



Impact van geluid op het welzijn van proefdieren

Dit rapport heeft als doel om wetenschappelijk verantwoorde (“evidence-based”) aanbevelingen te geven voor het beheer van geluid in proefdierfaciliteiten. De aanbevelingen zijn gebaseerd op de huidige kennis over hoe de doelsoorten geluid waarnemen, en een literatuurstudie naar de effecten van geluid op voortplanting, immuunfunctie, slaap, sociaal gedrag (agressie) en angst/schrik bij deze soorten.

Dit rapport bevat de mening van externe auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse overheid.

Toon Denys, secretaris-generaal
Departement Omgeving
Koning Albert-II laan 15 bus 553, 1210 Brussel (postadres)
vlaanderen.be/omgeving

Buddhamas Pralle Kriengwatana – KU Leuven
 Esther Van Haver – KU Leuven
 Adinda Sannen – Odisee
 Leen Verbist – Odisee
 Stef Aerts – Odisee
 Tomas Norton – KU Leuven

31 maart 2026

D/2026/3241/111

Voor vragen of opmerkingen over de studie kunnen de auteurs gecontacteerd worden via e-mail: tomas.norton@kuleuven.be

Partners



INLEIDING

Geluidsoverlast wordt door Europese Richtlijn omgevingslawaai (Richtlijn 2002/49/EG) erkend als een belangrijk probleem voor mens en dier. Deze Richtlijn heeft tot doel een kader te creëren om de schadelijke effecten van blootstelling aan omgevingslawaai te voorkomen, te vermijden of te verminderen. Volgens rapporten van het Europees Milieuagentschap uit 2020 en 2025 (European Environment Agency, 2020, 2025) is langdurige blootstelling aan omgevingsgeluid een belangrijke oorzaak van vroegtijdige overlijdens en nieuwe gevallen van hart- en vaatziekten. Miljoenen mensen lijden onder de schadelijke psychologische effecten van geluid, zoals irritatie, slaapstoornissen en leerproblemen. De rapporten belichtten ook de impact van omgevingsgeluid op wilde dieren (zowel land- als waterdieren), met gevolgen voor diverse fysiologische en gedragsreacties, waaronder gehoorverlies, verhoogde stress, een slechtere immuunfunctie, slaap, voortplantingsgedrag en -succes, foerageer- en territoriaal gedrag en communicatie.

Dieren in onderzoeksfaciliteiten worden ook blootgesteld aan verschillende niveaus en bronnen van lawaai. Hoewel lawaai een potentiële bron van verstoring is voor proefdieren, kunnen de effecten ervan onopgemerkt blijven wanneer het voor mensen onhoorbaar is of wanneer wordt aangenomen dat het voor dieren onmerkbaar is. Lawaai kan daarom het welzijn verminderen en onbedoelde variatie in onderzoeksgegevens veroorzaken, waardoor de reproduceerbaarheid van het onderzoek wordt beïnvloed en de 3V-doelstellingen om onderzoek met proefdieren te verminderen en te verfijnen worden ondermijnd (Turner, 2020; Turner & Manker, 2024). De bestaande regelgeving voor dieren die voor wetenschappelijk onderzoek worden gebruikt (Richtlijn 2010/63/EU) stelt dat het welzijn van dieren niet nadelig mag worden beïnvloed door lawaai en dat dit tot een minimum moet worden beperkt. Tot hiertoe zijn echter de relaties tussen verschillende soorten geluid in onderzoeksfaciliteiten en de input van de betrokken partijen over prioriteiten en haalbaarheid van akoestische monitoring en beheer nog niet in één publicatie samengebracht.

Deze Leidraad is geschreven in opdracht van de Vlaamse Overheid, Afdeling Dierenwelzijn (opdracht OMG_DWZ_2025_001: “Impact van geluid op het welzijn van proefdieren”) en heeft als doel om wetenschappelijk verantwoorde (“evidence-based”) aanbevelingen te geven voor het beheer van geluid in proefdierfaciliteiten. De aanbevelingen zijn gebaseerd op de huidige kennis over hoe de doelsoorten geluid waarnemen, en een literatuurstudie naar de effecten van geluid op voortplanting, immuunfunctie, slaap, sociaal gedrag (agressie) en angst/schrik¹ bij deze soorten. Aanbevelingen voor het beheer van geluid zijn zo opgesteld dat ze specifieke aandachtspunten aanpakken en perspectieven van relevante belanghebbenden (zoals leidinggevenden van laboratoriumfaciliteiten) integreren.

Deze leidraad is verdeeld in vier hoofdstukken. Het eerste hoofdstuk biedt basisinformatie over geluid en hoe dit wordt gemeten, over geluidsperceptie bij de laboratoriumsoorten waarop deze leidraad betrekking heeft (ratten, muizen, varkens, kippen en zebravissen), en over bronnen en niveaus van geluid in onderzoeksfaciliteiten. Het tweede hoofdstuk schetst een objectief en representatief beeld van de impact van verschillende soorten geluid op diverse indicatoren van dierenwelzijn aan de hand van een gestructureerde literatuurstudie. Het derde hoofdstuk vat de input van stakeholders samen over hun perspectieven en prioriteiten met betrekking tot geluidsmonitoring en -beheer in dieronderzoeksfaciliteiten. Het laatste hoofdstuk bevat aanbevelingen voor geluidsbeheersing in proefdierfaciliteiten. Deze kunnen helpen strategieën te ontwikkelen om het dierenwelzijn via de akoestische omgeving te verbeteren.

¹ In de Engelstalige literatuur wordt meestal gesproken over “anxiety/fear”, wat enigszins moeilijk te vertalen is naar het Nederlands. We kiezen hier voor “angst/schrik” om het onderscheid te maken.

INHOUDSTAFEL

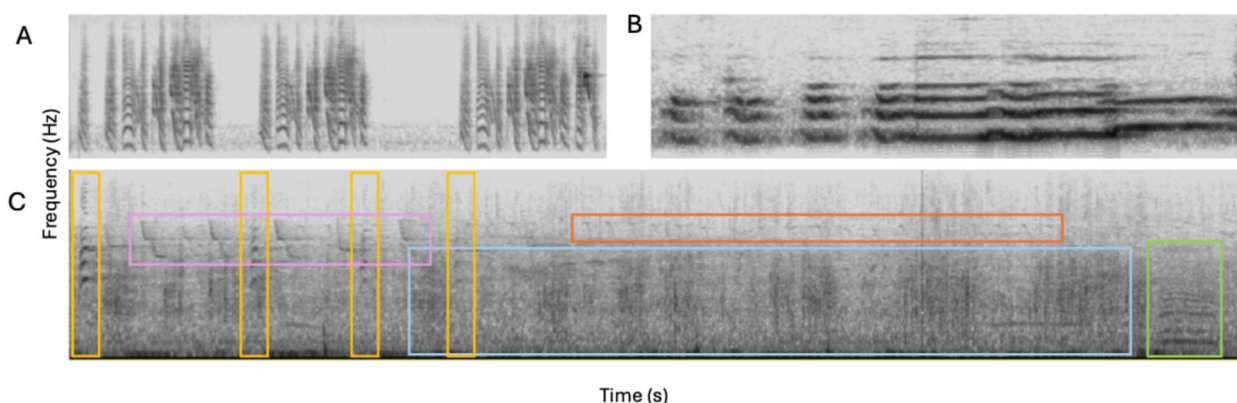
1	Wat is geluid?	5
1.1	Eigenschappen van geluid	6
1.2	Hoe wordt geluid gemeten?	6
2	Geluidswaarneming bij dieren	9
2.1	Het auditieve systeem	9
2.2	Gehoorbereik	10
2.3	Factoren die de geluidswaarneming beïnvloeden	11
3	Lawaai in laboratoriumfaciliteiten	13
3.1	Interne bronnen	13
3.2	Externe bronnen	13
3.3	Intensiteit en frequentie van lawaai in laboratoria	14
4	Niet-auditieve effecten van geluid op dieren.....	16
4.1	Relevante effecten	16
4.2	Strategie voor literatuuronderzoek	16
4.3	Kwantificering	17
4.4	Beschrijvende statistiek	17
4.5	Geluidscategorieën	19
5	Effecten van verschillende soorten geluid op dieren.....	20
5.1	Breedbandlawaai	20
5.2	Muziek	24
5.3	Stadslawaai	28
5.4	Smalbandlawaai	30
5.5	Dierenverblijven	32
5.6	Alarmgeluiden	33
5.7	Infrasoon geluid	33
5.8	Ultrasoon geluid	34
5.9	Soortgenoten	34
5.10	Andere diersoorten	35
5.11	Specifieke uitrusting	35
5.12	Samenvatting van de bevindingen	35
5.13	Beperkingen van het literatuuroverzicht	36
6	Stakeholderinterviews.....	38
7	Aanbevelingen.....	39
7.1	Geluidslimieten	39
7.2	Locatie, ontwerp en exploitatie van de faciliteit	39
7.3	Geluiden monitoren in het lab	41
7.4	Akoestische verrijking	42
8	Toekomstperspectieven	44
8.1	Geluidsbeheer dat meer is dan geluidslimieten	44
8.2	Individuele factoren die de reactie op geluid beïnvloeden	45
8.3	Trillingen	45
Referenties.....		46
Lijst met afkortingen		64
Bijlage		65

1.1 EIGENSCHAPPEN VAN GELUID

Geluid heeft verschillende fysieke eigenschappen die worden waargenomen. De eenvoudigste zijn frequentie, amplitude en toonhoogte. Frequentie verwijst naar hoe vaak deeltjes van het medium heen en weer trillen rond hun vaste positie. Frequentie wordt gewoonlijk uitgedrukt als het aantal cycli per seconde, met als eenheid Hertz (Hz). Geluiden met hoge frequentie hebben een kortere golflengte en worden door ons gehoor waargenomen als een hogere toonhoogte. In vergelijking met laagfrequente geluiden worden hoogfrequente geluiden gemakkelijk gedempt en reizen ze minder efficiënt in lucht en water. Het meeste geluid bestaat uit veel frequenties: geluid met één frequentie, dus zuivere tonen, zijn zeldzaam in de natuur.

Amplitude verwijst naar de maximale verplaatsing van een deeltje vanuit zijn rustpositie. Geluiden met een hogere amplitude hebben meer energie (omdat er meer energie nodig is om een grotere verplaatsing van het deeltje te creëren) en worden daarom als luider waargenomen.

Geluid kan gevisualiseerd worden als een spectrogram, waarbij de geluidsfrequentie op de y-as en de tijd op de x-as wordt weergegeven. De kleurintensiteit geeft het vermogen aan (meestal uitgedrukt in decibel), waarbij donkere kleuren overeenkomen met een hogere energie. Figuur 2 toont voorbeelden van spectrogrammen die zijn opgenomen onder gecontroleerde laboratoriumomstandigheden en in ongecontroleerde buitenomstandigheden.



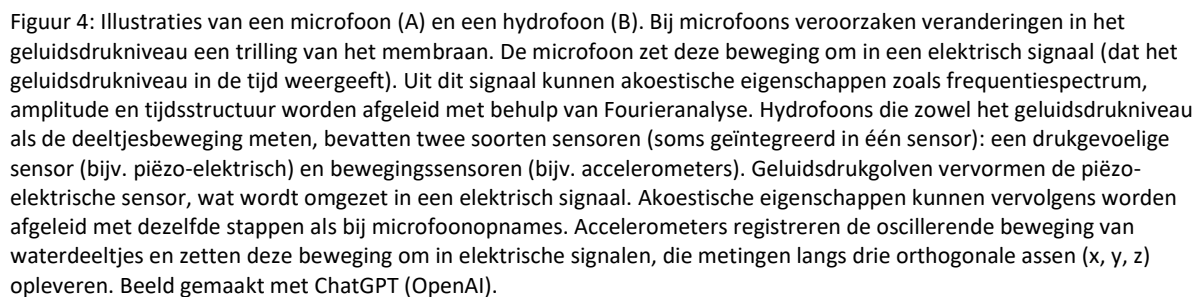
Figuur 2: Voorbeelden van spectrogrammen van natuurlijke geluiden. (A) Zang van een zebra-vink, individueel opgenomen in geluidsgedempte kamers. (B) Vocalisatie van een kip (legkip) opgenomen in een laboratorium. (C) Buitenopname met verschillende gelijktijdige geluiden en achtergrondgeluid. Oranje, gele, groene en paarse vakjes geven de vocalisaties van verschillende vogelsoorten weer, terwijl het blauwe vakje watergeluiden aangeeft, met zichtbare amplitudeverschillen veroorzaakt door de beweging van de dieren. De vocalisaties van gele en groene soorten vallen binnen hetzelfde frequentiebereik als watergeluiden. Daarom kunnen watergeluiden signalen maskeren en mogelijk de communicatie bij deze soorten verstoren, terwijl paarse en oranje soorten hier mogelijk geen last van hebben. De spectrogrammen zijn niet uitgelijnd op de frequentie- of tijdsas.

1.2 HOE WORDT GELUID GEMETEN?

Luidheid is een maat voor de manier waarop we geluid waarnemen, gebaseerd op de fysieke grootte van het geluid en een psychologische weging daarvan. De fysieke grootte van de geluidsdruk (dus SPL) wordt gemeten op een lineaire schaal, Pascal (Pa).

Decibel (dB) is de logaritmische omzetting van deze fysische grootte en geeft aan hoe vaak de geluidsdruk groter is dan een referentiedruk. In lucht is de referentiedruk 20 micro-Pascal (μPa); in water is dat 1 μPa . Daarom is de volledig correcte notatie voor geluidsdruk dB re 20 μPa ("decibel

Instrumenten om geluid te meten zijn onder andere microfoons en hydrofoons (Figuur 4). De meeste microfoons gebruiken de beweging van een membraan om variatie in de SPL over de tijd te meten. De mate van verplaatsing van het membraan in de loop van de tijd wordt omgezet in een elektrisch signaal, waaruit eigenschappen zoals frequentie en energiedistributie met signaalanalysetechnieken kunnen worden afgeleid. Hydrofoons hebben twee verschillende sensoren om druk en deeltjesbeweging (deeltjessnelheid, versnelling en/of verplaatsing) in water te meten.



2 GELUIDSWAARNEMING BIJ DIEREN

Geluiden spelen een belangrijke rol in bijna elk aspect van het leven van de meeste gewervelden, gebruikt bij communicatie, foeragegedrag, opmerken van roofdieren/prooien, oriëntatie, migratie, paringsgedrag en habitatkeuze. Omdat de capaciteiten van het gehoor van gewervelden ontwikkeld is voor de soortspecifieke sociaal-ecologische eisen, mogen we niet aannemen dat andere soorten horen wat wij mensen horen. Mensen kunnen bijvoorbeeld geen geluiden boven 20 kHz (daarom ultrasoon geluid genoemd) of onder 20 Hz (“infrasone” geluiden) horen, terwijl dieren zoals knaagdieren en olifanten geluiden produceren en waarnemen in het ultrasone of infrasone bereik (Payne et al., 1986; Portfors, 2007).

Om beter te begrijpen wat proefdieren mogelijk horen, legt deze sectie kort geluidspceptie uit door te beschrijven hoe het gehoorsysteem werkt, welk frequentiebereik verschillende soorten kunnen waarnemen (gehoorbereik) en welke niet-auditieve factoren kunnen bepalen welke geluiden worden waargenomen en verwerkt.

2.1 HET AUDITIEVE SYSTEEM

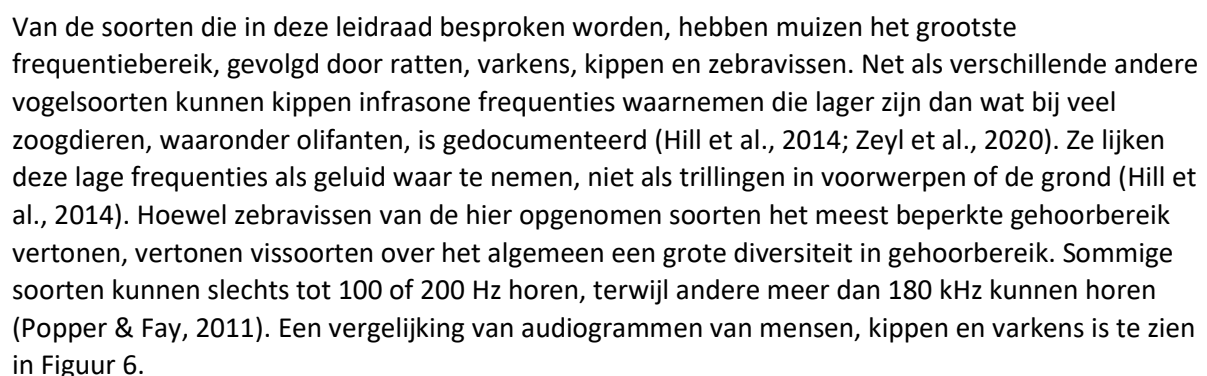
Het gehoorsysteem stelt dieren in staat geluiden in hun omgeving te detecteren en deze informatie te gebruiken om gedrag te sturen. Bij de meeste terrestrische gewervelden bestaat het uit twee delen: het perifere systeem (het buiten-, midden- en binnenoor) en het centrale systeem (de hersenen) (Fay, 1988). Het buiten- en middenoor detecteren geluidsgolven en sturen deze door naar het binnenoor (het slakkenhuis of cochlea). Verschillende geluidsfrequenties worden op verschillende locaties langs de cochlea verwerkt, wat betekent dat de verwerking van toonhoogte-informatie al in dit zeer vroege stadium is georganiseerd. Het slakkenhuis zet het gedetecteerde geluid vervolgens om in elektrische signalen en stuurt deze via de gehoorzenuw naar de hersenstam (Fay & Popper, 2000).

In de hersenstam vindt basisverwerking plaats, waaronder geluidslokalisatie, scheiding van informatie over toonhoogte en timing, en reflexmatige reacties op geluid (bijvoorbeeld schrikreacties en oriënteren op een geluidsbron). Het signaal wordt vervolgens doorgestuurd naar hogere hersengebieden, waaronder de primaire auditieve cortex, waar basisgeluidskennmerken zoals toonhoogte, luidheid en ritme bepaald worden, en verder naar associatieve gebieden waar geluiden worden herkend en geïnterpreteerd (bv. soort of individuele identiteit). Door verbindingen met bewegings-, aandachts- en leersystemen kunnen geluiden invloed hebben op hoe een dier zich gedraagt, waar het op let en hoe het leert van zijn omgeving (Fay, 1988; Fay & Popper, 2000). Op deze manier kunnen geluiden in de omgeving rechtstreeks invloed hebben op het welzijn van proefdieren.

Veel vissoorten gebruiken andere structuren om geluid en trillingen in water waar te nemen. Vissen hebben over het algemeen geen buiten- en middenoor, dus ze zijn afhankelijk van het binnenoor en andere gespecialiseerde structuren, zoals de zwemblaas of het zijlijnsysteem, ook laterale lijn genoemd (Popper & Fay, 2011). Het binnenoor van vissen detecteert deeltjesbeweging over een breed frequentiebereik. Sommige vissoorten, waaronder zebravissen, beschikken over een zwemblaas (een met gas gevuld orgaan dat voornamelijk dient om de drijfkracht te behouden) die ook wordt gebruikt om geluidsdrukkniveaus en deeltjesbeweging te detecteren (Popper et al., 2014; Popper & Fay, 2011). De laterale lijn bestaat uit een reeks sensorische receptoren langs het hoofd en lichaam die gevoelig zijn voor laagfrequente trillingen nabij het lichaam, waardoor de detectie van

2.2 GEHOORBEREIK

Soort	Hoorbaar bereik (kHz)	Gevoelig bereik (kHz)
Mens	0.02 – 20	2 – 5
Laboratoriumrat ^{1,2}	0.25 – 80*	12 – 24
Laboratoriummuis ³	1 – 100*	8 – 24
Varken (gedomesticeerd) ^{4,5}	0.042 – 40.5	0.25 – 16
Kip (gedomesticeerd) ⁶	0.002 – 7.2**	2 – 4
Zebravis ⁷	0.2 – 1***	0.4 – 0.6



Bij sommige soorten wordt het gehoor beïnvloed door het seizoen en geslacht. Een mannelijke Poriichthys notatus (soms bootsmanvis genoemd) maakt een laag zoemend geluid om vrouwtjes aan te trekken tijdens het broedseizoen. Vrouwtjes die klaar zijn om zich voort te planten, vertonen verbeterd gehoor: ze horen zachte geluiden en hogere frequenties beter dan andere vrouwtjes (Sisneros, 2009; Sisneros & Bass, 2003). Gehoorverlies is ook in verband gebracht met stressresponssystemen, aangezien glucocorticoïden betrokken zijn bij de vatbaarheid voor en het herstel van het auditieve systeem na akoestisch trauma (Maniaci et al., 2024).

pagina 12 van 65

boerderijen (Atanasov et al., 2015; Baldwin et al., 2007; Barabas et al., 2022; Bayne & Turner, 2014; Patterson-Kane & Farnworth, 2006; Reynolds et al., 2010; Sobotka et al., 2003).

Samengenomen betekent dit dat lawaai in laboratoriumomgevingen ontstaat door een complexe interactie tussen dieren, mensen, apparatuur, technische systemen en externe omgevingen, wat resulteert in zowel continu achtergrondlawaai als korte felle pieken.

3.3 INTENSITEIT EN FREQUENTIE VAN LAWAAI IN LABORATORIA

Door dieren veroorzaakte geluiden dragen aanzienlijk bij aan de variatie aan geluid in laboratoria, met ongeveer 80 dB SPL bij knaagdieren en aanzienlijk hogere niveaus bij grotere dieren zoals varkens, waar gemiddelde geluidsniveaus van 80-103 dB(A) en pieken boven de 100 dB zijn gerapporteerd (McLeod et al., 2022; Weeks, 2008; Young et al., 2011).

Wat betreft menselijke activiteiten genereren kooiwisselingen, verplaatsingen van dieren en hantering doorgaans geluidsniveaus tussen ongeveer 75 en 85 dB. Tijdens het gebruik kan in 'animal transfer stations' (ATS) het geluidsniveau wel 10 dB hoger zijn, en op ongeveer 65 dB uitkomen (Barabas et al., 2022; Reynolds et al., 2010). Kooiwisselingen kunnen het gemiddelde geluidsniveau van 50 naar 60 db(Z) doen stijgen, met pieken tot 79 dB (Barabas et al., 2022). Geluiden tijdens experimenten of handling variëren vaak van 75 tot 100 dB, afhankelijk van wat er gebeurt (Kroll et al., 2024; Lauer et al., 2009).

Geluiden die met apparatuur en materiaal te maken hebben, dragen bovendien bij aan verhoogde korte pieken, met name botsingen van metaal op metaal, die ongeveer 100-112 dB SPL kunnen bereiken. Transportkarren met harde rubberen wielen kunnen gemiddelde niveaus rond 86 dB produceren en maximale pieken bereiken boven de 110 dB wanneer ze verplaatst worden (Baldwin et al., 2007; Cordingley et al., 2024; Parker et al., 2010; Young et al., 2011).

Het reinigen en wassen van kooien zorgen voor extra intens lawaai, waarbij stofzuigers en hogedrukreinigers niveaus rond of boven 100 dB produceren, en alarmen of stromend water 80-95 dB bereiken, afhankelijk van afstand en configuratie (Pate, 2013; Sales et al., 1988). Tijdspatronen in laboratoriumgeluid tonen dat overdag zeer variabele geluidsniveaus met frequente korte pieken te zien zijn, terwijl lawaai 's nachts over het algemeen beperkter, stabiel en minder frequent is (Barabas et al., 2022; Lauer et al., 2009; McLeod et al., 2022). Lawaai van transport komt continu voor tijdens de verplaatsing, maar is beperkt tot de duur van het transport (Cordingley et al., 2024), terwijl in de lokalen waar kooien gewassen worden continu lawaai is tijdens het gebruik van de machine, met frequente herhaalde pieken, vooral bij taken aan de vuile kant (Pate et al., 2013).

Het achtergrondgeluid van ventilatiesystemen, infrastructuur, verlichting en geventileerde rekken is daarentegen meestal beperkter en stabiel, doorgaans variërend tussen 30 en 60 dB SPL of dB(A). Onderzoeksfaciliteiten die ongebruikt of minimaal actief zijn, liggen gemiddeld rond de 52-55 dB(A) en in gebruik zijnde ruimtes rond de 53-62 dB (Barabas et al., 2022; McLeod et al., 2022; Milligan et al., 1993; Parker et al., 2010; Reynolds et al., 2010; Riegel & Bruce, 2013). Zebravissen in grootschalige huisvestingssystemen worden daarentegen blootgesteld aan veel hogere continue achtergrondgeluiden, tussen 122 – 143 dB re 1 μ Pa. Ter vergelijking: lawaai van een motorboot is ongeveer 130 dB re 1 μ Pa (Lara & Vasconcelos, 2019).

Wat betreft frequentie beschrijven de meeste studies lawaai in laboratoria als een combinatie van continue achtergrondblootstelling en intermitterende, activiteitsgerelateerde pieken. Mechanische systemen werken continu, terwijl het hanteren van kooien, dierenbeweging, onderzoekstaken en menselijke activiteit kortstondig lawaai genereren dat afhangt van werkschema's, het aantal aanwezige personeelsleden en de aanwezigheid van bezoekers (Baldwin et al., 2007; McLeod et al., 2022; Milligan et al., 1993; Riegel & Bruce, 2013). Gebeurtenissen die tijdelijke pieken in SPL veroorzaakten, bleken op een doordeweekse dag soms meer dan 100 keer binnen 24 uur plaats te vinden, waarbij een aanzienlijk aantal van deze gebeurtenissen meer dan 25 dBR boven achtergrondgeluidsniveaus in sommige dierenverblijven uit kwam (Glickman et al., 2011).

4 NIET-AUDITIEVE EFFECTEN VAN GELUID OP DIEREN

Het is welbekend dat geluid, naast effecten op het gehoorsysteem, ook niet-auditieve effecten heeft op een breed scala aan gedrag, fysiologische en cognitieve/neurale functies bij mensen en dieren (Kight & Swaddle, 2011a).

Het doel van deze literatuurstudie is om een representatief beeld te krijgen van hoe verschillende soorten geluiden het welzijn van bepaalde proefdieren beïnvloeden: ratten, muizen, varkens, kippen en zebravissen.

4.1 RELEVANTE EFFECTEN

De opdracht tot deze literatuurstudie werd gegeven om het effect van verschillende soorten geluiden op voortplanting, immuunfunctie, slaap, sociaal gedrag en welzijn van de doelsoort te onderzoeken. De te onderzoeken effecten werden als volgt in praktische uitkomstvariabelen vertaald:

- **Voortplanting:** nestgrootte, uitkomstsucces en overleving van nakomelingen
- **Immuunfunctie:** glucocorticoïden (GC) of GC-metabolietniveaus in bloed, veren, ontlasting of haar en differentiële leukocyten tellingen (witte bloedcellen, WBC). Deze metingen worden gekozen omdat het rechtstreekse of onrechtstreekse metingen zijn van de immuunfunctie die worden beïnvloed door psychologische en/of fysiologische stress (Sapolsky et al., 2000). De differentiële WBC-tellingen waren de verhouding van neutrofielen tot lymfocyten (N:L) bij zoogdieren en vissen, of de heterofiel-lymfocytverhouding (H:L) bij kippen.
- **Slaap:** duur en verstoringen
- **Sociaal gedrag:** beperkt tot agressief gedrag. Metingen van agressief gedrag kunnen te vinden zijn in ethogrammen (bijvoorbeeld gevechten) of soortspecifiek agonistisch gedrag, zoals problematisch veren pikken bij kippen
- **Welzijn:** gedragsmaten voor angst of angst en abnormaal gedrag werden gebruikt. Deze konden vastgelegd zijn in een ethogram of gemeten worden met gestandaardiseerde tests zoals de “elevated plus maze” en de open veldtest voor knaagdieren, tonische immobiliteit voor kippen en een “novel tank diving test” voor zebrafissen.

4.2 STRATEGIE VOOR LITERATUURONDERZOEK

Om de effecten van lawaai op te onderzoeken effecten en soorten te beoordelen, werden op basis van een systematische aanpak wetenschappelijke artikelen geïdentificeerd en opgehaald uit relevante peerreviewde publicaties in de database van Web of Science. Deze aanpak maakt een onbevooroordeelde beoordeling van de huidige kennis over een specifiek onderwerp mogelijk, inclusief het identificeren van kennishiaten.

Voor elke studie die in de review werd opgenomen, werd de impact van het type geluid (geluidscategorie) en het geluidsdrukkniveau (SPL) op uitkomstvariabelen ten opzichte van een controle- of basissituatie geregistreerd. De impact van het geluid kan positief of negatief zijn, of geen effect of andere effecten veroorzaken (d.w.z. het effect van geluid dat interageert met een moderatorvariabele zoals tijdstip, stam/lijn, leeftijd, enz.). Sommige studies vergeleken de effecten van meerdere soorten geluiden en leverden daardoor meerdere datapunten op.

4.3 KWANTIFICERING

4.4 BESCHRIJVENDE STATISTIEK

Species Distribution by Behavior

Species Legend:

- Kip (Green)
- Muis (Orange)
- Varken (Blue)
- Rat (Pink)
- Zebravis (Light Green)

Pie Chart Data (Percentage):

Species	Percentage
Kip	28
Muis	47
Varken	20
Rat	71
Zebravis	12

Bar Chart Data (Count):

Behavior	Kip	Muis	Varken	Rat	Zebravis
Agressie	5	1	10	3	1
Angst/schrik	8	30	4	22	9
Immuun GC	16	27	8	37	6
Immuun WBC	8	1	1	2	0
Reproductie	8	2	4	3	1
Slaap	2	1	0	11	0

pagina 17 van 65

4.5 GELUIDSCATEGORIEËN

Breedbandlawaai, muziek en stadslawaai waren de geluidscategorieën met het grootste aantal studies van alle uitkomstvariabelen.

Tabel 1: Gebruikte categorieën met beschrijving en aantal datapunten in het literatuuronderzoek

Categorie	# Datapunten	Beschrijving
Breedbandlawaai	117	Geluiden beschreven als breedbandlawaai (d.w.z. geluid dat een breed spectrum aan frequenties bevat zoals een generator, ventilatie, roze ruis, witte ruis, stofzuiger) die niet als stedelijk geluid worden geclassificeerd
Muziek	61	Geluiden beschreven als muziek of radio
Stedelijk lawaai	42	Geluiden beschreven als geluid van voertuigen, verkeer, bouw, omgevingslawaai, luchthaven- of vliegtuiglawaai
Smalbandlawaai	36	Geluiden die bestaan uit één frequentie of een zeer klein frequentiebereik
Soortgenoten	13	Geluiden (vocalisaties, bewegingen, enz.) geproduceerd door dieren van dezelfde soort als de doelsoort
Andere soorten	11	Geluiden (vocalisaties) geproduceerd door dieren van een andere soort (bijv. menselijke stemmen, predatorvocalisaties)
Ultrageluid	10	Geluiden beschreven als ultrasoon geluid (>20 kHz)
Specifieke uitrusting	8	Geluiden beschreven als MRI-puls/lawaai, zagen, emmers, metaaldraaiwerk, telefoons, enzovoort. Deze categorie kan veel verschillende geluiden bevatten.
Alarmgeluiden	7	Geluiden beschreven als alarmbellen, inclusief brandalarm
Onbekend	7	Artikel beschrijft niet het type geluid dat wordt gebruikt (bijvoorbeeld alleen lawaai genoemd)
Dierenverblijven	6	Geluiden beschreven als audio-opnamen van dierenverblijven. Deze kunnen breedbandlawaai van ventilatoren of ventilatie omvatten, evenals geluiden van soortgenoten.
Infrasoon	4	Geluiden beschreven als infrason geluid(< 20 Hz)
Slachthuis	4	Geluiden beschreven als opgenomen uit slachthuisomgevingen. Vergelijkbaar met dierenverblijven, omdat er een mix is van ventilatie, machines en dierengeluiden, maar de dierengeluiden kunnen heel anders zijn door stress en pijn.

Verhoogde GC-waarden en WBC-tellingen waren geassocieerd met meer angst/schrik bij mannetjes (vrouwtjes werden niet getest; Angrini & Leslie, 2012; Farazi et al., 2022; Zhang et al., 2025), en dat suggereert dat activatie van stress en immuunsystemen in het gedrag zichtbaar wordt als verhoogde angst/schrik. Mannelijke muizen die werden blootgesteld aan verschillende niveaus van breedbandlawaai (75 tot 110 dB) gedurende korte of lange blootstellingsperiodes (van 1 tot 42 dagen gedurende 2 uur per dag), vertoonden verhoogd angstgedrag (Angrini & Leslie, 2012; Farazi et al., 2022; Mahmoodzadeh et al., 2021; Peng et al., 2023, 2024; Samad et al., 2021; Zhang et al., 2025), met één uitzondering waarbij blootstelling van 90 dB over 30 dagen geen effect had (Mahmoodzadeh et al., 2021). Blootstelling aan 90 dB breedbandlawaai gedurende 15 minuten, één keer per dag gedurende 15 dagen, had geen effect op jonge vrouwelijke muizen (Nishio et al., 2006). Blootstelling aan breedbandlawaai bij 70 dB of lager beïnvloedde de angst of schrik bij mannelijke of vrouwelijke muizen niet (Chikahisa et al., 2007; Hung et al., 2021; Li et al., 2010).

5.1.2 Ratten (n = 33)

Over GC's zijn er 21 studies uitgevoerd. Alleen Wistar- en Sprague-Dawley-lijnen werden gebruikt in studies naar GC's en breedbandlawaai bij ratten, behalve in één studie die een type rat gebruikte met spontane verhoogde bloeddruk (spontaneously hypertensive rat, SHR). In 15 studies verhoogde breedbandlawaai boven 85 dB, variërend van 10 minuten één keer per dag tot enkele uren per dag gedurende 50 dagen, de GC-niveaus bij mannelijke en vrouwelijke ratten (Abtahi-Eivary et al., 2021; Cui et al., 2016; DeBoer et al., 1988, 1989; Gai et al., 2016; Haleem et al., 2014; Konkle et al., 2017; Morakinyo et al., 2019; Archana & Namasivayam, 1999; Said & El-Gohary, 2016; Sajjadi et al., 2020; Sasse et al., 2008; vanRaaij et al., 1997; Windle et al., 1997). Er waren enkele uitzonderingen, waarbij

Twee studies wezen op GC-adaptatie aan lawaai: in één studie namen de niveaus toe 5-10 minuten na acute blootstelling aan hard lawaai (104 dB gedurende 10 minuten) en keerden na 40 minuten terug naar het basisoniveau. Na een tweede acute blootstelling meer dan een uur later verhoogde de GC minder (Atkinson et al., 2006). Acute blootstelling aan hard lawaai bij 105 dB, die 30 minuten per dag duurde gedurende een week, resulteerde ook in gedempte GC-niveaus als reactie op lawaai in vergelijking met dieren die niet eerder aan lawaai werden blootgesteld (Campeau et al., 2002).

Studies naar slaap (n = 3) toonden allemaal aan dat constant of intermitterende breedbandlawaai boven 80 dBA tijdens de rustperiode de slaapduur vermindert en slaapstoornissen bij ratten verhoogt (Nijssen & Snel, 1987; Rabat et al., 2004; Van Twyver et al., 1966). Breedbandlawaai van 90 dBA, afgespeeld met willekeurige intervallen en met verschillende duurtijden, veroorzaakte langdurige slaapstoornissen (Nijssen & Snel, 1987; Rabat et al., 2004). Dit geeft aan dat de onvoorspelbaarheid van lawaai ervoor zorgde dat de dieren niet aan de effecten ervan gewend raakten. Breedbandlawaai kan ook verschillende effecten hebben op verschillende slaapfasen, bijvoorbeeld het verminderen van REM-slaap zonder dat de diepe slaap te vermindert (van Twyver et al., 1966).

pagina 22 van 65

Over het algemeen kan angst niet altijd afgeleid worden uit de SPL, aangezien negatieve, ontbrekende of zelfs positieve effecten werden waargenomen wanneer de SPL varieerde van 65 tot 135 dB (Chen et al., 2019; Escribano et al., 2014; Molina et al., 2019). De effecten van breedbandlawaai op angst/schrik bij ratten zijn juist afhankelijk van verschillende factoren (geluidsintensiteit, ontwikkelingsfase en voorgaande blootstelling), waarbij korte, extreem luide blootstellingen tijdelijke effecten veroorzaken, terwijl herhaalde blootstelling of blootstellingen tijdens bepaalde ontwikkelingsfasen met een grotere waarschijnlijkheid zullen leiden tot blijvende effecten op angst.

De effecten van breedbandlawaai op voortplanting, GC en angst werden bestudeerd bij kippen. Volwassen leghennen die 8 weken lang aan 80 dB(A) breedbandlawaai werden blootgesteld, legden minder eieren dan controles die werden blootgesteld aan 60 dB(A) breedbandlawaai (O'Connor et al., 2010). Opvallend was dat jongere dieren minder beïnvloed werden door lawaai. GC-niveaus van kuikens die 1 tot 8 weken aan 70 of 90 dB breedbandlawaai werden blootgesteld, verschilden niet significant van controles (McFarlane & Curtis, 1989; O'Connor et al., 2011; Zhao et al., 2022; Zhao, Cui, et al., 2023), hoewel de tijd dat de dieren rustten wel verminderde (O'Connor et al., 2011).

Blauw = positief, Rood = negatief, Wit = geen effect, Grijs = geen gegevens



5.2.1 Muizen (n = 6)

5.2.2 Ratten (n = 8)

De effecten van muziek op GC, slaap en angst/schrik bij ratten werden bestudeerd. Muziek gedurende 15 of 30 dagen met variabele intensiteiten (30 - 120 dB) had geen effect op GC-niveaus in twee studies (Dal et al., 2020; Lu et al., 2010), en verlaagde GC-niveaus in een andere studie (Putra et al., 2023). Muziek van 70 dB gedurende 12 uur per dag over 55 dagen verhoogde de slaapduur bij ratten volgens één studie ((Rathod & Vaidya, 2024). Drie studies bij volwassen mannelijke en vrouwelijke ratten vonden bewijs voor angstremmende effecten van muziek tussen 65-70 dB gedurende 1 dag, gedurende 5 uur per dag over 15 dagen, of 30 minuten voor een angsttest (Cruz et al., 2015; de Camargo et al., 2017; Escribano et al., 2014), terwijl één studie geen effect vond van muziek (70 dB gedurende 12 uur per dag over 55 dagen) op angst bij jonge ratten (Papadakakis et al., 2019).

5.2.3 Varkens (n = 12)

De effecten van muziek op GC, WBC, agressie en angst/schrik werden bestudeerd. Muziek van 80 dB gedurende 45 minuten, twee keer per dag gedurende 6 dagen, leidde tot duidelijkere dagelijkse cortisolpieken bij biggen vergeleken met controledieren, met een gelijktijdige verbetering van de immuunfunctie (lagere N:L-verhouding) en minder agressie (Zapata Cardona et al., 2024). Lagere SPL en langere blootstellingsduur (65 dB voor 6 uur/dag gedurende 60 dagen) verminderden vrij en gebonden cortisol bij biggen na 1 week blootstelling, maar dit effect nam af na 4 weken, waarschijnlijk door veranderingen in cortisolbinding of -verwijdering (Li et al., 2021). Dit werd ook gevonden in een andere studie, waarbij biggen die 42 dagen 8 uur per dag werden blootgesteld aan 75 dB muziek geen verschillen in GC-niveaus vertoonden ten opzichte van controles (Zhao et al., 2021). Deze bevindingen suggereren dat door muziek geïnduceerde modulatie van de endocriene en immuunfunctie bij varkens tijdelijk is en afhankelijk is van het geluidsniveau en de blootstellingsduur, waarbij langdurige of lage intensiteit leidt tot habituatie.

Blootstelling aan muziek beïnvloedde ook agressief gedrag, hoewel de effecten ook hier afhankelijk waren van de context en de duur. Muziek van 70 dB gedurende 4 uur per dag bleek agressie bij jonge varkens te verminderen de dag dat sociale groepen heringedeeld werden en één dag daarna (Alvarez-Hernandez et al., 2023). Muziek gedurende 8 uur per dag gedurende 5 dagen voor en tijdens transport verminderde de agressie bij jonge varkens (Crone et al., 2023). Muziek van 65 of 75 dB gedurende 6-8 uur per dag gedurende 1-2 maanden bij jonge varkens had echter geen invloed op agressief gedrag (Nian et al., 2023; Zhao et al., 2021). Agressief gedrag bij drachtige zeugen verminderde door gedurende 45 tot 135 dagen, drie keer per dag 2 uur muziek van ongeveer 67 dB af te spelen (Lippi et al., 2025; Mendes et al., 2024).

Gedurende 45 dagen tijdens de dracht drie keer per dag 2 uur muziek spelen, beïnvloedde het aantal levende geboren biggen niet, maar verhoogde het aantal gespeende biggetjes en verminderde agressief en stereotiep gedrag van zeugen (Lippi et al., 2025). Muziek tijdens 5 minuten fixatiestress had echter geen invloed op angst en had vergelijkbare effecten als breedbandlawaai wanneer ze gedurende 20 uur na het spenen werd afgespeeld (d.w.z. verhoogde tekenen van stress bij de biggen; Cloutier et al., 2000).

Al met al is er bewijs dat muziek de endocriene functie en sociaal gedrag bij varkens kan beïnvloeden, maar de effecten zijn sterk afhankelijk van het geluidsniveau, de blootstellingsduur, de ontwikkelings- of reproductiecontext, en de aard van de stressor. Kortdurende of situationele blootstelling kan gunstige resultaten opleveren, terwijl langdurige of slecht getimede blootstelling vaak leidt tot gewenning of neutrale, en in sommige contexten nadelige, effecten.

5.2.4 Kippen (n = 16)

Studies onderzochten de effecten van muziek op de voortplanting van kippen, GC, witte bloedcellen, slaap, agressie en angst/schrik. Het effect van muziek op kippen-GC's werd vrijwel uitsluitend bestudeerd tijdens de prenatale (incubatie) fase en direct na het uitkomen, met blootstellingsduur tussen 10-42 dagen en SPL van 65-90 dB. Embryo's die in de broedmachine aan muziek van 90 dB werden blootgesteld, vertoonden geen verhoogd uitkipsucces (Ahmad-Hanafi et al., 2024; Hanafi et al., 2023), maar vertoonden ofwel verminderde GC-niveaus na voedselrestrictie (Ahmad-Hanafi et al., 2024) of tijdelijk verhoogde niveaus later in het leven (Hanafi et al., 2023).

Muziek van 70 dB van bij het uitkomen tot op 28 dagen (6 uur per dag) verlaagde de basale GC-waarden en verminderde het angstniveaus bij kuikens, maar had geen effect op agressief gedrag. Dit

was echter niet het geval voor muziek van 90 dB (Zhao, Zhang, et al., 2023). Daartegenover bleek muziek van 90 dB vanaf embryonale dag 10 tot het uitkomen tot een lagere basale GC-concentratie en angstgedrag te leiden vergeleken met controlekuikens, terwijl dat niet het geval was bij muziek van 70 dB (Zhao et al., 2022). Deze hogere intensiteit is waarschijnlijk nodig om over de ventilatie van de broedmachine gehoord te worden. Nog eens drie studies meldden dat muziek in het vroege leven de GC-waarden bij kuikens verlaagde (Ciborowska et al., 2025; Gao et al., 2023; Jin et al., 2025), waaronder één die aantoonde dat embryonale muziekblootstelling tijdelijk de GC-niveaus verlaagde tijdens sociale isolatie vergeleken met controles (Kausser et al., 2011). Uit één studie bleek dat kuikens van een dag oud die 10 uur per dag gedurende 17 dagen aan muziek van 90 dB werden blootgesteld hogere GC-responsen vertoonden, terwijl blootstelling bij 70 dB geen effect had (Chang et al., 2024). Bij 30 weken oude volwassen dieren had blootstelling aan 75 dB muziek (3 uur, twee keer per dag gedurende 24 dagen) geen effect op GC-niveaus (Cao et al., 2024). Postnatale blootstelling aan 75 dB muziek gedurende 3 uur per dag gedurende 35 dagen verminderde GC's zonder angstgerelateerd gedrag te beïnvloeden (Tamagi et al., 2024).

Samenvattend suggereren deze studies dat de effecten van muziek op glucocorticoïden (GC's) en angstgerelateerd gedrag bij kippen leeftijds- en intensiteitsafhankelijk zijn, met de sterkste en meest consistente effecten bij blootstelling voor of kort na het uitkippen. Muziek tijdens de incubatie of vroege levensfase (meestal 65–90 dB over 10–42 dagen) verminderde vaak de basale GC-waarden en angstreacties, hoewel de effecten op het uitkomstsucces en de agressie minimaal of afwezig waren. Belangrijk is dat zowel gunstige (GC-reductie) als nadelige (verhoogde GC-activiteit) effecten werden gerapporteerd afhankelijk van geluidsniveau, timing en context, terwijl blootstelling bij oudere kippen over het algemeen zwakke of geen effecten had, wat wijst op het effect afneemt met de leeftijd en dat mogelijk gewenning optreedt.

5.2.5 Zebravis (n = 4)

Bij zebravis werden effecten van muziek op GC, agressie en angst gerapporteerd. Blootstelling aan muziek van 70 dB gedurende maximaal een dag verlaagde de GC-niveaus, maar was niet effectief in het verlagen van GC-niveaus wanneer vissen sociaal geïsoleerd waren (dos Santos et al., 2023; Marchetto et al., 2021). Blootstelling aan muziek met vergelijkbare intensiteit gedurende langere periodes (5 tot 15 dagen) had geen effect op GC's (Barcellos et al., 2018) of beïnvloedde GC's afhankelijk van tempo en instrument: GC was verhoogd bij snelle pianomuziek, maar verminderde wanneer traag guzheng (een traditioneel Chinees snaarinstrument dat wordt getokkeld) werd gespeeld, terwijl langzame piano of snelle guzheng geen effect had (Niu et al., 2025).

5.2.6 Welke muziek?

De meeste muziek die in studies werd gebruikt was instrumentaal, zoals klassieke westerse muziek (Mozart, Vivaldi, Bach) of Indiase raga en Chinese klassieke muziek. Mozarts K.448 wordt vaak unieke welzijnsbevorderende eigenschappen toegedicht, maar een recente meta-analyse geeft aan dat dit stuk het welzijn van laboratoriumknaagdieren, vissen of boerderijdieren niet meer verbetert dan andere muzikale werken van Mozart of andere componisten (Ilieva, 2025). Een paar studies in dit overzicht onderzochten andere muziekstijlen en muziek met zang. Deze vinden over het algemeen dat effecten vergelijkbaar zijn met puur instrumentale muziek. Araújo et al. (2020) gebruikten muziek met veel slagwerk, wat vele genres/stijlen omvat (bijv. heavy metal, pop, elektronisch, country, rap, reggae, reggaeton, romantisch, funk) en ontdekte dat dit geen significant effect had op het GC-niveau of welzijn van muizen. Fu et al. (2025) concludeerden dat oosterse en westerse klassieke muziekstijlen, waaronder stukken met zang, een positief effect hadden op het welzijn van muizen (verminderde angst). Zowel instrumentale muziek als Koran-recital hadden

5.3 STADSLAWAAI

Effecten van stadslawaai

Effecten	Kip	Muis	Varken	Rat	Zebravis
WBC	Red	Gray	Gray	Gray	Gray
Slaap	Gray	Gray	Gray	Red *	Gray
Reproductie	Light Red *	Red	Gray	Gray	Gray
GC	Light Blue *	Light Red *	Gray	Light Red *	Gray
Angst/schrik	Red	Light Red *	Gray	Red *	Gray
Agressie	Red	Gray	White	Gray	Gray

* Bewijs uit minstens 3 studies

5.3.1 Ratten (n = 14)

pagina 28 van 65

dan de controlegroep. In geen van beide geslachten veranderden de angstparameters, ondanks de stijging van corticosteronniveaus.

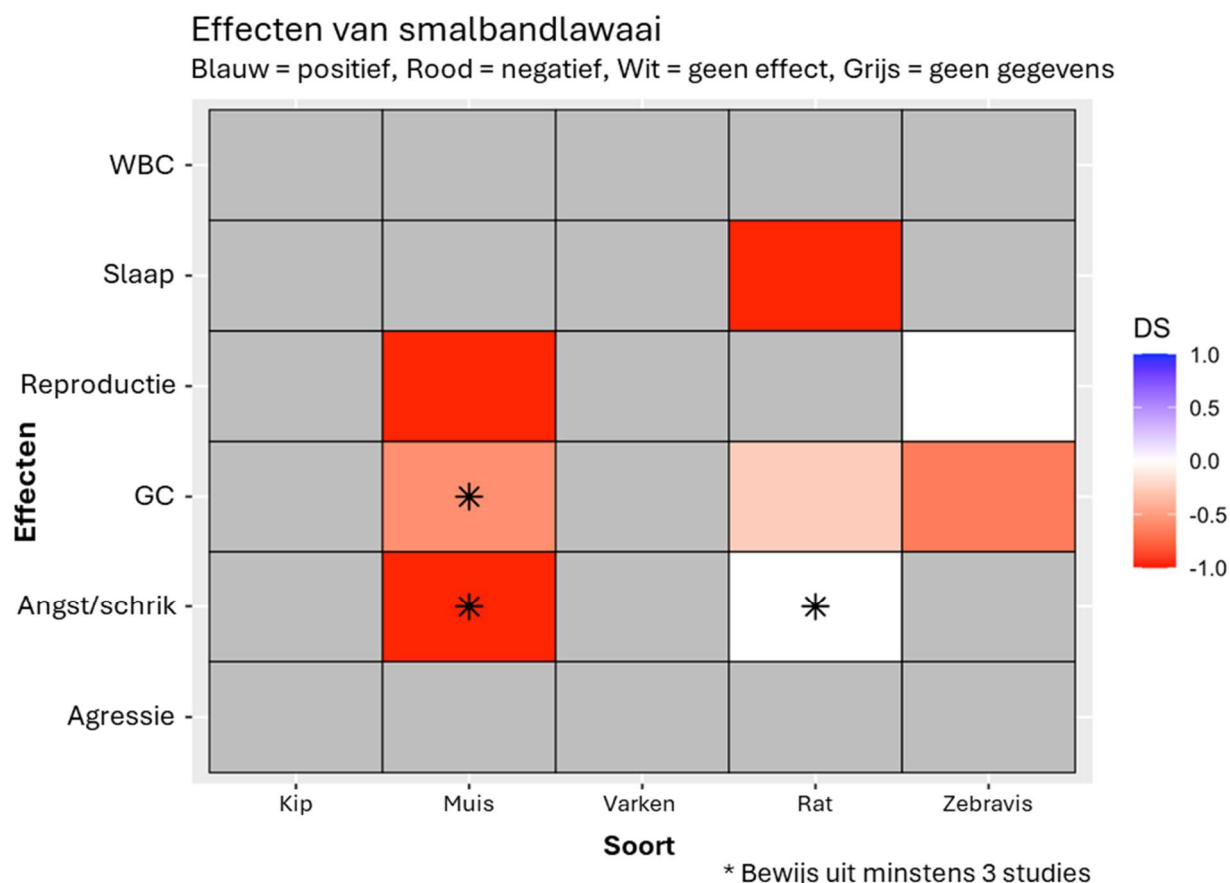
De resultaten suggereren dat zelfs matig luid stedelijk lawaai als stressvol wordt ervaren door mannelijke en vrouwelijke muizen, dat dit het voortplantingssucces verlaagt en soms angstgedrag kan verhogen. Intermitterend lawaai leidt tot een verlaging van de GC-respons, maar dat geldt niet voor continue blootstelling, en er zijn geslachtsverschillen in de reactie van de HPA-as. Dit heeft gevolgen voor waar de proefdierfaciliteiten gevestigd zouden moeten worden, met name uit de buurt van drukke stedelijke gebieden, en er zou ook moeite gedaan moeten worden om dit soort lawaai te verminderen.

5.3.3 Varkens en kippen (n = 1; 6)

Eén studie stelde jonge vrouwelijke varkens bloot aan stadslawaai van 60 dB gedurende 5 dagen voor een transport (8 uur per dag) en tijdens het transport (70 minuten), maar vond geen verschil qua agressief gedrag tijdens transport in vergelijking met een controlegroep (Crone et al., 2023). Aan de andere kant toonde een studie bij legkippen aan dat blootstelling aan 75 dB stedelijk lawaai (3 uur lang, twee keer/dag gedurende 24 dagen) de duur en frequentie van het verenpikken verhoogde (Cao et al., 2024).

5.4 SMALBANDLAWAAI

Smalbandlawaai verwijst naar geluiden die bestaan uit een enkele frequentie of een beperkt frequentiebereik. Onze zoektocht vond alleen studies op ratten, muizen en zebravissen (geen op varkens of kippen). Voor de effecten waarvoor we gegevens hebben, tonen de resultaten aan dat muizen gevoeliger zijn dan ratten en zebravissen en sterk negatief worden beïnvloed door dit type lawaai (Figuur 12).



Figuur 12: tegeldiagram van de richtingsscore (DS) voor smalbandlawaai per soort effect en diersoort

5.4.1 Muizen (n = 7)

Zes studies onderzochten de effecten van Smalbandlawaai op muizen. Vrouwelijke en mannelijke muizen die gedurende 1 uur werden blootgesteld aan onderbroken en onvoorspelbaar lawaai met frequenties tussen 7-10 kHz bij 90 dB, vertoonden verhoogde corticosteroonniveaus vergeleken met controles (Vitale et al., 2005). Drachtige moederdieren die tijdens het laatste deel van de dracht gedurende drie dagen werden blootgesteld aan onderbroken lawaai van 3 kHz bij 90 dB hadden ook hogere corticosteronspiegels na het lawaai en het voortplantingssucces verminderde (minder levendgeboren jongen) en ze vertoonden meer gedrag dat op angst/schrik wijst (Jafari et al., 2017, 2019). Bovendien hadden mannelijke nakomelingen van moeders die aan lawaai werden blootgesteld op volwassen leeftijd significant hogere corticosteroonniveaus en meer angst/schrik (Jafari et al., 2017). Analooch verhoogde lawaai van 3 kHz (100 dB, 4 uur/dag gedurende 15 dagen) het angstgedrag bij jonge mannelijke muizen (Samad et al., 2020). De effecten kunnen afhankelijk zijn van de gebruikte stam en het moment van de dag, aangezien blootstelling aan lawaai op niveaus die akoestisch trauma veroorzaken (6-12 kHz bij 103 dB gedurende één uur) tijdens de rustfase geen effect had op GC's van volwassen mannelijke CBA/JRj-muizen, maar wel GC's verhoogde in CBA/Cal en GC's verminderde bij CBA/Sca-muizen (Versteegh et al., 2022). Blootstelling tijdens de actieve fase verhoogde de GC's bij CBA/JRj -en CBA/Cal-muizen, maar niet bij CBA/Sca-muizen die al hoge basale GC's hadden (Versteegh et al., 2022). In dit geval kan de onmiddellijke verhoging van GC's de schadelijke effecten van geluidstrauma op het auditieve systeem mogelijk verminderen; daarom kan een gebrek aan verhoging bij de CBA/Sca muizen als maladaptief worden beschouwd.

Alles bij elkaar wijzen deze bevindingen erop dat lagere niveaus van geluiden van dierenverblijven (tot 70 dB) mogelijk geen langdurige verhogingen van GC's veroorzaken, maar wel rustgedrag kunnen verminderen en wisselende effecten hebben op agonistisch gedrag. Het suggereert ook dat harde geluiden positieve effecten kunnen hebben op het uitkippen, hoewel er langetermijnstudies nodig zijn om te onderzoeken of blootstelling aan harde geluiden mogelijk de gezondheid en het welzijn op de langere termijn negatief beïnvloedt.

6 weken infrasoon geluid verhoogden de GC-niveaus bij ratten (Pereira et al., 2021). Het is dus mogelijk dat langdurige blootstelling nodig is vooraleer infrasoon geluid een negatief effect heeft.

5.8 ULTRASOON GELUID

De effecten van luide ultrasone frequenties (20-45 kHz tussen 80-118 dB) werden getest in 6 studies (1 muis, 5 rat). Ultrasoon geluid verhoogde het agressief gedrag bij muizen en afhankelijk van de lijn veranderde het angstgerelateerd gedrag (bv. gereduceerd angstgedrag bij CBA-muizen maar verhoogd angstgedrag bij BALB/c-muizen; Pavlov et al., 2017). Ultrasoon geluid verhoogde angst bij vrouwelijke ratten, maar niet bij mannelijke (Abramova et al., 2020; Morozova et al., 2013), wat aantoont dat er geslachtsgebonden reacties zijn op ultrasoon geluid. Dit type geluid verhoogde agressief gedrag bij ratten, maar mogelijk enkel bij individuen die al agressieve neigingen hadden: ultrasoon geluid verhoogde niet het aantal individuen dat agressief gedrag vertoonden, maar het verhoogde wel de intensiteit van het agressief gedrag bij de dieren die het wel vertoonden (dus meer aanvallen, langere aanvallen, sneller aanvallen; Gorlova et al., 2017, 2019). Nageslacht van drachtige wijfjes die gedurende 21 dagen aan ultrasoon geluid blootgesteld werden, vertoonde meer agressief gedrag (Abramova et al., 2020), wat een indicatie is dat blootstelling aan ultrasoon geluid effecten heeft over generaties heen. Daarom kunnen we stellen dat luid ultrasoon geluid agressie en angst bij knaagdieren lijkt te verhogen, afhankelijk van lijn en geslacht.

5.9 SOORTGENOTEN

Vijf studies onderzochten de effecten van geluiden van soortgenoten op voortplanting en/of GC-niveaus. Kreten van pijn en onrust geproduceerd door varkens rond 85 dB gedurende 10 minuten hadden geen meetbaar effect op GC-niveaus (Geverink et al., 1998), maar bij ratten zorgden geluiden van een soortspecifieke noodkreet die gedurende 3 weken 6 uur/dag nu en dan te horen was voor verhoogde GC-waarden (Xi et al., 2022). Acut afspelen van een negatief emotioneel geladen geluid (22 kHz ultrasone vocalisaties gedurende 3 minuten) verhoogde ook het angstgedrag bij ratten, maar het afspelen van een positief emotioneel geladen geluid (50 kHz ultrasone vocalisatie) had geen effect op angst (Burman et al., 2007). Het afspelen van zooggeluiden verbeterde de kweekresultaten bij biggen niet (Jeon 2020). Incubatie van eieren gedurende 11-12 dagen met geluiden van soortgenoten (65-72 dB) verhoogde tijdelijk de GC's 72 uur na het uitkomen (Kausar et al., 2011), maar had geen invloed op het uitkomstsucces of op GC-niveaus twee tot drie weken na het uitkomen (Narinc & Aygun, 2023; Tong et al., 2015).

In twee studies bij kippen werden de effecten bestudeerd van geluiden van soortgenoten in grote problemen gelijktijdig met breedband- en/of stedelijk lawaai. Eén toonde aan dat acute blootstelling aan deze geluiden bij 80 of 100 dB gedurende 10 minuten de GC-niveaus verhoogde, terwijl chronische blootstelling van 1 week bij 100 dB de immuunfunctie verslechterde (verhoogde H:L-ratio), maar de angst (gemeten met tonische immobiliteit) werd niet beïnvloed (Chloupek et al., 2009; Fidan et al., 2015).

Over het algemeen waren de effecten van geluiden van soortgenoten afhankelijk van de context en de emotionele lading: blootstelling aan negatieve geluiden (vooral als de blootstelling langdurig was) verhoogde GC's en angst en verminderde de immuunfunctie, terwijl blootstelling aan positieve geluiden over het algemeen geen meetbare effecten had. Prenatale blootstelling aan geluiden van soortgenoten leverde slechts tijdelijk verhoogde GC-waarden op.

5.10 ANDERE DIERSOORTEN

Twee studies onderzochten de effecten van geluiden van andere diersoorten op GC's, slaap, agressie en angst. Chen (2019) onderzocht de effecten van acute blootstelling aan een roofdiergeluid bij muizen en ratten bij 60 of 80 dB en stelde vast dat ratten angstig en met verhoogde GC's reageerden op het roofdiergeluid bij beide intensiteiten, terwijl muizen dat niet deden. Gedurende vier dagen af en toe menselijke stemmen aan 85 dB had geen effect op de slaap of agressie van zeugen (Gaillard et al., 2023).

Samen suggereren deze studies dat reacties op geluiden van andere diersoorten niet in iedere diersoort hetzelfde zijn en afhangen van de biologische relevantie van het signaal, waarbij roofdiersignalen acute endocriene en angstreacties oproepen bij gevoelige soorten, terwijl potentieel neutrale geluiden van andere soorten, zoals menselijke stemmen, een verwaarloosbare invloed kunnen hebben op slaap of agressie.

5.11 SPECIFIEKE UITRUSTING

MRI-pulssequenties die gedurende een week elke dag 90 minuten werden afgespeeld, hadden geen effect op GC-niveaus of angst bij mannelijke C57BL6/J-muizen (Almeida et al., 2022). Geluiden geproduceerd door metalen objecten (bv. metaaldraaiwerk of machines die worden gebruikt om karkassen te verwerken) hadden ook verwaarloosbare effecten op GC bij ratten en GC, slaap of agressie bij varkens bij intensiteiten lager dan 105 dB voor korte (15 minuten) of lange duur (2 maanden) (Farzadinia et al., 2016; Gaillard et al., 2023; Geverink et al., 1998). Blootstelling aan ringtones van een mobiele telefoon bij 76 dBA gedurende 10 minuten/dag gedurende 4 weken verhoogde echter de angst bij mannelijke ratten (Sheshu et al., 2016).

MRI-pulssequenties die gedurende een week elke dag 90 minuten werden afgespeeld, hadden geen effect op GC-niveaus of angst bij mannelijke C57BL6/J-muizen (Almeida et al., 2022). Geluiden geproduceerd door metalen objecten (bv. metaaldraaiwerk of machines die worden gebruikt om karkassen te verwerken) hadden ook verwaarloosbare effecten op GC bij ratten en GC, slaap of agressie bij varkens bij intensiteiten lager dan 105 dB voor korte (15 minuten) of lange duur (2 maanden) (Farzadinia et al., 2016; Gaillard et al., 2023; Geverink et al., 1998). Blootstelling aan ringtones van een mobiele telefoon bij 76 dBA gedurende 10 minuten/dag gedurende 4 weken verhoogde echter de angst bij mannelijke ratten (Sheshu et al., 2016).

5.12 SAMENVATTING VAN DE BEVINDINGEN

Uit de 177 peer-reviewde studies met ratten, muizen, varkens, kippen en zebrafissen blijkt dat lawaai zeer contextafhankelijke effecten heeft die variëren afhankelijk van de geluidscategorie, geluidsdruk-niveaus, voorspelbaarheid, blootstellingsduur, levensfase en timing van de blootstelling (bijv. tijdstip van de dag of nabijheid van andere stressfactoren).

Breedbandlawaai en stedelijk lawaai zijn het meest consistent geassocieerd met negatieve gevolgen voor het welzijn. Breedbandlawaai op de geluidsniveaus die gewoonlijk in experimentele studies worden gebruikt (ongeveer 97 dB, wat behoorlijk hoog is) werd vaak in verband gebracht met verhoogde glucocorticoïden, toegenomen angst- of schrikgerelateerd gedrag, slaapstoornissen en soms verminderde reproductie. Stadslawaai (aangeboden op gemiddelde niveaus van ongeveer 85 dB) is ook negatief, met name bij knaagdieren, en houdt verband met slaapstoornissen en een

hormonale stressreactie, zelfs bij onderbroken blootstelling. De sterke glucocorticoïdreacties bij muizen zijn afhankelijk van frequentie, timing en leeftijd.

Muziek (doorgaans aangeboden aan ongeveer 70 dB) produceerde daarentegen vaker neutrale of gunstige effecten, met name een vermindering van angst- of stressgerelateerde parameters. Deze effecten waren echter niet consistent en sterk afhankelijk van het geluidsdrunkniveau, de blootstellingsduur en het moment waarop de muziek gespeeld werd (bv. ontwikkelingsfase of afstemming op routinematige verzorging of testprocedures). Langdurige of slecht getimed blootstelling leidt vaak tot gewenning of een gebrek aan effecten. Muziek kan dus niet als universeel gunstig worden beschouwd.

De informatie over andere geluidscategorieën (bv. alarmgeluiden, geluiden van soortgenoten of dierenverblijven, ultra- of infrason geluid) is beperkt en slecht verdeeld, met gemengde of contextspecifieke effecten. Over de geluidscategorieën heen kan er op basis van de literatuur geen enkele drempelwaarde voor het geluidsdrukkniveau voorgesteld worden die betrouwbaar de welzijnsresultaten voor alle soorten voorspelt.

Deze bevindingen wijzen erop dat het beheersen van lawaai in proefdierfaciliteiten moet gebeuren door rekening te houden met het gehoor van de betrokken diersoort, geluidskarakteristieken, blootstellingspatronen en huisvestings- of experimentele omstandigheden, en niet zozeer door te vertrouwen op universele geluidslimieten. Gezien de heterogeniteit van de bevindingen en de sterke contextafhankelijkheid ervan, werden interviews met belanghebbenden gehouden om praktische prioriteiten, beperkingen en beslissingspunten te identificeren die relevant zijn voor een goed beheer van proefdierfaciliteiten.

5.13 BEPERKINGEN VAN HET LITERATUUROVERZICHT

5.13.1 Niet-specificiteit van dB-weging

Veel van de studies rapporteerden niet expliciet de gebruikte dB-weging en daarom werd een dBZ verondersteld tenzij expliciet anders vermeld. Het is echter mogelijk dat de meeste waarden A-gewogen waren, aangezien veel studies commercieel verkrijgbare geluidsdecibelmeters gebruikten. Dit gebrek aan transparantie heeft belangrijke effecten op de interpretatie van intensiteitsniveaus die schadelijk zijn, aangezien het verschil tussen dBA en dBZ behoorlijk groot kan zijn. Zo neemt Araújo et al. (2018) geluid op in lege dierenverblijven en rapporteert zowel A- als Z-gewogen dB-waarden: voor een van de kamers was het 63,40 dBA (gelijk aan normale gesprekken) en 87,70 dBZ. Hun bevindingen geven aan dat de fysieke SPL in de kamer hoog was, maar werd gedomineerd door frequenties waarvoor mensen minder gevoelig zijn. Laboratoriumfaciliteiten bevatten verschillende soorten mechanische apparatuur, waaronder verwarmings-, ventilatie- en airconditioningsystemen (HVAC), en die kunnen met zowel zeer lage als zeer hoge frequentiecomponenten het totale geluidsdrukniveau verhogen, wat met metingen met behulp van de dBA-weging wordt onderschat.

5.13.2 Keuze van wat gemeten werd

De resultaten van deze review kunnen beïnvloed zijn door de nauw gedefinieerde uitkomsten die in dit rapport worden gebruikt, wat de resultaten kan vertekenen. Er zijn tal van andere indicatoren van voortplantingsvermogen, immuunfunctie, sociaal gedrag, welzijn en slaap, maar artikelen die deze uitkomsten rapporteerden, werden ofwel niet gevonden of uitgesloten van deze review omdat ze niet aan de inclusiecriteria voldeden.

5.13.3 Niet-specifiteit van uitkomsten/indicatoren

Geluid is slechts één van de vele factoren die voortplanting, immuunfunctie, sociaal gedrag, slaap en welzijn bij proefdieren beïnvloeden. Daardoor kunnen deze uitkomsten niet één-op-één worden toegewezen aan akoestische omgevingen, en veranderingen in een enkele parameter wijzen niet ondubbelzinnig op een probleem met lawaai in de faciliteit. Tegelijkertijd, als deze parameters afwijken van de normale waarde in niet-experimentele omstandigheden, is het belangrijk om te onderzoeken of geluid of lawaai een mogelijke oorzaak kan zijn. Vaststellen of geluid de oorzaak is van welzijnsproblemen is een zeer lastige kwestie. In de sectie Toekomstperspectieven wordt een benadering uiteengezet voor het opstellen van hypothesen over welke welzijnsindicatoren waarschijnlijk door geluid worden beïnvloed.

Het label "negatief" of "positief" dat in deze review wordt gebruikt om het effect van geluid te bepalen, moet daarom als niet-definitief en contextafhankelijk worden beschouwd. Dit komt doordat de uitkomsten in deze review allerlei effecten hebben en omdat geluid verschillende processen kan beïnvloeden die worden opgepikt door gedragstests die zijn ontworpen om complexe fenomenen zoals angst te meten. Verhoogde GC-niveaus duiden bijvoorbeeld op activatie van de HPA-as, maar deze activatie is niet strikt stress-gerelateerd. Bij SPL's die akoestisch trauma kunnen induceren, kunnen verhoogde GC's een fysiologische aanpassing zijn die helpen omgaan met het trauma en de homeostase ondersteunen (Canlon et al., 2007). In dit soort omstandigheden kunnen verhoogde GC's dus worden beschouwd als adaptieve reacties die al dan niet ook geassocieerd kunnen zijn met verminderd welzijn.

In sommige studies stelde men een variatie vast in de reacties op verschillende gestandaardiseerde tests die verschillende aspecten van angst of schrik meten. Met name bij de beoordeling van angst met zowel het elevated plus maze (EPM) als de open-veldtest (OFT) vertoonden dieren soms duidelijke angstreacties in de ene test, maar niet in de andere. De OFT en EPM meten beide angstig gedrag, maar leggen de nadruk op verschillende processen, zoals exploratie van nieuwigheden en opwinding versus het vermijden van risico's en het vermijden van open ruimtes. Daarom kan lawaai de angst in de ene test verhogen, maar niet in de andere, afhankelijk van hoe het opwinding, de perceptie van dreiging of motivatie om te gaan verkennen beïnvloedt (Carter & Shieh, 2015; Kumar et al., 2013).

5.13.4 Heterogeniteit in geluidscategorieën

Semantische labels voor geluidsstimuli zijn nuttig voor categorisatie en vergelijking van de effecten van geluid in deze review, maar introduceren onvermijdelijk heterogeniteit in de bevindingen. Muziek als categorie bevat bijvoorbeeld werken die enorm variëren in akoestische kenmerken (bijvoorbeeld instrumentatie). Zelfs muzikale werken uit hetzelfde genre of componist kunnen aanzienlijk verschillen en er mag niet worden aangenomen dat ze vergelijkbare effecten bij dieren oproepen (Kriengwatana et al., 2025). Bovendien is het onderscheid tussen breedband- en smalbandstimuli tot op zekere hoogte willekeurig omdat er in studies geen gemeenschappelijke standaard werd toegepast om deze categorieën te definiëren, wat zeer relevant is gezien de soortverschillen in gehoorgevoeligheid. Als gevolg hiervan kunnen studies binnen een categorie dieren blootstellen aan heel andere geluiden, waardoor de patronen in de data onduidelijk worden.

6 STAKEHOLDERINTERVIEWS

Stakeholders werden bevraagd over de informatie zij essentieel achtten voor opname in deze Leidraad, welke bestaande of potentiële oplossingen er zijn voor lawaai-beheersing in onderzoeksfaciliteiten, de haalbaarheid van dergelijke oplossingen en de bijhorende belemmeringen, methoden voor geluidsmonitoring en -meting, en onbeantwoorde vragen met betrekking tot geluidsbeheersing.

De interviews maakten duidelijk dat er grote verschillen zijn in opvattingen en brachten grote kennislacunes aan het licht met betrekking tot het beheer van lawaai in proefdierfaciliteiten. Experts waren het erover eens dat de Leidraad moet uitleggen hoe het gehoor verschilt tussen soorten, hoe factoren op het niveau van de dieren de stimuli de reacties op lawaai beïnvloeden, en een vraag om luidheidslimieten te definiëren (mogelijk frequentie- en soortafhankelijk), terwijl ook de detectie van ultrasoon geluid en het praktische gebruik van muziek of radio moet worden behandeld.

De belangrijkste geluidsbronnen zijn trolleys, ventilatiesystemen, menselijke activiteiten, bouwwerkzaamheden, apparatuur en vocalisaties van soortgenoten of andere soorten. Geluidskenmerken die relevant zijn voor welzijn zijn onder andere luidheid, frequentie (inclusief ultrasone geluiden), continuïteit, voorspelbaarheid en mogelijk trillingen. Continue monitoring had over het algemeen de voorkeur vanwege de beperkte kennis van de basistoestand, hoewel meningen verschilden over optimale locaties, wegingen (A, Z of R) en of korte pieken moesten opgevolgd worden. Onderhoud en personeelstraining werden als minimumnormen beschouwd, terwijl andere structurele of procedurele oplossingen werden beschouwd als best practice, waarbij de kostprijs en praktische haalbaarheid vaak beperkend zijn. Deskundigen benadrukten dat aanbevelingen flexibele geluidsbereiken met veiligheidsmarges moeten toestaan en wezen op mogelijke onbedoelde gevolgen zoals personeelsbelasting, financiële kosten en het risico dat muziek stress verhoogt. Belangrijke lacunes in het onderzoek zijn onder andere de basisgeluidsomstandigheden in faciliteiten, drempels voor negatieve welzijns effecten, langetermijneffecten, maskeringseffectiviteit, soortverschillen en strategieën voor het beheersen van ventilatiegeluid.

7 AANBEVELINGEN

In deze sectie worden eerdere aanbevelingen samengenomen met de bevindingen van het literatuuroverzicht met betrekking tot de effecten van verschillende soorten geluid en intensiteiten op welzijnsgerelateerde uitkomsten bij ratten, muizen, varkens, kippen en zebravissen.

7.1 GELUIDSLIMIETEN

Een geluidsdrempel van 85 dBA wordt waarschijnlijk al gebruikt door dierproeffaciliteiten, aangezien deze drempel onderdeel is van de arbeidsgezondheidsnormen voor langdurige blootstelling aan geluid voor mensen op de werkplek (Art. V.2-4 van de Belgische Codex over welzijn op het werk). Deze voor mensen bedoelde drempel komt overeen met drempels die eerder zijn voorgesteld voor proefdieren, aangezien geluidsniveaus boven de 85 dB-drempel met een grotere waarschijnlijkheid stressreacties of bijwerkingen veroorzaken (Baldwin et al., 2007; Grandin, 2021; Pate et al., 2013; Sobotka et al., 2003).

De 85 dBA is ook voorgesteld als limiet voor onderbroken, hoogintensief pieklawaai (Zoontjens, 2012) omdat de grenswaarde bedoeld is als grens voor blootstelling van mensen tot maximaal 8 uur per dag en daarom mogelijk niet geschikt is als grenswaarde voor 24 uur in dierenfaciliteiten. Gemiddelde geluidsniveaus onder de 70 dB gemeten over 24 uur worden aanbevolen om gehoorverlies bij mensen te voorkomen en zijn voorgesteld als doel voor dierenfaciliteiten (Turner & Manker, 2024; Zoontjens, 2012). Chronische blootstelling aan 70 dB (ruim onder de “veilige” SPL-grens voor mensen) veroorzaakt veranderingen in de hersenen die de geluidswaarneming en het leervermogen en geheugen bij knaagdieren beïnvloeden (Gourévitch et al., 2014; Zheng, 2012), wat een motivatie zou kunnen zijn om de geluidslimieten voor proefdierfaciliteiten te verlagen. De effecten van minder luid lawaai op het dierenwelzijn blijven echter onduidelijk, aangezien de meerderheid van de gevonden studies niveaus op of boven deze drempel onderzocht. Het gemiddelde achtergrond-dB-niveau dat werd gerapporteerd in de studies die in dit literatuuroverzicht opgenomen zijn, was 59 dB, maar verschillende studies vermeldden een achtergrond-SPL die hoger was dan 70 dB. Daarom wordt momenteel aanbevolen om het gemiddelde geluidsniveau onder de 70 dBZ te houden over 24 uur (Leq 24), hoewel toekomstig onderzoek kan aantonen dat een nog lagere limiet wenselijk is.

7.2 LOCATIE, ONTWERP EN EXPLOITATIE VAN DE FACILITEIT

Bij het bouwen van een nieuw gebouw moeten akoestische overwegingen vanaf de vroegste ontwerpfasen worden geïntegreerd. De locatie is cruciaal: faciliteiten moeten worden gebouwd weg van bronnen van omgevingslawaai zoals weg-, spoor- of luchtverkeer, sirenes, vuurwerk of andere dierenverblijven.

Het ontwerp en de structuur van de gebouwen spelen een belangrijke rol bij de preventie en het minimaliseren van chronisch breedband- en stadslawaai. Binnen de faciliteit moeten de lawaaierige en stille zones duidelijk worden aangewezen en fysiek gescheiden. Zo mogen de wasruimtes voor kooien niet naast de dierenverblijven liggen. Stille alarmen hebben de voorkeur op alarmen die geluid produceren. Men moet daarbij echter voorzichtig zijn voor onbedoelde ultrasone geluiden.

In de dierenverblijven van zowel nieuwe als bestaande faciliteiten kan lawaaireductie zich richten op het verminderen van nagalm en geluidsoverdracht door harde, reinigbare oppervlakken, en van de

In aquaria kan geluidsoverlast in tanks worden verminderd door de fysieke afstand tussen de tanks en pompen, filters en andere geluidproducerende apparatuur te vergroten (bijvoorbeeld door tanks en pompen/filters in verschillende ruimtes te plaatsen). Dit vereist echter mogelijk krachtigere pompen die meer lawaai maken. Bovendien vermindert deze strategie mogelijk niet de trillingen, die voor zebrafissen net zo belangrijk kunnen zijn als het verminderen van geluid dat zich via de lucht voortplant, omdat ze gevoelig zijn voor zowel de beweging van deeltjes als de geluidsdruk.

7.2.1 Training, opleiding en communicatie

Het beperken van luide gesprekken in dierenverblijven en gangen, het vermijden van dichtslaande deuren, het hanteren en verplaatsen van karren op een manier die minder lawaai produceert, zijn voorbeelden van dagelijkse praktijken die in het geluidsbeheersplan kunnen worden toegepast en die zowel het aantal geluidsbronnen als het geluidsniveau van kortdurend geluid aanzienlijk kunnen verminderen. Een betere naleving van de in het plan vastgestelde geluidsbeperkende maatregelen kan worden versterkt door het vergroten van het bewustzijn van niet-auditieve effecten van lawaai op proefdieren en soortverschillen in het bereik en de gevoeligheid van het gehoor, vooral voor geluiden die buiten de menselijke gehoordrempels vallen. Uitleg over verschillende dB-wegingen kan medewerkers ook bewust maken dat SPL-metingen op de dBA-schaal de waargenomen luidheid bij mensen weerspiegelen, maar dat dit voor andere soorten veel luider of stiller kan zijn. Ten slotte kan kennis over de invloed van factoren zoals afstand, intensiteit, frequentie en de eigenschappen van oppervlakken waarmee geluid in contact komt op geluidsoverdracht en -damping, het personeel helpen beter geïnformeerde beslissingen te nemen over de plaatsing van kooien en sensoren voor geluidsmonitoring.

Wanneer lawaaioverlast wordt verwacht en niet kan vermeden worden, bijvoorbeeld tijdens bouwwerkzaamheden, rondleidingen of onderhoud, kan coördinatie tussen de leiding van de faciliteit, onderzoekers en externe aannemers de planning verbeteren en de onvoorspelbaarheid verminderen. Meer voorspelbaarheid kan dieren helpen wennen en zorgt voor voldoende hersteltijden. Het trainen van dieren om te wennen aan routineprocedures kan verder het lawaai en de stress van het hanteren verminderen, vooral bij sociale soorten. Daarnaast maken botgeleidende hoofdtelefoons het mogelijk dat personeel naar muziek of communicatiemiddelen luistert, terwijl ze zich bewust blijven van hun eigen geluidsproductie en de bredere akoestische omgeving.

Apparatuur die onnodig geluid of trillingen veroorzaakt, moet waar mogelijk worden vervangen of aangepast, bijvoorbeeld door trolleys te voorzien van rubberen of neopreen wielen en rubberen strips toe te voegen waar metaal met metaal contact maakt, zoals deurscharnieren of hekken. Deze veranderingen kunnen de werklast verhogen, dus rollen en verantwoordelijkheden met betrekking tot wat er zal gebeuren, door wie en wanneer moeten duidelijk worden besproken en overeengekomen met het personeel van de faciliteit om te zorgen dat alles gecoördineerd verloopt en nageleefd wordt. Het uitvoeren van geluidsmetingen tijdens routine-onderhoud van apparatuur kan zowel handig als efficiënt zijn en kan worden geïntegreerd in het geluidsbeheersplan.

7.3 GELUIDEN MONITOREN IN HET LAB

Op basis van het literatuuronderzoek lijken onvoorspelbare geluiden die lang aanslepen de meest nadelige effecten op het dierenwelzijn te hebben. Het kan daarom raadzaam zijn de akoestische omgeving regelmatig te monitoren op deze potentiële lawaaibronnen, ook binnen het ultrasone bereik dat aanwezig maar onopgemerkt kan zijn. Passieve akoestische monitoring (PAM) units die continu een breed scala aan frequenties (hoorbare en onhoorbare ultrasone) kunnen opnemen, zijn nu relatief goedkoop beschikbaar, en er is geen gespecialiseerde kennis voor nodig (bv. Audiomoth of Hydromoth). Technische expertise is echter vereist om de data van dergelijke opname-apparatuur

te analyseren en te interpreteren. Dit is waarschijnlijk het grootste knelpunt bij het monitoren van akoestische omgevingen in laboratoria, waarvoor nog geen oplossing is. Zo'n systeem moet inzicht geven in de oorzaken van lawaai en aangeven of het lawaai de limieten overschrijdt (toegelicht in de sectie Toekomstperspectieven). Het periodiek monitoren van akoestische emissies van apparatuur tijdens routinematig onderhoud kan een nuttige voorlopige oplossing zijn voor er meer continue en langlopende monitoring- en analysesystemen zijn. Instrumenten om de beweging van deeltjes te meten zijn daarentegen nog niet op grote schaal commercieel verkrijgbaar (Popper & Sisneros, 2022).

De plaatsing van sensoren bepaalt in belangrijke mate welke geluiden op een bepaalde locatie worden opgepikt en opgenomen. De stakeholders en eerdere aanbevelingen stellen voor om lawaai te monitoren op kamer- en/of kooi-niveau (Turner, 2020). Hoeveel sensoren worden ingezet en waar ze geplaatst worden, moet door de dierproeffaciliteit zelf bepaald worden, aangezien de uitdagingen en variatie in geluidsbronnen en -niveaus overal anders zullen zijn. Voor aquatische faciliteiten is het belangrijk te weten dat geluid zich niet goed voortplant tussen lucht en water. Daarom zullen geluidsmetingen in de ruimte geen goede weerspiegeling zijn van het geluid in de aquaria (Popper & Sisneros, 2022). Het monitoren van geluid op kamerniveau met een enkele sensor in het midden van de kamer op kooihoogte geeft een globaal beeld van welke geluiden dieren kunnen bereiken. Het plaatsen van meerdere sensoren op kooi-niveau maakt indien gewenst een nauwkeurigere reconstructie van de akoestische omgeving mogelijk, maar het werk om de data te analyseren zal ook aanzienlijk toenemen. Als er sprake is van lawaai-overdracht tussen kamers kunnen sensoren worden geplaatst in aangrenzende kamers of aan tegenovergestelde zijden van gedeelde muren of deuren om te identificeren van waar lawaai komt en hoe het overgedragen wordt.

7.4 AKOESTISCHE VERRIJKING

Zelfs met verbeteringen in het ontwerp en beheer van faciliteiten die chronisch en intermitterend geluid verminderen, zal het volledig wegwerken van lawaai niet mogelijk zijn. Het gebruik van muziek om resterend achtergrondlawaai te maskeren wordt voorgesteld als een methode om dit probleem op te lossen, wat als extra voordeel heeft dat het tegelijkertijd zintuiglijke stimulatie biedt die als plezierig kan worden ervaren (Kriengwatana et al., 2022).

Volgens de literatuurstudie kan bij ratten, muizen, varkens en kippen zonder negatieve gevolgen muziek van gemiddeld 60-70 dB(Z) worden afgespeeld. De Z-weging heeft de voorkeur boven de A-weging omdat deze minder antropocentrisch is en aansluit bij andere aanbevelingen voor geluidsmonitoring (Turner & Manker, 2024). Het is niet nodig om alleen klassieke muziek te draaien. Er kunnen verschillende muziekstijlen worden afgespeeld, maar frequente overgangen tussen talkshows en muziek moeten bij ratten worden vermeden. Voor zebravissen is het onzeker of muziek negatieve of positieve effecten heeft, hoewel eerdere richtlijnen suggereren dat het afspelen van muziek tijdens isolatie voor wetenschappelijke doeleinden aanvaardbaar kan zijn (Vlaamse overheid, Department Omgeving, 2023).

Als muziek wordt afgespeeld om ongewenste achtergrondgeluiden te maskeren, dan kunnen stukken met geleidelijke, lange, harmonische klanken zonder scherpe aanzet of plotselinge begin minder storend zijn voor de dagelijkse activiteiten van dieren in de zin dat dieren zich aan deze eigenschappen gemakkelijker kunnen aanpassen (Blumstein & Récapet, 2009; Snowdon, 2021). Er is onvoldoende bewijs dat muziek 's nachts de slaap verstoort, of dat de maskerende effecten ervan gunstig kunnen zijn voor nachtdieren die overdag slapen, wanneer er meer lawaai wordt verwacht vanwege de activiteiten van het personeel. Uit voorzichtigheid adviseren we daarom momenteel

Een laatste aandachtspunt is dat muziek zal interageren met andere geluiden in het dierenverblijf, wat onbedoelde akoestische effecten kan veroorzaken. Akoestische verrijking is immers een dynamisch proces en muziek niet moet worden toegevoegd zonder eerst een duidelijk welzijnsdoel te hebben en rekening te houden met de mogelijke veranderingen in de akoestische omgeving als geheel (Kriengwatana et al., 2022).

8.1 GELUIDSBEHEER DAT MEER IS DAN GELUIDSLIMIETEN

Samenvattend biedt een soundscape-gerichte benadering een methodologie voor het opstellen van hypothesen over welke akoestische signalen of kenmerken waarschijnlijk specifieke welzijnsindicatoren zullen beïnvloeden. De resultaten van studies die dit systeem volgen, kunnen

bijdragen aan de ontwikkeling van complementaire, op bewijs gebaseerde strategieën die verder gaan dan geluidsgrenzen en welzijnsverbeteringen ondersteunen.

8.2 INDIVIDUELE FACTOREN DIE DE REACTIE OP GELUID BEÏNVLOEDEN

Uit het literatuuronderzoek bleek dat de effecten van geluid vaak werden beïnvloed door de lijn, het geslacht en het ontwikkelingsstadium van de dieren. Eén studie rapporteerde zelfs geluidsresistente en geluidsgevoelige fenotypes, maar legde niet uit hoe deze fenotypes op andere typische of identificeerbare manieren verschilden (Rabat et al., 2005). Dit suggereert dat individuele kenmerken die relatief stabiel zijn in de tijd (maar niet noodzakelijkerwijs levenslang) mogelijk van invloed kunnen zijn op hoe dieren geluid waarnemen en erop reageren, en dus op hun welzijn. Bijvoorbeeld, ratten met een actieve of passieve copingstijl verschillen in gedragsmatige en fysiologische reacties op stressvolle gebeurtenissen, waaronder de mate van gedragsflexibiliteit (een belangrijke bepalende factor voor het vermogen om met veranderingen in de omgeving om te gaan; Coppens et al., 2010). Zebravissen vertonen stabiele individuele verschillen in activiteitsniveau, met invloed op hun ruimtelijke voorkeuren in het aquarium (Tran & Gerlai, 2013). Systematisch onderzoek naar de invloeden van geslacht, leeftijd en stabiele individuele verschillen (persoonlijkheid) ontbreekt, maar zou waardevolle informatie opleveren over populaties en fenotypes die mogelijk kwetsbaarder of juist resistenter zijn voor de welzijnsverminderende effecten van lawaai.

8.3 TRILLINGEN

Zowel luchtgedragen geluid als trillingen dragen bij aan de zintuiglijke omgeving van proefdieren en kunnen afzonderlijk hun welzijn beïnvloeden, maar hun effecten zijn moeilijk te onderscheiden. Bij zebravissen schrijven de huidige wetgeving en richtlijnen al voor dat trillingen tot een minimum moeten worden beperkt (Richtlijn 2010/63/EU; Vlaamse overheid, 2023), maar methoden om trillingen en hun effecten op zebravissen te minimaliseren of te monitoren ontbreken grotendeels in de huidige richtlijnen en trainingsprogramma's. Daarom is onderzoek nodig om te begrijpen hoe geluid en trillingen afzonderlijk of in combinatie het dierenwelzijn beïnvloeden en om geschikte manieren te vinden om trillingsbronnen, -paden en -effecten te meten en te monitoren.

In de praktijk kan de implementatie van geluids- en trillingsbeperkende maatregelen vergemakkelijkt worden door het verduidelijken van rollen en verantwoordelijkheden binnen faciliteiten en kan dit ervoor zorgen dat deze kwesties in de dagelijkse werkzaamheden worden geïntegreerd in plaats van als een bijzaak te worden beschouwd.

REFERENCES

- Abramova, O. V., Zubkov, E. A., Zorkina, Ya. A., Morozova, A. Yu., Pavlov, K. A., & Chekhonin, V. P. (2020). Social and Cognitive Impairments in Rat Offspring after Ultrasound-Induced Prenatal Stress. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 168(6), 730–733. <https://doi.org/10.1007/s10517-020-04790-0>
- Abtahi-Eivary, S., Tajpoor, A., Firoozi, A., Mehrzad, S., & Beheshti, M. (2021). Evaluating the Effects of Noise Pollution on the Levels of Blood Cortisol, Testosterone, and Thyroid in Male Wistar Rats. *Health Scope*, 10(3), e94704. <https://doi.org/10.5812/jhealthscope.94704>
- Ahmad-Hanafi, S., Zulkifli, I., Ramiah, S., Chung, E., Kamil, R., Sazili, A., & Mashitah, J. (2024). Prenatal auditory stimulation and impacts on physiological response to feed restriction in broiler chickens at market age. *Poultry Science*, 103(10), 103948. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103948>
- Almeida, J., Severo, F., & Nunes, D. (2022). Impact of the Sound of Magnetic Resonance Imaging Pulse Sequences in Awake Mice. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 25(1), 75–88. <https://doi.org/10.1080/10888705.2021.1941023>
- Alvarez-Hernandez, N., Vallejo-Timarán, D., Rodriguez, B., Mcglone, J., & Garcia, A. (2023). Adapted Original Music as an Environmental Enrichment in an Intensive Pig Production System Reduced Aggression in Weaned Pigs during Regrouping. *Animals*, 13(23), 3599. <https://doi.org/10.3390/ani13233599>
- Angrini, M., & Leslie, J. (2012). Vitamin C attenuates the physiological and behavioural changes induced by long-term exposure to noise. *Behavioural Pharmacology*, 23(2), 119–125. <https://doi.org/10.1097/FBP.0b013e32834f9f68>
- Araújo, A., Freitas, I., Gomes, A., & Malafaia, G. (2020). Implications of night-party environment on emotional, physiological, and anatomical features in mammals: A simulation based study on Swiss mice. *Applied Acoustics*, 167, 107404. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107404>
- Araújo, F., Santo, L., Teixeira, A., Santos, B., Galvao, B., Silva, T., Duarte, M., Vasconcellos, A., de Alvarenga, K., Magno, L., Cavalcante, K., Young, R., & Carnpos, M. (2018). Low welfare impact of noise: Assessment in an experimental model of mice infected by Herpes simplex-1. *Applied Animal Behaviour Science*, 207, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.07.010>
- Archana, R. (2014). Effect of chronic noise stress on neutrophil functions in rats. *American International Journal of Research in Formal, Applied & Natural Sciences*, 3(1), 88–92.
- Archana, R., & Namasivayam, A. (1999). The effect of acute noise stress on neutrophil functions. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 43(4), 491–495.
- Ardeshiri-Lordejani, F., Sharifi, T., Salami, M., Qazanfari, A., & Oheili, M. (2020). Zinc/Iron Oxide Nanocomposites: Green Synthesis, Characterization, and Evaluation of their Effects on Anxiety in Rats Exposed to Noise Stress. *Journal of Nanostructures*, 10(4), 702–712. <https://doi.org/10.22052/JNS.2020.04.003>
- Armario, A., Castellanos, J., & Balasch, J. (1984). Adaptation of anterior-pituitary hormones to chornic noise stress in male rats. *Behavioral and Neural Biology*, 41(1), 71–76. [https://doi.org/10.1016/S0163-1047\(84\)90745-3](https://doi.org/10.1016/S0163-1047(84)90745-3)

- Burman, O., Ilyat, A., Jones, G., & Mendl, M. (2007). Ultrasonic vocalizations as indicators of welfare for laboratory rats (*Rattus norvegicus*). *Applied Animal Behaviour Science*, 104(1–2), 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.04.028>
- Campeau, S., Dolan, D., Akil, H., & Watson, S. (2002). c-fos mRNA Induction in Acute and Chronic Audiogenic Stress: Possible Role of the Orbitofrontal Cortex in Habituation. *Stress*, 5(2), 121–130. <https://doi.org/10.1080/10253890290027895>
- Canlon, B., Meltser, I., Johansson, P., & Tahera, Y. (2007). Glucocorticoid receptors modulate auditory sensitivity to acoustic trauma. *Hearing Research*, 226(1–2), 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2006.05.009>
- Cao, S., Ye, M., Wei, W., & Yang, F. (2024). Different sound exposures causes alterations in stress-related serum indicators, behaviors, and cecal microbiota of green-shell egg-laying chickens under different stocking densities. *PeerJ*, 12, e18544. <https://doi.org/10.7717/peerj.18544>
- Carter, M., & Shieh, J. (2015). Chapter 2—Animal Behavior. In M. Carter & J. Shieh (Eds.), *Guide to Research Techniques in Neuroscience (Second Edition)* (pp. 39–71). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800511-8.00002-2>
- Cervi, A., Poling, K., & Higgs, D. (2012). Behavioral Measure of Frequency Detection and Discrimination in the Zebrafish, *Danio rerio*. *Zebrafish*, 9, 1–7. <https://doi.org/10.1089/zeb.2011.0720>
- Chang, Q., Li, C., Zhao, S., Wang, H., Li, J., Zhang, R., & Bao, J. (2024). Research Note: Effects of environmental sound stimulus on behavioral responses, cortisol levels, and horizontal immunity of transferred pullets. *Poultry Science*, 103(6). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103689>
- Chapman, D. M. F., & Ellis, D. D. (1998). The elusive decibel: Thoughts on sonars and marine mammals. *Canadian Acoustics*, 26(2), 29–31.
- Chen, C., Zhong, Z., Xin, Z., Zhang, S., & Yu, C. (2019). A new stress model by predatory sound produces persistent anxiety-like behaviours in male SD rats but not ICR mice. *Applied Animal Behaviour Science*, 220, 104843. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104843>
- Chikahisa, S., Sano, A., Kitaoka, K., Miyamoto, K., & Sei, H. (2007). Anxiolytic effect of music depends on ovarian steroid in female mice. *Behavioural Brain Research*, 179(1), 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2007.01.010>
- Chloupek, P., Voslárová, E., Chloupek, J., Bedánová, I., Pisteková, V., & Vecerek, V. (2009). Stress in Broiler Chickens Due to Acute Noise Exposure. *Acta Veterinaria BRNO*, 78(1), 93–98. <https://doi.org/10.2754/avb200978010093>
- Ciborowska, P., Bien, D., Zbikowski, A., Pawlowski, K., Urban, J., Zalewska, A., Matuszewski, A., Kareem, K., Piotrowska, K., & Michalczyk, M. (2025). The impact of relaxation music (Weightless by Marconi Union) on production performance, welfare, and hematological and biochemical blood parameters in broiler chickens. *Poultry Science*, 104(1), 104555. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104555>
- Cloutier, S., Weary, D. M., & Fraser, D. (2000). Can Ambient Sound Reduce Distress in Piglets During Weaning and Restraint? *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 3(2), 107–116. https://doi.org/10.1207/S15327604JAWS0302_3
- Coborn, J., Lessie, R., Sinton, C., Rance, N., Perez-Leighton, C., & Teske, J. (2019). Noise-induced sleep disruption increases weight gain and decreases energy metabolism in female rats. *International Journal of Obesity*, 43(9), 1759–1768. <https://doi.org/10.1038/s41366-018-0293-9>

- Coppens, C. M., De Boer, S. F., & Koolhaas, J. M. (2010). Coping styles and behavioural flexibility: Towards underlying mechanisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1560), 4021–4028. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0217>
- Cordingley, J. R., Nemzek, J., & Qi, N. (2024). Noise and Vibration Generation and Response of Mice (*Mus musculus*) to Routine Intrafacility Transportation Methods. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 63(3), 221–231. <https://doi.org/10.30802/AALAS-JAALAS-23-000096>
- Crone, C., Caldara, F., Martins, R., de Oliveira, G., Marcon, A., Garcia, R., Dos Santos, L., Paz, I., Lippi, I., & Burbarelli, M. (2023). Environmental Enrichment for Pig welfare during Transport. *Journal of Applied Welfare Science*, 26(3), 393–403. <https://doi.org/10.1080/10888705.2021.1983725>
- Cruz, J., Lima, D., Dal Magro, D., & Cruz, J. (2015). Anxiolytic effect of Mozart music over short and long photoperiods as part of environmental enrichment in captive *Rattus norvegicus* (Rodentia: Muridae). *Scandinavian Journal of Laboratory Animal Science*, 41(7).
- Cui, B., Gai, Z., She, X., Wang, R., & Xi, Z. (2016). Effects of chronic noise on glucose metabolism and gut microbiota-host inflammatory homeostasis in rats. *Scientific Reports*, 6, 36693. <https://doi.org/10.1038/srep36693>
- Dal, A., Yanik, H., Elibol, B., & Usak, S. (2020). Effects of music on stress induced hormones and oxidative stress levels. *Cukurova Medical Journal*, 45(4), 1493–1498. <https://doi.org/10.17826/cumj.735738>
- Daylari, T., Riazzi, G., Pooyan, S., Fathi, E., & Katouli, F. (2019). Influence of various intensities of 528Hz sound-wave in production of testosterone in rat's brain and analysis of behavioral changes. *Genes & Genomics*, 41(2), 201–211. <https://doi.org/10.1007/s13258-018-0753-6>
- de Camargo, A., Bonde, H., Dal Magro, D., de Lima, D., & Campanella, L. (2017). Cocoa and classical music: Effect on anxiety and antioxidant activity in Wistar rats. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 67(2), 106–115.
- de Jenlis, A., Del Vecchio, F., Delanaud, S., Gay-Queheillard, J., Bach, V., & Pelletier, A. (2019). Impacts of Subchronic, High-Level Noise Exposure on Sleep and Metabolic Parameters: A Juvenile Rodent Model. *Environmental Health Perspectives*, 127(5), 57004. <https://doi.org/10.1289/EHP4045>
- De Meyer, D., Amalraj, A., Van Limbergen, T., Fockedey, M., Edwards, S., Moustsen, V., Chantziaras, I., & Maes, D. (2020). Short Communication: Effect of positive handling of sows on litter performance and pre-weaning piglet mortality. *Animal*, 14(8), 1733–1739. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000427>
- DeBoer, S., Slangen, J., & Vandergugten, J. (1988). Adaptation of plasma catecholamine and corticosterone responses to short-term repeated noise stress in rats. *Physiology & Behavior*, 44(2), 273–280. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(88\)90149-7](https://doi.org/10.1016/0031-9384(88)90149-7)
- DeBoer, S., Vandergugten, J., & Slangen, J. (1989). Plasma-Catecholamine and corticosterone responses to predictable and unpredictable noise stress in rats. *Physiology & Behavior*, 45(4), 789–795. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(89\)90296-5](https://doi.org/10.1016/0031-9384(89)90296-5)
- Di, G., & He, L. (2013). Behavioral and plasma monoamine responses to high-speed railway noise stress in mice. *Noise & Health*, 15(65), 217–223. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.113506>
- Di, G., Zhou, B., & Lin, Q. (2011). The effects of aircraft noise exposure on rat behavior and serum neurotransmitter expression. *Noise Control Engineering Journal*, 59(5), 514–518. <https://doi.org/10.3397/1.3609824>

- Donofre, A., da Silva, I., & Ferreira, I. (2020). Sound exposure and its beneficial effects on embryonic growth and hatching of broiler chicks. *British Poultry Science*, 61(1), 79–85. <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1673315>
- dos Santos, A., de Abreu, M., de Mello, G., Costella, V., do Amaral, N., Zanella, A., Poletto, J., Petersen, E., Kalueff, A., & Giacomini, A. (2023). Solfeccio-frequency music exposure reverses cognitive and endocrine deficits evoked by a 24-h light exposure in adult zebrafish. *Behavioural Brain Research*, 450, 114461. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2023.114461>
- Durham, D., Park, D. L., & Girod, D. A. (2002). Breed differences in cochlear integrity in adult, commercially raised chickens. *Hearing Research*, 166(1–2), 82–95. [https://doi.org/10.1016/s0378-5955\(02\)00301-5](https://doi.org/10.1016/s0378-5955(02)00301-5)
- Eggermont, J. J. (2017). Effects of long-term non-traumatic noise exposure on the adult central auditory system. Hearing problems without hearing loss. *Hearing Research*, 352, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.10.015>
- Eraslan, E., Akyazi, I., Ergül-Ekiz, E., & Matur, E. (2015). Noise Stress-Induced Changes in mRNA Levels of Corticotropin-Releasing Hormone Family Molecules and Glucocorticoid Receptors in the Rat Brain. *Folia Biologica*, 61(2), 66–73. <https://doi.org/10.14712/fb2015061020066>
- Escribano, B., Quero, I., Feijóo, M., Tasset, I., Montilla, P., & Túnez, I. (2014). Role of noise and music as anxiety modulators: Relationship with ovarian hormones in the rat. *Applied Animal Behaviour Science*, 152, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.006>
- European Environment Agency. (2020). *Environmental noise in Europe—2020* (EEA Report 22/2019). Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe>
- European Environment Agency. (2025). *Environmental noise in Europe—2025* (EEA Report 05/2025). Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe-2025>
- European Parliament and Council of the European Union. (2002). *Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise* (2002/49/EC). European Parliament and Council of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049>
- European Parliament and Council of the European Union. (2010). *Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes* (2010/63/EU). European Parliament and Council of the European Union. <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/63/2019-06-26>
- Farazi, N., Mahmoudi, J., Sadigh-Eteghad, S., Farajdokht, F., & Rasta, S. (2022). Synergistic effects of combined therapy with transcranial photobiomodulation and enriched environment on depressive- and anxiety-like behaviors in a mice model of noise stress. *Lasers in Medical Science*, 37(2), 1181–1191. <https://doi.org/10.1007/s10103-021-03370-6>
- Farina, A. (2014). Soundscape and Landscape Ecology. In A. Farina (Ed.), *Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications* (pp. 1–28). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5_1
- Farzadinia, P., Bigdeli, M., Akbarzadeh, S., Mohammadi, M., Daneshi, A., & Bargahi, A. (2016). Effect of noise pollution on testicular tissue and hormonal assessment in rat. *Andrologia*, 48(9), 869–873. <https://doi.org/10.1111/and.12524>

dos Santos, A., de Abreu, M., de Mello, G., Costella, V., do Amaral, N., Zanella, A., Poletto, J., Petersen, E., Kalueff, A., & Giacomini, A. (2023). Solfeggio-frequency music exposure reverses cognitive and endocrine deficits evoked by a 24-h light exposure in adult zebrafish. *Behavioural Brain Research*, 450, 114461. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2023.114461>

Durham, D., Park, D. L., & Girod, D. A. (2002). Breed differences in cochlear integrity in adult, commercially raised chickens. *Hearing Research*, 166(1-2), 82-95. [https://doi.org/10.1016/s0378-5955\(02\)00301-5](https://doi.org/10.1016/s0378-5955(02)00301-5)

Eggermont, J. J. (2017). Effects of long-term non-traumatic noise exposure on the adult central auditory system. Hearing problems without hearing loss. *Hearing Research*, 352, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.10.015>

Eraslan, E., Akyazi, I., Ergül-Ekiz, E., & Matur, E. (2015). Noise Stress-Induced Changes in mRNA Levels of Corticotropin-Releasing Hormone Family Molecules and Glucocorticoid Receptors in the Rat Brain. *Folia Biologica*, 61(2), 66–73. <https://doi.org/10.14712/fb2015061020066>

Escribano, B., Quero, I., Feijóo, M., Tasset, I., Montilla, P., & Túnez, I. (2014). Role of noise and music as anxiety modulators: Relationship with ovarian hormones in the rat. *Applied Animal Behaviour Science*, 152, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.006>

European Environment Agency. (2020). *Environmental noise in Europe—2020* (EEA Report 22/2019). Publications Office of the European Union.
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe>

European Environment Agency. (2025). *Environmental noise in Europe—2025* (EEA Report 05/2025). Publications Office of the European Union.
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe-2025>

European Parliament and Council of the European Union. (2002). *Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise* (2002/49/EC). European Parliament and Council of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049>

European Parliament and Council of the European Union. (2010). *Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes* (2010/63/EU). European Parliament and Council of the European Union. <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/63/2019-06-26>

Farazi, N., Mahmoudi, J., Sadigh-Eteghad, S., Farajdokht, F., & Rasta, S. (2022). Synergistic effects of combined therapy with transcranial photobiomodulation and enriched environment on depressive- and anxiety-like behaviors in a mice model of noise stress. *Lasers in Medical Science*, 37(2), 1181–1191. <https://doi.org/10.1007/s10103-021-03370-6>

Farina, A. (2014). Soundscape and Landscape Ecology. In A. Farina (Ed.), *Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications* (pp. 1–28). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5_1

Farzadinia, P., Bigdeli, M., Akbarzadeh, S., Mohammadi, M., Daneshi, A., & Bargahi, A. (2016). Effect of noise pollution on testicular tissue and hormonal assessment in rat. *Andrologia*, 48(9), 869–873. <https://doi.org/10.1111/and.12524>

- Fay, R. R. (1988). *Hearing in vertebrates: A psychophysics databook* (pp. vii, 621). Hill-Fay Associates.
- Fay, R. R., & Edds-Walton, P. L. (2008). Structures and Functions of the Auditory Nervous System of Fishes. In J. F. Webb, R. R. Fay, & A. N. Popper (Eds.), *Fish Bioacoustics: With 81 Illustrations* (pp. 49–97). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73029-5_3
- Fay, R. R., & Popper, A. N. (2000). Evolution of hearing in vertebrates: The inner ears and processing. *Hearing Research*, 149(1), 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0378-5955\(00\)00168-4](https://doi.org/10.1016/S0378-5955(00)00168-4)
- Fernandez-Quezada, D., Luquin, S., Ruvalcaba-Delgadillo, Y., Garcia-Estrada, J., & Jauregui-Huerta, F. (2022). Sex Differences in the Expression of c-fos in a Rat Brain after Exposure to Environmental Noise. *Sustainability*, 14(5), 2798. <https://doi.org/10.3390/su14052798>
- Fidan, E., Turkyilmaz, M., & Nazligul, A. (2015). Effects of noise and light intensities on stress and fear reactions in broilers. *Indian Journal of Animal Sciences*, 85(12), 1375–1378. <https://doi.org/10.56093/ijans.v85i12.54406>
- Flores-García, M., Flores, A., Aso, E., Otero-López, P., Ciruela, F., Videla, S., Grau-Sánchez, J., Rodríguez-Fornells, A., Bonaventura, J., & Fernández-Dueñas, V. (2025). Dopamine dynamics in chronic pain: Music-induced, sex-dependent, behavioral effects in mice. *Pain reports*, 10(1), e1205. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000001205>
- Fu, Q., Qiu, R., Yao, T., Liu, L., Li, Y., Li, X., Qi, W., Chen, Y., & Cheng, Y. (2025). Music therapy as a preventive intervention for postpartum depression: Modulation of synaptic plasticity, oxidative stress, and inflammation in a mouse model. *Translational Psychiatry*, 15(1), 143. <https://doi.org/10.1038/s41398-025-03370-y>
- Fumakiya, S., & Uggini, G. (2025). Monotone sound waves influence embryonic development in an explicit manner: Effects of 50 Hz, 432 Hz and 2000 Hz frequencies. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 107(5), 587–609. <https://doi.org/10.1080/02772248.2025.2493676>
- Gai, Z., Li, K., Sun, H., She, X., Cui, B., & Wang, R. (2016). Effects of chronic noise on mRNA and protein expression of CRF family molecules and its relationship with p-tau in the rat prefrontal cortex. *Journal of Neurological Sciences*, 368, 307–313. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2016.07.049>
- Gaillard, C., Deroiné, C., Misrach, M., & Durand, M. (2023). Effects over time of different types of sounds on gestating sows' behavior. *Applied Animal Behaviour Science*, 266, 106012. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.106012>
- Gao, J., Xue, Q., Wang, S., Gao, L., Lan, Y., Fang, Z., Fu, Y., Liu, Y., Li, Y., & Fan, L. (2015). Association between cardiac changes and stress, and the effect of peroxisome proliferator-activated receptor- γ on stress-induced myocardial injury in mice. *Journal of Huazhong University of Science and Technology-Medical Sciences*, 35(1), 28–34. <https://doi.org/10.1007/s11596-015-1384-7>
- Gao, X., Gong, J., Yang, B., Liu, Y., Xu, H., Hao, Y., Jing, J., Feng, Z., & Li, L. (2023). Effect of classical music on growth performance, stress level, antioxidant index, immune function and meat quality in broilers at different stocking densities. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1227654. <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2023.1227654>
- Geal-Dor, M., Freeman, S., Li, G., & Sohmer, H. (1993). Development of hearing in neonatal rats: Air and bone conducted ABR thresholds. *Hearing Research*, 69(1), 236–242. [https://doi.org/10.1016/0378-5955\(93\)90113-F](https://doi.org/10.1016/0378-5955(93)90113-F)

- Heffner, R. S., & Heffner, H. E. (1990). Hearing in domestic pigs (*Sus scrofa*) and goats (*Capra hircus*). *Hearing Research*, 48, 231–240.
- Henkin, R. I., & Knigge, K. M. (1963). Effect of sound on the hypothalamic-pituitary-adrenal axis. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 204(4), 710–714. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1963.204.4.710>
- Hill, E. M., Koay, G., Heffner, R. S., & Heffner, H. E. (2014). Audiogram of the chicken (*Gallus gallus domesticus*) from 2 Hz to 9 kHz. *Journal of Comparative Physiology A*, 200(10), 863–870. <https://doi.org/10.1007/s00359-014-0929-8>
- Hill, P. S. M., Virant-Doberlet, M., & Wessel, A. (2019). What Is Biotremology? In P. S. M. Hill, R. Lakes-Harlan, V. Mazzoni, P. M. Narins, M. Virant-Doberlet, & A. Wessel (Eds.), *Biotremology: Studying Vibrational Behavior* (pp. 15–25). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22293-2_2
- Houser, M., Coborn, J., Sinton, C., Perez-Leighton, C., & Teske, J. (2023). Sleep loss in male rats contributes more to weight gain during sleep disruption than stress assessed by corticosterone. *Neuroscience Letters*, 792, 136959. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2022.136959>
- Hung, P., Wu, K., Chen, C., Siu, K., Hsin, Y., Wang, L., & Wang, F. (2021). Music-Based Intervention Ameliorates Mecp2-Loss-Mediated Sociability Repression in Mice through the Prefrontal Cortex FND5/BDNF Pathway. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 7174. <https://doi.org/10.3390/ijms22137174>
- Ilieva, N. (2025). *No Evidence for the “Mozart Effect” on Animal Welfare: A Systematic Review of Music-Based Enrichment in Non-Human Animals*. University of Glasgow.
- Jafari, Z., Kolb, B., & Mohajerani, M. (2018). Chronic traffic noise stress accelerates brain impairment and cognitive decline in mice. *Experimental Neurology*, 308, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2018.06.011>
- Jafari, Z., Mehla, J., Kolb, B., & Mohajerani, M. (2017). Prenatal noise stress impairs HPA axis and cognitive performance in mice. *Scientific Reports*, 7, 10560. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09799-6>
- Jafari, Z., Okuma, M., Karem, H., Mehla, J., Kolb, B., & Mohajerani, M. (2019). Prenatal noise stress aggravates cognitive decline and the onset and progression of beta amyloid pathology in a mouse model of Alzheimer’s disease. *Neurobiology of Aging*, 77, 66–86. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2019.01.019>
- Jagersma, J. D., Prado-Rivera, M. A., Deddens, V., Wever, K. E., Olivier, J. D. A., & Pyott, S. J. (2025). Animal models of early-onset hearing loss: A systematic review of the effects on cognition, social behavior, vocalization, and neurobiological mechanisms. *Hearing Research*, 467, 109350. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2025.109350>
- Jin, S., Wang, H., Gong, H., Guo, L., Zhang, H., Zhang, J., Chang, Q., Li, J., Zhang, R., & Bao, J. (2025). Music intervention mitigates LPS-induced gut barrier disruption and immune stress in broilers via TLR4/NF-κB regulation. *Poultry Science*, 104(7), 105189. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105189>
- Jonescu, E. E., Farrel, B., Ramanayaka, C. E., White, C., Costanzo, G., Delaney, L., Hahn, R., Ferrier, J., & Litton, E. (2024). Mitigating Intensive Care Unit Noise: Design-Led Modeling Solutions, Calculated Acoustic Outcomes, and Cost Implications. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 17(3), 220–238. <https://doi.org/10.1177/19375867241237501>

- Kumar, V., Bhat, Z. A., & Kumar, D. (2013). Animal models of anxiety: A comprehensive review. *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods*, 68(2), 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.vascn.2013.05.003>
- Lara, R. A., & Vasconcelos, R. O. (2019). Characterization of the Natural Soundscape of Zebrafish and Comparison with the Captive Noise Conditions. *Zebrafish*, 16(2), 152–164. <https://doi.org/10.1089/zeb.2018.1654>
- Lara, R., & Vasconcelos, R. (2021). Impact of noise on development, physiological stress and behavioural patterns in larval zebrafish. *Scientific Reports*, 11(1), 6615. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85296-1>
- Lauer, A. M., May, B. J., Hao, Z. J., & Watson, J. (2009). Analysis of environmental sound levels in modern rodent housing rooms. *Lab Animal*, 38(5), 5. <https://doi.org/10.1038/labon0509-154>
- Lazarevic, M., Zikic, D., & Uscebrka, G. (2000). The influence of long term sound stress on the blood leukocyte count, heterophil/lymphocyte ratio and cutaneous basophil hypersensitive reaction to phytohemagglutinin in broiler chickens. *Acta Veterinaria-Beograd*, 50(2–3), 63–75.
- Le Moëne, O., Ramírez-Rentería, M., & Ågmo, A. (2020). Male and female immediate fear reaction to white noise in a semi-natural environment: A detailed behavioural analysis of the role of sex and oestrogen receptors. *Journal of Neuroendocrinology*, 32(10), e12902. <https://doi.org/10.1111/jne.12902>
- Lee, J., Yang, J., Kim, J., Jang, Y., Han, D., Kim, H., Jeong, B., & Seong, J. (2024). Effects of Environmental Noise Stress on Mouse Metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(20), 10985. <https://doi.org/10.3390/ijms252010985>
- Li, J., Li, X., Liu, H., Li, J., Han, Q., Wang, C., Zeng, X., Li, Y., Ji, W., Zhang, R., & Bao, J. (2021). Effects of music stimulus on behavior response, cortisol level, and horizontal immunity of growing pigs. *Journal of Animal Science*, 99(5), skab043. <https://doi.org/10.1093/jas/skab043>
- Li, W., Yu, H., Yang, J., Gao, J., Jiang, H., Feng, M., Zhao, Y., & Chen, Z. (2010). Anxiolytic effect of music exposure on BDNF^{Met/Met} transgenic mice. *Brain Research*, 1347, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.05.080>
- Lippi, I., Caldara, F., Morais, H., Vargas, L., Odakura, A., Burbarelli, M., Felix, G., Garcia, R., Paz, I., & dos Santos, L. (2025). Effects of Auditory Enrichment on Welfare and Performance of Sows During Pregnancy and Farrowing/Lactation Periods. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 28(1), 44–60. <https://doi.org/10.1080/10888705.2023.2215930>
- Lu, Y., Liu, M., Shi, S., Jiang, H., Yang, L., Liu, X., Zhang, Q., & Pan, F. (2010). Effects of Stress in Early Life on Immune Functions in Rats With Asthma and the Effects of Music Therapy. *Journal of Asthma*, 47(5), 526–531. <https://doi.org/10.3109/02770901003801964>
- Mahmoodzadeh, Y., Mahmoudi, J., Gorgani-Firuzjaee, S., Mohtavinejad, N., & Namvaran, A. (2021). Effects of N-acetylcyteine on Noise Exposure-induced Oxidative Stress and Depressive- and Anxiety-like Behaviors in Adult Male Mice. *Basic and Clinical Neuroscience*, 12(4), 499–510. <https://doi.org/10.32598/bcn.2021.2026.1>
- Maniaci, A., La Via, L., Lechien, J. R., Sangiorgio, G., Iannella, G., Magliulo, G., Pace, A., Mat, Q., Lavallo, S., & Lentini, M. (2024). Hearing Loss and Oxidative Stress: A Comprehensive Review. *Antioxidants*, 13(7), 7. <https://doi.org/10.3390/antiox13070842>
- Marchetto, L., Barcellos, L., Koakoski, G., Soares, S., Pompermaier, A., Maffi, V., Costa, R., da Silva, C., Zorzi, N., Demin, K., Kalueff, A., & Barcellos, H. (2021). Auditory environmental enrichment

Mavanji, V., Teske, J., Livingston, C., & Kotz, C. (2013). Partial Sleep Deprivation by Environmental Noise Increases Food Intake and Body Weight in Obesity-Resistant Rats. *Obesity*, 21(7), 1396–1405. <https://doi.org/10.1002/oby.20182>

McFarlane, J., & Curtis, S. (1989). Multiple concurrent stressors in chicks.: 3. Effects on plasma corticosterone and the heterophil:lymphocyte ratio. *Poultry Science*, 68(4), 522–527. <https://doi.org/10.3382/ps.0680522>

McLeod, A. R., Burton, J. A., Mackey, C. A., & Ramachandran, R. (2022). An assessment of ambient noise and other environmental variables in a nonhuman primate housing facility. *Lab Animal*, 51(8), 219–226. <https://doi.org/10.1038/s41684-022-01017-9>

Mendes, J., Caldara, F., Burbarelli, M., Valentim, J., Mandu, D., Garcia, R., Paz, I., Odakura, A., & Silva, M. (2024). Behavior of sows exposed to auditory enrichment in mixed or collective housing systems. *Journal of Veterinary Behavior-Clinical Applications and Research*, 73, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2024.04.001>

Merlot, E., Mounier, A., & Prunier, A. (2011). Endocrine response of gilts to various common stressors: A comparison of indicators and methods of analysis. *Physiology & Behavior*, 102(3–4), 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.11.009>

Milligan, S. R., Sales, G. D., & Khirnykh, K. (1993). Sound levels in rooms housing laboratory animals: An uncontrolled daily variable. *Physiology & Behavior*, 53(6), 1067–1076. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(93\)90361-I](https://doi.org/10.1016/0031-9384(93)90361-I)

Molina, S., Buján, G., Gonzalez, M., Capani, F., Gómez-Casati, M., & Guelman, L. (2019). Exposure of Developing Male Rats to One or Multiple Noise Sessions and Different Housing Conditions: Hippocampal Thioredoxin Changes and Behavioral Alterations. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 13, 182. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2019.00182>

Molina, S., Capani, F., & Guelman, L. (2016). Noise exposure of immature rats can induce different age-dependent extra-auditory alterations that can be partially restored by rearing animals in an enriched environment. *Brain Research*, 1636, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.01.050>

Morakinyo, A., Samuel, T., Awobajo, F., Adekunbi, D., Olatunji, I., Binibor, F., & Oni, A. (2019). Adverse effects of noise stress on glucose homeostasis and insulin resistance in Sprague-Dawley rats. *Heliyon*, 5(12), e03004. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03004>

Morozova, A. Y., Zubkov, E. A., Storozheva, Z. I., Kekelidze, Z. I., & Chekhonin, V. P. (2013). Effect of Ultrasonic Irradiation on the Development of Symptoms of Depression and Anxiety in Rats. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 154(6), 740–743. <https://doi.org/10.1007/s10517-013-2044-1>

Münzel, T., Daiber, A., Steven, S., Tran, L., Ullmann, E., Kossmann, S., Schmidt, F., Oelze, M., Xia, N., Li, H., Pinto, A., Wild, P., Pies, K., Schmidt, E., Rapp, S., & Kröller-Schön, S. (2017). Effects of noise on vascular function, oxidative stress, and inflammation: Mechanistic insight from studies in mice. *European Heart Journal*, 38(37), 2838–2849. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx081>

Mzia, Z., Nina, G., Yousef, T., Nadezhda, J., Nino, P., Nino, L., Fuad, R., & Eldar, G. (2020). Behavioral and neuroanatomical effects on exposure to White noise in rats. *Neuroscience Letters*, 728, 134898. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.134898>

- Naqvi, F., Haider, S., Batool, Z., Perveen, T., & Haleem, D. (2012). Sub-chronic exposure to noise affects locomotor activity and produces anxiogenic and depressive like behavior in rats. *Pharmacological Reports*, 64(1), 64–69. [https://doi.org/10.1016/S1734-1140\(12\)70731-4](https://doi.org/10.1016/S1734-1140(12)70731-4)
- Narınç, D., & Aygun, A. (2023). Effects of Species-Specific Auditory Stimulation on Broiler Embryos on Hatchability, Developmental Stability, Behavior, and Performance Characteristics. *Animals*, 13(23), 3739. <https://doi.org/10.3390/ani13233739>
- Nian, H.-Y., Zhang, R.-X., Ding, S.-S., Wang, Y.-L., Li, J.-F., Liu, H.-G., Li, J.-H., Li, X., & Bao, J. (2023). Emotional responses of piglets under long-term exposure to negative and positive auditory stimuli. *Domestic Animal Endocrinology*, 82, 106771. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2022.106771>
- Nijssen, A., & Snel, J. (1987). Longer-term noise stressor on sleep behavior of rats. *Perceptual and Motor Skills*, 64(3), 1107–1111. <https://doi.org/10.2466/pms.1987.64.3c.1107>
- Nishio, H., Tokumo, K., & Hirai, T. (2006). Effects of perinatal stress on the anxiety-related behavior of the adolescence mouse. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 24(4), 263–268. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2006.02.003>
- Niu, T., Xiang, B., Huang, P., Yang, X., & Chai, L. (2025). Effects of music enrichment on the welfare of small ornamental fishes. *Aquaculture Reports*, 43, 102950. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102950>
- O'Connor, E., Parker, M., Davey, E., Grist, H., Owen, R., Szladovits, B., Demmers, T., Wathes, C., & Abeyesinghe, S. (2011). Effect of low light and high noise on behavioural activity, physiological indicators of stress and production in laying hens. *British Poultry Science*, 52(6), 666–674. <https://doi.org/10.1080/00071668.2011.639342>
- O'Connor, E., Parker, M., McLeman, M., Demmers, T., Lowe, J., Cui, L., Davey, E., Owen, R., Wathes, C., & Abeyesinghe, S. (2010). The impact of chronic environmental stressors on growing pigs, *Sus scrofa* (Part 1): Stress physiology, production and play behaviour. *Animal*, 4(11), 1899–1909. <https://doi.org/10.1017/S1751731110001072>
- Ordiway, G., McDonnell, M., & Sanchez, J. T. (2024). Revisiting the Chicken Auditory Brainstem Response: Frequency Specificity, Threshold Sensitivity, and Cross Species Comparison. *Neuroscience Insights*, 19, 1-3. <https://doi.org/10.1177/26331055241228308>
- Otten, W., Kanitz, E., Puppe, B., Tuchscherer, M., Brüssow, K., Nürnberg, G., & Stabenow, B. (2004). Acute and long term effects of chronic intermittent noise stress on hypothalamic-pituitary-adrenocortical and sympathoadrenomedullary axis in pigs. *Animal Science*, 78, 271–283. <https://doi.org/10.1017/S1357729800054060>
- Papadakakis, A., Sidiropoulou, K., & Panagis, G. (2019). Music exposure attenuates anxiety- and depression-like behaviors and increases hippocampal spine density in male rats. *Behavioural Brain Research*, 372, 112023. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2019.112023>
- Parfitt, D., Walton, J., Corriveau, E., & Helmreich, D. (2007). Early life stress effects on adult stress-induced corticosterone secretion and anxiety-like behavior in the C57BL/6 mouse are not as robust as initially thought. *Hormones and Behavior*, 52(4), 417–426. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.06.002>
- Parker, M., O'Connor, E., McLeman, M., Demmers, T., Lowe, J., Owen, R., Davey, E., Wathes, C., & Abeyesinghe, S. (2010). The impact of chronic environmental stressors on growing pigs, *Sus scrofa* (Part 2): Social behaviour. *Animal*, 4(11), 1910–1921. <https://doi.org/10.1017/S1751731110001084>

- Popper, A. N., & Sisneros, J. A. (2022). The Sound World of Zebrafish: A Critical Review of Hearing Assessment. *Zebrafish*, 19(2), 37–48. <https://doi.org/10.1089/zeb.2021.0063>
- Portfors, C. V. (2007). Types and functions of ultrasonic vocalizations in laboratory rats and mice. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 46(1), 28–34.
- Poulsen, R. E., Scholz, L. A., Constantin, L., Favre-Bulle, I., Vanwalleghem, G. C., & Scott, E. K. (2021). Broad frequency sensitivity and complex neural coding in the larval zebrafish auditory system. *Current Biology*, 31(9), 1977–1987.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.01.103>
- Povroznik, J., Faith, R., Kessler, M., Ali, F., Kosik, J., Prince, S., & Engler-Chiurazzi, E. (2017). Locomotor effects of a low-frequency fire alarm on C57BL/6 male mice: A preliminary study. *Laboratory Animals*, 51(6), 647–651. <https://doi.org/10.1177/0023677217711966>
- Putra, A., Irwanto, I'tishom, R., Setyoboedi, B., & Mustakim, M. (2023). Mozart music stimulation effect on wistar rats' neurogenesis. *Bali Medical Journal*, 12(1), 921–925. <https://doi.org/10.15562/bmj.v12i1.4202>
- Rabat, A., Bouyer, J., Aran, J., Courtiere, A., Mayo, W., & Le Moal, M. (2004). Deleterious effects of an environmental noise on sleep and contribution of its physical components in a rat model. *Brain Research*, 1009(1–2), 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2004.02.046>
- Rabat, A., Bouyer, J., Aran, J., Le Moal, M., & Mayo, W. (2005). Chronic exposure to an environmental noise permanently disturbs sleep in rats: Inter-individual vulnerability. *Brain research*, 1059(1), 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2005.08.015>
- Radziwon, K. E., June, K. M., Stolzberg, D. J., Xu-Friedman, M. A., Salvi, R. J., & Dent, M. L. (2009). Behaviorally measured audiograms and gap detection thresholds in CBA/CaJ mice. *Journal of Comparative Physiology A*, 195(10), 961–969. <https://doi.org/10.1007/s00359-009-0472-1>
- Ralls, K. (1967). Auditory sensitivity in mice: *Peromyscus* and *Mus musculus*. *Animal Behaviour*, 15(1), 123–128. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(67\)80022-8](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(67)80022-8)
- Rasmussen, S., Glickman, G., Norinsky, R., Quimby, F., & Tolwani, R. (2009). Construction Noise Decreases Reproductive Efficiency in Mice. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 48(4), 363–370.
- Rathod, P., & Vaidya, H. (2024). Study of the effect of Kalyani raga in Anxiety-like conditions in female Wistar rats. *International Journal of Ayurvedic Medicine*, 15(1), 30–34. <https://doi.org/10.47552/ijam.v15i1.2977>
- Reynolds, R. P., Kinard, W. L., Degraff, J. J., Leverage, N., & Norton, J. N. (2010). Noise in a Laboratory Animal Facility from the Human and Mouse Perspectives. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 49(5), 592–597.
- Riegel, K. A., & Bruce, R. D. (2013). Noise in rodent vivaria: Preliminary criteria and comparison to data. *Noise Control Engineering Journal*, 61(2), 219–227. <https://doi.org/10.3397/1.3702019>
- Said, M., & El-Gohary, O. (2016). Effect of noise stress on cardiovascular system in adult male albino rat: Implication of stress hormones, endothelial dysfunction and oxidative stress. *General Physiology and Biophysics*, 35(3), 371–377. https://doi.org/10.4149/gpb_2016003
- Sajjadi, F., Aghighi, F., Vahidinia, Z., Azami-Tameh, A., Salami, M., & Talaei, S. (2020). Prenatal urban traffic noise exposure impairs spatial learning and memory and reduces glucocorticoid receptor expression in the hippocampus of male rat offspring. *Physiology International*, 107(2), 209–219. <https://doi.org/10.1556/2060.2020.00022>

Tamagi, H., Idrus, Z., Farjam, A., Awad, E., & Hussein, A. (2024). Effects of auditory enrichment and regular human contact on stress response, underlying fearfulness, and growth performance in broiler chickens. *European Poultry Science*, 88, 1-10. <https://doi.org/10.1399/eps.2024.399>

Tong, Q., McGonnell, I., Romanini, C., Bergoug, H., Roulston, N., Exadaktylos, V., Berckmans, D., Bahr, C., Guinebretière, M., Eterradosi, N., Garain, P., & Demmers, T. (2015). Effect of species-specific sound stimulation on the development and hatching of broiler chicks. *British Poultry Science*, 56(2), 143–148. <https://doi.org/10.1080/00071668.2014.1000822>

Toukh, M., Gordon, S., & Othman, M. (2014). Construction Noise Induces Hypercoagulability and Elevated Plasma Corticosteroids in Rats. *Clinical and Applied Thrombosis Hemostasis*, 20(7), 710–715. <https://doi.org/10.1177/1076029613483168>

Tran, S., & Gerlai, R. (2013). Individual differences in activity levels in zebrafish (*Danio rerio*). *Behavioural Brain Research*, 257, 224-229. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.09.040>

Turner, J. G. (2020). Noise and Vibration in the Vivarium: Recommendations for Developing a Measurement Plan. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 59(6), 665–672. <https://doi.org/10.30802/AALAS-JAALAS-19-000131>

Turner, J. G., & Manker, J. R. (2024). Noise as an Extrinsic Variable in the Animal Research Facility. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 63(3), 209–220. <https://doi.org/10.30802/AALAS-JAALAS-24-000008>

Van Twyver, H. B., Levitt, R. A., & Dunn, R. S. (1966). The effects of high intensity white noise on the sleep pattern of the rat. *Psychonomic Science*, 6(7), 355–356. <https://doi.org/10.3758/BF03330934>

vanRaaij, M., Dobbe, C., Elvers, B., Timmerman, A., Schenk, E., Oortgiesen, M., & Wiegant, V. (1997). Hormonal status and the neuroendocrine response to a novel heterotypic stressor involving subchronic noise exposure. *Neuroendocrinology*, 65(3), 200–209. <https://doi.org/10.1159/000127273>

Vasconcelos, R., Gordillo-Martinez, F., Ramos, A., & Lau, I. (2023). Effects of Noise Exposure and Ageing on Anxiety and Social Behaviour in Zebrafish. *Biology-Basel*, 12(9), 1165. <https://doi.org/10.3390/biology12091165>

Versteegh, C., Tserga, E., Fontana, J., Moreno-Paublete, R., Sarlus, H., Zisiadis, G., Cederroth, C., & Canlon, B. (2022). Differential effects of noise exposure between substrains of CBA mice. *Hearing Research*, 415, 108395. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2021.108395>

Vitale, G., Arletti, R., & Sandrini, M. (2005). Acute noise stress analgesia in relation to 5-HT₂ and μ -opioid receptor changes in the frontal cortex of young mice. *Life Sciences*, 77(20), 2500–2513. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.01.031>

Vlaamse overheid, Department Omgeving. (2023). *Leidraad ter bevordering van het welzijn van zebravissen in proefdierfaciliteiten* (D/2023/3241/052). Department Omgeving, Afdeling Dierenwelzijn (Vlaamse overheid).

Webb, J. F., Montgomery, J. C., & Mogdans, J. (2008). Bioacoustics and the Lateral Line System of Fishes. In J. F. Webb, R. R. Fay, & A. N. Popper (Eds.), *Fish Bioacoustics: With 81 Illustrations* (pp. 145–182). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73029-5_5

- Weeks, C. (2008). A review of welfare in cattle, sheep and pig lairages, with emphasis on stocking rates, ventilation and noise. *Animal Welfare*, 17(3), 275–284. <https://doi.org/10.1017/S096272860003219X>
- Windle, R., Wood, S., Shanks, N., Perks, P., Conde, G., daCosta, A., Ingram, C., & Lightman, S. (1997). Endocrine and behavioural responses to noise stress: Comparison of virgin and lactating female rats during non-disrupted maternal activity. *Journal of Neuroendocrinology*, 9(6), 407–414. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2826.1997.00587.x>
- Wong, M., Lau, I., Gordillo-Martinez, F., & Vasconcelos, R. (2022). The effect of time regime in noise exposure on the auditory system and behavioural stress in the zebrafish. *Scientific Reports*, 12(1), 15353. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19573-y>
- Woolley, S. C., & Doupe, A. J. (2008). Social Context–Induced Song Variation Affects Female Behavior and Gene Expression. *PLOS Biology*, 6(3), e62. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060062>
- Xi, W., Mao, H., Cui, Z., Yao, H., Shi, R., & Gao, Y. (2022). Scream Sound-induced Chronic Psychological Stress Results in Diminished Ovarian Reserve in Adult Female Rat. *ENDOCRINOLOGY*, 163(6), bqac042. <https://doi.org/2022052106024985600>
- Young, M. T., French, A. L., & Clymer, J. W. (2011). An effective, economical method of reducing environmental noise in the vivarium. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 50(4), 513–515.
- Zamora, B., Jiang, M., Wang, Y., Chai, M., Lawson, P., & Lawson, G. (2009). Decreased Blastocyst Production in Mice Exposed to Increased Rack Noise. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 48(5), 486–491.
- Zapata Cardona, J., Arias, S., Jaramillo, E., Surget, A., Ibargüen-Vargas, Y., & Rodríguez, B. (2024). Effects of a veterinary functional music-based enrichment program on the psychophysiological responses of farm pigs. *Scientific Reports*, 14(1), 18660. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68407-6>
- Zeyl, J. N., Christensen-Dalsgaard, J., Patrick, S. C., & Clusella-Trullas, S. (2020). Infrasonic hearing in birds: A review of audiometry and hypothesized structure–function relationships. *Biological Reviews*, 95, 1036–1054. <https://doi.org/10.1111/brv.12596>
- Zhang, K., Yan, L., Lin, X., Li, C., Yi, X., Shi, Z., Lin, C., & Sun, G. (2025). Dietary alpha-lipoic acid prevents depression-like and anxiety-like behavior under aircraft noise exposure in young adult male mice. *European Journal of Pharmacology*, 1003, 177834. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2025.177904>
- Zhao, P., Zhao, J., Liu, H., Zhang, R., Li, J., Zhang, M., Wang, C., Bi, Y., Zhang, X., Yi, R., Li, X., & Bao, J. (2021). Effects of long-term exposure to music on behaviour, immunity and performance of piglets. *Animal Production Science*, 61(5), 532–539. <https://doi.org/10.1071/AN20407>
- Zhao, S., Cui, W., Yin, G., Wei, H., Li, J., & Bao, J. (2023). Effects of Different Auditory Environments on Behavior, Learning Ability, and Fearfulness in 4-Week-Old Laying Hen Chicks. *Animals*, 13(19), 3022. <https://doi.org/10.3390/ani13193022>
- Zhao, S., Xu, C., Zhang, R., Li, X., Li, J., & Bao, J. (2022). Effect of prenatal different auditory environment on learning ability and fearfulness in chicks. *Animal Bioscience*, 35(9), 1454–1460. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0470>
- Zhao, S., Zhang, R., Li, C., Li, Y., Li, J., Xu, C., & Bao, J. (2023). The Effect of Short-term Classical Music stimulus on Behavior and Tonic Immobility Reaction of Pullets. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 26(3), 386–392. <https://doi.org/10.1080/10888705.2021.1983724>

- ////////////////////////////////////

LIJST MET AFKORTINGEN

ACTH	Adrenocorticotroop hormoon
dB	deciBel
dpf	Dagen na bevruchting (Days post fertilisation)
EPM	Elevated plus maze
GC	Glucocorticoiden
H:L	Heterofiel-Lymfocyt ratio
HPA-as	Hypothalamus-hypofyse-bijnieras (Hypothalamic-pituitary-adrenal axis)
HVAC	Verwarming, ventilatie en air conditioning
Hz	Hertz
ISO	International Organization for Standardization
n	Aantal
N:L	Neutrofiel-Lymfocyt ratio
OFT	Open field test
Pa	Pascal
SPL	Geluidsdrukniveau (Sound Pressure Level)
WBC	Witte bloedcellen

BIJLAGE

Gegevens gebruikt voor het maken van tegelplots die de richtingscore (DS) weergeven voor breedbandlawaai, muziek, stadslawaai en smalbandlawaai per effect en diersoort (Figuren 9-12).

<https://doi.org/doi:10.48804/UF0AH4>