



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för ekologi

# **Effekterna av landbaserad antropogen ljutföröroening på fågelsamhällets artsammansättning - en litteraturstudie**

The Effects of Terrestrial Noise Pollution on the Species Composition of  
Avian Communities

– A Review

*Daniel Schrire*

Kandidatarbete i biologi 15 hp  
Uppsala 2017

**Självständigt arbete/Examensarbete / SLU, Institutionen för ekologi 2017:5**

# Effekterna av landbaserad antropogen ljudförorening på fågelsamhällets artsammansättning – en litteraturstudie

The Effects of Terrestrial Noise Pollution on the Species Composition of Avian Communities – A Review

*Daniel Schrire*

**Handledare:** Debora Arlt, SLU, Institutionen för ekologi, Enheten för populationsekologi

**Examinator:** Erik Öckinger, SLU, Institutionen för ekologi, Enheten för lantbruksentomologi

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i biologi

**Kurskod:** EX0689

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2017

**Serietitel:** Självständigt arbete/Examensarbete / SLU, Institutionen för ekologi

**Löpnummer:** 2017:5

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** ljudförorening, fågelsamhällen, artsammansättning, ekologi

**Sveriges lantbruksuniversitet**  
**Swedish University of Agricultural Sciences**

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för ekologi

## Abstract

As the construction and expansion of roads, industries and urban areas progresses, the world will be subjected to rising levels of noise pollution. Birds make excellent research subjects in the study of the effects of noise pollution due to their frequent reliance on acoustic signals for reproductive and feeding behavior. So far, most of the research on the effects of noise pollution on birds has focused on an individual or species level. But research conducted on a community level is also needed if we want to gain a more complete understanding.

In this literature review, I have compiled and discussed the current understanding of how noise pollution effects the species composition of bird communities. I hypothesized that the species richness and diversity would be lower in communities subject to noise pollution. I have also roughly reviewed the distribution of research between avian orders and Zoogeographical Regions based on an expanded set of papers. I expected to find an overrepresentation of the Northern Hemisphere in line with the general geographical lopsidedness of academic output. I expected to see a dominance of passerine (*Passeriformes*) birds reflective of the order's high species count. The papers were searched for and collected using Web of Science, Google Scholar and SLU Primus.

The literature search resulted in 21 papers that studied the effects of noise pollution on a community level that also isolated the effects of noise to a reasonable degree. The species richness was lower in noise-affected communities, in accordance with my hypothesis. Diversity, however, was not found to be lower in noisy areas in contrast with my expectations. I found support for other effects of noise on the species composition of avian communities. Bird species with low vocal frequencies were found to be more sensitive to noise pollution, probably due to masking by noise. In addition, several studies found predators and especially insectivores to be more sensitive to noise. A possible cause for the increased sensitivity of these bird species is their tendency to rely on acoustic cues to catch prey. This possibility is important as insectivores can impart regulatory pressures on insect populations, thereby keeping them in check. A decline in insectivorous birds could weaken or disrupt this regulatory function.

72 papers were included in the review on the geographical distribution of the field. As was hypothesized, the Northern Hemisphere was found to be overrepresented in the research. The Nearctic and Palearctic Zoogeographical Regions were by far the most studied. The papers that studied the Southern Hemisphere amounted to barely one quarter of those studying the Northern Hemisphere. As a testament to Africa's severe underrepresentation in the field, I found no papers studying the Ethiopian Zoogeographical Region. The review of the distribution of research among the avian orders was based on 63 papers. As expected passerines were the most studied birds and were featured in the vast majority of papers. This was expected, given the order's numerous species. Several of the avian orders that were not studied in the reviewed literature mainly occur in the Southern Hemisphere in accordance with the hemisphere's low share of the research in the field.

The reviewed papers results show that noise pollution does indeed affect avian communities. Species are unevenly affected by noise possibly leading to altered species compositions. Some species can replace others in the presence of noise and these changes are not always reflected by simple measurements like species richness and diversity. In order to resolve the effects of noise pollution, we need to study its effects on more qualitative and functional aspects of bird communities. Many studies are weakened by designs that do not fully account for confounding variables, sometimes leading to the effect of noise being indistinguishable. Recent technological development has enabled studies with new, innovative designs to investigate the effects of noise pollution with unprecedented detail and clarity. As anthropogenic noise continues to increase in scope in the future, not least in the Southern Hemisphere, we need to expand our knowledge of its effects. This knowledge can prove to be a useful and vital tool in our ambition to steer our civilization in a more sustainable direction.

## Sammanfattning

Allt eftersom industrialiseringen, urbaniseringen och utbyggnaden av vägar fortskrider kommer en större andel av naturen påverkas av ljudföroreningarna som den mänskliga aktiviteten alstrar. Fåglar är en bra djurgrupp att studera när det gäller ljudföroreningens effekter eftersom de ofta använder sig av ljud i samband med viktiga biologiska funktioner såsom födosökning och förökning. Den mesta av forskningen om ljudföroreningens effekter på fåglar har utförts på individnivå. Det finns anledning att även undersöka effekterna på samhällsnivå för att kunna uppskatta ljudets påverkan.

I den här litteraturstudien har jag sammanställt och diskuterat det aktuella forskningsläget kring ljudföroreningens effekter på fågelsamhällets artsammansättning. Jag hypotiserade att artrikedomen och diversiteten skulle vara lägre hos bullerutsatta fågelsamhällen. Jag har också översiktligt kartlagt forskningens taxonomiska och geografiska fördelning utifrån ett breddat urval av studier. Jag förväntade mig en överrepresentation av det norra halvklotet i den insamlade litteraturen som speglar den generella snedfördelningen i akademiska studier. Dessutom förväntade jag mig att tättingar (*Passeriformes*) skulle representeras i störst grad i den insamlade litteraturen. Litteratur samlades in genom sökningar i tidskriftsdatabaserna Web of Science, Google Scholar och SLU Primus.

Litteratursökningen resulterade i 21 studier som både behandlade ljudföroreningens effekter på samhällsnivå och där effekten av ljud gick att särskilja. I enlighet med min hypotes var artrikedomen lägre i bullerutsatta fågelsamhällen. Förväntningen om en lägre diversitet i närvaro av ljudförorening fann inget stöd i litteraturen. Studiernas resultat pekar mot ytterligare effekter av ljudförorening på fågelsamhällen. Fågelarter med låga vokaliseringsfrekvenser försvinner i större utsträckning från bullerutsatta samhällen, troligtvis genom maskering av vokaliseringarna. Flera studier fann en ökad ljudkänslighet hos predatorer och främst insektsätande fågelarter. Möjligen beror känsligheten på att fåglarna är mer beroende av ljudmässiga signaler för sin jakt. Detta är en synnerligt viktig effekt eftersom insektsätande fåglar kan reglera insektspopulationer. En minskning av insektsätande fågelarter kan försämra eller slå ut den reglerande funktionen.

72 studier ingick i undersökningen av forskningens geografiska jämnhet. I enighet med min hypotes var det norra halvklotet överrepresenterat i litteraturen. De två mest studerade djurgeografiska regionerna var de nearktsiska och palearktiska regionerna. Det södra halvklotet representerades i knappt en fjärdedel så många studier som det norra halvklotet. Inga studier bedrevs i den etiopiska regionen vilket illustrerar Afrikas grava underrepresentation inom forskningsområdet. 63 studier ingick i undersökningen forskningens taxonomiska jämnhet. Tättningar var den fågelordning som studerats i flest artiklar vilket var väntat eftersom ordningen också innehåller flest arter. Bland de helt orepresenterade ordningarna fanns många som oftast förekommer i det södra halvklotet, vilket sammanfaller med forskningens geografiska ojämnheter.

Överlag pekar studiernas resultat mot att ljudförorening har effekter på fågelsamhällen. De här effekterna drabbar olika fågelarter i varierande grad med en förändrad artsammansättning som möjlig följd. I närvaro av buller kan vissa arter försvinna och andra arter kan tillkomma. Sådana skillnader träder inte fram om man bara tittar på index såsom artrikedomen och diversitet. För att klargöra ljudets effekt krävs det att man även tar hänsyn till fågelsamhällens kvalitativa egenskaper. Det finns även flera vanligt förekommande brister som gör att ljudets effekt inte kan särskiljas eller missbedöms. Några studier har börjat överkomma de här svårigheterna med hjälp av studiedesigner möjliggjorda av den senaste tidens teknikutveckling. Med tanke på att ljudalstrande aktiviteter ser ut att öka i framtiden inte minst i det södra halvklotet är det viktigt att överbrygga de nuvarande glapperna i forskningen om ljudets effekter. Den kunskapen kan vara en viktig pusselbit i arbetet att bygga ett hållbart samhälle i framtiden.

## **Inledning**

Människans inslag i naturen har med tiden inte bara blivit mer omfattande men även mer intensiv. Sedan industrialiseringen har samhället blivit allt mer mekaniserat. Detta har lett till att befolkningen har ökat dramatiskt de senaste hundra åren och därmed även vårt avtryck på planeten. Detta avtryck har på senare år blivit allt mer problematiserat i den globala politiken och i media, men uppmärksamheten är ojämnt fördelad mellan avtryckets beståndsdelar. Vi fokuserar mycket på kemisk förorening som växthusgaser och miljögifter medan andra former av förorening hamnar i skymundan. Mänsklig aktivitet alstrar i många fall förorening i form av ljud. Städer, industrier och transportvägar är några av samhällets mest högljudda komponenter och deras omfattning ser dessutom ut att öka i framtiden<sup>[1, 2]</sup>.

Samtidigt som stora delar av världen genomsyras av mänskligt ljud så återstår stora glapp i vår kunskap om ljudföroreningars påverkan. Fåglar anpassar sig snabbt till förändringar i miljön och är därför bra organismer för studier om vår miljöpåverkan, men även här saknas mycket kunskap om ljudföroreningens effekter. De flesta studier på området har hittills fokuserat på ljudets påverkan på individ- och artnivå och har funnit effekter på flera av fåglarnas egenskaper.

- Beteendemässiga förändringar, exempelvis har fågelindivider uppvisat socialt beteende som associeras med risk i närvaro av ljudförorening<sup>[3]</sup>.
- Djur som vokaliserar blir dessutom drabbade av signaldegradering där frekvensbanden för djurens signaler och ljudföroreningen överlappar och signalerna blir maskerade<sup>[4]</sup>.

- De sociala aspekterna av djurens tillvaro kan också påverkas av ljud, möjligtvis till följd av ovanstående effekter. Till exempel har karolinatitan (*Poecile carolinensis*) och den östliga gråmesen (*Baeolophus bicolor*) visats sitta närmre varandra och uppvisat en lägre preferens för artfränder när de utsattes för simulerat trafikljud<sup>[3]</sup>.
- Även reproduktionsframgången har visats bli påverkad av ljudförorening hos ett flertal arter<sup>[5]</sup>.
- Många djur använder sig även av strategier för att motverka effekterna av ljudförorening. När det gäller de vokala anpassningarna har man hittat flera strategier som tillsammans eller enskilt kan förhindra att signalerna maskeras av ljudförorening. Volymen på vokaliseringen kan höjas för att försöka överrösta det förorenande ljudet<sup>[6]</sup>. Frekvensbandet som används för vokaliseringar kan också justeras för att minska överlappen med ljudföroreningen<sup>[7]</sup>. Slutligen kan tidsspannet där vokaliseringar sker justeras för att undvika överlapp med periodiska ljud<sup>[8]</sup>.

Alla dessa effekter har en inverkan på individernas överlevnadsförmåga och reproduktiva framgång i livet, härnäst benämnt fitness. Eventuella anpassningar som fåglarna har utvecklat fungerar inte alltid fullt ut och ljudföroreningen kan ändå medföra en försämrad fitness. Förändrad vokalisering kan möjligtvis leda till en försämrad förmåga att känna igen artfränder, någonting som diskuteras i<sup>[9]</sup>. Om individer i en population får svårare att överleva och reproducera sig riskerar populationen att minska och på sikt försvinna helt. Arter kan, beroende på förutsättningarna, bli ojämnt påverkade av ljudföroreningen och då kan artsammansättningen av ett samhälle förändras. En förändrad artsammansättning kan leda till instabila ekosystem och i de allra värsta fallen leda till en ekosystemkollaps. Det är därför viktigt att expandera kunskapen om ljudföroreningens effekter till att även innefatta effekterna på fågelsamhällets artsammansättning.

Det finns ett flertal studier som undersöker effekten av urbanisering, industriell verksamhet och transportleder på djursamhällets artsammansättning och rikedom<sup>[10, 11, 12]</sup>. Dessa studier undersöker ljudföroreningens effekter sammanvägt med många andra faktorer såsom markanvändning, ljusutsläpp och andra föroreningar. Studierna är värdefulla, men det är ändå viktigt att separera de olika faktorernas individuella påverkan från varandra. Då kan olika former av miljöpåverkan vägas emot varandra och åtgärder vidtas som minskar samhällets avtryck på ett kostnadseffektivt sätt.

## Mål

I denna litteraturstudie vill jag sammanställa det aktuella forskningsläget gällande den landbaserade ljudföroreningens påverkan på fågelsamhällets artsammansättning och artrikedom. I den grad som går försöker jag utvärdera forskningens fördelning mellan olika fågelordningar samt mellan djurgeografiska regioner. Vissa fågelarter och ordningar är starkt överrepresenterade när det gäller forskning om ljudförorening. Ordningar är en lämplig systematisk nivå att studera då det går att få en viss detaljnivå utan att det totala antalet kategorier inte blir för stort och tidsödande. Valet av att undersöka forskningens fördelning mellan de olika djurgeografiska

regionerna grundar sig i att regionernas avgränsning reflekterar olika djurgruppers geografiska utbredning i världen. Europa, Asien och Afrika delas in väsentligt annorlunda än de palearktiska, etiopiska (afrotropiska) och orientaliska regionerna och den skillnaden anser jag vara tillräcklig för att motivera valet. Jag ämnar belysa de fågelordningar och djurgeografiska regionerna där ljudföreningens effekter studerats minst.

## Hypoteser

Med hjälp av tidigare kunskap om ljudföreningens effekter på djur samt ljudets fysiska egenskaper kunde jag formulera förväntade resultat. Synurbana fågelarter (de som gynnas av urbanisering) syns ofta i städerna i stora antal (talgoxe, pilfink etc.) och dominerar stadsmiljöerna. Vissa andra arter syns sällan till i stadsmiljöer (tjäder, hackspettar etc.) Det här tyder på att antropogen landskapsförändring har en selektiv effekt på fågelarter och en av komponenterna av landskapsförändringen är i form av ljudförening. Genom detta resonemang förväntade jag mig en lägre artrikedom (antalet arter) och diversitet (ett index där antalet arter samt arternas relativa abundans räknas in) i bullerutsatta fågelsamhällen.

Vidare förväntade jag mig en snedfördelning i både vilka geografiska områden som studierna behandlar, samt vilka fågelordningar som studerats. Eftersom forskning generellt är ojämnt fördelad mellan världens kontinenter med en stor överrepresentation av det norra halvklotet förväntade jag mig att merparten av forskningen har bedrivits i Europa och Nordamerika (Palearktiska resp. Nearktiska djurgeografiska regionerna). Tätningar förväntades ha studerats i merparten av studierna av liknande skäl. Tätningar (*Passeriformes*) utgör hälften av världens fågelarter och denna dominans borde rimligtvis uppträda även i forskningen i form av att ordningen förväntas studerats i flest artiklar.

## Metod

Då detta inte är en kvantitativ litteraturstudie valde jag att göra en serie av sökningar och sammanställa det som bedömdes vara relevant baserade på kvalitativ utvärdering. Sökningarna skedde i november och december år 2016 och fortskred tills dess att mängden nya träffar blev försumbar i förhållande till upprepade träffar.

Sökandet skedde i tre databaser; Google Scholar, Web of Science och SLU-biblioteket. Alla dessa databaser behandlar ett stort antal tidskrifter och många av dessa överlappar varann. Som en följd av detta fanns det en betydande upprepning redan från början som sedan blev helt dominant mot sökningens slut.

Sökfrågorna matades in i alla tre ovannämnda databaser och operatorer användes för att begränsa resultaten till de som innehöll alla använda söktermer i sökningen. Då alla studier som jag har läst som behandlar området har använt olika synonymer till vissa viktiga ord i abstract, nyckelorden och titeln bedömde jag att det inte var nödvändigt att söka på synonymer till alla sökorden för att få god täckning på resultaten. Nedan följer en lista på de sökfrågorna som matades in.

- Anthropogenic noise Avian community Adaptation
- Anthropogenic noise Avian community Composition
- Anthropogenic noise Bird Diversity
- Noise pollution Avian population Diversity
- Noise Bird Diversity
- Noise Bird Composition

Träffarnas relevans (dvs. om studien undersökte effekter av antropogent ljud på fågelsamhällen) utvärderades utifrån abstract och i oklara fall lästes de relevanta delar av huvudstudien. Relevanta artiklar laddades ner i PDF format och kategoriserades baserat på innehåll. Artiklars relevans bedömdes utifrån flera kriterier:

- Studien måste ha uppskattat ljudnivån vid lokalerna för fågelräkning antingen genom direkta ljudmätningar eller genom en statistiskt säkerställd ljudspridningsmodell.
- Studien måste ha utvärderat ett eventuellt samband mellan ljud och en eller flera av fågelsamhällens egenskaper (t.ex. artrikedom, diversitet, artsammansättning), helst med hjälp av statistiska metoder.

För att besvara frågorna om forskningslägets fördelning gällande både djurgeografiska regioner och fågelordningar noterade jag vilka familjer och områden som behandlades i de ihopsamlade artiklarna.

För att kompensera för det låga antal studier på samhällsnivå så valde jag att inkludera en del studier som undersöker ljudföroreningens effekter på individnivå. De här studierna används som komplement till de relevanta studierna i syfte att undersöka forskningens geografiska och taxonomiska fördelning.



## Resultat

### 1. Ljudförorenings effekter på fågelsamhällen

Litteratursökningen resulterade i 21 artiklar som till någon grad isolerat effekten av ljudnivå på fågelsamhällen (Tabell 1 och 2). Ytterligare 12 studier behandlade vägar, urbanisering eller industriverksamhets effekter på fågelsamhällen, men i dessa kan ljudets roll inte särskiljas. Av de 21 artiklarna där ljudets effekt på fågelsamhällen isolerats behandlades stadsljudets (urbant ljud) effekter i störst omfattning (10 studier). Vägljud behandlades också i stor utsträckning (7 studier), medans industriljud undersöktes i mindre grad (4 studier). En studie undersökte effekterna av mänsklig konversation på fågelsamhällen.

I tabell 1 och tabell 2 sammanställs de 21 artiklarna där ljudets effekt på fågelsamhällen isolerats. Nio studier visade på en negativ effekt av ljudförorening på fågelsamhällens artrikedom medans fyra studier visade en avsaknad av en sådan effekt. Studier som undersökte ljudförorenings effekt på fågelsamhällens abundans var delade mellan en påvisad negativ effekt (3 studier) och ingen påvisad effekt (4 studier). En oförändrad artsammansättning av bullerutsatta fågelsamhällen påvisades i en studie, men 14 distinkta studier visade på olika effekter av ljudförorening på fågelsamhällens artsammansättning (ökad nestedness – 2, filtrering av arter baserat på vokal frekvens – 6, filtrering av arter baserat på gille/ekologisk nisch – 5, filterering av arter - annan orsak – 2), en studie fann ingen effekt av ljudförorening på fågelsamhällens artsammansättning. Två studier undersökte effekten av ljudförorening på fågelsamhällens diversitet (antal arter med relativ abundans inräknat) utan att hitta en korrelation.

**Tabell 1**

En översikt av resultaten av 21 studier som behandlar ljudets effekter på fågelsamhällen. Effekterna är kategoriserade med exempel på studier i kategorierna. Rutorna är färgkodade beroende på om en effekt hittades eller inte. Denna tabell behandlar artrikedom, abundans och diversitet.

Påvisad effekt     Ej påvisad effekt

<b>Artrikedom</b>	<b>Abundans</b>	<b>Diversitet</b>
<p style="text-align: center;"><b>Negativ effekt funnen</b></p> <p><b>Antal studier: 9</b>  <b>Stads ljud:</b> [19, 20, 24, 33, 34]  <b>Vägljud:</b> [18, 32, 35]  <b>Industriljud:</b> [22]  <b>Konversationsljud:</b> [16]</p>	<p style="text-align: center;"><b>Negativ effekt funnen</b></p> <p><b>Antal studier: 3</b>  <b>Stads ljud:</b> [20]  <b>Vägljud:</b> [18]  <b>Konversationsljud:</b> [16]</p>	<p style="text-align: center;"><b>Negativ effekt funnen</b></p> <p><b>Antal studier: 0</b></p>
<p>Brasilien. Undersökte artrikedomen och artsammansättningen av fåglar i och kring en stad. De mätte ljudnivå samt andra parametrar av lokalerna – människotäthet, träd täthet. Ljudnivån samt de andra faktorerna var signifikant korrelerade med antal påträffade arter (negativ) samt artsammansättningen (många arter med öppna naturliga habitat, få markhäckande och skogsfåglar)[33].</p> <p>Studerade effekten av en väg på abundans och artrikedom i ett fågelsamhälle. Negativ korrelation mellan antalet arter och artrikedom och ljudnivå. Kontrollerade inte helt för andra effekter av vägen. Men lägre abundans av arter med lägre vokal frekvens tyder på en effekt. Dessutom färre insektsätande och markhäckande fåglar med högre ljudnivå[32].</p> <p>Undersökte effekten av ljudförorening från gaskompressorer på samhället av häckande fåglar. Kontrollerna var liknade anläggningar utan just kompressorer, vilket kontrollerar för många andra faktorer. Signifikant lägre artrikedom i lokalerna med ljudförorening. Densiteten av fågelbon skilde sig inte mellan kontroll och behandling – vissa arter dominerade i behandlade områden. Möjligen p.g.a. minskad predation i områden med ljudförorening. Studien fann också att vissa arter byggde bon längre bort från gaskällorna inom lokalen med gaskompressorljudet närvarande – ett mönster som också uppträder gällande boparasitism[22].</p>	<p>Kanadensisk studie. Kollade abundans och rikedom bland sångfåglar i urbana grönområden. Signifikant lägre artrikedom i lokaler med högre ljudnivå samt lägre abundans av tre av sju studerade arter. God korrelation mellan arternas lägsta sångfrekvens och lägre abundans i närvaro av ljud[20].</p> <p>Genom att artificiellt återskapa vägljud i en annars väglös skog under höstsäsongen (migrationsperioden) undersökte de effekterna av endast (intermittent) vägljud på artrikedomen och abundansen av fåglar. De fann en signifikant och varierande negativ respons till ljud bland många arter, abundansen och artrikedomen var också signifikant lägre på platser och tider då ljudnivån var hög. Ovanligt med en så pass isolerad ljudeffekt[18].</p>	
<p style="text-align: center;"><b>Ingen effekt funnen</b></p> <p><b>Antal studier: 5</b>  <b>Stads ljud:</b> [13, 14, 15, 17, 19]</p>	<p style="text-align: center;"><b>Ingen effekt funnen</b></p> <p><b>Antal studier: 4</b>  <b>Stads ljud:</b> [17, 19]  <b>Vägljud:</b> [21]  <b>Industriljud:</b> [22]</p>	<p style="text-align: center;"><b>Ingen effekt funnen</b></p> <p><b>Antal studier: 2</b>  <b>Stads ljud:</b> [15]  <b>Konversationsljud:</b> [16]</p>
<p>Hong Kong. Undersökte effekten av parkstorlek, besöksantal (visitor rate) och ljudnivå på artrikedomen och diversiteten av fågelsamhällen i urbana parker (sommar vinter). De fann att endast parkstorleken hade en signifikant effekt på artrikedomen och diversiteten, ljudnivå var ej signifikant[15].</p>	<p>Försökte urskilja effekten av vägljud på fågelsamhällens artrikedom och fågelabundans från andra möjliga effekter som vägar har. Ställde upp tre hypoteser: abundans/artrikedom når sitt maximum där ljudnivå når minimum, effekten av vägljud på abundans/artrikedom är större än effekten av avståndet till vägen, lokaler med högre ljudnivå vid ett givet avstånd från vägen än andra lokaler uppvisar lägre abundans/artrikedom. Alla tre hypoteser förkastades[21].</p>	<p>Studerade effekterna av inspelad mänsklig konversation på ett fågelsamhälle i ett naturreservat i Peru. 50dB gav en minskning i antal påträffade fåglar med 35% och artrikedomen föll med 33%. 60dB gav en minskning med 39% respektive 37%. Insektsätande fågelarter uppvisade störst negativ respons till ljudet. Ingen signifikant minskning av diversiteten med stigande ljudnivå[16].</p>

**Tabell 2**

En översikt av resultaten av 21 studier som behandlar ljudets effekter på fågelsamhällen. Effekterna är kategoriserade med exempel på studier i kategorierna. Rutorna är färgkodade beroende på om en effekt hittades eller inte. Denna tabell behandlar effekterna på artsammansättningen av fågelsamhällen.

■ Påvisad effekt    ■ Ej påvisad effekt

Ökad nstedness av fågelsamhällen i bullerutsatta områden	Filtrering av arter baserat på vokal frekvens	Filtrering av arter baserat på gille/ekologisk nisch
<p><b>Påvisad effekt</b>  <b>Antal studier: 2</b>  <b>Stads ljud: [23, 24]</b></p>	<p><b>Påvisad effekt</b>  <b>Antal studier: 6</b>  <b>Stads ljud: [20]</b>  <b>Vägljud: [26 (metastudie), 30, 32, 36]</b>  <b>Industriljud: [26 (metastudie), 37]</b></p>	<p><b>Påvisad effekt</b>  <b>Antal studier: 5</b>  <b>Stads ljud: [33]</b>  <b>Vägljud: [26 (metastudie), 31, 32]</b>  <b>Industriljud: [26 (metastudie), 31]</b>  <b>Konversationsljud: [16]</b></p>
<p>Kinesisk studie, undersökte nstedness hos fågelsamhällen i urbana skogspartier. De fann att ljudnivå påverkade signifikant nstedness hos fågelarter som häckar i området, men inte för övervintrande fåglar. De undersökte även andra habitatvariabler, nstedness av habitatet hade större effekt på fågelsamhällenas nstedness än ljudnivå[23].</p>	<p>Puerto Rico. Studerade effekten av motorvägar på artsammansättningen av grodor och fåglar i ett skogsområde. Fågelarter med låga vokaliseringsfrekvenser förekom inte i lokalerna som låg nära en väg. Kontrollerade för vegetationsmässiga kanteffekter[36].</p> <p>Undersökte hur ljudet av kompressorer för oljeutvinning påverkar fågelarter baserat på vokal frekvens i USA. Studien fann en varierande ljudkänslighet bland fågelarter baserat på vokal frekvens, inte på vokaliseringslängd eller på ett index för urban tolerans. Det fanns oljekällor med och utan kompressorer, vilket i stor grad isolerar ljudets effekt[37].</p>	<p>Effekten av vägar och oljeborringar på artrikedom i Ecuador. Undersöker främst den totala effekten av vägar i ett område där det borras mycket efter olja. Tungt maskineri färdas vid tiden av studien på vägarna och borringarna är högljudda. De tittar på vilka ekologiska nischer som påverkades mest och det var insektsätarna. Inga systematiska ljudmätningar gjordes, men de hävdar att ljudnivån var negativt korrelerad med artrikedomen likt närheten till en väg[31].</p>
Annan filtrering av arter	Oförändrad artsammansättning	
<p><b>Påvisad effekt</b>  <b>Antal studier: 2</b>  <b>Stads ljud: [14]</b>  <b>Industriljud: [22]</b></p>	<p><b>Ingen påvisad effekt</b>  <b>Antal studier: 1</b>  <b>Stads ljud: [17]</b></p>	
<p>Undersökte effekten av ljudnivå på förekomsten av ett stort antal fågelarter i flera urbana parker i Spanien och Portugal. Variation i ljudnivå mellan 40dB och 70dB och arterna som påverkades mest (och andel av variationen som förklarades av ljud): <i>Regulus regulus</i> (34,62%), <i>Streptopelia turtur</i> (24,24%), <i>Dendrocopos minor</i> (20,39%), <i>Buteo buteo</i> (15,15%), <i>Hirundo daurica</i> (13,15%), <i>Corvus corax</i> (11,09%), <i>Oriolus oriolus</i> (10,23%), <i>Cettia cetti</i> (6,47%), <i>Passer hispanoliensis</i> (6,33%) och <i>Sylvia melanocephala</i> (5,82%). Totalt 25 av 91 studerade fågelarter hade en negativ signifikant korrelation med ljudnivå. 55 arter korrelerades till säsong och 7 arter korrelerades till parkens karaktär. Ingen korrelation mellan artrikedom och ljudnivå, men sällsynta arter byttes ut mot synurbana arter med stigande ljudnivå. 50dB var en viktig tröskel i förändringen av fågelsamhället[14].</p>	<p>Mexico. Undersökte effekterna av ljudnivå samt många andra faktorer på fågelsamhällens artrikedom, abundans och artsammansättning i urbana grönområden i en stad (sommar &amp; vinter). Hittade ingen signifikant korrelation mellan ljudnivå och fågelsamhällenas egenskaper. Dock var artrikedomen och den totala fågelabundansen lägre längs med vägar – lokaler där ljudnivån var signifikant högre[17].</p>	

## 2. Forskningens jämnhet och representation

Forskningens jämnhet och representation när det gäller geografiska områden som studerats samt fågelordningar som studerats undersöktes även översiktligt. I översikten inkluderas även studier om ljudförorening på fågelindividnivå och studier på samhällsnivå där ljudets effekt inte går att urskilja, men där ljudet sannolikt har en bidragande effekt. Reviewstudier och metastudier exkluderades då det fanns en risk för att studiers resultat räknas två gånger. Enbart studier där relevant information fanns inkluderades. Kompletterande data samt referenser till de inkluderade studierna finns i bilaga 1.

### 2.1 Djurgeografiska regioner där ljudförorening och andra antropogena landskapsförändringars effekter studerats

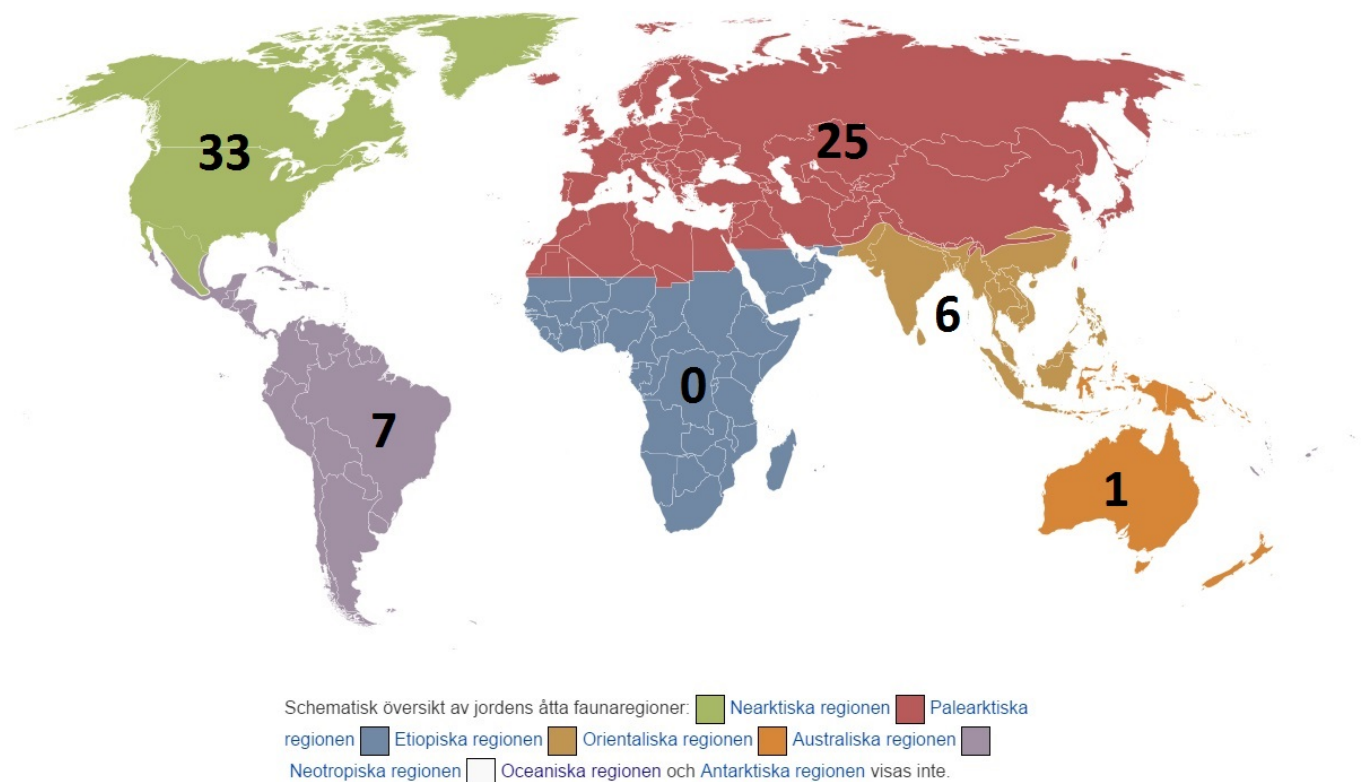


Fig. 1. En översikt av de djurgeografiska regionerna. Siffrorna beskriver antalet studier som bedrevs i regionerna.

Bilden är modifierad utifrån "Ecozones.svg" av carol, (2008). *Wikipedia*.  
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Ecozones.svg>

Litteratursökningen resulterade i 72 studier vars geografiska plats kunde utrönas (Fig. 1) En studie innefattade den nearktiska och den neotropiska regionen och räknades i båda. Den nearktiska djurgeografiska regionen var lokal för 33 studier och den palearktiska regionen var lokal för 25 studier. Nästkommande djurgeografiska region var den neotropiska regionen (7 studier).

## 2.2 Fågelordningar där ljudförorening och andra antropogena landskapsförändringars effekter studerats

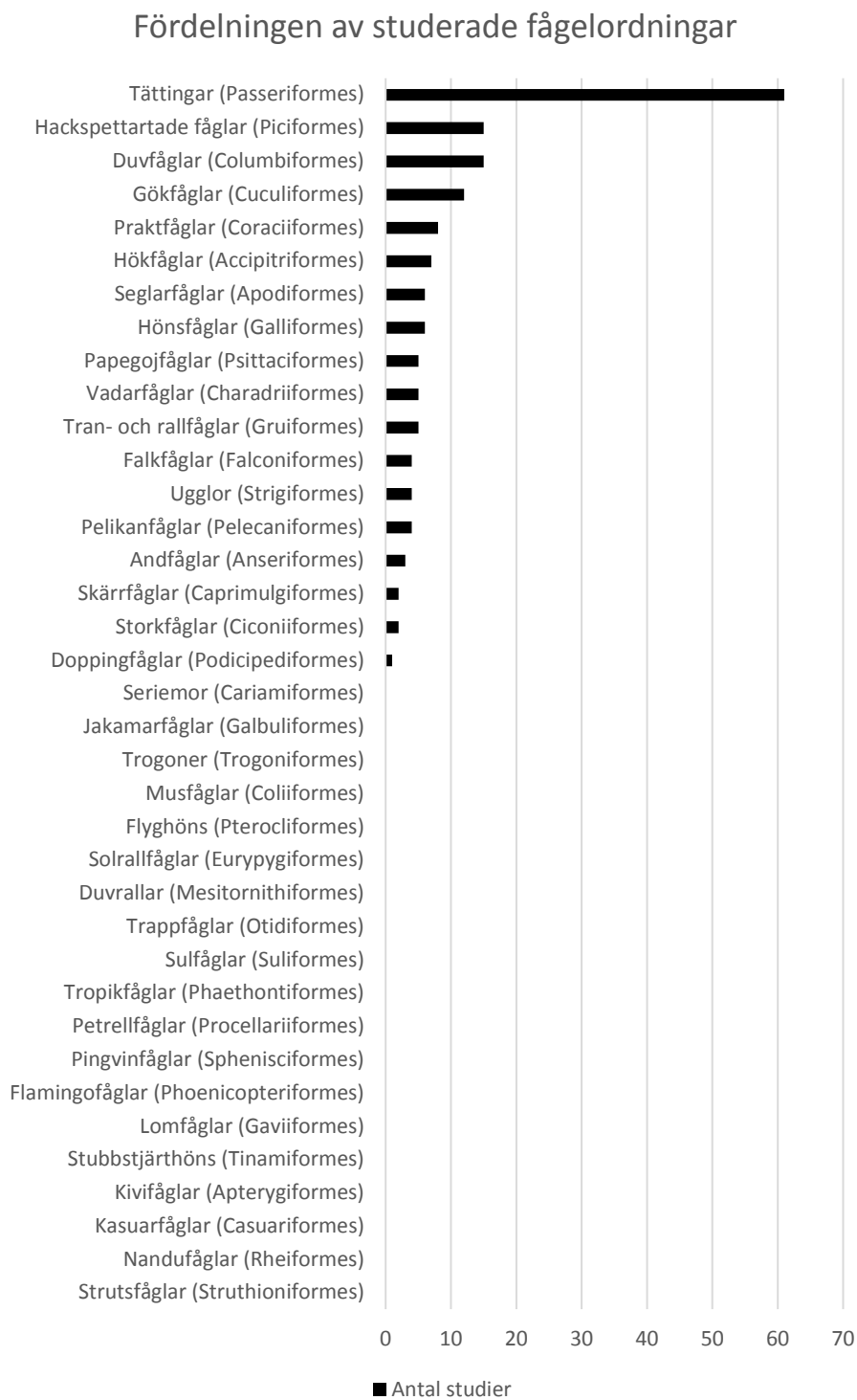


Fig. 2. Antalet studier som behandlade de olika fågelordningarna.

Litteratursökningen resulterade i 63 studier där de studerade fågelordningarna kunde utrönas. Det förekom ofta att en studie behandlade flera fågelordningar och i dessa fall räknades studien med i alla ordningar som den behandlade. Tättingar (*Passeriformes*) var den fågelordningen som undersöktes i flest studier (61). Hackspettsartade fåglar (*Piciformes*) och duvfåglar (*Columbiformes*) undersöktes i 15 studier vardera och var de näst mest studerade fågelordningarna.

## Diskussion

I syfte att beskriva och diskutera det nuvarande forskningsläget kring effekterna av ljudförorening på fågelsamhällets artsammansättning diskuterar jag först de 21 mest relevanta studierna och deras resultat. Olika egenskaper av fågelsamhällen undersöktes i studierna och de varierade i utförande och bearbetning av resultaten.

### 1. Lägre artrikedom i bullerutsatta fågelsamhällen

Den enskilda effekt på fågelsamhällen som påvisats av flest studier av det insamlade materialet var en negativ effekt av ljudnivå på samhällenas artrikedom med nio stödande studier, vilket var förväntat. Effekten har påvisats av stad, väg och industriljud med en tyngdpunkt på stadsljud. Antalet studier utan en påvisad effekt av ljudförorening på fågelsamhällens artrikedom var nästan hälften så många som de studierna som påvisade en effekt med fyra studier. Studierna som inte påvisade en negativ effekt av ljudförorening på fågelsamhällens artrikedom undersökte uteslutande effekten av stadsljud.

Resultat som visar på en oförändrad artrikedom hos fågelsamhällen som utsätts för ljudförorening utesluter inte nödvändigtvis en effekt av ljudnivå på arter som utgör fågelsamhällena. En studie fann ingen direkt korrelation mellan ljudnivå och fågelsamhällens egenskaper, däremot påvisades en signifikant skillnad mellan fågelsamhällen i urbana och rurala områden som bland annat var korrelerad till vägtäthet. De urbana och rurala fågelsamhällena skiljde sig inte i artrikedom men artsammansättningen varierade signifikant mellan fågelsamhällena vilket tyder på att arter kan bytas ut mellan habitat med olika nivåer och former av mänsklig påverkan utan att antalet arter förändras<sup>[13]</sup>. En annan studie fann att vissa sällsynta fågelarter ersattes med urbant associerade arter i fågelsamhällen i miljöer där ljudföroreningen överskred 50dB vilket ytterligare styrker att fågelsamhällen kan förändras på sätt som inte reflekteras i artrikedomen. Det är därför viktigt att i kombination med artrikedom även undersöka hur artsammansättningen förändras hos bullerutsatta fågelsamhällen för att inte missa många av ljudföroreningens ekologiska effekter<sup>[14]</sup>.

## 2. Ingen påvisad koppling mellan ljudförening och fågelsamhällets diversitet

Ett oväntat resultat från litteratursökningen var att en förändring i diversiteten hos fågelsamhället kopplat till ljudförening inte har påvisats. Två studier har letat efter en sådan effekt utan att hitta någon<sup>[15, 16]</sup>. De flesta av studierna har undersökt andra aspekter av fågelsamhället såsom abundans eller artrikedom.

## 3. Ljudföreningens effekter på abundansen av fåglar

Utav de 21 studierna som undersökte ljudets effekter på fågelsamhället behandlades fågelabundans av sju studier. Studierna varierade i karaktär där vissa studier explicit undersökte den totala abundansen hos fågelsamhället i relation till ljud<sup>[15, 17, 18, 19]</sup>. Andra studier undersökte abundansen av ett urval av fågelsamhällets arter<sup>[20]</sup> eller på annat sätt konstruerades så att den totala fågelabundansen inte direkt kvantifierades<sup>[21, 22]</sup>. Tre av dessa studier visade på en negativ inverkan av bullernivå på abundansen av fågelarter, medan ingen negativ effekt påvisades i de resterande tre studierna. Resultatet tyder på en oklarhet kring huruvida abundansen av fåglar påverkas av ljudförening eller inte. De olika resultaten kan förklaras med två olika resonemang:

Ljudets (och andra sammanfallande faktorer) negativa effekter på fåglar leder till att fågelsamhället blir glesare kring ljudkällan, därmed en lägre abundans av fåglar i bullerutsatta lokaler. Denna mekanism finner sitt starkaste stöd i ett par studier där fågelabundansen observerades på samma platser med och utan ljud och där inga andra uppmätta faktorer skiljde sig<sup>[13, 18]</sup>.

Den ökade födomängden samt eventuella andra positiva effekter t.ex. minskad bopredation<sup>[22]</sup> som mänsklig aktivitet medför gynnar de fågelarter som av olika anledningar inte utesluts ur områden med en förhöjd ljudnivå (och eventuella andra korrelerade negativa stimuli), som ofta hänger samman med mänsklig aktivitet. En sådan mekanism diskuteras kort i en studie speciellt med avseende på duvor och sparvar som kan utnyttja mänskligt avfall i parker som är utsatta för mänsklig störning<sup>[17]</sup>.

Dessa mekanismer kan tänkas ske samtidigt och i varierade proportioner på olika platser i världen beroende på hur intensiv den mänskliga aktiviteten är och vilka aktivitetens komponenter är. Det är möjligt att de studier vars resultat pekar mot en oförändrad fågelabundans i förhållande till ljudnivå har bedrivits på platser där den mänskliga aktivitetens positiva effekter väger tyngre än de negativa effekterna av ljudförening och andra förändringar (förändrad markanvändning, andra föreningar och andra negativa stimuli). Studier med en påvisad minskning av fågelabundansen med ökande ljudnivå kan då tänkas ha bedrivits på platser där de positiva antropogena effekterna inte väger lika tungt som de negativa effekterna av den mänskliga aktiviteten. Artrikedomen kan vara lägre i ett fågelsamhälle trots en oförändrad fågelabundans genom att vissa fågelarter får väldigt hög relativ abundans och dominerar fågelsamhället, ett resonemang som diskuteras i och stöds av en studie<sup>[22]</sup>.

## 4. Effekter på fågelsamhällets artsammansättning

### 4.1 Ljudföroreningens effekter på fågelsamhällets nestedness

Två studier fann att ljudförorening ökade tendensen till nestedness hos fågelsamhällen<sup>[23, 24]</sup>. Dessa två studier undersökte urbana skogsområden respektive parker och ljudföroreningen har inte pekats ut som den huvudsakliga orsaken till nestade fågelsamhällen i någon av studierna, utan andra habitatrelaterade faktorer har varit större bidragande faktorer. I en urban miljö kan grönområden liknas vid öar utspridda i en matris av ogynnsam stadsmiljö. Öbiogeografi är en ekologisk teori som kan tillämpas på sådana förhållanden med förväntningen att arter sprids från ett "fastland" till öar i varierande grad baserat på artens förmåga att ta sig till och fortleva på öar med varierande storlek och avstånd till fastlandet. Öarnas förmåga att inhysa många arter (kvalitén) påverkas i det här fallet av öns storlek, där större öar generellt anses vara artrikare. Ifall ljudförorening selektivt leder till arters försvinnande förväntas artsammansättningen på öarna uppvisa ett nested mönster där öarna med lägst kvalitet (i det här fallet högre ljudnivå) inhyser ett urval av artsammansättningen på öar av högre kvalitet. Just detta har dessa två studier påvisat med storlek på "öarna" som utgörs av urbana parker och skogsområden samt relaterade variabler (t.ex. habitatrikedom<sup>[23]</sup>) som huvudsakliga drivkrafter och ljudnivå som bidragande drivkraft bakom ett hierarkiskt mönster av artsammansättningar på "öarna".

Det finns en rådande osäkerhet kring hur man ska tolka nestedness i ekologiska sammanhang, en debatt som behandlas i en reviewartikel<sup>[25]</sup>. Osäkerheten gör att man inte kan dra för långtgående slutsatser av nestednessmätningar. En av grundförutsättningarna för ett hierarkiskt mönster som nestedness innebär är att olika öar i det undersökta systemet har en varierande artrikedom (ett urval av arterna i ett fågelsamhälle kommer alltid vara färre i antal än det originella fågelsamhället). Drivkrafterna bakom nestedness för en grupp fågelsamhällen kommer därför åtminstone delvis överlappa med drivkrafterna bakom skillnaderna i artrikedom mellan samma fågelsamhällen. Resultaten från de här studierna som indikerar att ljudförorening är en drivkraft bakom nestedness hos fågelsamhällen kan tolkas som en påvisad effekt av ljudförorening på fågelsamhällets artrikedom.

### 4.2 Ljudföroreningens selektiva effekter på fågelarter – filtrering baserat på arters egenskaper

De arter som försvinner från fågelsamhällena är inte slumpmässiga, flera studier har hittat tendenser för att vissa arter försvinner i större grad. Utav de 21 studierna som undersökte ljudföroreningens effekter på fågelsamhällen behandlade 12 studier effekterna på fågelsamhällets artsammansättning med avseende på arternas egenskaper (filtrering av arter baserat på arternas egenskaper). Här räknas inte studier in som enbart undersöker ljudets påverkan på övergripande egenskaper av fågelsamhällets artsammansättning (artrikedom, diversitet, abundans och nestedness). Nedan följer en uppdelad diskussion av fågelarternas egenskaper som enligt resultat från de 12 studierna indikerar känslighet för ljud.



#### 4.2.1 Filtrering baserat på vokaliseringsfrekvens

Den egenskapen hos fågelarter som flest studiers resultat indikerade kunde påverka arternas känslighet för ljudförorening var vokaliseringsfrekvens. Resultaten av sex studier visade på en ökad ljudkänslighet hos arter med låga vokaliseringsfrekvenser. Stadsljud, vägljud och industriljud har visats filtrera fågelarter på detta sätt. En metastudie som delvis baserades på andra studier som tas upp i den här litteraturstudien ger den hittills mest omfattande bilden av hur fågelarters känslighet för ljudförorening varierar beroende på vokaliseringsfrekvens<sup>[26]</sup>. Studien fann att hög vokaliseringsfrekvens var den egenskap som var starkast korrelerad till en arts förekomst i lokaler med ljudförorening. Intressant var också fyndet att intermittent ljud (periodvis förekommande till skillnad från kroniskt ljud) inte skiljde sig signifikant från kroniskt ljud i sin negativa påverkan på fågelarters förekomst. Visserligen mättes aldrig ljudets periodicitet direkt, utan härleddes från ljudkällan (vägljud och stadsljud antogs vara intermittent och industriellt ljud antogs vara kroniskt). Kroppsstorlek, som ofta associeras med vokaliseringsfrekvens, uppvisade ingen korrelation med fågelarters känslighet för ljudförorening.

Vokaliseringsfrekvensens betydelse för fåglar i närvaro av ljudförorening är förhållandevis välstuderat inom akustisk ekologi. Flera studier har undersökt individuella arters förmåga att anpassa sin sång för att undvika maskering av lågfrekvent ljudförorening och observerat en justering mot högre frekvenser i närvaro av ljud<sup>[27, 28]</sup>. På samhällsnivå är vokaliseringsfrekvens den egenskapen som har studerats mest i förhållande till ljudförorening.

Acoustic adaptation hypothesis (AAH) är en hypotetisk mekanism som potentiellt kan leda till filtrering fågelarter baserat på vokal frekvens. Sammanfattat innebär AAH att vokaliserande djur anpassar sina läten för att maximera ljudspridningen i omgivningen baserat på omgivningens fysiska egenskaper. Låga frekvenser penetrerar lövverk i större utsträckning än höga frekvenser och man kan då förvänta sig att finna fågelarter med låg vokaliseringsfrekvens i områden med mycket vegetation. I en reviewstudie fann man en svag, men signifikant positiv korrelation mellan habitatets öppenhet och fåglars sångfrekvens<sup>[29]</sup>. Eftersom lokalerna som benämns som tysta i studier på frekvensbaserad filtrering av fågelarter ofta innehåller mer vegetation är de bullriga lokalerna i samma studie kan acoustic adaptation potentiellt verka i samma riktning som ljudföroreningars maskering av fåglars vokaliseringar och bör därför kontrolleras för i studier. I en studie hade lokalerna med lägre ljudnivå mer procentuellt skogstäck och dessutom högre förekomst av fågelarter med lägre vokaliseringsfrekvens<sup>[30]</sup>. Ljudnivån var, efter kontrollerande för effekter av vegetationen den största förklarande variabeln för förekomst av fågelarter med låga vokaliseringsfrekvenser.

#### 4.2.2 Filtrering baserat på gille (guild) eller ekologisk nisch

Utav de 12 studierna visade resultaten av fem studier på att ljudförorening kan filtrera fågelarter baserat på arternas ekologiska nisch eller uppdelning i gillen. Med det menas att arter delas in i funktionella grupper baserat på arters preferens gällande habitategenskaper, symbioter, föda och/eller andra egenskaper. Denna typ av påverkan påvisades för stadsljud (1 studie), vägljud (3 studier), industriellt ljud (2 studier) och ljud från mänsklig konversation (1 studie). Resultaten

varierar delvis för att studierna valt att göra olika gillesindelningar och studerat olika aspekter av arternas beteende, men det går ändå att utläsa vissa trender.

Dieten har visats påverka fågelarters känslighet för ljudförorening. I en metastudie visade resultaten att fågelarter med en helt eller delvis djurbaserad diet var känsligare för ljudförorening<sup>[26]</sup>. Två studier var mer specifika i sina resultat och fann en ökad känslighet hos insektsätande fågelarter. Enligt en studie var insektsätande fågelarter med ett marknära födosöksområde känsligare<sup>[31]</sup>, medan i en annan fann man en tendens till högre ljudkänslighet hos små insektsätare än stora insektsätare<sup>[16]</sup>. En möjlig förklaring till varför predatorer och i synnerhet insektsätande fågelarter är extra känsliga för ljudförorening är hörselns stora roll i predationen av framförallt insekter och som sannolikt fungerar mindre effektivt utan maskrande buller. I två studier används det här resonemanget för att förklara ljudkänsligheten för predatorer och insektsätare<sup>[16, 26]</sup>. Insektsätande fåglar kan ha en reglerande funktion på insektspopulationer. Möjligtvis kan en ljudorsakad förminskning av dessa fåglars habitat leda till att arternas populationsreglerande funktioner försämras eller försvinner helt.

Liksom en tidigare nämnd studie<sup>[31]</sup> har flera andra studier funnit skillnader i känslighet för ljudförorening hos fågelarter knutna till olika höjdsikt. Två studier har observerat en lägre förekomst av markhäckande fåglar<sup>[32, 33]</sup>. Samma meta studie som har nämnts tidigare fann att arter som födosöker över markytan var känsligare än arter som hittar sin mat från markytan<sup>[26]</sup>. Fågelarter knutna till trädkronor påverkades i större omfattning i en annan tidigare nämnd studie<sup>[16]</sup>, dock erkänner studien brister i säkerheten på detta resultat. Fåglar rör sig ofta mellan olika stratum och det kan vara en svårighet för studier att definiera vilket höjdsikt en fågelart är knuten till. Gällande häckningsplatsen och ljudkänslighet finns det möjliga andra faktorer som kovarierar med ljudförorening, exempelvis markanvändning och fysisk störning av människor och bilar, som kan sänka lokalens kvalité som häckningsplats.

Två studier fann ingen signifikant fylogenetisk association till fågelarters känslighet för ljudförorening<sup>[16, 26]</sup>. Konvergent evolution har gjort att fågelarter som tillhör olika familjer och ordningar kan vara lika vad gäller exempelvis diet, häckningsplats och födosöksområde. Det här gör att fågelarternas egenskaper verkar vara bättre indikatorer på deras ljudkänslighet än att bara titta på släktskapet.

En av dessa 12 studier fann ingen urskiljbar effekt av ljudförorening på artsammansättningen av fågelsamhällen<sup>[17]</sup>. Studien fann däremot att andra habitatfaktorer påverkade artsammansättningen av fågelsamhällen i urbana parker, exempelvis fler insektsätande arter där träden var högre och artrikedomen av träd och buskar var högre.

## **5 Sammanfattning av effekterna som hittills påvisats**

Min hypotes om en lägre artrikedomen och diversitet hos bullerutsatta fågelsamhällen stämde delvis. Det fanns ett relativt starkt stöd i litteraturen för att ljudförorening sänker artrikedomen hos fågelsamhällen, men inte för en lägre diversitet. Diversitet påverkas inte bara av antalet arter, men också av deras relativa abundans. Det här gör att antalet arter kan gå ner utan att diversiteten

sänks, om de resterande arterna samtidigt fördelar sig jämnare. Artrikedom och abundans är enkla mått som ensamma inte innehåller så mycket information och kan därför inte fånga hela bilden av hur fågelsamhällen påverkas av ljud.

Många studier fann stöd för kvalitativa effekter på samhällen genom en varierande ljudkänslighet hos fågelarter. Ljudkänsligheten verkar delvis hänga samman med en fågelarts vokaliseringsfrekvens eftersom lågfrekventa vokaliseringar kan maskeras av lågfrekvent buller. Ytterligare en egenskap som i litteraturen förknippas med fåglars ljudkänslighet är dieten. Här verkar predatorer och i synnerhet insektsätare vara extra känsliga för ljudförorening. En möjlig förklaring är att dessa fågelarter är mer beroende av hörsel och därför drabbas hårdare av mänskliga intrång i ljudlandskapet.

Med denna information är det väldigt svårt att utesluta att ljudförorening har en effekt på fågelsamhällen. Samtidigt är det svårare att definiera vilka effekter som ljudet helt säkert har eftersom forskningsunderlaget inte är stort nog. De effekterna som har tagits upp bör därför ses som starka tendenser inte minst för att studierna ofta är väldigt små i jämförelse med samhällena som studeras. Det är också ovanligt att exakt samma studiedesign replikeras i ett annat område, vilket skulle behövas för att kunna se effekter på större skala.

### **Ojämheter i forskningens representation**

Som väntat var det norra halvklotet överrepresenterat i de insamlade studierna. De nearktiska (33 studier) och palearktiska (25 studier) djurgeografiska regionerna representerades i ungefär fyra gånger så många studier som det södra halvklotet. Detta kan relateras med de 72 studierna som utgjorde urvalet alltså var nästan hälften av studierna utförda i den nearktiska regionen. I det södra halvklotet var de neotropiska (7 studier) och orientaliska (6 studier) regionerna representerade i störst grad i forskningen. En studie utfördes i den australiska regionen medan den etiopiska regionen inte alls var representerad liksom den antarktiska regionen. Det norra halvklotet är i allmänhet överrepresenterat när det gäller forskning och akademiska publikationer. Den snedfördelningen syns även när det gäller forskning om ljudförorening. Många länder i det södra halvklotet kommer sannolikt urbaniseras och industrialiseras i större grad i framtiden. Fler studier bör utföras i det södra halvklotet och i synnerhet i den etiopiska djurgeografiska regionen som innefattar huvuddelen av Afrika och delar av mellanöstern. Resultaten från sådana studier kan visa sig vara användbara i många länders planering för en hållbar utveckling i framtiden.

Gällande de olika fågelordningarnas representation i forskningen var resultatet som väntat att tättingar (*Passeriformes*, 61 studier) studerades av mer än fyra gånger så många studier som de näst mest studerade fågelordningarna, hackspettsartade fåglar (*Piciformes*, 15 studier) och duvfåglar (*Columbiformes*, 15 studier). Endast två utav 63 studier behandlade inte tättingar vilket verkligen talar för ordningens extensiva representation. Vissa fågelordningar som inte alls är representerade förekommer främst i det södra halvklotet som tenderar att vara underrepresenterad inom forskning om ljudförorening. Pingvinfåglar (*Sphenisciformes*), seriemor (*Cariamiformes*) och flamingofåglar (*Phoenicopteriformes*) är exempel på sådana ordningar. Pingvinfåglar är också ett exempel på en ordning där arterna sällan förekommer i områden som utsätts för

landbaserad ljudförorening, vilket gör att arterna inte studeras i denna kontext. Värt att nämna är också att många orepresenterade fågelordningar är relativt artfattiga, någonting som seriemor och kivifåglar (*Apterygiformes*) exemplifierar. På grund av den stora skillnaden i antalet arter mellan de olika fågelordningarna är det svårt att dra några slutsatser utifrån detta. För att verkligen kunna urskilja hur ojämn forskningen är krävs studier som undersöker representationen av fågelordningarna med hänsyn till ordningarnas artantal.

### **Svårigheter att studera området som bör, och i viss mån har överbryggats**

Studiernas utformning kan medföra att samkorrelerade faktorer inte särskiljs från ljudföroreningens effekt. Ett klart exempel på det är de studier som undersöker effekten av vägljud som alstras av en faktisk väg på fågelsamhällen<sup>[31, 32]</sup>. En väg kan ha flera effekter som påverkar fåglar som korrelerar med ljudnivå som inte mäts i studien exempelvis visuell störning, luftförorening och vegetationseffekter. Resultaten från studier som inte tar hänsyn till potentiella samkorrelerade faktorer tappar därför ofta slagkraft. En studiedesign som bättre isolerar ljudets effekter kan ge upphov till mycket säkrare och tydliga resultat. En studie isolerade ljudets effekter på ett elegant sätt<sup>[18]</sup>. De satt upp en serie högtalare i en väglös skog och kunde på så sätt reproducera enbart ljudet från en väg. Resultatet var en markant nedgång i antalet och artrikedomen av påträffade fåglar vid tider då vägljudet alstrades. Fler studier bör anamma denna typ av design och utföras i större skala på fler platser i världen.

Flertalet studier undersöker fågelsamhällens respons till ljudförorening inom städer, oftast i urbana parker och grönområden<sup>[14, 15]</sup>, men det är inte lika vanligt att man även jämför med ostörd natur eller natur med mycket lite mänsklig aktivitet. Det är viktigt med en sådan kontroll om man ska ta reda på hur man kan förbättra konserveringen av avifaunans biodiversitet i städer samt viktigt för att kunna ta reda på om kontinuiteten i ljudlandskapet är viktigt för fåglar.

### **Forskningsområdets relevans**

Studierna som tas upp ovan har visat på vitt skilda effekter av ljudförorening på fågelsamhällen. Ljudet verkar ha en selektiv påverkan på fågelarter och har en potential att förändra fågelsamhällens artsammansättning karaktär. Det verkar som att fåglar med vissa nischer kan påverkas oproportionerligt mycket. Området är fortfarande relativt outforskat och de effekter som redan börjat visa sig i forskningen kan bara bli tydligare när forskningen fortskrider. Allt eftersom förståelsen av ljudföroreningens effekter ökar kommer potentialen att omsätta kunskapen till naturvårdande åtgärder bli större. Ljudförorening är enbart en av människans många former av miljöpåverkan, men alstrandet av ljud är sällan huvudsyftet av den mänskliga aktiviteten och kan därför minskas utan en negativ samhällspåverkan eller kanske även med samhällsnyttiga effekter. Jag anser därför att fortsatt forskning på ljudföroreningens effekter på fågelsamhällen och, i ett större perspektiv, hela ekosystem är både relevant och i många fall brådskande med tanke på de stora arealer som idag utsätts för ljudförorening.

## Avslutning

Hittills har forskningen på ljudföroreningens effekter mestadels fokuserat på fågelindivider. Det senaste decenniet har dock forskningen börjat utvidgas till att även studera ljudets effekter på samhällsnivå. De studier som har bedrivits inom området har visat på många olika effekter på fågelsamhällen. Som väntat har artrikedomen påvisats vara lägre i bullerutsatta områden. Dock hittade jag inget stöd för en minskad diversitet i närvaro av ljudförorening. Dessa mått förbiser många dimensioner som är viktiga för fågelsamhällen, exempelvis vilka ekologiska nischer som representeras.

Några av studierna undersökte sambanden mellan fågelarters egenskaper och känsligheten för ljudförorening varav vissa fann att arter med låga vokaliseringsfrekvenser försvinner i större utsträckning från bullerutsatta områden. Den större frekvensöverlappen mellan lågfrekventa vokaliseringar och den oftast lågfrekventa ljudföroreningen är en trolig förklaring. Ännu en egenskap som verkar indikera en fågelarts känslighet för ljudförorening är dess ekologiska nisch. Flera studier har pekat ut insektsätande fåglar som extra ljudkänsliga möjligen för många av dessa arters beroende av hörsel i jakten. Dessa arter är per definition predatorer eller åtminstone allätare (omnivor). Försvinnandet av ekologiskt viktiga arter kan leda till trofiska kaskader i synnerhet när det gäller predatorer som direkt påverkar populationer av andra djur.

Trots alla de påvisade effekterna är ljudförorening fortfarande ett relativt outforskat område där många av forskningsresultaten är för svaga för att kunna dra definitiva slutsatser. Mycket återstår att göras för att maximera resultatens säkerhet. Men teknikutvecklingen har gett oss möjligheter att t.ex. artificiellt återskapa ljudförorening utan de sammanfallande habitatförändringarna som annars är närvarande. Den här möjligheten börjar tillvaratas i forskningen vilket i framtiden kan leda till bättre förståelse för omfattningen och karaktären av ljudföroreningens ekologiska påverkan.

Det finns idag stora glapp i med avseende på forskningens geografiska fördelning. En stor majoritet av forskningen har skett i det norra halvklotet, samtidigt som den här typen av studier knappt har bedrivits på vissa ställen. Den etiopiska djurgeografiska regionen som innefattar större delen av Afrika var helt orepresenterad bland de studierna som jag samlade in. Samtidigt sker det en ekonomisk utveckling på kontinenten som troligtvis kommer att innebära mer ljudalstring i framtiden. Det är viktigt att undersöka vilken påverkan ljudföroreningen kan få och utvärdera eventuella naturvårdsåtgärder och metoder för att begränsa de negativa effekterna innan för mycket av landskapet blir påverkat av mänskligt ljud.

Ljudföroreningen blir mer omfattande i världen och genomsyrar redan mycket av landskapet. Det gäller att utreda effekterna så snabbt som möjligt innan det är för sent.

## Referenser

1. Dulac J. (2013). *Global Land Transport Infrastructure Requirements*. Paris: IEA
2. International Energy Agency (2009). *Energy Technology Transitions for Industry*. Paris: IEA
3. Owens, J. L., Stec, C. L., O’Hatnick, A. (2012). The effects of extended exposure to traffic noise on parid social and risk-taking behavior. *Behavioural Processes*, vol. 91, ss. 61-69. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.beproc.2012.05.010>
4. LaZerte, S. E., Otter, K. A., Slabbekoorn, H. (2005). Relative effects of ambient noise and habitat openness on signal transfer for chickadee vocalizations in rural and urban green-spaces. *Bioacoustics*, vol. 24 (3), ss. 233-252. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09524622.2015.1060531>
5. Halfwerk, W., Holleman, L. J. M., Lessels, C. M., Slabbekoorn, H. (2011). Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *Journal of Applied Ecology*, vol. 48, ss. 210-219. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2010.01914.x
6. Brumm, H. (2004). The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology*, Vol. 73, ss. 434-440. DOI: 10.1111/j.0021-8790.2004.00814.x
7. Proppe, D. S., Avey, M. T., Hoeschele, M., Moscicki, M. K., Farrell, T., St Clair, C. C., Sturdy, C. B. (2012). Black-capped chickadees *Poecile atricapillus* sing at higher pitches with elevated anthropogenic noise, but not with decreasing canopy cover. *Journal of Avian Biology*, vol. 43, ss. 325-332. DOI: 10.1111/j.1600-048X.2012.05640.x
8. Nordt, A., Klenke, R. (2013). Sleepless in Town – Drivers of the Temporal Shift in Dawn Song in Urban European Blackbirds. *PLoS ONE*, vol. 8 (8), e71476. DOI: 10.1371/journal.pone.0071476
9. Patricelli, G. L., Blickley, J. L. (2006). Avian Communication in Urban Noise: Causes and Consequenses of Vocal Adjustment. *The Auk*, vol. 123 (3), ss. 639–649. DOI: [http://dx.doi.org/10.1642/0004-8038\(2006\)123\[639:ACIUNC\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1642/0004-8038(2006)123[639:ACIUNC]2.0.CO;2)
10. Fernández-Juricic, E. (2001). Avian spatial segregation at edges and interiors of urban parks in Madrid, Spain. *Biodiversity and conservation*, vol. 10, ss. 1303–1316. DOI: 10.1023/A:1016614625675
11. Saha, D. C., Padhy, P. K. (2011). Effect of air and noise pollution on species diversity and population density of forest birds at Lalpahari, West Bengal, India. *Science of the Total Environment*, vol. 409, ss. 5328–5336. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.08.062>
12. Rheindt, F. E. (2003). The impact of roads on birds: Does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution? *Journal of Ornithology*, vol. 144 (3), ss. 295–306. DOI: 10.1007/BF02465629
13. Minor, E. & Urban, D. (2010). Forest bird communities across a gradient of urban development. *Urban Ecosystems*, vol. 13 (1), ss. 51-71. DOI: 10.1007/s11252-009-0103-1
14. Patón, D., Romero, F., Cuenca, J. & Escudero, J. C. (2012). Tolerance to noise in 91 bird species from 27 urban gardens of Iberian Peninsula. *Landscape and Urban Planning*, vol. 104 (1), ss. 1-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.09.002>
15. Zhou, D. & Chu, L.M. (2012). How would size, age, human disturbance, and vegetation structure affect bird communities of urban parks in different seasons? *Journal of Ornithology*, vol. 153 (4), ss. 1101-1112. DOI: 10.1007/s10336-012-0839-x
16. Karp, D. S. & Guevara, R. (2011). Conversational Noise Reduction as a Win–Win for Ecotourists and Rain Forest Birds in Peru. *Biotropica*, vol. 43, ss. 122-130. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2010.00660.x
17. Carbó-Ramírez, P. & Zuria, I. (2011). The value of small urban greenspaces for birds in a Mexican city. *Landscape and Urban Planning*, vol. 100, ss. 213-222. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2010.12.008
18. McClure, C. J. W., Ware, H. E., Carlisle, J., Kaltenecker, G. & Barber, J. R. (2013). An experimental investigation into the effects of traffic noise on distributions of birds: avoiding the phantom road. *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 280: 20132290. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.2290>
19. Garcia, P. (2015). *Bird Richness and Abundance as Affected by Social-Ecological Characteristics in an Urban Environment*. Avh. California State University. Fresno.

20. Proppe, D. S., Sturdy, C. B. & St. Clair, C. C. (2013). Anthropogenic noise decreases urban songbird diversity and may contribute to homogenization. *Global Change Biology*, vol. 19 (4), ss. 1075–1084. DOI: doi:10.1111/gcb.12098
21. Summers, P. D., Cunnington, G. M. & Fahrig, L. (2011). Are the negative effects of roads on breeding birds caused by traffic noise? *Journal of Applied Ecology*, vol. 48, ss. 1527-1534. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2011.02041.x
22. Francis, C. D., Ortega, C. P. & Cruz, A. (2009). Noise pollution changes avian communities and species interactions. *Current Biology*, vol. 19 (16), ss. 1415-1419. DOI: 10.1016/j.cub.2009.06.052
23. Yanping Wang, Ping Ding, Shuihua Chen & Guangmei Zheng (2012). Nestedness of bird assemblages on urban woodlots: Implications for conservation. *Landscape and Urban Planning*, vol. 111, ss. 59-67. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.11.008
24. José Antonio González-Oreja, Arturo Andrés De La Fuente-Díaz-Ordaz, Lorna Hernández-Santín, Carolina Bonache-Regidor & Daniela Buzo-Franco (2012). Can human disturbance promote nestedness? Songbirds and noise in urban parks as a case study. *Landscape and Urban Planning*, vol. 104 (1), ss. 9-18. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.09.001
25. Ulrich, W., Almeida-Neto, M. (2012). On the meanings of nestedness: back to the basics. *Ecography*, vol. 35, ss. 1-7. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2012.07671.x
26. Francis, C. D. (2015). Vocal traits and diet explain avian sensitivities to anthropogenic noise. *Global Change Biology*, vol. 21, ss. 1809-1820. DOI: 10.1111/gcb.12862
27. Wood, W. E., Yezerinac, S. M. (2006). Song Sparrow (*Melospiza melodia*) Song Varies With Urban Noise. *The Auk*, vol. 123 (3), ss. 650–659. DOI: http://dx.doi.org/10.1642/0004-8038(2006)123[650:SSMMSV]2.0.CO;2
28. Farina, A., Pieretti, N. (2014). Acoustic Codes in Action in a Soundscape Context. *Biosemiotics*, vol. 7, ss. 321–328. DOI: 10.1007/s12304-014-9213-0
29. Boncoraglio, G. & Saino, N. (2007). Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Functional Ecology*, vol. 21 (1), ss. 134-142. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2006.01207.x
30. Goodwin, S. E. & Shriver, W. G. (2011). Effects of Traffic Noise on Occupancy Patterns of Forest Birds. *Conservation Biology*, vol. 25, ss. 406-411. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2010.01602.x
31. Canaday, C. & Rivadeneyra, J. (2001). Initial effects of a petroleum operation on Amazonian birds: terrestrial insectivores retreat. *Biodiversity and Conservation*, vol. 10 (4), ss. 567-595. DOI: 10.1023/A:1016651827287
32. Polak, M., Wiącek, J., Kucharczyk, M. & Orzechowski, R. (2013). The Effect of Road Traffic on a Breeding Community of Woodland Birds. *European Journal of Forest Research*, vol. 132 (5), ss. 931-941. DOI: 10.1007/s10342-013-0732-z
33. Fontana, C. S., Burger, M. I., Magnusson, W. E. (2011). Bird diversity in a subtropical South-American City: effects of noise levels, arborisation and human population density. *Urban Ecosystems*, vol. 14 (3), ss. 341-360. DOI: 10.1007/s11252-011-0156-9

**Dessa referenser finns endast i tabell 1 och är inte hänvisade till i texten.**

34. Manjula Menon, Prashanthi Devi M & Mohanraj Rangaswamy (2016). Avifaunal Richness and Abundance Along an Urban Rural Gradient with Emphasis on Vegetative and Anthropogenic Attributes in Tiruchirappalli, India. *Landscape Research*, vol. 41 (1), ss. 131-148. DOI: 10.1080/01426397.2014.910294
35. Wiącek, J., Polak, M., Kucharczyk, A. & Bohatkiewicz, J. (2015). The influence of road traffic on birds during autumn period: Implications for planning and management of road network. *Landscape and Urban Planning*, vol. 134, ss. 76-82. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.016
36. Herrera-Montes, M. I. & Aide, T. M. Urban (2011). Impacts of traffic noise on anuran and bird communities. *Urban Ecosystems*, vol. 14 (3), ss. 415-427. DOI: 10.1007/s11252-011-0158-7
37. Francis, C. D., Ortega, C. P. & Cruz, A. (2011). Noise Pollution Filters Bird Communities Based on Vocal Frequency. *PLoS ONE*, vol. 6 (11): e27052. DOI: 10.1371/journal.pone.0027052