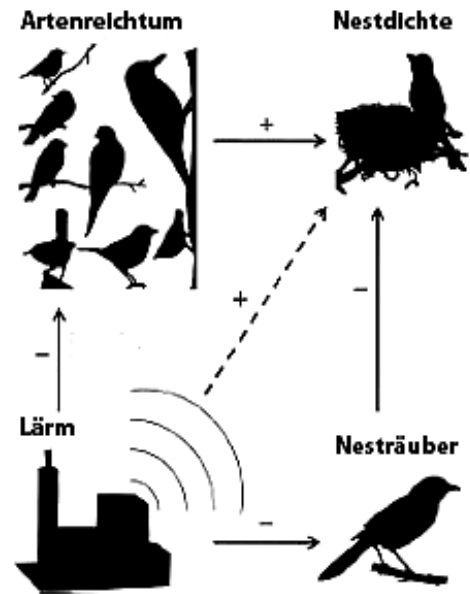
2.5.2.2 *Artzusammensetzung*

Veränderungen in der Dichte einzelner Arten wiederum können einen Einfluss auf die Artzusammensetzung haben. Meist nimmt die Dichte einer Art im Lärm ab, und dadurch ist die Artenvielfalt bedroht. Es scheint aber auch so, dass einige Arten durchaus auch vom Lärm profitieren können, wenn dadurch ihre Hauptfeinde vertrieben werden. Ein Beispiel ist das

Verhältnis zwischen dem westlichen Buschhäher (*Aphelocoma californica*) und seiner Beute, kleinen Singvögeln. Wenn der westliche Buschhäher, der sehr empfindlich auf Lärm reagiert, wegfällt, hat das einen positiven Effekt auf das Vorkommen der kleineren Singvögel. Nicht nur über die Nahrungskette, sondern auch über Konkurrenz wäre ein solcher indirekter Einfluss von Lärm denkbar.

Dies zeigt auf, dass Lärm ziemlich komplexe und indirekte Wirkungen haben kann.

Einfluss von Lärm auf die Nestdichte. Lärm wirkt zwar negativ auf das Artenreichtum, da er aber auch negativ auf Nesträuber wirkt, kann dies indirekt einen positiven Effekt auf die Nestdichte haben. (Bild, verändert: C. D. Francis, 2009)



2.6 Wirkungen des Lärms auf verschiedene Tiergruppen

Wie bereits erwähnt, wirkt Lärm nicht auf jede Art gleich. Im Folgenden sind einige konkrete Beispiele von Wirkungen auf die verschiedenen Tiergruppen aufgeführt.

2.6.1 Wirbellose

Diese Tiergruppe wurde bisher kaum auf die Wirkung von Lärm untersucht. Es gibt nur vereinzelte festgestellte Reaktionen auf manche Schallintensitäten. Dazu gehören zum Beispiel reduzierte Nahrungsaufnahme und erhöhte Mortalität bei Garnelen und eine stark reduzierte Eiproduktion bei Mehlmotten.

Bei Heuschrecken hat man herausgefunden, dass sie die eher lauten Grünbrücken bei Strassen meiden, in vergleichbaren, aber leiseren Gebieten jedoch häufig vorkommen. Wahrscheinlich werden sie durch den Strassenlärm in ihrer akustischen Kommunikation gestört.

Ein interessantes Phänomen wird bei Maschinenlärm beobachtet: einige Insekten wie Mücken und Maulwurfsgrillen werden davon angezogen, wahrscheinlich weil das Geräuschspektrum ähnliche Frequenzen wie die der Paarungssignale der Weibchen beinhaltet.

Ebenfalls können amerikanische *Diplocardia*-Würmer mit niederfrequentem Schall, erzeugt durch das Schlagen eines Metallgegenstandes an eine im Boden befestigte Holzstange, aus dem Boden gelockt werden. Wahrscheinlich assoziieren die Würmer die Vibrationen mit einem Räuber, zum Beispiel einem Maulwurf, oder mit Regen, und flüchten deshalb aus dem Erdreich. Der in Europa vorkommende Regenwurm (*Lumbricus terrestris*) scheint allerdings nicht so zu reagieren.

2.6.2 Fische

Über Fische gibt es ebenfalls nur wenige Studien. Die meisten Arten können Schall sehr gut wahrnehmen, daher wäre eine negative Auswirkung von Lärm durchaus denkbar. Für hohe Schallintensitäten von über 90 dB wurden negative Wirkungen wie Fluchtverhalten und reduzierte Wachstumsrate festgestellt. Silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix*) zum Beispiel springen bei Motorbootslärm aus dem Wasser.

2.6.3 Amphibien

In dieser Tiergruppe sind vor allem die Froschlurche beeinträchtigt. Es gibt zwar Hinweise darauf, dass Frösche auch mit hoher Lärmbelastung durchaus klarkommen. So wurden an einem Weiher direkt an der Autobahn keine durch den Lärm verursachten Verhaltensstörungen beobachtet. Trotzdem kann Lärm bei Fröschen ähnliche Probleme verursachen wie bei Vögeln, denn auch sie sind vor allem in der Paarungszeit auf akustische Kommunikation angewiesen. Durch Lärm können diese wichtigen Signale maskiert und somit nicht mehr gehört werden. Bei weiblichen Fröschen kann es durchaus sein, dass deswegen die Männchen nicht mehr entdecken, ihre Qualität nicht erkennen oder nicht mehr zwischen den Arten unterscheiden können.

Ein problematischer Spezialfall ist die Störung der Bunten Schaufelfusskröte (*Scaphiopus couchi*) durch Motorenlärm. Die Bunte Schaufelfusskröte lebt in der Wüste und wenn kein Wasser vorhanden ist, gräbt sie sich ein und hält einen Sommerschlaf. Sobald es zu einem Gewitter kommt, verlässt die Kröte ihr Erdloch und pflanzt sich fort. Dabei zeigt ihr das Krachen des Gewitters an, dass die geeignete Temperatur und Feuchtigkeit vorhanden ist. Wenn nun ein Wüstenbuggy herumfährt, verwechselt die Kröte dessen Lärm mit dem Gewitter, und sie verlässt ihr Erdloch zur falschen Zeit, was fatale Folgen hat, wenn kein Wasser vorhanden ist.

Es gibt auch Studien, wo Einfluss von Lärm auf ganze Froschgemeinschaften nachgewiesen wird. So hat zum Beispiel der Taipei-Grasfrosch (*Rana taipehensis*) in verlärmten Gebieten einen Vorteil, weil er einen eher hochfrequenten Ruf hat, welcher vom menschlichen, niederfrequenten Lärm weniger überdeckt wird. Zudem zeigt er ein anderes Rufverhalten als die anderen Frösche: fliegt ein lautes Flugzeug über den Teich, verstummen die anderen Frösche, der Taipei-Grasfrosch jedoch erhöht seine Rufrate in dieser Rufpause. Unter diesen akustischen Umständen scheint der Taipei-Grasfrosch besonders konkurrenzfähig zu sein, was sich auch in seinem zahlenmässigen Überwiegen in der Froschgemeinschaft zeigt. Somit könnte in diesem Fall menschlicher Lärm durchaus Einfluss auf die Artenzusammensetzung haben. Es ist allerdings nicht ganz sicher, ob es wirklich nur der Lärm ist, der eine Rolle spielt, denn weitere Habitatparameter, welche manchmal für das Vorkommen oder Fehlen einer Art verantwortlich sind, werden in der Studie leider nicht beachtet.

2.6.4 Reptilien

Studien im Zusammenhang mit Lärm sind zu dieser Tiergruppe kaum vorhanden. Es gibt nur wenige Hinweise auf eine Störung durch Lärm, in den meisten Fällen scheint es keine Beeinträchtigung zu geben. Die meisten Reptilien können auch nicht besonders gut hören, mit der Ausnahme von Krokodilen. Schlangen sind sogar fast taub, reagieren aber sehr empfindlich auch Bodenerschütterungen.

Eine Art, welche durch Lärm gestört wird, ist der in der Wüste lebende Fransenfingerleguan (*Uma scoparia*). Wird er über 500 Sekunden lang dem 95 dB lauten Lärm von Dünenfahrzeugen ausgesetzt, verliert er für einen längeren Zeitraum sein Gehör. Dadurch erhöht sich die Prädationsgefahr. Zudem kann der Lärm dieser Dünenfahrzeuge den reproduktiven Erfolg vermindern, wenn er während der Hochsaison der reproduktiven Aktivitäten stattfindet.

2.6.4 Vögel

2.6.4.1 Strassenlärm

Eine grosse Studie in den Niederlanden hat herausgefunden, dass es in der Nähe von stark befahrenen Strassen artabhängig besonderes bei Singvögeln zu einer Abnahme der Dichte kommt. Dies gilt sowohl für Wald- als auch für Wiesenvögel. Wahrscheinlich ist der Hauptgrund die Maskierung der Reviergesänge durch den Strassenlärm. Allerdings ist das nur bei einem Teil der Arten nachweisbar. Einige kommen im verlärmten Strassenbereich sogar häufiger vor. Das wird damit erklärt, dass diese Vögel lärmunempfindlicher als andere sind, und nun in die konkurrenzärmer gewordenen Gebiete an der Strasse nachrücken. Bei Studien an Strassen besteht allerdings immer das Problem, dass der Lärm kaum isoliert betrachtet werden kann, da eine Strasse

auch noch visuelle und olfaktorische Störfaktoren beinhaltet und einen Barriereeffekt aufweist. In der genannten Studie in den Niederlanden kommt zudem dazu, dass die benutzte Schallpegelberechnung und die statistische Auswertung die Effektdistanzen wahrscheinlich überschätzt. Dennoch hat Strassenlärm, besonders in Kombination mit den anderen Störfaktoren, sicherlich einen negativen Einfluss, zumindest auf einige Vogelarten.

2.6.4.2 Fluglärm

Fluglärm in der Nähe von Flughäfen wirkt auf Vögel kaum störend. Die Tiere scheinen sich sehr gut an die regelmässig vorüberfliegenden Flugzeuge gewöhnen zu können. Ein Grund für die kaum vorhandene Störwirkung dieser Lärmform ist wahrscheinlich auch, dass es bei einem Flughafen nicht zu einem maskierungsfähigen Dauerlärm kommt, sondern die Vögel in den ruhigeren Phasen zwischen den Landungen und Abflügen genügend oft singen können und dabei auch gehört werden. Es kann sogar sein, dass Vögel auf Flughäfen besonders häufig sind und es zu Vogel-schlagproblemen kommt. Solche häufig vorkommende Arten sind zum Beispiel Feldlerchen (*Alauda arvensis*) und Nachtigallen (*Luscinia megarhynchos*). Ein total störungsfreies Leben ist aber doch nicht überall möglich. So werden zum Beispiel Flächen unmittelbar vor der Landebahn, welche sehr niedrig überflogen werden, gemieden. Das muss aber nicht zwingend mit dem Lärm zusammenhängen, sondern könnte auch durch den optischen Reiz ausgelöst werden.

Man hat ebenfalls eine Störung von Silbermöwen (*Larus argentatus*) beim Überflug der extrem lauten Concorde festgestellt. Die Vögel fliegen auf, obwohl sie bei den leiseren Flugzeugen keine Reaktion zeigen. Dieses Verhalten könnte allerdings auch mit der Seltenheit und den ausgelösten Vibrationen der Concorde zusammenhängen. Man hat allgemein festgestellt, dass überraschend auftretende Flugzeuge eher stören als regelmässige Überflüge.

2.6.4.3 Maschinenlärm

Besonders interessant sind Studien über laute und leise Gasförderungsstationen. Die Benutzung des lauten Kompressors zur Druckerhaltung in den Pipelines hängt allein vom Gasdruck ab, und ist unabhängig von anderen Faktoren wie zum Beispiel der Vegetation oder visuellen Störungen. Somit können andere Einflussfaktoren als der Lärmpegel ausgeschlossen werden. In Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Männchen des Pieperwaldsängers (*Seiurus aurocapilla*) in lauten Habitaten eine um 17% reduzierte Paarungswahrscheinlichkeit aufweisen als Männchen bei leisen Gasförderungsstationen. Dies hat einen negativen Einfluss auf die Populationsstruktur. Zudem erkannte man, dass viele Vögel weiter weg nisten, wenn die Anlage laut ist. Ebenfalls fand man Unterschiede in der Artenzusammensetzung der beiden Gebiete. Die gesamte Biodiversität der Vögel ist in der lauten Umgebung kleiner. Diese Resultate zeigen unmissverständlich, dass Lärm durchaus ganze Vogelmenschen beeinflussen kann.

2.6.4 Säugetiere

Auch bei Säugetieren inklusive Menschen konnten bis heute diverse negative Auswirkungen von Lärm festgestellt werden. Dazu gehören zum Beispiel Gehörschäden, Stress, Probleme beim Beutefang, Flucht, usw.

Besonders empfindlich sind Meeressäuger wie Wale, da sie auf akustische Signale für Kommunikation, Orientierung und Beutejagd angewiesen sind. Der massive Unterwasserlärm, verursacht durch die Schifffahrt, Erdölsuche und -förderung, wissenschaftliche Forschungen und von der Marine benutztes Sonar, ist eine starke Störung für die Tiere. In den letzten Jahren gab es immer wieder gestrandete Meeressäuger, und das kurz nach Marinen Trainingseinheiten mit hochintensivem, mittelfrequentem Sonar. Das Sonar bewirkt wahrscheinlich eine Änderung im Tauchprofil, weil die Tiere Schmerzen haben oder erschrecken. Der Lärm und dieses unnatürliche Tauchverhalten können zu akustisch induzierter Formung von Blasen und zur Dekompressionskrankheit führen. Im schlimmsten Fall sterben die Tiere und stranden an der Küste.

Eine gravierende Störung durch Lärm ist auch bei Fledermäusen denkbar, welche sich ja mithilfe von Schall orientieren und jagen. Allerdings ist eine Beeinträchtigung der Orientierung eher unwahrscheinlich, weil dafür hauptsächlich hohe Frequenzen benutzt werden, welche von den vorwiegend niederfrequenten menschlichen Lärmquellen nicht gestört werden. Zudem zeigen Beobachtungen an lauten Standorten wie Strassen ein normales Jagdverhalten, und die Tiere übernachten ja teilweise sogar an sehr lauten Orten wie etwa Kirchtürmen oder unter Strassenbrücken. Dies deutet darauf hin, dass die Fledermäuse durchaus mit beträchtlichem Lärm zurechtkommen können. Dennoch gibt es eine Studie über das Grosse Mausohr (*Myotis myotis*), welche auch negative Effekte von Lärm zeigt. So jagen die Tiere, welche ihre Beute durch deren Krabbelgeräusche erkennen, lieber in der leisen Umgebung und haben in den lauten Kompartimenten des Raumes länger, bis sie die Beute erfolgreich aufspüren.

3. Überlebensstrategien – wie sich Tiere an Lärm anpassen können

Ist der Lärm zu stark, sodass er anatomisch-physiologische Schäden verursacht, werden Tiere darunter leiden und wenn möglich das Gebiet verlassen. Sich an etwas anzupassen, was eine solch schädliche Wirkung hat, würde sehr schwierig sein. Es wäre höchstens denkbar, dass sich Tiere mit angeborenen Hörschäden in den betroffenen Gebieten ausbreiten, weil sie den Lärm weniger wahrnehmen und somit auch weniger durch ihn gestört werden.

Beschränkt sich die negative Wirkung des Lärms auf das Maskieren von Kommunikationssignalen und ist er ansonsten erträglich, gibt es verschiedene Möglichkeiten, damit zurechtkommen. Um die Kommunikation auch im Lärm aufrechterhalten zu können, muss entweder der Empfänger besser ausgerüstet sein, oder der Sender muss etwas an seinem Signal ändern. Änderungen am Signal sind einfacher kommen in der Natur häufiger vor. Dank flexiblen Verhaltensweisen und plastischem Phänotyp ist es manchen Tieren durchaus möglich, mit Lärm zurechtkommen. Die meisten der dazu benutzten Mechanismen sind wahrscheinlich irgendwann einmal zur Bewältigung von natürlichem Lärm evolviert, und diese werden nun einfach auch auf anthropogenen Lärm angewandt.

3.1 Anpassen des Signal-Designs

Wenn der Lärm das Kommunikationssignal maskiert, gibt es mehrere Reaktionsmöglichkeiten, wie man wieder besser wahrgenommen werden kann:

- 1) Erhöhen der Amplitude
- 2) Optimale Frequenzhöhe wählen
- 3) engere Frequenzbandbreite wählen
- 4) Verlängern des Signals
- 5) Erhöhen der Rufrate/Repetition des Signals
- 6) Zeitpunkt verschieben und in lauten Phasen kein Signal aussenden
- 7) Den Kommunikationskanal selbst verändern

Diese Reaktionen können:

- kurzfristige, phänotypisch plastische Antworten sein (z.B. Lombard-Effekt)
- langfristige, phänotypisch plastische Antworten sein (z.B. Lernen des Gesangs)
- evolutionäre Antworten via natürlicher Selektion sein

Wie und ob überhaupt reagiert werden kann, hängt stark von der Tierart ab. Manche Tiere können ihr Verhalten relativ einfach kurz- oder langfristig ändern, sodass das Signal schnell optimiert werden kann. Besitzt eine Art aber keine Form von plastischem Phänotyp, muss es via natürliche Selektion reagieren. Diese evolutionäre Antwort braucht mehrere Generationen Zeit, und es müssen

noch einige weitere Voraussetzungen da sein, damit eine Evolution überhaupt stattfinden kann. Dazu gehören bereits vorhandene Variationen im Signaldesign, Vererbbarkeit dieses Designs und Fitnessunterschiede zwischen den verschiedenen Signalen. Sind diese Eigenschaften nicht gegeben oder bleibt zu wenig Zeit, dann kann sich eine Art nicht auf diesem Weg an Lärm anpassen und wird vom entsprechenden Standort verschwinden.

3.1.1 Erhöhen der Amplitude

Diese kurzfristige Signalanpassung ist eine sehr verbreitete Methode, um einen Maskierungseffekt des Lärms zu verhindern. Das Erhöhen der Lautstärke sorgt dafür, dass ein genügend grosses Signal:Lärm-Verhältnis entsteht, und ist auch unter dem Begriff „Lombard-Effekt“ bekannt. Der Lombard-Effekt konnte bereits bei vielen Tieren nachgewiesen werden. Dazu gehören Vertreter der Frösche, Vögel, Katzen, Wale und Primaten. Auch wir Menschen kennen den Lombard-Effekt und erhöhen unwillkürlich die Lautstärke unserer Stimme, wenn der Hintergrundlärm zu laut wird.

Offen ist allerdings noch, ob und vor allem wo es eine obere Grenze gibt, wann die verschiedenen Arten nicht mehr mit dem Lombard-Effekt kompensieren können. In Studien, wo der Lombard-Effekt beobachtet werden konnte, wurden die Lärmpegel ungefähr in dem Bereich gewählt, in dem sich auch der urbane Lärm befindet. Es sollte also zumindest für einige von menschlichem Lärm betroffenen Tiere möglich sein, zu kompensieren.

Eine wichtige, aber ungeklärte Frage ist auch, wie viele Kosten das Verstärken des Signals mit sich bringt. Lauteres Singen könnte zu grösserem Energieverbrauch führen, was wiederum einen negativen Effekt auf die Fitness des Tieres hätte. Direkt nachgewiesen ist das nicht, da es keine Langzeitstudien zum Thema im Zusammenhang mit Lärm gibt. Es ist allerdings bei Singvögeln bekannt, dass lauterer Singen zu höherem Energieverbrauch führt. Ein weiterer Nachteil, der die Erhöhung der Lautstärke mit sich bringen kann, ist die grössere Gefahr, von Räubern entdeckt zu werden. Dass Nachteile vorhanden sind, zeigt sich auch darin, dass die Tiere an leisen Orten leiser rufen, obwohl sie ja eigentlich auch lauter rufen könnten und so noch besser gehört würden.

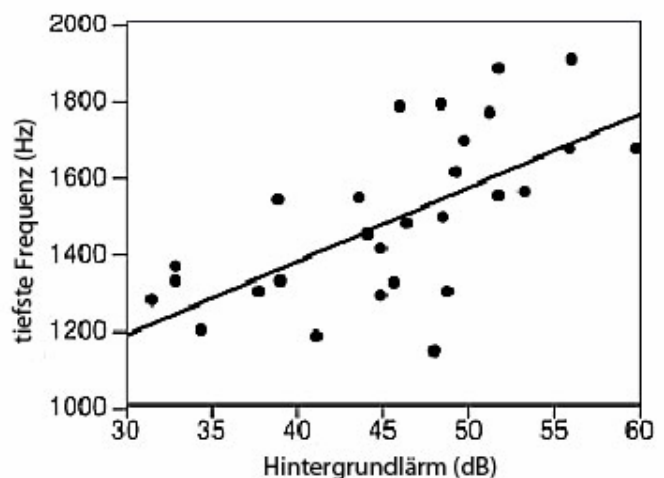
Das Erhöhen der Lautstärke ist also zwar eine relativ einfache und weit verbreitete Methode um gegen den Lärm anzukommen. Aber die erwähnten Nachteile fördern langfristig eher die Entwicklung von anderen Strategien, wie mit Lärm umgegangen werden kann.

3.1.2 Optimale Frequenzhöhe wählen

Ein weiterer Trick, um nicht vom Lärm überdeckt zu werden, ist die Änderung der Frequenz. Mit grösserem Frequenzabstand zwischen Signal und Lärmquelle sinkt nämlich der Maskierungseffekt.

Dazu gibt es einige Beispiele im Zusammenhang mit natürlichen Schallquellen. So haben Vögel und Frösche an Strömen im Laufe der Evolution ihr Signal teilweise in den Ultraschallbereich verschoben, welcher vom rauschenden Wasser nicht überdeckt wird. Auch einige Affen haben ihre Ruffrequenzen ebenfalls so angepasst, dass die Maskierung durch natürliche Umweltgeräusche minimiert wird.

Im menschlichen Lärm ist das Benutzen von erhöhten Frequenzen ebenfalls ein Vorteil. Darauf weist zum Beispiel eine Studie hin, in welcher die dominanten Frequenzen einer Vogelart und deren Entfernung zur Strasse miteinander verglichen wurden. Dabei zeigte sich: je näher am Strassenlärm, desto eher findet man eine Art, welche in vergleichsweise hohen Frequenzen singt.



Die Minimal-Frequenz im Gesang verschiedener Singammer-Individuen ist positiv mit dem Hintergrundlärm im jeweiligen Revier korreliert. (Bild, verändert: E. W. Wood, 2006)

Ein weiteres Beispiel betrifft Singammern (*Melospiza melodia*). In lauten Gebieten weisen sie eine höhere Minimalfrequenz auf und stecken vergleichsweise mehr Energie in die hohen Töne als in ruhigen Gebieten. So verhindern sie einen Maskierungseffekt durch den eher niederfrequenten Stadtlärm. Ob es sich bei solchen Frequenzverschiebungen um eine reflexartige Reaktion handelt, ähnlich wie der Lombard-Effekt (kurzfristige Antwort), ob der optimale Gesang zuerst gelernt, angepasst und gespeichert wird (langfristige Antwort) oder ob die Frequenzverschiebung sogar in den Genen festgelegt und somit vererbt wird (evolutionäre Antwort), ist wahrscheinlich von Art zu Art verschieden und muss zuerst in weiteren Studien abgeklärt werden.

Nicht nur Vögel kennen solche Reaktionen, sondern auch Frösche. Der Ewings Baumfrosch (*Litoria ewingii*) quakt in Teichen, welche stark von Strassenlärm betroffen sind, im Durchschnitt deutlich höher als in ruhigen Teichen. Dadurch wird er besser gehört. Bei Fröschen wird der Ruf im Allgemeinen angeboren und nicht teilweise erlernt wie zum Beispiel bei Vögeln. Das heisst also, dass es sich bei dieser Frequenz-Verschiebung wahrscheinlich um eine evolutionäre Anpassung handelt, welche an die Nachkommen weitervererbt wird.

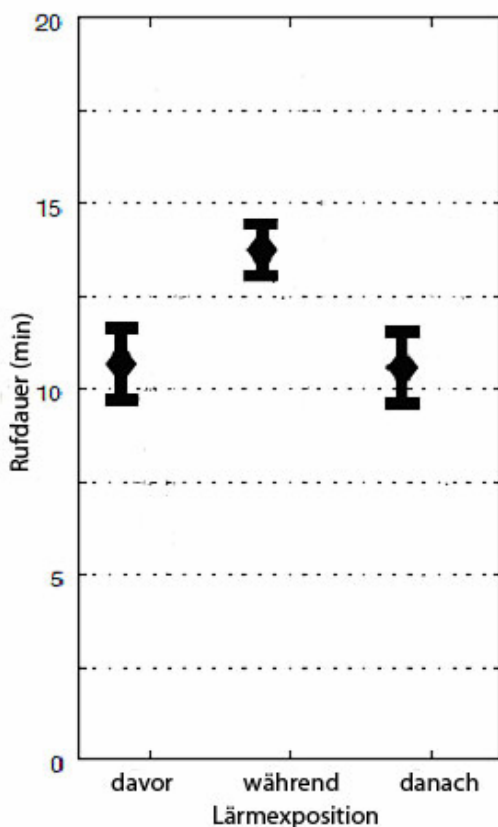
3.1.3 engere Frequenzbandweite wählen

Um im Lärm besser gehört zu werden, kann man nicht nur die Frequenzhöhe verändern, sondern auch die Frequenzbandweite einengen. Signale mit enger Frequenzbandweite (reine Töne) lassen sich bei Hintergrundlärm besser herauszuhören als Signale mit breiter Frequenzbandweite (z.B. Summen). Es gibt Hinweise darauf, dass im Gesang von Vögeln entlang lauter Ströme eher reine Töne dominieren. Zur Anpassung der Frequenzbandweite im Zusammenhang mit menschlichem Lärm ist allerdings bis zum heutigen Zeitpunkt noch nichts bekannt.

3.1.4 Verlängern des Signals

Die Wahrscheinlichkeit, von einem Artgenossen gehört zu werden, nimmt mit der Dauer des Signals zu. Deshalb ist das Verlängern des Signals ebenfalls eine Strategie, den Maskierungseffekt

des Lärms zu kompensieren. Solche Reaktionen wurden im Zusammenhang mit Lärm schon bei einigen Tierarten beobachtet: Der Buckelwal (*Megaptera novaeangliae*) im Sonarlärm verlängert seine Gesänge im Durchschnitt um etwa 29%, und Orkas (*Orcinus orca*) rufen ebenfalls länger in Anwesenheit von Schiffslärm. Auch der Weissbüschelaffe verlängert im Lärm die einzelnen Silben und somit auch die gesamte Dauer seines Schnatterrufes.

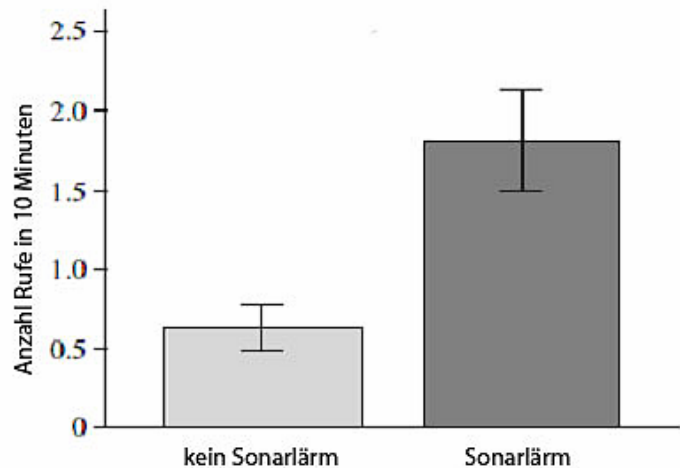


Sind Buckelwale Sonarlärm ausgesetzt, dauern ihre Gesänge länger als vor oder nach dieser Lärmexposition. Die Datenpunkte zeigen Durchschnittswerte von mehreren Männchen. (Bild, verändert: P. J. O. Miller, 2000)

3.1.5 Erhöhen der Rufrate/Repetition des Signals

Öfter rufen und sein Signal mehrmals wiederholen verbessert ebenfalls die Chance, trotz Lärm gehört zu werden. Im Vergleich zu Kohlmeisen (*Parus major*) in den ruhigeren Wäldern erhöhen die Kohlmeisen in den lauten Städten neben ihrer Minimalfrequenz auch ihre Rufrate. Dazu verkürzen sie ihren Gesang und wiederholen ihn dafür schneller. Dieses optimierte Gesangsmuster wird wahrscheinlich von den Tieren im Laufe ihres Lebens gelernt, könnte aber auch genetisch festgelegt sein.

Auch bei einigen Fröschen, zum Beispiel den Taipei-Grasfröschen (*Rana taipehensis*), und Blauwalen (*Balaenoptera musculus*) wurde beobachtet, dass sie im Lärm öfter rufen. Wenn es wieder ruhiger wird, normalisiert sich ihre Rufrate wieder. Es handelt sich dabei also um eine kurzfristige Reaktion. Eine Erhöhung der Rufrate könnte zur Folge haben, dass ein Tier mehr Energie verbraucht. Das wäre dann schlecht für seine Fitness. Andererseits wird das Tier eher gehört und zumindest von vielen Froschweibchen ist bekannt, dass sie Männchen mit hoher Rufrate bevorzugen. Darum kann es unter dem Strich durchaus vorteilhaft sein, wenn man öfter ruft.



Ist Sonarlärm vorhanden, rufen Blauwale deutlich öfter als in ruhigen Phasen. (Bild, verändert: L. Di Iorio, 2009)

3.1.6 Zeitpunkt verschieben und in lauten Phasen kein Signal aussenden

Wenn der Lärmpegel nicht ununterbrochen zu hoch ist, gibt es die Möglichkeit, den Zeitpunkt des Signals in eine ruhigere Phase zu verschieben. Bei Vögeln gibt es durchaus solche Verschiebungen. In einer Studie konnte gezeigt werden, dass Vögel in der Stadt ihr Morgenkonzert früher abhalten als im Wald. Der Autor argumentiert zwar, das läge am Licht. Es könnte allerdings auch sein, dass die Vögel mit dem verfrühten Gesang dem Lärm des Morgenverkehrs ausweichen möchten. Welche der beiden Erklärungen stimmt, muss noch weiter untersucht werden. Einen Hinweis darauf, dass eher der Lärm und nicht das Licht den Zeitpunkt des Gesangs bestimmt, gibt eine Studie über Wanderdrosseln (*Turdus migratorius*). Diese Tiere singen öfter in der Nacht, je lauter ihr Standort ist. Die Lichtverschmutzung hingegen erklärt die gesammelten Daten weniger gut.

Einige Frösche und Meeressäuger verschieben zwar das Aussenden ihrer Signale nicht wirklich auf einen späteren Zeitpunkt, aber zumindest stoppen sie ihr Signal für die Dauer des Lärms (z.B. während eines Flugzeugüberfluges). Das macht insofern Sinn, als dass sie in dieser Zeit sowieso kaum gehört würden und sie sich die Energie besser sparen.

3.1.7 Den Kommunikationskanal selbst verändern

Schliesslich gibt es noch die Möglichkeit, den Kommunikationskanal selbst zu verändern. Als Ergänzung oder Ersatz der akustischen Kommunikation, welche durch Lärm erschwert wird, kann zum Beispiel noch ein visuelles Signal ausgesendet werden. So gibt es Frösche, welche zusätzlich zum Quaken ihre Beine strecken oder „winken“. Somit können sie, auch wenn sie vom Weibchen wegen der relativ lauten natürlichen Umgebung zwar kaum gehört werden, trotzdem Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Eine solche Änderung des Kommunikationskanals als Reaktion auf menschlichen Lärm ist bis heute allerdings nicht bekannt.

3.2 Ausgewählte Beispiele aus der Tierwelt

3.2.1 Frösche quaken bei Verkehrslärm in höheren Tonlagen

Männliche Frösche quaken, um Weibchen anzulocken oder um ihr Revier zu verteidigen. Kommt nun Hindergrundlärm dazu, kann das dazu führen, dass die Rufe nicht mehr gehört werden.



Der Ewings Baumfrosch quakt bei Lärm in höheren Tonlagen. (Bild: 8)

Besonders Strassenlärm hat ungefähr die gleiche Frequenz wie das Quaken und maskiert es. Zumindest eine Froschart scheint sich nun daran angepasst zu haben. Untersucht wurde der Ewings Baumfrosch (*Litoria ewingii*) aus Südaustralien. Dazu hat man verschiedene Teiche betrachtet und dort die Rufe des Frosches analysiert. Dabei hat man festgestellt, dass die Frösche im Teich, der am stärksten von Strassenlärm betroffen war, im Durchschnitt etwa 123 Hz höher quaken als die Frösche im ruhigsten Teich. Dadurch wird ihr Rufen trotz des Strassenlärms auch in etwas grösserer Entfernung noch gehört. Der Ruf der Frösche ist angeboren und nicht teilweise erlernt wie zum Beispiel bei Vögeln. Das heisst also, dass es sich bei dieser Frequenz-Verschiebung wahrscheinlich um eine evolutionäre Anpassung handelt, die auch an die Nachkommen weitervererbt wird.

3.2.2 *Dendropsophus triangulum*, ein neotropischer Baumfrosch, erhöht im Lärm die Ruftrate

Diese Frösche reagieren auf vorgespielten Motorradlärm, indem sie ihre Ruftrate erhöhen. Sobald wieder Ruhe ist, rufen sie wieder mit ihrer gewohnten Rate. Das Gleiche passiert bei beim Vorspielen von Musik oder von natürlichem Teichgequake. Die anderen Frösche im Teich reagieren ebenfalls mit einer Erhöhung der Ruftrate, oder aber sie stoppen ihr Rufen. Diese Beobachtungen wurden allerdings nicht getestet. Eine Erhöhung der Ruftrate hat zur Folge, dass der männliche Frosch mehr Energie verbraucht. Das ist schlecht für seine Fitness. Andererseits wird er so eher von einem Weibchen entdeckt und er kann sich fortpflanzen, was für seine Fitness wiederum positiv ist. Zudem bevorzugen die Weibchen vieler Froscharten Männchen mit hoher Ruftrate.



Wird ihm Motorradlärm vorgespielt, beginnt *Dendropsophus triangulum* öfter zu rufen. (Bild: 10)

3.2.3 Wirkung des menschlichen Lärms auf eine ganze Froschgemeinschaft

Bei einer Studie in Thailand zeigte sich in Teichen mit mehreren Froscharten folgendes Bild: einige Froscharten sind sehr starke Rufer (dominante Spezies) und andere rufen weniger oft. Zu den dominanten Rufern gehören der Marmor Engmaulfrosch (*Microhyla butleri*) und der Schwarzseitenfrosch (*Rana nigrovittata*), der Taipei-Grasfrosch (*Rana taipehensis*) hingegen quakt relativ wenig. Der Taipei-Frosch hebt sich dafür aber von den relativ dominanten Rufen der anderen Frösche ab, indem er natürlicherweise in höheren Frequenzen quakt. Sobald es nun zu menschlichem Lärm kommt, etwa durch ein vorüberfliegendes Flugzeug oder vorgespielten Motorradlärm, nehmen die Rufraten der dominanten, eher niederfrequent rufenden Arten drastisch ab, wahrscheinlich weil sie vom Frequenzspektrum her ähnlich wie die Lärmquellen sind, deshalb von ihnen überdeckt werden und es nicht viel Sinn macht, noch weiter zu rufen. Der Taipei-Grasfrosch hingegen beginnt während der Lärmeinwirkung öfter zu rufen. Der menschliche Lärm führt also bei den dominanten Arten dazu, dass sie weniger quaken. Somit wird es trotz der zusätzlichen Lärmquelle insgesamt leiser im Teich, was die nicht dominante Art, der Taipei-Grasfrosch, nutzt. Er reagiert auf die Lärmreduktion in seiner Nähe und erhöht seine Ruftrate und somit seine Chance, in dieser ruhigeren Phase von einem Weibchen gehört zu werden. Dieses

Beispiel zeigt, dass Lärm nicht nur direkt auf Individuen wirkt, sondern auch eine indirekte Wirkung via Verhalten anderer Arten haben kann. In diesem Fall scheint der Lärm sogar einen Einfluss auf die Artzusammensetzung im Teich zu haben, denn der Taipei-Grasfrosch überwiegt in lauten Teichen zahlenmässig.

3.2.4 Nachtigallen singen im Lärm lauter

Nachtigallen (*Luscinia megarhynchos*) sind für ihren melodischen und abwechslungsreichen Gesang bekannt. Sie leben in Wäldern, aber auch in der Stadt, wobei sie in der Stadt gegen den dort herrschenden Lärm ankämpfen müssen. Die Nachtigallen in Berlin lösen das Problem, indem sie einfach lauter singen. In den lautesten Gebieten der Stadt (64 dB Hintergrundlärm) singen die Vögel bis zu 14 dB lauter als in den leiseren Gebieten (40 dB Hintergrundlärm). Die Erhöhung ihres Gesanges von durchschnittlich 77 dB auf 91 dB entspricht etwa einer Verfünfachung des Schalldrucks! Zudem singen die Vögel am ruhigeren Wochenende leiser als an den Werktagen. Diese Anpassung der Lautstärke ist auch als „Lombard Effekt“ bekannt. Diese Erhöhung der Lautstärke könnte allerdings auch Kosten mit sich bringen: wird lauter gesungen, wird dazu mehr Energie verbraucht. Das könnte die Vögel auf die Dauer schwächen und einen negativen Effekt auf ihre Überlebenschancen haben.



Die Nachtigall erhöht im Lärm einfach die Lautstärke ihres Gesanges. (Bild: 16)

3.2.5 Singammern rufen in lauten Gebieten in höheren Tönen

Die Männchen der Singammern (*Melospiza melodia*) weisen ein breites Repertoire an verschiedenen Melodien auf, welche wichtig für das Territorialverhalten und die Partnersuche sind. Eine nordamerikanische Studie hat nun den Gesang der Singammern in verschiedenen lärmbelasteten Stadtteilen miteinander verglichen. Dabei sind ihnen zwei Dinge aufgefallen: In den lauten Gebieten zeigten die Tiere eine höhere Minimalfrequenz und sie steckten mehr Energie in die hohen Töne des Vogelgesanges als in die tiefen.

Für diese beobachtete Verschiebung gibt es drei verschiedene Erklärungsmöglichkeiten, deren Gültigkeit in weiteren Studien abgeklärt werden müssen:

1. Die Tiere wählen, je nach Umgebungslärm, die beste Melodie aus ihrem Gesangsrepertoire aus. In lauter Umgebung wären das die hochfrequenten Melodien. Dieses Auswählen der Melodie wäre ein angeborener Reflex, etwa ähnlich wie der Lombard-Effekt.
2. Die Vögel passen im Laufe ihres Lebens ihren Gesang an die Lärmsituation an. Werden sie im Lärm schlecht gehört, lernen sie, in ihren Melodien die hohen Töne zu betonen. Dieser Prozess könnte auch im juvenilen Stadium stattfinden, während dem sie den Gesang von der älteren Generation lernen. Im Lärm können sie die tiefen Töne gar nicht erst hören, sodass sie sie auch nicht lernen können. Wäre das der Fall, würde es sich um eine langfristige Reaktion handeln, welche jedoch nicht angeboren, sondern erlernt ist.
3. Weil höher rufende Singammern grösseren Erfolg in der Kommunikation und somit einen Vorteil z.B. bei der Partnerwahl haben, könnten sie von der natürlichen Selektion bevorzugt werden. Die niederfrequent Singenden hingegen sterben in den lauten Gebieten aus. Falls die Gesangshöhe vererbbar wäre, würde es sich dabei um einen evolutionären Prozess handeln. Es könnten sich mit der Zeit zwei Populationen oder sogar zwei Arten bilden, eine städtische und eine ländliche, welche sich im Gesang unterscheiden. Studien haben gezeigt, dass weibliche Singammern Männchen aus nahen Populationen bevorzugen, was eine Aufspaltung in städtische und ländliche Populationen noch fördern würde. Zudem zeigen neuere Studien, dass es tatsächlich genetische Unterschiede zwischen Stadt- und Waldpopulationen von Singvögeln gibt. Diese genetischen Unterschiede könnten, zumindest teilweise, auch für Unterschiede im Gesang verantwortlich sein.

3.2.6 Der Gesang der Kohlmeisen unterscheidet sich je nach Lärmbelastung

Kohlmeisen (*Parus major*) verfügen über einen sehr variablen Gesang und imitieren oft auch andere Meisenarten. Wenn man das Weibchen im Nest erschreckt, kann es sogar zischen wie eine Schlange. In Studien in verschiedenen europäischen Städten und Wäldern hat man nun die Gesänge der Männchen untersucht.



Die Kohlmeise reagiert auf Lärm, indem sie ihre Frequenz erhöht. Zudem werden die Gesänge gekürzt, dafür aber öfter wiederholt. (Bild: 15)

Dabei hat man eine Korrelation zwischen der durchschnittlichen gesungenen Minimalfrequenz und der Lärmbelastung pro Standort gefunden: Je grösser der Stadtlärm ist, desto höher singen die Kohlmeisen. Hohe Töne sind im niederfrequenten Stadtlärm von Vorteil, da sie weniger überdeckt werden und die Männchen somit eher gehört werden. Zudem fand man heraus, dass die Gesänge in der Stadt kürzer sind, aber schneller wiederholt werden. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Tiere gehört werden. Von Kohlmeisen weiss man, dass ihr Gesang zu Beginn noch sehr plastisch ist und er dann im Brutgebiet während der Interaktion mit Nachbartieren verfeinert

und angepasst wird. Kohlmeisen können also dank dieser Plastizität bis zu einem gewissen Grad auf den Umgebungslärm reagieren und ihren Gesang optimieren.

3.2.7 Lärm führt bei Wanderdrosseln zu nächtlichem Singen

Wanderdrosseln (*Turdus migratorius*) sind stark auf ihre akustische Verständigung angewiesen, zum Beispiel um ihr Revier zu markieren oder für die Partnersuche. Wenn der Strassenlärm jedoch zu gross wird, stört er diese wichtige Kommunikation. In einer Studie hat man nun die singenden Vögel in der Nacht und am Tag an verschiedenen Standorten in der Stadt gezählt. Dabei hat man herausgefunden: je lauter der Standort tagsüber ist, desto mehr Wanderdrosseln singen in der Nacht. Die Vögel passen ihr Singverhalten also dem Umgebungslärm an und verschieben bei zu grosser Belastung ihren Gesang in die ruhigere Nachtphase. Allerdings hat auch die städtische Beleuchtung einen Einfluss auf den Gesang und bringt den Tag-Nacht-Rhythmus durcheinander. Welcher Faktor die grössere Rolle spielt, ist noch unklar.



Ist der Lärm in der Stadt tagsüber zu gross, singen Wanderdrosseln in der Nacht. (Bild: 20)

3.2.8 Bei Schiffslärm verlängern Orkas ihre Rufe

Orkas (*Orcinus orca*) jagen in Gruppen und sind sehr soziale Tiere. Die akustische Kommunikation spielt deshalb eine wichtige Rolle. Diese wird jedoch zusehends durch menschlichen Lärm gestört. Eine dieser Lärmquellen sind die Motoren der Schiffe und Boote. Dieser Schiffslärm hat in den letzten Jahrzehnten immer mehr zugenommen und kann die Kommunikation der Orkas stören. Im Vergleich von Rufaufnahmen der Tiere aus den Jahren 1977 – 2003 wurde festgestellt, dass die Tiere ihre Rufdauer in der Anwesenheit von Schiffen verlängern. Dies machen sie allerdings erst seit den späteren Jahren, in denen deutlich mehr Schiffe vorhanden waren. Das deutet darauf hin, dass die Wale ab einem gewissen Schwellenwert an Störung auf den Lärm reagieren können, indem sie ihre Rufe verlängern.

3.2.9 Buckelwalgesänge im Sonarlärm dauern länger

Der Gesang der Buckelwale (*Megaptera novaeangliae*) ist ein wichtiges Element des Paarungsverhaltens der Männchen. Es sind über 600 verschiedene Laute möglich, und mit einer Lautstärke von bis zu 190 dB gehört der Buckelwalgesang zu den lautesten Rufen im Tierreich. Trotzdem ist auch der Buckelwal vom Unterwasserlärm betroffen. In einer Studie hat man verschiedenen Tieren Aufnahmen von niederfrequenten (50 Hz bis 3 kHz) Aktivsonaren, welche normalerweise für die Ortung von U-Booten benutzt werden, vorgespielt und deren Gesangsdauer gemessen. Dabei hat man herausgefunden, dass der Gesang, falls den Tieren die Aktivsonare vorgespielt werden, im Durchschnitt 29% länger dauert als ohne Beschallung. Sobald man den



Lärm wieder abstellt, singen die Tiere wieder für die normale Dauer. Es handelt sich also um eine kurzfristige Antwort, die wahrscheinlich dazu dient, die akustische Interferenz, entstehend durch den zusätzlichen Sonarlärm, zu kompensieren.

Wie Orkas verlängern Buckelwale bei Lärm ihre Gesänge. (Bild: 22)

3.2.10 Während seismischen Untersuchungen rufen Blauwale öfter als in ruhigen Phasen

Wie bei allen Walen spielt auch beim Blauwal (*Balaenoptera musculus*) akustische Kommunikation eine wichtige Rolle. Durch ihr Rufen bleiben die Tiere auch bei grosser Entfernung miteinander in Kontakt. Diese wichtige Kommunikation wird aber durch den Lärm in den Ozeanen zusehends gestört. Eine Studie hat nun die Wirkung von Sonar untersucht, welcher für seismische Untersuchungen benutzt wird. Dessen Frequenzbereich überlappt mit dem Frequenzbereich der Walrufe. Nun hat man in dieser Studie herausgefunden, dass Blauwale auf den Lärm reagieren können. An Tagen, an denen seismische Untersuchungen stattfinden, rufen die Wale öfter als an ruhigen Tagen. Zudem rufen sie an den Tagen mit seismischen Untersuchungen während der Lärmperiode öfter als in den Pausen. Die Wale versuchen wahrscheinlich, durch öfters Rufen den Maskierungseffekt der Sonargeräte zu übertönen. Der Umgebungslärm führt also dazu, dass sie ihr Rufverhalten verändern und anpassen.

3.2.11 Grosse Mausohren vermeiden bei der Jagd laute Gebiete

Bei Fledermäusen dient Schall in erster Linie nicht der Kommunikation wie bei den meisten anderen Tieren, sondern der Orientierung und der Jagd. Darum könnten Fledermäuse durch Lärm



Das grosse Mausohr jagt lieber in ruhigen Gebieten als im Lärm. (Bild: 23)

bei der Futtersuche gestört werden. Ob dies so ist, wurde in einem Experiment mit grossen Mausohren (*Myotis myotis*) getestet. Grosse Mausohren ernähren sich von am Boden lebenden Insekten. Diese könne sie zwar nicht mit Ultraschall orten, weil das Echo des Bodens die Reflexionen des Käfers überdecken, aber sie können die raschelnden Geräusche der Käfer hören und sie so aufspüren.

In einem Experiment teilte man einen Raum in zwei Kompartimente und liess die Tiere frei auswählen, in

welchem sie lieber jagen. In den Kompartimenten war es entweder ruhig oder man spielte computergenerierten Breitbandlärm (weisses Rauschen), Strassenlärmaufnahmen (10-15m Abstand zur Strasse) oder das Geräusch von windbewegtem Schilf (allerdings unnatürlich laut, dennoch etwa 12 dB leiser als der Strassenlärm) ab. Das Ergebnis war ziemlich überraschend. Die Tiere bevorzugen zwar eindeutig die ruhigen Kompartimente, aber sie jagen auch in den lauten. Am

stärksten meiden sie den Breitbandlärm, dann den Vegetationslärm und am wenigsten stört sie der Strassenlärm. Am meisten Jagderfolg haben sie im ruhigen Kompartiment, dann im Strassen- und Vegetationslärm und am schlechtesten jagen sie im künstlichen Breitbandlärm. Die Flug- und Landefähigkeit war in allen Umgebungen gleich gut, was darauf hindeutet, dass das Echolotsystem der Tiere durch den Lärm nicht gestört wird. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die entsprechenden Frequenzen durch die Playbacks auch gar nicht abgedeckt waren. Von den verschiedenen Lärmarten sind die natürlichen Vegetationsgeräusche dem Rascheln der Käfer am ähnlichsten. Deshalb haben die Fledermäuse dort wahrscheinlich grössere Probleme, ihre Beute zu finden, als im lauterem Strassenlärm. Trotzdem stört auch der Verkehrslärm die Tiere bei der Futtersuche, sodass sie Strassen in freier Wildbahn wohl auch lieber meiden und somit potenzielle Jagdgebiete wegfallen. Und das wiederum hat einen negativen Einfluss auf die sonst schon gefährdeten und schutzbedürftigen Populationen der Grossen Mausohren.

3.2.12 Weissbüschelaffen schnattern im Lärm lauter und länger

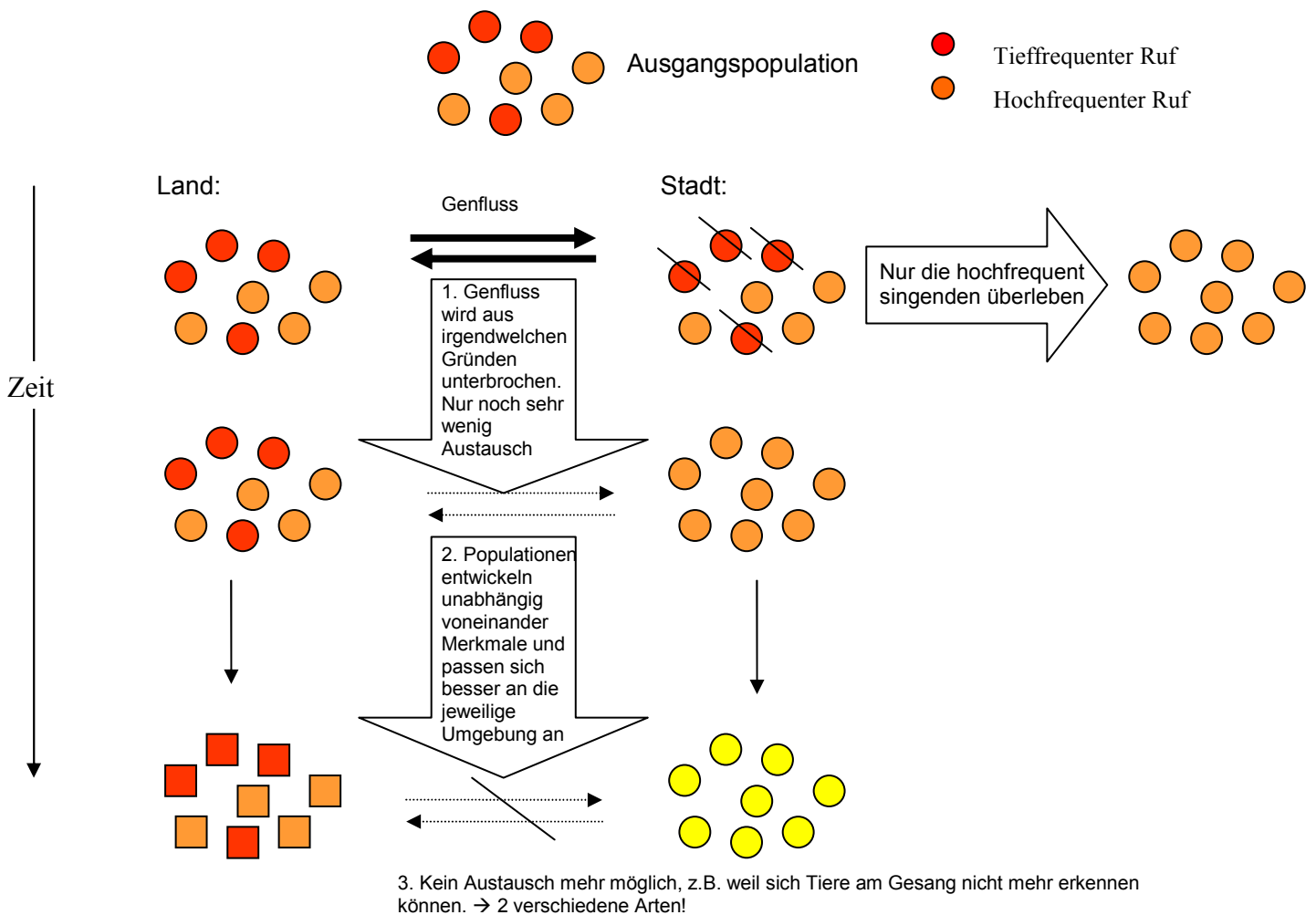
Über das Geräuscherepertoire von Weissbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) ist bereits viel bekannt. So benutzen sie zum Beispiel relativ oft einen „Schnatterruf“, der aus mehreren kurzen Silben besteht und wahrscheinlich eine Rolle im Gruppenzusammenhalt spielt. Wenn sich die Tiere im Lärm befinden (Weisses Rauschen, 40, 50, 60, 65 dB) erhöhen sie die Lautstärke dieses Schnatterrufs. Zudem verlängern sie die einzelnen Silben, sodass der gesamte Ruf länger wird, ohne dass sich die Anzahl der Silben verändert. Die Lautstärke und Rufdauer sind bei diesen Tieren also flexible Eigenschaften, welche sie je nach Umgebungslärm anpassen können. Mit der Verlängerung des Signals und der Erhöhung der Lautstärke ist es einfacher, gehört und lokalisiert zu werden. Dies wiederum ist im dichten Wald wichtig, um als Gruppe zusammenbleiben zu können.

3.3 Akustische Divergenz und Artbildung

Eine Art kann sich unter bestimmten Umständen in zwei verschiedene Arten aufspalten. Dazu muss der Genfluss zwischen zwei Populationen unterbrochen werden, es muss zu genetischer und ökologischer Separation kommen und schliesslich müssen die beiden Arten voneinander reproduktiv isoliert werden. Könnte eine solche Aufspaltung auch aufgrund von Lärm geschehen? Das Potenzial wäre durchaus vorhanden. Lärm weist eine grosse räumliche Heterogenität auf. Es gibt Gebiete mit viel Lärm (z.B. in der Stadt oder an einer stark befahrenen Strasse) und Gebiete mit wenig Lärm (z.B. auf dem Land oder in ruhigen Wohnquartieren). Zudem ist dieser Lärm oft konstant und voraussagbar, was eine wichtige Bedingung ist, damit sich ein Tier überhaupt entsprechend anpassen kann. Weitere allgemeine Voraussetzungen für eine evolutionäre Entwicklung sind bereits vorhandene Variationen in einem Merkmal (zum Beispiel im Signal-design), dessen Vererbbarkeit und Fitnessunterschiede zwischen den verschiedenen Variationen.

Nehmen wir nun einmal an, es gibt zwei Populationen von Singvögeln. Die eine lebt in der lauten Stadt, die andere im leiseren Wald. In der lauten Stadt sind die Vögel gezwungen, irgendwie gegen den Lärm anzukommen. Eine Möglichkeit wäre, in höheren Frequenzen zu rufen. Es kann nun sein, dass in beiden Populationen eine natürliche Varianz in der Frequenzhöhe des Gesangs besteht, das heisst, einzelne Individuen singen in leicht höheren Frequenzen als andere. Nehmen wir zudem an, dass diese Frequenzhöhe genetisch festgelegt ist. Diese hochfrequent singenden Individuen werden in der lauten Stadt einen Vorteil haben, sich gut vermehren können und ihre Gene weitergeben. Die niederfrequent singenden Individuen hingegen können sich in der lauten Stadt nicht durchsetzen, weil ihr Gesang stärker maskiert wird, und sterben in der Stadt aus. Die drei Voraussetzungen für eine Evolution (Variation, Vererbbarkeit und Fitnessunterschiede) wären für dieses Beispiel also gegeben. Da die niederfrequent singenden Tiere im Wald erhalten bleiben, in der Stadt jedoch nicht, ist durchschnittliche Frequenzhöhe auf dem Land nun tiefer als in der Stadt. Es gibt also Unterschiede zwischen den beiden Populationen.

Gibt es viel Austausch, paaren sich also viele Vögel vom Land mit Stadtvögeln und umgekehrt, wird es kaum zu einer Spezifikation kommen, weil sich die Tiere der beiden Populationen und ihre Merkmale immer wieder vermischen. Ist der Austausch aus irgendwelchen Gründen allerdings gering und kommt es zu einem Unterbruch des Genflusses zwischen Stadt und Land, können sich die Populationen unabhängig voneinander entwickeln, verändern und sich an die jeweilige Umgebung anpassen. Denkbar wäre zum Beispiel, dass die Stadtpopulation im Laufe der Evolution die Frequenzhöhe ihres Gesanges noch weiter erhöht und ihren Gesang noch optimaler an das Leben im Lärm anpasst. Wird der Unterschied zwischen den Populationen mit der Zeit zu gross, kann es sein, dass sich die beiden Populationen irgendwann gar nicht mehr erkennen und nicht mehr miteinander paaren. In diesem Beispiel könnte es geschehen, dass die städtischen Weibchen mit der Zeit nur noch städtische Männchen als ihre Art erkennen und ländliche Weibchen nur noch ländliche Männchen, weil die verschiedenen Populationen zu unterschiedliche Gesänge haben. Die beiden Populationen sind dadurch reproduktiv voneinander isoliert und werden sich unabhängig voneinander zu eigenen (Unter-)Arten entwickeln.



Ist das alles nur Theorie oder passiert dies auch in der Realität? Es gibt tatsächlich einen schwachen Hinweis darauf, dass die Unterschiede zwischen den Minimalfrequenzen der verschiedenen Grünbülbül-Populationen (*Andropadus virens*) von Unterschieden in der Lärmumgebung stammen. Die leicht verschiedenen Gesänge sind zudem mit morphologischen Unterschieden korreliert. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass sich die beiden Populationen nicht mehr genügend vermischen und eigene spezifische Merkmale entwickeln. Es kann also sein, dass sich hier mit der Zeit eine neue (Unter-)Art bildet und sich die die Population in eine an Lärm angepasste und an eine an ruhige Standorte angepasste Art aufspaltet.

4. Schlussfolgerungen

Lärm kann verschiedene und komplexe Wirkungen haben und Tiere reagieren sehr unterschiedlich darauf. Wie soll man damit umgehen?

Das Umweltschutzgesetz soll zwar „Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume gegen schädliche oder lästige Einwirkungen schützen sowie die natürlichen Lebensgrundlagen, insbesondere die biologische Vielfalt und die Fruchtbarkeit des Bodens, dauerhaft erhalten“ (USG Art. 1). Beim Thema Lärm beziehen sich die Schutzmassnahmen allerdings hauptsächlich auf den Menschen. Das Gleiche gilt für die Lärmschutzverordnung, worin der Schutz der Natur nirgends erwähnt wird. Ein Grund für das Fehlen eines solchen Schutzes könnte sein, dass immer noch relativ wenig über die komplexen Auswirkungen von Lärm auf Tiere bekannt ist. Deshalb muss es noch mehr Untersuchungen zu diesem Thema geben. Denn obwohl auch in den letzten Jahren viel geforscht wurde, weiss man immer noch zu wenig, und allgemeine Aussagen lassen sich nur sehr beschränkt machen. Zudem ist es in vielen Studien ein Problem, dass der Lärm nicht separat betrachtet wird. Untersucht man zum Beispiel die Störwirkung einer Strasse, sind immer noch visuelle und olfaktorische Faktoren dabei, die das Verhalten der Tiere ebenfalls beeinflussen. Oder versucht man die Wirkung von Lärm auf eine Lebensgemeinschaft herauszufinden, müssen auch die anderen möglichen Einflussfaktoren, neben dem Lärm, betrachtet werden. Daran muss man auch in Zukunft denken und Studien entsprechend planen und anpassen.

Dennoch ist es bereits heute eine Tatsache, dass Lärm, zumindest für einige Arten, sehr schädlich sein kann. Deshalb sollte man diese wo immer möglich davor bewahren. Das ist nicht ganz einfach, denn man kann nicht einfach überall Lärmschutzwände aufstellen. Das wäre aus landschaftschützerischer Sicht sehr problematisch und zudem würden die Wände für viele Tiere eine Barriere sein und weitere Probleme verursachen. Es sind also andere Lösungen gefragt. Die Lärmbelastung an der Quelle zu verringern ist sicher eine gute Idee. Davon würden auch geplagte Menschen profitieren. Lärmarme Strassenbeläge und Autoreifen wären da zum Beispiel eine Möglichkeit. Eine weitere sinnvolle Massnahme wäre es, den Lärm zu bündeln. Also anstatt eine zusätzliche Strasse zu bauen, sollte eher eine bereits bestehende Strasse ausgebaut werden. Somit bleiben noch unbelastete Gebiete auch in Zukunft lärmfrei. Man könnte sich auch überlegen, Ruhezonen einzurichten, welche einen besonderen Schutzstatus haben und wo keine Form von Lärm erlaubt ist. Trotz allen Bemühungen wird es immer Gebiete geben, welche von Lärmmissionen betroffen sind. Für die dort vorhandenen Ökosysteme gilt es deshalb, Ausgleichsflächen zu bieten. Denn nur so kann garantiert werden, dass uns auch in Zukunft eine vielfältige und gesunde Natur erhalten bleibt.