

## Abstract

Over the years, numerous experiments within the field of biomusicology have sought to understand how music induces physiological responses. However, these studies often present conflicting results, highlighting that specific correlations between musical stimuli and physiological reactions remain insufficiently understood. Many of these studies are conducted from a clinical or medical perspective, frequently overlooking key musicological factors that may influence the outcomes.

The purpose of this project is to explore how experimental studies within biomusicology can be developed with greater emphasis on musicological considerations. This is achieved through the construction of an experimental trial protocol based on a specific research question concerning the physiological and subjective effects of music. More specifically, the project develops a protocol designed to investigate how the addition of low-frequency drones to a musical piece may influence its capacity to induce either stimulation or relaxation in the listener.

To support this, a set of criteria for selecting appropriate musical stimuli is established, ensuring that external variables are minimized. The protocol integrates both physiological measurements, in the form of heart rate variability, and self-reported measures of affect based on arousal and valence. This combined approach enables a more nuanced investigation of the relationship between measurable physiological changes and subjective musical experience.

The project further includes a critical discussion of existing research practices, emphasizing that limitations in previous studies are not the result of methodological negligence, but rather a disciplinary bias rooted in a lack of musicological awareness. Based on this, the project highlights the importance of interdisciplinary approaches in future biomusicological research.

The study concludes by underscoring the need for continued development of experimental methodologies that integrate both physiological and musicological perspectives in order to achieve a more comprehensive understanding of music's effects on the human body.

# Musikalske frekvenser som fysiologisk eksponering

Udvikling af en eksperimentel protokol til undersøgelse af  
lavfrekvente droners påvirkning af det autonome nervesystem



René Friis Schrøder

Kandidatspeciale i Musikvidenskab

Vejleder: Hanne Mette Ochsner Ridder

Antal normalsider: 37

20/4-2026

Aalborg Universitet

## Indholdsfortegnelse

1. Indledning .....	2
2. Teori .....	4
Definition af det lavfrekvente spektrum .....	4
Det hørbare spektrum.....	4
Afgrænsning af det lavfrekvente spektrum.....	5
Musik og fysiologisk regulering .....	6
Musikalske droner.....	6
Selvrapporteret og målbar kvantificering .....	7
Fysiologiske måleredskaber.....	7
Hjertefrekvensvariabilitet.....	10
Selvrapporteret effekt.....	15
3. Metode .....	19
Fastlæggelse af frekvensområde .....	19
Baseline og kontrolmåling .....	20
HRV som måleparameter .....	21
Forsøgsdesign og struktur .....	21
Forsøgsdeltagere og inklusions- og eksklusionskriterier.....	21
Eksponering og interventionsbeskrivelse.....	22
Måleredskaber og forsøgsmateriale .....	23
Styrkeberegning .....	25
Forsøgsprocedure .....	27
Etiske overvejelser .....	28
4. Udvikling af forsøgsprotokol.....	29
Udvælgelse af musik.....	30
Afslappende og stimulerende musik.....	30
Genkendelighed og præferencer .....	31
5. Diskussion.....	33
Relevans for forsøgets resultater.....	33
Musik er komplekst og subjektivt.....	34
Uundgåelig bias.....	35
Konklusion.....	37
Litteraturliste.....	38

## 1. Indledning

Populærmusik har i høj grad været kendetegnet ved at følge skiftende trends og tendenser inden for forskellige musikkulturer. I de seneste årtier kommer dette særligt til udtryk i bassens rolle, som i dag fremstår mere central end nogensinde før. Hvad der præcist skyldes denne udvikling, er vanskeligt at fastslå, men dens popularitet kan sandsynligvis forbindes til ét centralt element: dens evne til at stimulere. Fra trap-genrens 808-lyde til rockens pumpbas har lave frekvenser længe været forbundet med en kropslig respons, hvad enten det kommer til udtryk i form af headbanging eller bevægelse på dansegulvet. Her er det dog muligt at stille spørgsmål til, hvor stor en del af denne effekt der skyldes de lave frekvenser i sig selv, og hvor meget der skyldes andre musikalske elementer såsom rytmik, lydniveau, effekter og klangfarve. Hvis disse elementer isoleres, og bassen reduceres til en simpel lavfrekvent tone, vil den da stadig have en tilsvarende stimulerende effekt?

Forskning i musiks påvirkning af kroppen kendes også som biomusikologi og er langt fra et nyt fænomen. Gennem de sidste mange årtier har der været utallige undersøgelser som peger på, at musik kan fremkalde forskellige fysiologiske responser hos mennesker. Heri fremgår det yderligere, hvordan dette ikke udelukkende fremkommer som et biprodukt af et emotionelt respons, men i stedet at musikken og lyden i sig selv har en påvirkning. Selvom dette er tilfældet, er der ikke en fælles konsensus om, præcis hvilke musikalske elementer der påvirker hvilke responser. Som jeg også vil blive fremhæve senere i dette projekt, opstår der ofte modstridende informationer i form af forsøg med et ensartet fokuspunkt som kommer frem til forskellige konklusioner. Denne diskrepans opdagede jeg først under bearbejdelsen af mit bachelorprojekt. Yderligere bemærkede jeg at størstedelen af disse forsøg er opsat på et lægevidenskabeligt fundament og manglede essentielle musikvidenskabelige perspektiver. Dette kan have betydning for, hvordan resultaterne fortolkes, idet utilstrækkelig specificering af musikalske parametre gør det muligt for andre faktorer at påvirke data og dermed føre til modstridende eller misvisende konklusioner.

På baggrund af dette videnshul vil jeg i dette projekt udforske, hvordan man kan foretage biomusikologiske undersøgelser, med stærkt fokus på en musikvidenskabelig baggrund i sammenhæng med de lægevidenskabelige aspekter. Derved vil jeg i dette projekt forsøge at besvare følgende spørgsmål:

**Hvordan kan en eksperimentel protokol udvikles til at undersøge musiks fysiologiske påvirkning med særlig fokus på musikvidenskabelige aspekter?**

For at opnå dette vil jeg tage udgangspunkt i det førnævnte spørgsmål om, hvordan lavfrekvente elementer i musik kan påvirke kroppen fysiologisk. På baggrund af dette eksempel, vil jeg udvikle en eksperimentel forsøgsprotokol, som er en systematisk beskrivelse af et forsøgs design, gennemførelse og efterbearbejdning, baseret på retningslinjer fra SPIRIT-CONSORT gruppen. Formålet med dette er ikke udelukkende at undersøge en specifik musikalsk påvirkning, men i stedet at belyse, hvordan sådanne fænomener metodisk kan undersøges inden for en biomedicinsk kontekst. De følgende kapitler har til formål at redegøre for relevant teori, hvorefter en problemformulering, der omhandler dette udgangspunkt specifikt, vil opsættes. Denne problemformulering kan anvendes som grundlag for udviklingen af den eksperimentelle forsøgsprotokol.

## 2. Teori

### Definition af det lavfrekvente spektrum

For at kunne opstille et forsøg med fokus på det lavfrekvente spektrum er det nødvendigt først at fastlægge en anvendelig definition af dette spektrum. Da der ikke findes en entydig grænse mellem det lavfrekvente og midtfrekvente spektrum, vil jeg i dette afsnit først redegøre for det hørbare frekvensspektrum og herefter afgrænse det lavfrekvente spektrum på baggrund af relevant litteratur.

### Det hørbare spektrum

Læge og violinist Daniel Schneck opsætter i det femte kapitel af sin bog *Basic Anatomy and Physiology for the Music Therapist* fra 2015, en figur over akustiske frekvenser (målt i Hz) og tilknytter dem til deres musikalske tone samt hvilke kropslige strukturer de resoneres i. Her beskrives grænsen for menneskets hørelse at ligge på omkring 19.4454 Hz (Schneck, 2015). For at simplificere dette, kan man runde op til 20 Hz og bruge dette som udgangspunkt for menneskets nedre grænse for hørelse. Dette genspejles yderligere i Broners 1978 litterære review *The effects of low frequency noise on people —A review*, hvori Broner definerer lyde under 20 Hz som værende *infrasound* (Broner, 1978).

Selvom der er defineret et grænsepunkt ved  $>20\text{Hz}$ , er det vigtigt at tage højde for den kontekst, hvori tonerne høres. Dette etablerede grænsepunkt kan ses som værende teoretisk frem for praktisk, eftersom det betragtes isoleret fra andre faktorer. I forsøget *Undetectable very-low frequency sound increases dancing at a live concert* af Cameron et al. fra 2022, anvendtes et spektrum mellem 8-37Hz under en live koncert. Selvom deres grænsepunkt næsten er dobbelt så højt som det definerede af Broner og Schneck, fremstod det stadig som værende uopdageligt (Cameron, 2022). Det skyldes højst sandsynligt at musikken fra koncerten maskerede det de kalder for *very low frequencies* (på dansk: meget lavfrekvente. Forkortes til VLF).

Her er det igen vigtigt at tage højde for den kontekst, hvori forsøget blev opstillet. Forsøget blev foretaget til en live koncert med elektronisk musik, hvori der blev målt på publikums aktivitet og bevægelse i form af dans. Elektroniske dansemusik er kendetegnet ved at være højlydt og have meget støj, hvilket gør det lettere at maskere VLF'erne. Dette er derfor ikke ensbetydende med, at alt musik ville kunne maskere de lavfrekvente toner i samme grad. Ved afspilning af musik som kan ses som værende afslappende eller stille, kan tonerne mellem 20-37Hz potentielt høres og derfor ikke være uidentificerbare.

### Afgrænsning af det lavfrekvente spektrum

Efter at have defineret den nedre grænse for det hørbare spektrum redegøres der nu for forskellige tilgange til fastlæggelsen af en øvre grænse. Dette gøres for at holde fokus på det lavfrekvente spektrum, uden at risikere at bevæge sig ind i det midtfrekvente spektrum. Formålet med at definere en øvre grænse er at skabe en ramme for det lavfrekvente spektrum, som kan danne grundlag for den videre undersøgelse.

I Nicholas Burtons artikel *The Sound of Bass Culture(s): Heaviness, Blackness, and Ubiquitous Bass* fra 2023, beskrives det komplette lavfrekvente spektrum som at ligge fra 0-250Hz. Dette bliver yderligere opdelt i underkategorier, hvori 0-20Hz er infrasound, 20-60Hz er lav-bas, 60-120Hz er mid-bas og 120-250Hz er høj-bas (Burton, 2023).

En lignende afgrænsning kan ses i *Bass As An Indicator of Quality - The Relation Between Bass Levels and Quality Perception in Headphones* af Johannes Loor og Martin Linder Nilsson fra 2019, hvori de beskriver det lavfrekvente spektrum fra 16-256Hz som svarer til tonerne C0-C4. Dog anvender de selv 200Hz som et grænsepunkt i deres forsøg (Loor & Nilsson, 2019). I modsætning til de ovennævnte studier definerer Jace Frank i *The Importance of Frequencies in Sound* fra 2020 det lavfrekvente spektrum som værende 0-100Hz. Dette skyldes ikke underdelinger af frekvensspektret, eftersom at Frank definerer det midtfrekvente spektrum som værende 100-3000Hz (Frank, 2020).

Det amerikanske firma Technicon Acoustics, som arbejder med lydabsorberende materialer, har yderligere udgivet adskillige bøger, case studier og artikler omkring lyd og akustik. På deres hjemmeside findes artiklen *High vs Low-Frequency Noise: What's the Difference?* fra 2021, hvor lavfrekvent støj defineres som lyd under 300 Hz, eller som 500 Hz eller mindre, når der anvendes Common Octave Bands (Technicon Acoustics, 2021). Dog bør det tages i betragtning, at Technicon Acoustics som firma kan have et økonomisk incitament, hvilket kan have influeret definitionens fokus på praktiske anvendelser frem for musikalske eller perceptuelle perspektiver.

I teksten af Loor og Nilsson beskrives afgrænsningen ved 256Hz blot som værende en populær definition for denne (Loor & Nilsson, 2019). Denne manglende evidens og argumentation vanskeliggør undersøgelsen af en definitiv afgrænsning. For at gøre op med dette kan frekvensspandsanalysemodellen opstillet af Alexander Bie anvendes. Det bør noteres, at denne analysemodel blev fremført i en forelæsning af Bie på Aalborg Universitet den 27. februar 2025, og fremgår ikke i et udgivet værk eller med opbyggende litteratur. Bie argumenterer dog for de forskellige afgrænsninger gennem beskrivelser af klangfarven under de forskellige "spande". Under

frekvensspandsanalysen anses det lave frekvensspektrum for at ligge mellem 20-80Hz. Lydkvaliteten beskrives som værende mere mærket i kroppen end hørt. Tonerne i dette felt fremstår også utydelige. Klangens sammenlignes med en dyb nasal [m] som i ordet *mave*, hvilket fungerer som auditiv reference for lydkvaliteten af toner i dette spektrum (Bie, 2025). Dernæst defineres det lav-midtfrekvente spektrum som værende 80-300Hz og er kendetegnet ved at være området med fundamentaltoner for lavt-stemte instrumenter såsom bas. Dette spænd beskrives med en analogi af en "svømmende" kvalitet. Yderligere anvendes endnu en auditiv reference ved at beskrive klangfarven som mindende om vokalen [u], som i det engelske ord *boot*. Lyden er en lukket bagvokal, hvilket giver en fyldig og rund klang, og bliver også beskrevet som værende "ugle-frekvenserne" (Bie, 2025).

## Musik og fysiologisk regulering

Efter at have redegjort for det anvendte frekvensspektrum, vil jeg nu inddrage teori om kroppens fysiologiske respons på musik. Dette gøres med henblik på både at redegøre for hvilke biologiske faktorer der påvirkes samt hvordan de påvirkes. Yderligere defineres den form, hvori de lavfrekvente toner bliver implementeret i musikken. Afslutningsvis redegøres der for forskellige måleenheder, der kan anvendes til at måle denne respons, med henblik på både målbare og selvrapporterede effekter af påvirkning.

### Musikalske droner

Eftersom de lavfrekvente toner ikke bør resultere i dissonans, er det essentielt at kunne implementere dem naturligt i et vilkårligt stykke musik. Derfor vil dette afsnit først definere musikalske droner som koncept og derefter redegøre for hvorfor de udvælges til anvendelse i dette projekt.

I *Continuum encyclopedia of popular music of the world* fra 2003, beskriver den britiske musikforsker Philip Tagg droner som værende én eller flere vedvarende toner som enten synges eller holdes kontinuerligt af et instrument (en *vedvarende drone*), eller som et gentagende, stabilt, tonalt referencepunkt (en *rytmisk drone*). Dronen kan enten fungere som et baggrundselement eller som et referencepunkt hvorfra andre instrumenter kan anvendes til at skabe harmonier og melodier. Instrumentalt kan de både forekomme som ét eller flere ens, separate instrumenter, eller i form af instrumenter såsom sækkepibe eller drejelire hvor en konstant drone forekommer naturlig, mens en melodi spilles. Dronens klanglige karakter kan variere alt efter kontekst samt register og tekstur af instrumentet eller dens elektroniske producerede klang (Tagg, 2003).

For dette projekt er droner en oplagt måde at inkorporere de tilføjede lavfrekvente toner på, grundet deres vedvarende og strukturelt stabile karakter. Ved at anvende kontinuerlige toner i form af droner sørges der for at elementer såsom melodik og rytmik ikke fremkommer som en potentiel fejlkilde. Dronen tilføjer udelukkende et harmonisk element som kan reguleres for at forhindre, at det eksisterende harmoniske grundlag i et givent stykke musik ændres. Angående hvilken musik der udvælges, kan enten en vedvarende drone på musikkens grundtone, eller en rytmisk drone som følger musikkens potentielle modulationer eller andre harmoniske variationer anvendes. Gennem dette bevares musikkens originale harmoniske struktur, hvilket resulterer i, at det eneste tilføjede element er de lavfrekvente toner.

Med dronen defineret som et centralt element til at implementere de lavfrekvente toner i forsøget, er det nu relevant at redegøre for, hvordan effekten heraf kan kvantificeres og måles.

### Selvrapporteret og målbar kvantificering

Nu hvor der er redegjort for hvordan lavfrekvente lyde kan påvirke kroppen samt hvordan de kan fremkomme i en musikalsk kontekst, er det nu relevant at fokusere på hvilke metoder der kan anvendes for at måle effekten af denne. Dette gøres med henblik på at have kvantificerbare data der kan anvendes til analyse efter et forsøg er gennemført, for at undersøge om denne effekt er signifikant. Grundet dette er det yderligere relevant både at fokusere på metoder der kan måles fysisk, samt metoder for at undersøge forsøgspersonen selvrapporterede fornemmelse af påvirkning.

### Fysiologiske måleredskaber

I dette afsnit vil jeg belyse forskellige reaktioner kroppen kan have på lyd og musik, som er forbundet med specifikke måleenheder. Derfor vil enhederne præsenteret i dette afsnit kunne måles konkret for at undersøge om de lavfrekvente toner har en effekt på lytteren.

For at danne et grundlag for disse målbare enheder kan Schneck's førnævnte bog igen anvendes. I bogens femte kapitel kaldet *The Sentient Living Engine/Instrument*, beskrives det hvordan det sensoriske system kan opdeles i henholdsvis de specielle og de generelle sanser, hvor især de generelle sanser er relevante i denne sammenhæng. Herunder introduceres kroppens homeostatiske system, som beskrives som et reguleringssystem, der kontinuerligt arbejder på at opretholde et snævert interval af fysiologiske værdier (Schneck, 2015).

Schneck inddeler de homeostatisk regulerede variabler i tre overordnede kategorier. Den første kategori omfatter de *vitale tegn*, som naturligt varierer og blandt andet omfatter kropstemperatur,

puls, blodtryk og åndedrætsfrekvens. Under den anden kategori beskrives de *kemiske variabler*, som sikrer balancen i kroppens interne miljø, herunder pH-værdi, blodsukker, blodgasser og toksicitet. Den tredje kategori udgøres af *kroppens regulerende responser*, som aktiveres, når en fysiologisk værdi bevæger sig inden for eller uden for sit ønskede interval. Dette inkluderer blandt andet sult, tørst og fedtlagring (Schneck, 2015).

Eftersom det homeostatiske system omhandler at opretholde disse intervaller, kan de forskellige variabler anvendes til at undersøge, hvorvidt en ekstern faktor påvirker disse intervaller. Fordelagtigt er adskillige af disse variabler også let målbare og kræver ikke nødvendigvis dyrt eller svært tilgængeligt udstyr. I slutningen af kapitlet præsenterer Schneck desuden et skema, der angiver de typiske intervalværdier for både vitale tegn og centrale kemiske variabler hos en voksen (Schneck, 2015). Skemaet inkluderer samtidig de tilknyttede fysiologiske effekter og konsekvenser ved afvigelser fra disse intervaller. En simplificeret og oversat version af dette skema som udelukkende indeholder elementer relevant for dette projekt kan ses nedenfor som figur 1.

**Figur 1**

<b>Respiration</b>
8 til 18 åndedrag pr. minut i hvile
<b>Hjertefrekvens</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• 60–100 slag pr. minut i hvile (normal puls)</li><li>• Rækkevidde: 39–129 slag per minut; gennemsnit <math>\approx</math> 80</li><li>• &gt;100 slag pr. minut: takykardi, associeret med kraftig puls</li><li>• &lt;60 slag pr. minut: bradykardi, associeret med svag puls</li><li>• 0 slag pr. minut: hjertestop (manglende puls)</li></ul>

Simplificeret og oversat skema over respiration og hjertefrekvens samt tilhørende fysiologiske effekter hos voksne.

*Note.* Bearbejdet efter Schneck (2015).

På baggrund af dette skema er det nu relevant at dykke ned i forskellige forskningsprojekter hvor fysiologiske faktorerers reaktioner på lyd og musik bliver målt. Dette gøres med henblik på at bekræfte at én eller flere af de variabler, Schneck nævner i sit skema, kan føre til konkrete målbare resultater.

Hvis vi vender tilbage til Broners *The effects of low frequency noise on people - A review* fra 1978, fremstår det at adskillige biologiske mekanismer bliver påvirket. Artiklerne i det litterære review har blandt andet undersøgt og observeret ændringer i hjerterytme og åndedrætsfrekvens, målt ved EKG, pulsmåling og impedanspneumografi. Yderligere ses der også påvirkninger på systoliske rytmer, forstyrrelser i centralnervesystemet samt blod- og endokrine ændringer (Broner, 1978). Her bør det også noteres at dette litterære review omhandler højlydt lavfrekvent støj, hvori tærsklen for signifikante fysiologiske påvirkninger oftest opstår når lydniveauet når op på 120-130 dB. Selvom dette lydniveau er markant højere end ved normal musiklytning, kan disse resultater stadig anvendes som ekstreme tilfælde og påpege at fysiologiske påvirkninger opstår.

I artiklen *A Study into Blood Flow, Heart Rate Variability, and Body Surface Temperature While Listening to Music* af Kenichi Itao et al. fra 2018, undersøges det hvordan blodgennemstrømning, hjertefrekvensvariabilitet (forkortes til HRV) samt kropsoverfladetemperatur påvirkes af tre forskellige genre af musik; klassisk, *healing music* og J-Pop. Forsøget som blev foretaget på 12 kvinder mellem 20-40 år og anvendte blodomløbssensorer til at måle den gennemsnitlige blodgennemstrømningsflux på deltagernes pegefingerspids og viste blot en signifikant stigning når der blev lyttet til klassisk musik, hvori de to andre genrer gav varierende resultater. Her defineres en signifikant ændring som at have en  $p$ -værdi på  $< 0.05$ . HRV blev anvendt til at beregne aktiviteten i det autonome nervesystem og fokuserede specifikt på en LF/HF-værdi da det kan indikere graden af spænding, stimulation og stress, hvori en lav LF/HF-værdi indikerer afslapning. Til dette blev en hjertefrekvenssensor anvendt. Her faldt LF/HF-værdien signifikant uanset hvilken type musik der blev lyttet til, på nær kvinder i 30'erne hvor der forekom en stigning mens de lyttede til *healing music*. Afslutningsvist blev et termometer anvendt til at måle kropsoverfladetemperaturen under forsøget, hvor både klassisk musik og *healing music* viste en tendens til at kropsoverfladetemperaturen steg, dog kun signifikant under lytning af *healing music*. Ud fra disse resultater tyder de på, at det klassiske musik de anvende havde en generel afslappende effekt, hvor personlig præference havde større virkning i forhold til J-Pop og *healing music* (Itao, 2018). Selvom dette forsøg omhandler specifikke genrer af musik frem for frekvensspektret, er det relevant for dette projekt, da det tyder på at musik

kan have en fysiologisk afslappende effekt. Grundet deres begrænset mængde af deltagere kan dette studie ikke anvendes til at konkludere noget generelt, men i stedet fungere som endnu et udgangspunkt. Eftersom deres undersøgelse af HRV gav de mest signifikante resultater, kan dette yderligere fremhæve den som et ideelt måleredskab inden for biomusikologiske forsøg. Dette er især gældende, eftersom de antager at personlige musikpræferencer havde størst påvirkning på de fysiologiske resultater.

### Hjertefrekvensvariabilitet

Eftersom den ovenstående kilde samt andre der gennemgås senere, inkluderer HRV som en måleenhed, er det relevant at fokusere på dette specifikt. Dette gøres med henblik på at opsummere, hvor og hvad det kan anvendes til, i håb om at mindske repetitive afsnit der gengiver samme information.

Hjertefrekvensvariabilitet defineres som variationen fra slag til slag i hjertefrekvensen og anvendes bredt som mål for autonom regulering af hjertet. Denne variabilitet inkluderer blandt andet respirationssinusarytmi (RSA), hvor hjertefrekvensen accelererer under indånding og decelererer under udånding. Dette afspejler samspillet mellem den sympatiske og parasympatiske gren af det autonome nervesystem. En højere HRV, der markerer en større vagal tone, anses generelt for at være gavnlig og er desuden blevet identificeret som en stærk prædiktor for hjerte-relateret morbiditet og mortalitet (Kulinski et al., 2022).

HRV er et af de hyppigst undersøgte fysiologiske effektmål i forskning om musiks indvirkning på det kardiovaskulære system (Kulinski, et al., 2022). Denne variabilitet analyseres ofte ved hjælp af frekvensdomænekomponenter, herunder den højfrekvente (HF) komponent, som primært relateres til parasympatisk aktivitet og respiration, samt den lavfrekvente (LF) komponent, der afspejler en kombineret regulering fra både det sympatiske og parasympatiske nervesystem (Iwanaga et al., 2005). Forholdet mellem disse, som oftest beskrives som LF/HF, anvendes hyppigt som indikator for balancen mellem sympatisk og parasympatisk aktivitet, hvor en forhøjet LF/HF-værdi forbindes med øget sympatisk arousal og reduceret parasympatisk indflydelse (Halbert et al., 2018).

På baggrund af den litteratur fundet til dette projekt, tyder det på, at musiklytning generelt kan påvirke HRV i retning af øget parasympatisk aktivitet, om end effekterne varierer betydeligt afhængigt af musikalske parametre og kontekst. Studier der har undersøgt frekvensspecifikke effekter viser blandt andet at eksponering for lavfrekvent vibration omkring 40 Hz kun medfører minimale og overvejende ikke-signifikante ændringer i HRV-indeks sammenlignet med placebo. Dette er selvom der under

selve interventionen kan observeres en mere stimulerende effekt i form af øget hjertefrekvens og forhøjet LF/HF-forhold (Vilímek et al., 2022). Andre studier har vist marginalt lavere LF/HF-værdier ved musik tunet til lavere frekvenser sammenlignet med stressbetingelser, hvilket kan indikere en reduceret sympatisk aktivering (Halbert et al., 2018). Desuden har forstærkning af højfrekvente musikalske komponenter vist sig at fremme parasympatisk aktivitet og stressreduktion i højere grad end forstærkning af lavfrekvente komponenter (Nakajima et al., 2016).

Parametre såsom genre og tempo har desuden også indflydelse på HRV-responser. Eksperimentelle studier har vist, at både sedativ og eksitativ musik kan øge LF-komponenten og LF/HF-forholdet sammenlignet med stilhed, hvilket indikerer en aktivering af det sympatiske nervesystem. Samtidig har sedativ musik været forbundet med højere HF-aktivitet end eksitativ musik, hvilket peger på en relativt større parasympatisk indflydelse (Iwanaga et al., 2005). Dette afspejler til dels også det der ses i resultaterne fra studiet af Itao et al.. Genrebaserede sammenligninger har desuden vist, at hurtigere musikformer kan fremkalde mere udtalte ændringer i HRV-parametre, mens langsommere, klassiske former udviser mere afdæmpede responser, om end enkelte tidsdomænemål stadig kan vise signifikante forskelle (Sharma et al., 2024). Genrer, der beskrives som "tunge" såsom heavy metal, har i den forbindelse været associeret med en generel reduktion i HRV, mens barokmusik primært har vist sig at reducere sympatisk regulering (Kulinski et al., 2022).

Gentagen eksponering af samme musik har også en signifikant påvirkning på det fysiologiske respons. Eksempelvis er det blevet observeret at de fysiologiske forskelle i respons mellem sedativ og eksitativ musik har tendens til at mindskes over tid ved repetitiv lytning (Iwanaga et al., 2005). Eksitativ musik som initialt ville dæmpe den parasympatiske aktivitet kan i stedet resultere i både stigning af HF-værdier samt subjektiv afslapning efter repetitiv lytning. Dog bør det bemærkes at denne stigning af HF-værdier ikke var statistisk signifikant. Ved habituering kan den musikstimuli som oprindeligt resulterer i et stressrespons, udvikle sig til i stedet at have en neutral eller afslappende effekt (Iwanaga et al., 2005).

Yderligere tyder forskningen på, at lytningskontekst og graden af aktiv musikinvolvering kan have betydning for HRV-responset. Live-opførelser af musik er blevet forbundet med lavere LF/HF-forhold sammenlignet med optaget musik, hvilket indikerer en reduceret sympatisk belastning, ligesom live musikterapi har vist højere parasympatisk aktivitet end forudindspillede mindfulness-øvelser. Aktiv deltagelse i form af sang, toning og kontrolleret vejrtrækning har vist sig at øge HRV akut, hvor især gruppesang kan skabe en kaskadeeffekt via synkronisering af åndedrætsfrekvensen.

Samtidig viser flere studier, at stille vejrtrækning kan fremkalde endnu stærkere HRV-responser end vokale aktiviteter (Kulinski et al., 2022).

Afslutningsvis peger litteraturen på individuelle forskelle som en væsentlig faktor i fortolkningen af HRV-responser. Deltageres fysiologiske tilstand under baseline, herunder deres evne til spontant at reducere arousal i stilhed, synes at kunne forudsige, hvor tydeligt de responderer på musikalsk eksponering. Dette understreger, at HRV ikke alene afspejler musikkens egenskaber, men også individets autonome regulering og kontekstuelle forudsætninger (Hernández-Ruiz et al., 2020).

Sammenfattende fremstår HRV som et centralt og velegnet fysiologisk mål i undersøgelser af musiks og lyds indvirkning på det autonome nervesystem. HRV muliggør en nuanceret vurdering af balancen mellem sympatisk og parasympatisk aktivitet og kan anvendes til at identificere både arousal-, stress- og afslapningsresponser i forbindelse med musiklytning. Litteraturen peger samtidig på, at HRV er sensitiv over for en række musikalske parametre, herunder frekvensindhold, tempo, genre og lytningssammenhæng, samt for individuelle forskelle i baseline-regulering.

Efter at have redegjort for HRV og dets særlige relevans for dette projekt, kan gennemgangen af specifikke studier med fokus på fysiologiske måleredskaber indenfor biomusikologisk forskning fortsættes.

I litteraturreviewet *Music and the cardiovascular system* af Kulinski et al. fra 2022 undersøges musikkens effekt på det kardiovaskulære system på tværs af 26 empiriske studier. Gennemgangen omfatter en række fysiologiske mål, herunder hjertefrekvens, blodtryk, åndedrætsfrekvens, stresshormoner samt hjertefrekvensvariabilitet, og har til formål at sammenfatte den eksisterende evidens for, hvordan musik kan påvirke autonome og kardiovaskulære processer.

Et gennemgående fund i reviewet er, at musikkens tempo synes at have en direkte sammenhæng med fysiologiske arousal-responser. Hurtigere musiktempo og mere enkle rytmiske strukturer var generelt forbundet med stigninger i både hjertefrekvens og blodtryk, mens langsommere musik og rolige rytmer i højere grad var associeret med afslapningsresponser. I flere studier fremkaldte pauser uden musik endda den mest markante reduktion i arousal, hvilket indikerer, at musik ikke entydigt fungerer afslappende, men at dens effekt i høj grad afhænger af de musikalske parametre (Kulinski et al., 2022).

Derudover fremhæver Kulinski et al., at åndedrætsfrekvens spiller en central rolle i musikkens fysiologiske påvirkning. Flere studier viste, at musikkens tempo kunne føre til en synkronisering

mellem musik og respiration, en form for *entrainment*, hvor åndedrætsfrekvensen tilpasses den musikalske struktur. Dette blev særligt tydeligt ved vokale aktiviteter såsom sang, hvor der observeredes en tæt kobling mellem puls og respiration. Denne sammenhæng peger på, at ændringer i åndedrætsmønstre kan fungere som en medierede mekanisme for musikkens effekt på det autonome nervesystem.

Reviewet inkluderer endvidere studier, der har undersøgt hormonelle og vaskulære responser på musiklytning. Her blev der blandt andet observeret reduktioner i spytkortisol i forbindelse med musikinterventioner, hvilket indikerer en dæmpning af stressrelaterede responser. Resultaterne på dette område fremstår dog mere heterogene, og ikke alle studier fandt entydige ændringer i vaskulær funktion eller blodtryk (Kulinski et al., 2022).

Samlet set konkluderer Kulinski et al., at musik kan påvirke en række kardiovaskulære og autonome parametre, men at effekterne er stærkt afhængige af tempo, kontekst og graden af aktiv involvering. Reviewet understreger dermed vigtigheden af at tage højde for både musikalske og individuelle faktorer i fremtidige forsøg, samt at anvende flere fysiologiske mål for at opnå et nuanceret billede af musikkens fysiologiske virkning.

I studiet *Relaxing Music Prevents Stress-Induced Increases in Subjective Anxiety, Systolic Blood Pressure, and Heart Rate in Healthy Males and Females* af Wendy E. J. Knight og Nikki S. Rickard fra 2001, undersøges de fysiologiske responser på en kognitiv stressor samt effekten af afslappende musik på disse stressinducerede reaktioner hos raske mandlige og kvindelige forsøgspersoner. Stressoren bestod i forberedelsen af en mundtlig præsentation, og forsøget havde til formål at belyse, hvorvidt musiklytning kunne modvirke de autonome og hormonelle ændringer, som denne type kognitiv belastning fremkalder.

De kardiovaskulære målinger omfattede hjertefrekvens samt systolisk og diastolisk blodtryk. Resultaterne viste, at stressoren medførte signifikante stigninger i både systolisk blodtryk og hjertefrekvens hos både mænd og kvinder. Lytning til afslappende musik, i dette tilfælde Pachelbels Canon in D-dur, viste sig imidlertid at kunne forhindre disse stressinducerede stigninger. Derudover blev der observeret en signifikant reduktion i det diastoliske blodtryk under musikinterventionen. Effekten af musikken på de kardiovaskulære stressresponser fremstod overordnet ens for begge køn (Knight & Rickard, 2001).

Studiet inddrog desuden biokemiske mål i form af spytbaserede målinger af immunoglobulin A (IgA) og kortisol. Den kognitive stressor førte til signifikante stigninger i både spyt-IgA og kortisolniveauer. Musiklytning reducerede de stressrelaterede stigninger i spyt-IgA og var samtidig forbundet med højere IgA-niveauer ved baseline. Derimod fandtes ingen signifikant effekt af musik på kortisolniveauerne, hvilket peger på, at musik i dette tilfælde primært påvirkede de hurtigere, autonome og immunologiske stressresponsers frem for den hormonelle stressakse (Knight & Rickard, 2001).

Samlet set indikerer studiet at afslappende musik kan fungere som en effektiv modulator af kardiovaskulære og visse immunologiske stressresponsers ved kognitiv belastning, men at effekten ikke nødvendigvis generaliserer til alle fysiologiske stressmarkører. Dette understreger relevansen af at kombinere flere fysiologiske mål ved undersøgelsen af musikkens stressregulerende potentiale.

I artiklen *What makes music relaxing? An investigation into musical elements* af Eugenia Hernández-Ruiz et al. fra 2020, undersøges hvilke musikalske parametre, der bidrager til en fysiologisk afslapningsrespons, samt i hvilken grad individuelle forskelle påvirker denne respons. Studiet fokuserer på fysiologiske mål for arousal og afslapning og har særligt til formål at belyse, hvorfor musik ikke fremkalder ensartede afslapningsresponsers på tværs af individer.

Det primære fysiologiske mål i studiet var hudkonduktansniveau (Skin Conductance Level, SCL), som anvendes som indikator for tonisk arousal. Et fald i SCL tolkes som nedsat fysiologisk spænding. En visuel inspektion af data afslørede to distinkte responder-profiler blandt deltagerne: Responders og Non-responders. Responders udviste et tydeligt fald i SCL ved afslutningen af størstedelen af musikbetingelserne sammenlignet med periodens start, mens Non-responders enten viste en kontinuerlig stigning i SCL eller ingen nævneværdig ændring under musiklytning. Forskellen mellem disse to grupper viste sig at være statistisk signifikant (Hernández-Ruiz et al., 2020).

En central pointe i studiet er, at deltagernes fysiologiske respons på musik kunne forudsiges ud fra deres baseline-respons i stilhed. Deltagere, der allerede under den indledende baselineperiode viste et fald i SCL, var langt mere tilbøjelige til at udvise en afslapningsrespons under musiklytning. Dette indikerer, at individets evne til spontant at reducere arousal kan være afgørende for, hvorvidt musik har en afslappende effekt.

Studiet inkluderede desuden målinger af hjertefrekvens og åndedrætsfrekvens, men her blev der ikke fundet signifikante forskelle, hverken mellem de forskellige musikbetingelser eller mellem

Responder- og non-responder-grupperne. Selvom enkelte gennemsnitsmålinger pegede i retning af en forventet afslapningsrespons hos Responders, nåede disse ændringer ikke statistisk signifikans (Hernández-Ruiz et al., 2020).

Samlet set peger Hernández-Ruiz et al. på, at musikkens afslappende effekt ikke udelukkende kan forklares ud fra musikalske parametre såsom tempo, klang eller amplitude. I stedet fremhæver studiet individuelle forskelle og baseline-tilstand som afgørende faktorer i fortolkningen af fysiologiske responser på musik, hvilket understreger vigtigheden af at tage højde for interindividuel variation i biomusikologiske undersøgelser.

På baggrund af den foregående litteraturoversigt vil jeg fremhæve følgende som de mest centrale hovedpunkter:

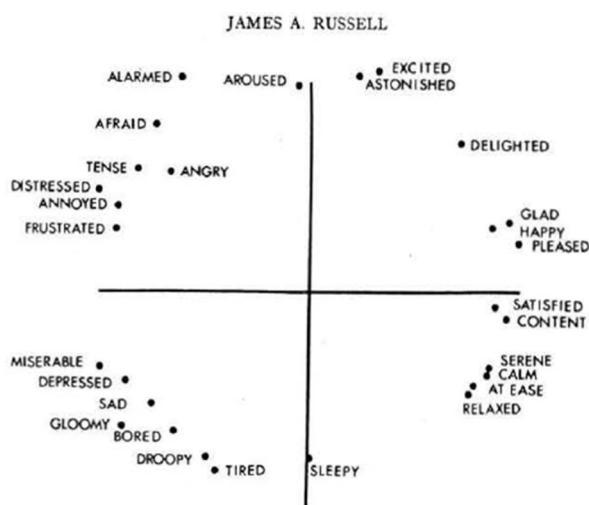
- Musik og lyd kan påvirke autonome fysiologiske responser
- HRV fremstår adskillige gange og oftest med signifikante resultater
- De målte effekter varierer afhængigt af musikalske parametre og kontekst
- Individuelle forskelle som musikalske præferencer spiller en væsentlig rolle
- Kontrolmålinger er afgørende for fortolkning af fysiologisk data

Med denne opsummering af afsnittet omkring målbare fysiologiske effekter, kan fokus nu skiftes til de selvrappede effekter af musikalsk påvirkning.

### Selvrappede effekter

Efter at have fokuseret på de rent fysiologisk målbare enheder er det nu relevant at rette fokus mod selvrappede og emotionelle effekter. Dette gøres med henblik på at kunne skelne mellem deciderede fysiologiske reaktioner og emotionelle reaktioner, som potentielt kan medføre fysiologiske ændringer. Da projektets formål ikke er at undersøge, hvordan lavfrekvente toner påvirker personer emotionelt og derigennem skaber fysiologiske reaktioner, er det vigtigt at kunne skelne mellem disse to former for effekt.

Til dette formål inddrages James A. Russells artikel *A Circumplex Model of Affect* fra 1980, hvori circumpleksmodellen for affekt introduceres. Modellen fremgår nedenfor som figur 2. **Figur 2**



Circumplex-model for affekt (Russel, 1980).

Russell foreslår at følelsesmæssige tilstande kan repræsenteres i et todimensionelt, bipolar rum frem for som uafhængige monopolare faktorer. De to centrale akser er behagelighed–ubehagelighed og arousal–sløvhed, og emotionelle begreber placeres cirkulært omkring disse akser. Modellen antyder, at modsatte følelser ligger cirka  $180^\circ$  fra hinanden, og at rotation af akserne ikke ændrer den grundlæggende struktur, hvilket forklarer variationer i andre studiers aksetolkninger. Her præsenteres flere former for evidens, som samlet understøtter den cirkulære struktur, herunder forskellige typer af skalerings- og analyseteknikker. Resultaterne viser en tydelig todimensionel organisation af affektive begreber, som er konsistent på tværs af metoder og datatyper. Circumplex-modellen fremhæves som et robust og mere passende redskab til at beskrive affektive oplevelser end de traditionelle faktoranalytiske modeller. Den konceptuelle adskillelse mellem behag og arousal giver desuden mulighed for empiriske observationer af hyppigheden af forskellige følelsesmæssige tilstande, hvilket indikerer, at modellen ikke blot beskriver følelser abstrakt, men også afspejler den kognitive struktur, som mennesker anvender i oplevelsen af egne og andres emotioner. Udover at uddybe termerne arousal og valens som tidligere studier har anvendt, kan denne artikel yderligere bruges til at vurdere, hvorvidt forsøgenes resultater er blevet påvirket af en følelsesmæssig reaktion, eller om musikkens effekt er separat fra det emotionelle aspekt.

I et tidligere nævnt studie af Knight og Rickard fra 2001 blev deres fysiologiske resultater suppleret af selvrapporeret angstniveau som blev målt ved hjælp af en *State-Trait Anxiety Inventory* test

(STAI). Dette er et standardiseret spørgeskema som anvendes til at måle to typer af angst. Den første af disse er *tilstandsangst* som er hvor angstfuld man føler sig i øjeblikket, og den anden af disse er *træksangst* som beskriver ens generelle tendens til at være ængstelig (Knight & Rickard, 2001). Deltagere udfyldte denne STAI-test før og efter de blev udsat for en stressor. Kontrolgruppen der ikke lyttede til musik for at forebygge angsten fra stressoren havde en signifikant stigning i subjektiv angst. Effektgruppen som lyttede til afslappende musik (specifikt blev Pachelbels *Kanon i D-dur* anvendt) var både i stand til at forhindre den stressinducerede stigning i subjektiv angst samt at deres angstniveau blev reduceret til under dets oprindelige hvileniveau. Musikkens angstdæmpende effekt tydeliggøres yderligere ved at være uafhængig af faktorer såsom deltagerens køn, kendskab til musikstykket eller tidligere musikalsk erfaring. Selvom en markant mængde af deltagerne ikke opfattede stressoren som værende stressende, fremstod det at musikkens evne til at reducere det subjektive angstniveau var markant større hos deltagerne som opfattede omstændighederne som værende stressende (Knight & Rickard, 2001).

Studiet af Hernández-Ruiz et al. fra 2020 supplerede også deres fysiologiske målinger med subjektiv selvrapportering. Selvom der ikke blev fundet en korrelation mellem de fysiologiske målinger og den selvrapporterede effekt, fandt de stadig interessante resultater angående den subjektive effekt. Selvom deltagerens fysiologiske målte effekter kunne opdeles i to grupper bestående af *responders* og *non-responders*, vurderede begge grupper musikken til at have en lige afslappende effekt i deres selvrapportering (Hernández-Ruiz et al., 2020). I studiet skulle deltagerne vurdere fire forskellige versioner af samme stykke musik. Ydermere blev musikken vurderet på både dets afslappende effekt samt dets oplevelse af behagelighed og spænding, hvori de to sidstnævnte er samme parametre som Russels circumplex-model. Gennem disse vurderinger fremstod der ingen statistisk signifikant forskel mellem hvor afslappende de fire versioner af musikken fungerede. Forskellige versioner af musikstykket blev vurderet til at have en signifikant anderledes oplevelse af spænding. Dette er bemærkelsesværdigt eftersom adskillige deltagere rapporterede at de ikke kunne høre forskel på de forskellige versioner, og i stedet troede de lyttede til samme stykke musik. Afslutningsvist foreslår Hernández-Ruiz et al. at den manglende korrelation mellem den selvrapporterede effekt og de fysiologiske målinger potentielt kan skyldes kompleksiteten af at lave fysiologiske mål, samt at der ikke nødvendigvis er en en-til-en sammenhæng mellem opfattet og fysiologisk effekt.

På baggrund af den foregående litteraturoversigt vil jeg fremhæve følgende som de mest centrale hovedpunkter:

- Selvrapporterede effekter fremstår subjektivt baseret på deltagerens opfattelse
- Subjektive effekter har ikke nødvendigvis direkte korrelation til fysiologiske ændringer
- Circumplex-modellen kan anvendes til at beskrive sammenhængen mellem emotionel respons og aktivering
- Faktorer såsom køn, alder og musikalsk kendskab har potentielt ikke en signifikant påvirkning
- Oplevelsen af spænding kan variere signifikant mellem forskellige versioner af samme musik, selv hvis deltagerne ikke selv indser, at musikken er anderledes

Det foregående teoriafsnit har haft til formål at introducere og redegøre for forskellige teoretiske elementer angående det lavfrekvente spektrum, hvordan dette kan introduceres i forskningsforsøg, samt både fysiologisk målbare og selvrapporterede effekter. På baggrund af denne teori er det nu muligt at danne et grundlag for udviklingen af en forsøgsprotokol der har til formål at undersøge hvordan lavfrekvente toner kan resultere i fysiologiske eller selvrapporterede effekter.

### 3. Metode

Efter at have redegjort for de relevante teorier er det nu muligt at omsætte disse til konkrete metodiske valg. Formålet med dette kapitel er derfor at omsætte det teoretiske grundlag til konkrete metodiske valg, som gør det muligt at udvikle en eksperimentel forsøgsprotokol. Derfor vil jeg i dette kapitel træffe centrale valg på baggrund af foregående litteratur, såsom at afgrænse det lavfrekvente spektrum og udvælge relevante måleparametre samt overordnede designelementer til protokoludviklingen. Disse valg vil derefter danne fundamentet for det efterfølgende kapitel, som fokuserer på udviklingen af forsøgsprotokolen. Før dette kan påbegyndes, er det dog essentielt at definere, hvad forsøgsprotokolen har til formål at undersøge. Med udgangspunkt i den foregående litteratur, kan følgende problemstilling opsættes:

**Hvordan kan en eksperimentel protokol udvikles til at undersøge påvirkningen af tilføjede lavfrekvente droner på musiks funktion som fysiologisk stimulans i en musikvidenskabelig kontekst?**

Denne problemstilling fungerer som et konkret biomusikologisk udgangspunkt, der anvendes til at strukturere og eksemplificere de metodiske valg i dette kapitel samt den efterfølgende protokoludvikling. Herved understøtter den projektets overordnede formål, som er at undersøge udviklingen af eksperimentelle forsøgsprotokoller med særligt fokus på musikvidenskabelige aspekter.

#### Fastlæggelse af frekvensområde

På baggrund af den litteraturoversigt vedrørende det lavfrekvente spektrum, observerede jeg markante variationer i forhold til hvordan afgrænsningen af det lavfrekvente spektrum defineres. Yderligere er disse definitioner ofte modstridende og mangler som regel empirisk evidens eller argumentation til at underbygge deres påstande. Grundet dette er det relevant at definere hvordan jeg vil afgrænse dette spektrum, for at det herefter kan anvendes under udviklingen af forsøgsprotokolen. Her er det nødvendigt at pointere at den begrænsning, som jeg vil definere i dette afsnit, ikke kan ses som en endegyldig afgrænsning af, hvad der definitivt hører under det lavfrekvente spektrum. Dette skyldes at der ikke er en tydelig overgang fra det lavfrekvente til midtfrekvente. Overgangen er i stedet flydende, hvilket gør det umuligt at danne en definitiv afgrænsning. I stedet har dette til formål at opsætte en praktisk afgrænsning, som kan anvendes i kontekst af dette projekt.

I teoriafsnittet fremstår det at den nedre grænse for menneskets høreelse ligger ved 20Hz, men er ikke nødvendigvis ensbetydende med at denne afgrænsning er ideel i praksis. Eftersom de lavfrekvente droner afspilles samtidig med et udvalgt musikstykke, kan det praktiske grænsepunkt potentielt ligge højere end ved de 20Hz. Dette skyldes at musikken potentielt kan overdøve og derved skjule dronen. Grundet dette er anvendelse af en nedre grænse på 20Hz eller 37Hz påvirket af hvilket musikstykke der udvælges. Som der også uddybes senere i dette kapitel, er det nødvendigt at den udvalgte musik fornemmes som hverken stimulerende eller afslappende. Dette reducerer sandsynligheden for, at de laveste toner vil blive overdøvet, og derved kan en nedre grænse på 20Hz anvendes uden at risiko for at blive skjult af musikken.

Med henblik på at danne en øvre grænse for det lavfrekvente spektrum, bør denne sættes så lav som mulig for at undgå at nå det lav-midt frekvente spektrum. På baggrund af den gennemgået litteratur er den lavest mulige afgrænsning fremhævet af Burton, hvori lav-bas ligger mellem 20-60Hz. Selvom denne fremstår som den snævrreste afgrænsning og derved længst væk fra at nå det lav-midt frekvente spektrum, er den ikke ideel, da dette spænd ikke indeholder alle 12 toner i det vestlige musiksystem. Dette kan potentielt være problematisk eftersom det er nødvendigt at de lavfrekvente droner ikke skaber dissonans med den anvendte musik. Hvis Bies afgrænsning ved 80Hz anvendes i stedet, er det muligt at anvende alle 12 toner. Afgrænsningen kunne potentielt øges til 100Hz som Frank anvender, men vil resultere i en større mulighed for at nå op til et lav-midt eller midt-bas spektrum, og vil derfor ikke gøres brug af.

På baggrund af disse overvejelser vil dette projekt anvende et spektrum på 20-80Hz.

## Baseline og kontrolmåling

For at kunne fortolke ændringer i deltagernes fysiologiske og selvrapporterede responser er det nødvendigt at etablere en baseline for hver deltager. Dette indebærer, at relevante variabler måles i en hviletilstand før eksponering for musikstimuli.

Baseline-målingen fungerer som en individuel kontrolmåling, der gør det muligt at tage højde for forskelle i deltagernes udgangsniveau. På denne måde kan efterfølgende målinger under og efter eksponering vurderes i relation til den enkelte deltager frem for at blive sammenlignet med et generelt gennemsnit. Denne tilgang er særligt relevant i studier af fysiologiske responser på musik, hvor tidligere forskning har vist betydelige individuelle variationer. Ved at inkludere en baseline-måling styrkes dermed muligheden for at identificere ændringer, der kan tilskrives forsøgets effektbetingelse.

De specifikke parametre som indgår i målingerne, vil blive introduceret og uddybet senere i dette kapitel.

## HRV som måleparameter

På baggrund af den foregående litteratur vælges hjertefrekvensvariabilitet som projektets primære fysiologiske måleparameter. Som det fremgik af teori afsnittet, anvendes HRV bredt i forskning som indikator for autonom regulering og muliggør en vurdering af balancen mellem sympatisk og parasympatisk aktivitet. Dette gør HRV særligt velegnet i denne sammenhæng, hvor formålet er at undersøge, hvorvidt tilføjelsen af lavfrekvente droner medfører en fysiologisk respons i form af enten stimulering eller afslapning. Valget af HRV danner dermed grundlag for den efterfølgende metodiske udformning af målinger og analyse, som uddybes i afsnittet om måleredskaber og måleenheder.

Den præcise anvendelse af HRV som måleredskab uddybes senere i dette kapitel, hvor de konkrete målemetoder og analysetilgange gennemgås.

## Forsøgsdesign og struktur

Forsøget opstilles som et *within-subject* design, hvor hver deltager eksponeres for både en kontrolbetingelse og en effektbetingelse. Denne tilgang muliggør en direkte sammenligning af deltageres responser på tværs af betingelser og reducerer samtidig indflydelsen af interindividuel variation. Ved at sammenligne hver deltager med sig selv fungerer forskellen mellem de to betingelser som det primære analysemateriale. Dette styrker muligheden for at identificere effekten af den tilføjede lavfrekvente drone, idet variation mellem deltagere i højere grad kontrolleres.

## Forsøgsdeltagere og inklusions- og eksklusionskriterier

Forsøgets målgruppe består af voksne deltagere med normal hørelse, uden kendte neurologiske eller auditive lidelser, som potentielt kan påvirke perceptionen af lavfrekvente lyde eller fysiologiske målinger. På baggrund af foregående teori er det ikke nødvendigt at opstille specifikke krav til deltageres køn, musikalske baggrund eller kendskab til det stykke musik der udvælges til forsøget. Dette begrundes ved at der tidligere ikke er fundet signifikante forskelle i selvrapporterede effekter af musik på tværs af disse faktorer, og vurderes derfor ikke som væsentlige variabler for dette forsøg.

Inklusionskriterierne består af, at deltagerne skal være i stand til at gennemføre forsøget uden forudsigelige helbredsmæssige begrænsninger, og som kan afgive både fysiologiske målinger og selvrapporterede vurderinger. Eksklusionskriterierne omfatter personer med diagnosticeret

hørenedsættelse, neurologiske lidelser, brug af medicin eller lignende eksterne faktorer som potentielt kan påvirke det autonome nervesystem eller på anden måde forstyrre enten de fysiologiske målinger eller den subjektive oplevelse af påvirkningen.

Heri fremstår der en tydelig afgrænsning, som stadig tillader en bred målgruppe som kan ses som værende repræsentativ for en generel voksen population. Dette resulterer i en målgruppe, hvor potentielle fejlkilder i videst muligt omfang afgrænses gennem eksklusionskriterierne. Herved bidrager dette til forsøgets validitet og dets potentielle overførbarhed til fremtidige empiriske studier. Dette er i tråd med tidligere litteratur, hvor individuelle forskelle primært håndteres gennem forsøgsdesign frem for demografisk afgrænsning.

## Eksponering og interventionsbeskrivelse

Den anvendte eksponering i forsøget består af et musikstykke, som præsenteres i to forskellige betingelser som SPIRIT-CONSORT kalder for *intervention and comparator* (Chan et al., 2025). Heri forstås *comparator* som en kontrolbetingelse, som i dette forsøg fremkommer ved at afspille et musikstykke i sin originale form uden yderligere manipulation. Yderligere ses *intervention* som en effektbetingelse, som her består af at afspille det samme musikstykke, men hvori en lavfrekvent drone er tilføjet som et ekstra musikalsk element. Ved at anvende det samme musikalske materiale i begge betingelser sikres det, at eventuelle observerede forskelle i deltageres reaktioner kan tilskrives tilføjelsen af den lavfrekvente drone frem for variationer i det øvrige musikalske indhold.

Den lavfrekvente drone tilpasses musikstykkets harmoniske struktur, således at den indgår som et integreret, men kontrolleret element i det samlede lydmateriale. Dronen fungerer udelukkende som et lavfrekvent lag og er ikke tåltænkt at introducere nye melodiske eller rytmiske elementer. Herved fastholdes musikstykkets oprindelige form, samtidig med at den lavfrekvente komponent kan undersøges isoleret som den primære intervention.

For at reducere potentielle rækkefølgeeffekter mellem kontrol- og effektbetingelsen kan rækkefølgen af betingelserne modbalanceres mellem deltagerne. Dette indebærer, at nogle deltagere først eksponeres for kontrolbetingelsen efterfulgt af effektbetingelsen, mens rækkefølgen omvendtes for andre deltagere. En sådan modbalancering vurderes særligt relevant i et *within-subject* design, hvor gentagen eksponering kan medføre træthed eller forventningseffekter. Derudover er rækkefølgen hvori deltagerne eksponeres for betingelserne randomiseret, for at undgå selektionsbias.

Interventionen defineres således som tilføjelsen af den lavfrekvente drone til musikstykket, mens alle øvrige parametre, herunder musikalsk struktur, varighed og afspilningsforhold, holdes konstante mellem de to betingelser. Denne afgrænsning tilstræber at isolere effekten af de lavfrekvente toner og minimere indflydelsen af andre musikalske eller kontekstuelle faktorer. Yderligere understøtter dette forsøgets overordnede mål om at undersøge den isolerede effekt af lavfrekvente droner på fysiologiske og subjektive responser.

## Måleredskaber og forsøgsmateriale

For at undersøge effekten af de lavfrekvente droner vil der gøres brug af både fysiologiske og selvrapporterede måleredskaber. Denne kombination gør det muligt at skelne mellem målbare fysiologiske reaktioner og subjektivt oplevede effekter, som tidligere beskrevet i teoriafsnittet. Valget af måleredskaber tager udgangspunkt i det foregående teoriafsnit, hvori autonom aktivering og subjektiv oplevelse forstås som relaterede, men ikke nødvendigvis korrelerende.

Hjertefrekvensvariabilitet vil anvendes som forsøgets fysiologiske måleredskab, eftersom det fungerer som et indirekte mål for det autonome nervesystems aktivitet. HRV beskriver variationen i tidsintervallet mellem successive hjerteslag og anvendes bredt i forskning til at vurdere balancen mellem sympatisk og parasympatisk aktivering. HRV-analysen vil finde sted i både de lavfrekvente (LF) og højfrekvente (HF) komponenter samt forholdet mellem disse (LF/HF-forhold). HF-komponenten associeres primært med parasympatisk aktivitet og anvendes ofte som indikator for afslapning og vagal regulering. LF-komponenten relateres til både sympatisk og parasympatisk aktivitet og tolkes ofte som et udtryk for autonom regulering under påvirkning af stress eller spænding. LF/HF-forholdet anvendes som et samlet mål for den relative balance mellem sympatisk og parasympatisk aktivitet og kan således indikere ændringer i autonom aktivering på tværs af betingelser.

HRV måles kontinuerligt i forbindelse med eksponeringen for både kontrol- og effektbetingelsen, hvorved ændringer i HRV-parametrene sammenlignes før og efter eksponering. Yderligere er forsøget opbygget omkring at foretage gentagne målinger af både fysiologiske og selvrapporterede data. Disse målinger vil foretages både før og efter eksponering for hver betingelse. Dette gøres for at forhindre, at potentielle ændringer mellem de to betingelser påvirker resultaterne, for at isolere effekten af de lavfrekvente droner som den primære manipulerede variabel. På denne måde muliggøres vurdering

af, hvorvidt tilføjelsen af den lavfrekvente drone medfører målbare ændringer i autonom aktivering, som kan relateres til enten øget stimulering eller øget afslapning. For at kunne foretage denne vurdering er det nødvendigt at analysere variationer i tiden mellem successive hjerteslag, kaldet RR-intervaller. Disse intervaller er nødvendige for at kunne foretage en analyse af LF- og HF-komponenterne, samt deres forhold til hinanden. Eftersom alment tilgængelige løbeure og smartwatches typisk ikke giver adgang til data såsom RR-intervaller, er det nødvendigt at anvende specialiseret software til dette formål. I denne sammenhæng kan software såsom *Kubios HRV Scientific* anvendes, da det er udbredt inden for forskningsbaseret analyse af hjertefrekvensvariabilitet (Tarvainen et al., 2014).

Den selvrapporterede effekt af arousal og valens måles ved hjælp af et kort spørgeskema, hvori deltagerne vurderer deres oplevede affektive tilstand i relation til musikken. Spørgeskemaet er opbygget med udgangspunkt i Russells circumplex-model for affekt og fokuserer på dimensionerne *arousal* og *valens*. Deltagerne bedes således vurdere, i hvilken grad de oplever tilstande relateret til spænding (fx spændt–rolig) og behagelighed (fx ubehagelig–behagelig) efter hver betingelse. Denne tilgang muliggør en direkte kobling mellem den teoretiske forståelse af affekt og den empiriske måling af selvrapporteret oplevelse.

Ved at kombinere HRV som fysiologisk mål med selvrapporterede vurderinger af spænding og behagelighed, skabes et metodisk grundlag for at undersøge, hvorvidt eventuelle fysiologiske ændringer ledsages af en subjektiv oplevelse af effekt. Yderligere gør dette muligt at opdage diskrepanser mellem de fysiologiske og selvrapporterede resultater i de tilfælde hvor det forekommer. Herved understøttes projektets overordnede formål om at undersøge lavfrekvente droners effekt med fokus på både fysiologisk målbare samt selvrapporterede effekter.

Disse overvejelser kan herefter anvendes som grundlag for udvælgelsen af et stykke musik. I kapitlet omkring udvikling af forsøgsprotokol fremstår det hvilket nummer er blevet udvalgt, samt redegørelsen for denne beslutning. Det udvalgte musikstykke er yderligere vedhæftet som Bilag 2. Efter at have udvalgt et stykke musik er det nu muligt at konstruere en lydfil som fungerer som effektbetingelse, hvori en lavfrekvent drone er tilføjet til det valgte musikstykke. For at opnå dette gjorde jeg brug af *FL Studio*, som er et digitalt musikproduktionssoftware, hvor det originale musikmateriale blev importeret som et selvstændigt lydspor. Efterfølgende tilføjede jeg et separat spor til den lavfrekvente drone. Dronen blev genereret ved hjælp af pluginet *FLEX*, som er en indbygget synthesizer i *FL Studio* med forskellige lydprofiler. Her valgte jeg en sinusbølge for at gøre

dronen så simpel som muligt og justerede tonehøjden, så den både ligger inden for afgrænsningen på 20–80 Hz og ikke fremstår dissonant i forhold til musikstykket. For at sikre en naturlig integration i lydmaterialiet blev dronens lydniveau gradvist øget ved begyndelsen af afspilningen. Dette blev gjort for at undgå en abrupt introduktion af det lavfrekvente element og dermed reducere risikoen for, at deltagernes opmærksomhed rettes mod selve manipulationen frem for den samlede musikalske oplevelse. Denne lydfil kan derved anvendes som effektbetingelse og er vedhæftet som Bilag 3.

## Styrkeberegning

For at udvikle en forsøgsprotokol er det relevant at vide antallet af deltagere, der er nødvendige for at kunne opnå signifikante resultater. Dette kan gøres gennem styrkeberegning, hvis formål er at udregne hvor stor en prøvestørrelse der er nødvendig for at opnå tilstrækkelig statistisk signifikante forskelle mellem resultaterne.

For at lave en styrkeberegning er det først vigtigt at definere hvilket slags forsøg som skal opstilles, for at kunne bruge den korrekte beregning. Da vi ønsker at undersøge, hvorvidt lavfrekvente droner fungerer som en påvirkning, er det mest oplagte at lave to målinger per test. Her vil den ene måling fungere som kontrol før dronerne afspilles, hvor den anden måling foregår, efter at dronerne afspilles, for at se om der er en differens. Dette er hvad der kaldes en *paired sample T-test* (Okoye & Hosseini, 2024). Med dette defineret er det nu muligt at finde et program som kan anvendes til vores styrkeberegning. Til dette projekt har jeg valgt at anvende *Sample size for Paired samples t-test* fremstillet af MedCalc Software Ltd., som er en gratis statistikberegner (MedCalc Software Ltd., 2026). Med denne fundet er det nu blot nødvendigt at udfylde det påkrævede input.

For at udregne vores teststørrelse skal der anvendes fire forskellige input: *Type I Error (Alpha)*, *Type II Error (Beta)*, *Mean Difference* og *Standard Deviation of Differences* (MedCalc Software Ltd., 2026). Alfa-værdien ( $\alpha$ ) er sandsynligheden for at opnå resultater der er mindst ligeså ekstreme som det observerede, givet at nulhypotesen er sand. Nulhypotesen siger, at der ikke er nogen effekt, forskel eller sammenhæng mellem forskellige variabler, og at observerede forskelle skyldes tilfældighed. Dette kan derfor anses som et falsk positivt resultat, hvori en høj  $\alpha$ -værdi tyder på at resultaterne kan forekomme tilfældigt og er derfor ikke signifikante. Her er det almen praksis at have en  $\alpha$ -værdi på 0.05 som betyder at der er 5% chance for at opnå mindst lige så ekstreme resultater som observeret givet at nulhypotesen er sand, og anvendes derfor også her (Okoye & Hosseini, 2024).

Beta-værdien ( $\beta$ ) kan forstås som det modsatte af  $\alpha$ -værdien. Fremfor at være sandsynligheden for at opnå resultater mindst lige så ekstreme som de observerede resultater hvor nulhypotesen antages som sand, er  $\beta$ -værdien sandsynligheden for ikke at observere signifikante resultater trods at nulhypotesen ikke forkastes. Derfor kan denne anses som et falsk negativt resultat, hvori en høj  $\beta$ -værdi betyder der er høj sandsynlighed for at acceptere nulhypotesen selvom den er falsk. Her er det almen praksis at have en  $\beta$ -værdi på 0.2 som betyder at der er 20% chance for ikke at opdage en effekt selvom den findes (Okoye & Hosseini, 2024).

Efter at  $\alpha$ - og  $\beta$ -værdierne er redegjort, er det nu på tide at definere middelforskellen (*Mean Difference*) samt standardafvigelsen for forskellene (*Standard Deviation of Differences*). Dette kan gøres ud fra resultater fra foregående studier, men grundet de problematikker der er tydeliggjort i de tidligere kapitler, samt manglen på data om dette emne specifikt, fravælges denne metodologi. I stedet vil der gøres brug af *Cohen's d*.

I 1962 introducerede Jacob Cohen begrebet *effect size* (på dansk: effektstørrelse), som senere blev kendt som *Cohen's d*. Der findes flere måder at beregne *Cohen's d* på afhængigt af forsøgsdesignet, men da dette projekt fokuserer på en *paired sample T-test*, anvendes følgende formel:

$$d = \frac{\bar{D}}{S_D}$$

Her står  $\bar{D}$  for gennemsnittet af forskellen mellem effekt og kontrol for hver deltager, hvor  $S_D$  står for standardafvigelsen af disse forskelle (Cohen, 1988). Dette resulterer i  $d$ , som fremviser forskellen mellem de to betingelser med standardafvigelsen som måleenhed. Udover at standardisere forskellen mellem resultaterne viser dette hvor stor forskellen er i forhold til den naturlige variation i de observerede målinger. Hvorimod  $\alpha$ -værdien fortæller om der er en forskel, fremviser  $d$  hvor stor en forskel der er. Cohen beskriver yderligere hvordan dette resultat kan tolkes. Hvis  $d = 0$  indikerer det, at der ikke er nogen observeret effekt. Yderligere svarer  $d = 0.2$  til en lille effekt,  $d = 0.5$  svarer til en medium effekt, og  $d = 0.8$  svarer til en stor effekt (Cohen, 1988).

Eftersom  $d$  ikke kan udregnes, da der ikke er nogle observerede målinger, vil der i stedet gøres brug af dens sekundære funktion. Da  $d$  er en standardiseret enhed hvor betydningen af dens værdi er kendt på forhånd som nævnt ovenstående, kan disse anvendes i styrkeberegningen frem for observeret data. Dette er muligt eftersom de to sidste input der mangler i beregningen, er tilsvarende  $\bar{D}$  og  $S_D$ . Derfor

kan en ønsket effektstørrelse anvendes, hvor resultatet i form af en minimum nødvendig teststørrelse for forsøget, vil specificeres til denne effektstørrelse. Dette skyldes, at store effektstørrelser kan forekomme ved hjælp af færre forsøgspersoner end små effektstørrelser, eftersom naturlig variation vil have en proportionel større påvirkning på de små effektstørrelser. Som udgangspunkt kan der gøres brug af  $d = 0.5$  for at undersøge om der er en moderat effektstørrelse, da der ikke forventes at være tydelig store forskelle på observationerne, samt at små effektstørrelser er mere trivielle og kræver flere deltagere. De specifikke værdier for  $\bar{D}$  og  $S_D$  der anvendes i beregneren er irrelevant, så længe at  $\frac{\bar{D}}{S_D} = 0.5$ . På baggrund af dette kan MedCalc Software Ltd.'s *Sample size for Paired samples t-test* beregner anvendes til at finde minimumsantallet af nødvendige deltagere, hvor følgende input anvendes:

$$\alpha = 0.05$$

$$\beta = 0.20$$

$$\bar{D} = 1$$

$$S_D = 2$$

Her fremstår det at forsøget bør have et minimum af 34 deltagere for at kunne observere signifikante resultater med en moderat effektstørrelse.

## Forsøgsprocedure

Forsøgsproceduren er struktureret som en gentagelig proces, der har til formål at sikre konsistente betingelser for alle 34 deltagere. Ved forsøgets start introduceres deltagerne kort til forsøgets procedure, hvorefter de instrueres i forsøgets forløb. Deltagerne modtager ikke en detaljeret beskrivelse af forsøgets formål, eftersom dette kunne påvirke deres subjektive respons. Inden eksponering for musikstimuli foretages en standpunktsmåling, hvor både fysiologiske og selvrapporterede data indsamles, med henblik på at fastlægge deltagerens udgangspunkt før interventionen.

Herefter eksponeres deltagerne for enten kontrol- eller effektbetingelsen. Under eksponeringen måles hjertefrekvensvariabilitet kontinuerligt, mens deltagerne lytter til musikstimuli under kontrollerede forhold. Dette indebærer, at eksponeringen foregår under ensartede betingelser med hensyn til lydniveau, afspilningsudstyr og omgivelser, for at minimere eksterne påvirkninger på deltagerens

respons. Efter musikstykket er færdigafspillet udfylder deltagerne det selvrapporterede spørgeskema, hvori deres oplevede affektive tilstand vurderes. Efter en kort pause (f.eks. 2-5 minutter) med henblik på, at de fysiologiske tilstande vender tilbage mod standpunktsmåling, gentages proceduren for den anden betingelse, således at hver deltager gennemgår både kontrol- og effektbetingelsen. Rækkefølgen af betingelserne modbalanceres mellem deltagerne for at reducere systematiske rækkefølgeeffekter, som kan opstå ved gentagen eksponering.

Efter gennemførelsen af begge betingelser afsluttes forsøget, og de indsamlede data kan efterfølgende anvendes til analyse af forskelle mellem kontrol- og effektbetingelsen med henblik på at identificere forskelle i fysiologiske og selvrapporterede responser mellem betingelserne. Den overordnede forsøgsprocedure er således udformet med henblik på at isolere effekten af de lavfrekvente droner og sikre, at både fysiologiske og selvrapporterede ændringer kan vurderes på tværs af betingelser under så ensartede forhold som muligt.

## Etiske overvejelser

Under udførelsen af eksperimentelle forsøg, er det nødvendigt at foretage foranstaltninger med etiske hensyn. Dette er gældende for udviklingen af denne protokol, eftersom der bearbejdes følsomme data i form af måling af fysiologiske responser. Derfor er det essentielt at behandlingen af disse data sker i overensstemmelse med gældende databeskyttelsesregler såsom GDPR. Heri indgår det at al data anonymiseres og pseudonymiseres, opbevares forsvarligt eksempelvis gennem et redundant backup-system, samt udelukkende anvendes til forskningens formål. Deltagerne skal også være informeret omkring hvilke data der indsamles samt disse behandles og opbevaring. Yderligere skal deltagerne informeres om forsøgets overordnede procedure og give informeret samtykke før deltagelse, og med mulighed for at trække sig fra forsøget til enhver tid uden konsekvenser. Der bør også forsikres om at deltagerne er i et kontrolleret miljø, hvori der er taget hensyn til kontrol- og effektbetingelsens lydniveau ikke er højt nok til at beskadige deltagernes hørelse, eller på andre måder skabe ubehag.

For at det eksperimentelle forsøg kan foretages etisk, skal der også tages hensyn til mængden af deltagere. Hvis der bliver foretaget for få forsøg, risikerer man ikke at opnå en tilstrækkelig statistisk signifikant styrke til at fortolke den indsamlet data, hvilket er ensbetydende med at deltagerne udsættes for et forsøg der ikke producerer resultater. Et unødigt for højt antal deltagere er yderligere ensbetydende med at deltagernes udsættes for unødvendige forsøg. For at forhindre dette er det essentielt at foretage styrkeberegning til at beregne antallet af nødvendige deltagere, som kan anvendes til at forhindre unødvendige forsøgsudførelser.

## 4. Udvikling af forsøgsprotokol

Da det teoretiske grundlag er blevet etableret, er det nu muligt at anvende dette fundament til at udvikle en forsøgsprotokol. Formålet med denne protokol er at undersøge, hvordan tilføjelsen af lavfrekvente droner til et musikstykke påvirker både fysiologiske og selvrapporterede responser hos lytteren. Dette opnås gennem måling af hjertefrekvensvariabilitet som indikator for autonom aktivering, samt selvrapporterede vurderinger af arousal og valens baseret på Russells circumplex-model.

Udviklingen af forsøgsprotokollen tager udgangspunkt i centrale principper fra SPIRIT (*Standard Protocol Items: Recommendations for Interventional Trials*) som er en checkliste udviklet af den internationale gruppe SPIRIT-CONSORT og fungerer som retningslinjer for strukturering af interventionsstudier (Chan et al., 2025). Det skal dog bemærkes, at nærværende projekt ikke har til formål at gennemføre forsøget, men derimod at opstille et teoretisk funderet protokoldesign. SPIRIT anvendes derfor som en overordnet ramme, hvor udvalgte elementer integreres med henblik på at sikre en systematisk og gennemsigtig opbygning.

Yderligere fremhæver det foregående teori afsnit nødvendigheden for at træffe en række overordnede designvalg, som kan danne grundlag for udviklingen af forsøgsprotokollen. Eftersom tidligere studier har vist betydelige individuelle variationer i både fysiologiske og subjektive responser på musik, vælges et *within-subject* design. Denne tilgang gør det muligt at sammenligne hver deltagers data med deres egen på tværs af betingelser, hvilket reducerer indflydelsen af interindividuelle forskelle og styrker muligheden for at identificere effekten af de lavfrekvente droner.

Som observerbar fysiologisk påvirkning udvælges hjertefrekvensvariabilitet som centralt målepunkt. Dette gøres på baggrund af teori afsnittet, hvori HRV fremhæves som en af de mest anvendte indikatorer for autonom regulering i studier af musikkens fysiologiske påvirkning, idet den muliggør analyse af balancen mellem sympatisk og parasympatisk aktivitet. Dette gør HRV særligt velegnet til at undersøge, hvorvidt de lavfrekvente droner medfører en stimulerende eller afslappende effekt.

Samtidig viser den gennemgåede litteratur, at fysiologiske responser ikke nødvendigvis korrelerer direkte med den subjektive oplevelse af musik. På den baggrund inddrages både fysiologiske målinger og selvrapporterede vurderinger i forsøgsdesignet. Denne kombination muliggør en mere nuanceret undersøgelse, hvor både målbare ændringer og oplevede effekter kan inddrages i analysen.

Et centralt princip i denne protokol er, at specifikke musikalske parametre isoleres så vidt muligt. Som det fremgik af det foregående teoriafsnit, kan både fysiologiske og subjektive responser på musik variere betydeligt afhængigt af faktorer såsom tempo, genre, frekvensindhold og individuelle præferencer. For at kunne undersøge den isolerede effekt af det lavfrekvente spektrum er det derfor nødvendigt at kontrollere disse faktorer i så høj grad som muligt. Dette gør udvælgelsen af det musikalske stimulusmateriale til et afgørende element i protokoludviklingen.

## Udvælgelse af musik

For at sikre valide og fortolkelige resultater er udvælgelsen af den anvendte musik essentiel for at kunne udarbejde væsentlige resultater. Som det blev fremhævet i teoriafsnittet, kan forskellige musikalske parametre påvirke både HRV og subjektive oplevelser, hvilket gør det nødvendigt at minimere potentielle fejlkilder relateret til selve musikmaterialet. Grundet dette vil jeg i dette afsnit fokusere på at undersøge hvilke elementer i musik som kan skabe fejlkilder, samt hvordan de kan undgås. Afslutningsvis vil der udvælgelse et stykke musik som kan anvendes, som så vidt muligt undgår disse potentielle fejlkilder.

## Afslappende og stimulerende musik

På baggrund af den tidligere gennemgang af musikalske effekter på fysiologiske påvirkninger fremgår det, at forskellige genrer af musik kan have en afslappende eller stimulerende effekt. Eksempelvis blev der beskrevet hvordan at genrer såsom heavy metal kan resultere i en reduktion af HRV samt at sedativ musik ofte forbindes med højere HF-aktivitet. Da dette er gældende, er det essentielt at udvælge musik i en genre som i sig selv, hverken er for stimulerende eller afslappende. For at undgå, at musikvalget i sig selv frembringer en bestemt fysiologisk påvirkning, er det derfor fordelagtigt at udvælge musik, der ikke befinder sig i yderpunkterne af dette spektrum. Musik, der opfattes som afslappende, er ofte kendetegnet ved langsomme tempi, bløde klangfarver og høj grad af forudsigelighed, mens stimulerende musik typisk indeholder hurtigere tempi, mere aggressive klanglige elementer og større grad af uforudsigelighed.

Med dette fastlagt sigtes der mod at vælge et musikstykke, der befinder sig i et mellemområde, hvor tempo, klang og strukturel variation er afbalanceret. Der ønskes derfor musik i et moderat tempo som anvender instrumenter, der hverken er for fine og bløde eller for kraftige og gennemtrængende og med nok variation og uforudsigelighed til at være spændende, uden at blive for kaotisk eller forvirrende. Baseret på disse faktorer alene er der utallige genrer der kan vælges mellem. Musikgenre

som pop, R&B, lo-fi hiphop, indie, soft rock og lignende fremstår som potentielle valgmuligheder, selvom det selvfølgelig ikke er alle sange under disse genrer som kan anvendes.

Efter at have gennemgået genrebaseret elementer der er relevante at tage højde for, kan vi nu indskrænke søgen efter musik som kan anvendes til forsøget gennem andre faktorer.

### Genkendelighed og præferencer

Et andet centralt aspekt, som fremgik af teoriafsnittet, er betydningen af individuelle forskelle i musikalsk præference. Dette har hovedsageligt fokuseret på at musik som lytteren finder behageligt kan resultere i en højere HRV som er forbundet med en afslappende effekt. Derfor kan det modsatte yderligere antages, altså at musik som lytteren vil finde irriterende, kan resultere i en lavere HRV som forbindes med en stimulerende effekt. Ligesom det foregående afsnit omkring de afslappende og stimulerende musikalske genrer, kan dette også ses som en form for spektrum. Hvis lytterne finder musikken ekstremt behagelig, kan det have større indflydelse end hvis de blot finder musikken nogenlunde behagelig. Ligeledes vil musik, der opfattes som ekstremt irriterende, agitere lytterne mere end musik, de blot ikke finder specielt behageligt. Eftersom folks musikalske præferencer fremkommer i hvilke genrer de personligt lytter til, er det derfor relevant at udvælge musik som ikke er splittende, men i stedet kan nydes af en bred befolkningsgruppe.

Et aspekt der også spiller en væsentlig rolle i dette, er musik som lytteren på forhånd har et personligt kendskab til. Hvis lytteren på forhånd har kendskab til musikken, der bliver spillet, har de højst sandsynligt allerede dannet en relation til musikken, som kan påvirke resultaterne begge veje. Selvom alle andre potentielle eksterne faktorer er taget højde for, kan det faktisk at lytteren af én eller flere grunde afskyr musikken, opveje alle andre elementer, inklusiv det som undersøges. Dette kunne eksempelvis være, hvis sangen er blevet overspillet til et punkt, at den opfattes som irriterende, at lytteren forbinder den til et bestemt øjeblik i deres liv, eller at det er fra en kunstner, de enten kan eller ikke kan lide. Selvfølgelig er det umuligt på forhånd at have kendskab til alt musik som deltagerne har lyttet til nogensinde, men det er dog stadig muligt at mindske denne faktor så meget som muligt. Eksempelvis kan man ekskludere musik fra populære kunstnere og i stedet indsnævre søgen til musik produceret af mindre kendte kunstnere. Dertil er det også en mulighed at vælge musik fra genrer, som er mere niche eller på andre måder er svært at danne en relation til. Dette kan også tyde på, at instrumental musik vil være mere ideelt, eftersom der ikke er en vokal som lytteren potentielt kan genkende eller på andre måder relatere til.

På baggrund af disse overvejelser bliver det muligt at udvælge en musikalsk stimulus, der i videst muligt omfang minimerer eksterne påvirkninger og dermed understøtter undersøgelsen af den specifikke effekt af lavfrekvente droner. Dette valg danner grundlag for den videre metodiske udformning af forsøget, hvor de lavfrekvente elementer kan introduceres som en kontrolleret variabel. Som kontrolbetingelse anvendes nummeret *Hero Town* af Vulfpeck (2017). Dette valg er truffet på baggrund af de opstillede kriterier, herunder at det er instrumentalt, relativt simpelt uden at være for forudsigeligt, samt indeholder tilstrækkelig variation til at fastholde lytterens opmærksomhed. Dette valg danner grundlag for konstruktionen af forsøgets stimuli, som uddybes i metodeafsnittet.

## 5. Diskussion

Efter at have gennemgået relevant litteratur samt at have udviklet en eksperimentel protokol, er det muligt nu at reflektere over arbejdsprocessen. Dette gøres både med henblik på at genoverveje og se tilbage på de forskellige beslutninger jeg har truffet over denne proces. Yderligere vil der her være mulighed for at gennemgå nogle af de problemstillinger og former for bias, der er opstået i udviklingen af projektet, samt i denne form for studier generelt. Refleksioner som disse er især relevant i studier som dette, eftersom det til dels kommenterer på fremgangsmetoden for andre studier. Eftersom formålet her har været at supplere lægevidenskabelig forskning i musik, med et udgangspunkt i musikvidenskabelig forskning, er det relevant at diskutere om hvorvidt jeg har været succesfuld i dette.

### Relevans for forsøgets resultater

Følgende underafsnit vil omhandle hvordan resultaterne af det foreslået forsøg fremkommer som relevante, uanset hvilken form effekten af tilføjede lavfrekvente droner fremtræder i, samt hvor intens effekten er. Dette gøres med henblik på både at redegøre for hvordan resultaterne har merit og kan anvendes i forskellige kontekst, uafhængigt af om hvorvidt effekten er afslappende eller stimulerende.

Gennem projektets forløb har jeg konsekvent beskrevet effekten af de tilføjede lavfrekvente droner som en form for påvirkning, fremfor at specificere et specifikt respons. Denne tvetydighed skyldes både, at den gennemgåede litteratur ikke peger imod et specifikt forventet respons, samt for at være åben for resultaterne, uanset hvilket respons der fremkommer. Ved at vedligeholde et åbent synspunkt på resultaterne, kan det argumenteres for at man undgår en form for bias, i form af kun at holde øje på et specifikt ønsket udkom. Eksempelvis kunne man være blind for resultater der har en markant stimulerende effekt, hvis man udelukkende havde fokus på at finde resultater der peger imod en afslappende effekt. Denne åbenhed er også essentiel, da resultaterne har merit og kan anvendes i forskellige kontekst uanset om de peger imod en afslappende eller stimulerende retning. Derved i tilfælde af at der er en statistisk signifikant effekt, kan man gå i dybden med hvilke kontekster det kan anvendes i. Hvis en udførelse af forsøget tyder på at de resulterer i en stimulerende effekt, kunne man blandt andet argumentere for dets brug i dansemusik for at skabe et mere aktivt dansegulv, mere effektive alarmklokker, eller andre anvendelser. I tilfælde af forsøget i stedet tyder på en afslappende effekt, kan man argumentere for dets anvendelse til stressreduktion, i meditationsmusik eller andre sammenhængende hvor en afslappende effekt er ønsket. Ved at forblive åben for resultaterne gør man sig ikke blind for de potentielle anvendelser af de lavfrekvente droner. Yderligere er dette relevant i

tilfælde af at de lavfrekvente droners effekt er påvirket af hvilket musik den tilføjes til. Under udvælgelsen af musik har jeg bevist forsøgt at udvælge et stykke musik, som eksisterer i et perfekt mellemrum af stimulerende og afslappende. Dette har været med henblik på at fraskille andre faktorer der potentielt kan påvirke resultaterne. Dog er det en lille brøkdel af musik der findes i denne neutrale zone, hvilket leder op til næste afsnit der omhandler problemerne ved at udvælge musik i en forsøgs kontekst.

## Musik er komplekst og subjektivt

At udvælge et stykke musik der var så neutralt stimulerende som muligt viste sig at være en uforventet kompleks opgave. Dette kan skyldes forskellige årsager, blandt andet at det for musikerne potentielt ikke er fordelagtigt at lave neutralt musik, eftersom formålet med musik er at skabe en form for reaktion. Yderligere er besværligt eftersom hver person både har deres egne personlige præferencer i musik, samt at være præget af den musik de har kendskab til. Det er umuligt at have et fuldent kendskab til alt musik, og vi er derfor begrænset til at udvælge eller kategoriserer musik ud fra det specifikke kendskab vi individuelt har.

Da jeg ledte efter musikstykker der skulle fremstå som værende i et perfekt mellempunkt af afslappende og stimulerende var jeg ret usikker på hvor jeg burde begynde. Selvom det fremstår som en simpel opgave, er der mange forskellige faktorer man bør tage højde for, heriblandt individuelt musikalsk kendskab. Da jeg tog beslutningen om at bruge *Hero Town* af *Vulfspeck* som eksempel, var jeg personligt tilfreds over at have fundet et velfungerende stykke musik til anvendelsen af protokoludviklingen. Men efter at jeg fremviste nummeret til andre, fik jeg feedback på at nummeret var relativt stimulerende og energisk, bestemt i højere grad end hvad jeg var på udkig efter. Dette ledte op til efterfølgende spørgsmål om hvorvidt jeg burde erstatte nummeret, om det lå for langt ude af grænsen for det neutrale rum jeg eftersøgte og lignende. Udover de spørgsmål som er relevante for projektet her, åbnede det også op for refleksion over min dømmekraft og evne til at udpege musik af denne art. Om hvorvidt mine personlige præferencer og den musik jeg lytter til på daglig basis, har resulteret i at min interne skala for hvad der er afslappende og hvad der er stimulerende, er anderledes end andres. Ud fra dette blev jeg bekræftet i at musik er komplekst og subjektivt. Denne interne skala mellem afslappende og stimulerende er individuel og unik for hvert menneske. Havde jeg foretaget en større kvantitativ undersøgelse og fået folk til at vurdere nummeret på denne såkaldte skala, ville det ikke være urealistisk at forvente at nogle vil finde nummeret mere afslappende end det jeg opsøgte. At finde blot ét nummer som ville ligge på dette midtpunkt på universal plan vil være

decideret uopnåeligt. Derfor er det min rolle som en akademisk fagperson indenfor det musikvidenskabelige felt, at vurdere om hvorvidt det nummer jeg udvalgte, er velfungerende i kontekst af den protokol der udvikles. Og eftersom musikalske præferencer er subjektive og forskellige fra person til person, er det op til min intuition at vurdere dette.

På baggrund af dette har jeg besluttet fortsat at anvende *Hero Town* af *Vulfpeck*, eftersom jeg vurderer den til at være en tilstrækkelig repræsentativ for den mængde påvirkning et nummer i dette studie har brug for. Dette er ikke ensbetydende med at dette nummer specifikt er det mest ideale eller at der ikke eksisterer andre bedre alternativer. Selvom min rolle yderligere påkræver at jeg holder mig objektiv og uden bias, er det umuligt at være fuldkommen objektiv. Derfor er det også relevant at gå yderligere i dybden med uundgåelig bias.

## Uundgåelig bias

Som akademiker er det essentielt at forholde sig objektiv omkring det materiale man undersøger og skriver om. For at kunne ankomme til en konklusion omkring hvorvidt noget vilkårligt er gældende eller ej, er det fundamentalt at forholde sig neutralt og udelukkende forholde sig til ens data. Selvom dette er gældende, er det også naivt at forvente at kunne holde sig absolut neutral og objektiv. I det foregående underafsnit fremstår det, hvordan at der især med musik fremkommer problemer i form af at fremstå uden bias. Eftersom musik er noget alle har forskellige relationer og følelser omkring, er det umuligt at komme frem til en universel gængs konsensus, uanset hvad der undersøges specifikt. Selvom denne bias angående musik understreges, er det ikke ensbetydende med at det udelukkende er gældende for det musikvidenskabelige felt. Akademikere af alle afgrene oplever en form for uundgåelig bias uvilkarligt på hvad der undersøges. Dette er relevant at nævne, eftersom essensen af dette projekt, fremkommer fra min observering om at lægevidenskabelige studier omkring hvordan musik påvirker kroppen ofte mangler essentielle musikvidenskabelige overvejelser. Formålet med dette projekt er ikke at kritisere den research eller forskning som er blevet fremført med disse mangler. I stedet har projektet til dels haft til formål at belyse netop denne form for bias. Det er åbenlyst at forskere der har specificeret sig indenfor et lægevidenskabeligt felt, ikke har den samme indsigt i de forskellige aspekter af musik, som en forsker med denne musikvidenskabelige baggrund har. Ligeledes bør det ikke forventes at jeg har samme forståelse for aspekter såsom det autonome nervesystem eller hjertefrekvensvariabilitet, som en forsker med en lægevidenskabelig baggrund har. For realt at kunne udfylde de videnskabelige huller der er omkring hvordan specifikke elementer af musik har en fysiologisk effekt på kroppen, er det derfor nødvendigt at fremføre tværfaglige studier. Dette

behøver nødvendigvis ikke foretages gennem et specifikt samarbejde med forskere fra forskellige fagfelter, men kan også fremstå ved at tage eksisterende studier og anse dem fra et nyt perspektiv. Ved at fremhæve den manglende musikvidenskabelig faglighed i disse foregående studier og respondere til den med min ekspertise, demonstreres det hvordan denne forskning kan foretages fremadgående. Ligeledes ved at understrege min egen bias, åbner jeg også op for respons til hvordan forskning inden for det biomedikalske felt kan udvikles yderligere. Hvis vores rolle som akademikere er at udfylde videnshuller og forholde os objektive og neutrale, er det umuligt at opnå dette alene. Det er udelukkende gennem tværfagligt samarbejde, at vi kan forsøge at udligne den uundgåelige bias vi individuelt har.

Selvom bias opfattes som noget der bør mindskes i forskning så vidt som muligt, vil det altid være uundgåeligt at eliminere i sin helhed. Fremfor at opsøge denne totale eliminering, er det i stedet essentielt at vælge hvilke former for bias vi vil forsøge at mindske, samt at være bevist om den bias vi ved fremkommer. Derfor kan bias anses som at være et essentielt element indenfor forskning på tvær af faggrænser. Og det er netop i projekter som dette, der fremhæver denne bias i form af manglende tværfaglig ekspertise, at denne pointe bør understreges og belyses.

Efter at have reflekteret over relevante observationer omkring forskellige former for bias, både i dette projekt specifikt samt forskning generelt, er det nu muligt på baggrund af dette samt de foregående kapitler, at opsummere og drage konklusioner på disse iagttagelser.

## Konklusion

Dette projekt har haft til formål at undersøge, hvordan en eksperimentel protokol kan udvikles til at undersøge, hvordan tilføjede lavfrekvente droner kan påvirke musiks funktion som fysiologisk påvirkning. Fokus har været på at udvikle denne med et musikvidenskabeligt grundlag for at demonstrere de nuancer og facetter, der fremkommer heri, og som ellers kan opfattes som værende trivielle. Yderligere fungerer dette også som et eksempel på, hvordan musikalske elementer kan adskilles og fokuseres på individuelt frem for som en del af et samlet lydbillede.

Formålet med projektet har ikke været at undersøge hvilken effekt de tilføjede lavfrekvente droner, men i stedet at fungere som et metodisk fundament for fremtidige studier. På baggrund af den gennemgåede litteratur samt de metodiske overvejelser, refleksioner og diskussioner i forbindelse med udviklingen af den eksperimentelle protokol kan det derfor konkluderes, at denne fremstår som velbegrundet og metodisk sammenhængende. Dette er ikke ensbetydende med, at den er fejlfri eller klar til afvikling uden yderligere reevaluering. I stedet eksemplificerer den anvendelsen af musikvidenskabeligt funderet forskning i lægevidenskabelige studier med fokus på musiks påvirkning af mennesket.

Yderligere har projektet fremhævet, hvordan der historisk har været modstridende resultater inden for undersøgelsen af musiks påvirkning på kroppen i lægevidenskabelige studier. Selvom dette er tilfældet, fremstår visse måleenheder som særligt anvendelige i undersøgelsen af musik som påvirkning. Der belyses eksempelvis, hvordan fysiologiske måleredskaber såsom hjertefrekvensvariabilitet i kombination med selvrapporterede effekter, eksempelvis gennem anvendelse af STAI-test eller analyse af arousal og valens, med fordel kan anvendes sammen.

Afslutningsvis fremhæver diskussionsafsnittet forskellige problematikker, der opstår, når man arbejder med subjektive medier som musik i lægevidenskabelige sammenhænge. Heriblandt hvordan bias i utallige former fremstår som nærmest uundgåelig, og hvordan man bør udvælge, hvilke former for bias der skal minimeres, frem for at forsøge at eliminere dem fuldstændigt.

## Litteraturliste

- Broner, N. (1978). The effects of low frequency noise on people—a review. *Journal of Sound and Vibration*, 58(4), 483–500. [https://doi.org/10.1016/0022-460x\(78\)90354-1](https://doi.org/10.1016/0022-460x(78)90354-1)
- Burton, N. (2024, January 10). *The sound of Bass Culture(s): Heaviness, blackness, and ubiquitous bass*. The Sound of Bass Culture(s): Heaviness, Blackness, and Ubiquitous Bass. <https://scholarsbank.uoregon.edu/items/7dc40e1e-ba1a-44ed-89f5-b45f54e02948>
- Cameron, D. J., Dotov, D., Flaten, E., Bosnyak, D. J., Hove, M. J., & Trainor, L. (2022). *Undetectable Very-Low Frequency Sound Increases Dancing at a Live Concert*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/qrgzt>
- Cohen, J. (1988). Chapter 2. The t Test for Means. 2.2. The Effect Size Index: d. In *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Second Edition* (pp. 20–27). essay, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Frank, J. (2020). The importance of frequencies in sound [Poster presentation, Cormier Honors College for Citizen Scholars, Longwood University]. [https://digitalcommons.longwood.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1156&context=spring\\_showcase](https://digitalcommons.longwood.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1156&context=spring_showcase)
- Halbert, J. D., Van Tuyll, D. R., Purdy, C., Hao, G., Cauthron, S., Crookall, C., Babak, B., Topolski, R., Al-Hendy, A., & Kapuku, G. K. (2018). Low frequency music slows heart rate and decreases sympathetic activity. *Music and Medicine*, 10(4), 180–185. <https://doi.org/10.47513/mmd.v10i4.614>
- Hernandez-Ruiz, E., James, B., Noll, J., & Chrysikou, E. G. (2020). What makes music relaxing? an investigation into musical elements. *Psychology of Music*, 48(3), 327–343. <https://doi.org/10.1177/0305735618798027>
- Itao, K., Komazawa, M., & Kobayashi, H. (2018). A study into blood flow, heart rate variability, and body surface temperature while listening to music. *Health*, 10(02), 181–188. <https://doi.org/10.4236/health.2018.102015>
- Iwanaga, M., Kobayashi, A., & Kawasaki, C. (2005). Heart rate variability with repetitive exposure to music. *Biological Psychology*, 70(1), 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.11.015>

- Knight, W. E., & Rickard, N. S. (2001). Relaxing music prevents stress-induced increases in subjective anxiety, systolic blood pressure, and heart rate in healthy males and females. *Journal of Music Therapy*, 38(4), 254–272. <https://doi.org/10.1093/jmt/38.4.254>
- Kulinski, J., Ofori, E. K., Visotcky, A., Smith, A., Sparapani, R., & Fleg, J. L. (2022). Effects of music on the cardiovascular system. *Trends in Cardiovascular Medicine*, 32(6), 390–398. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2021.06.004>
- Loor, J., & Nilsson, M. L. (2019). Bass as an indicator of quality: The relation between bass levels and quality perception in headphones. KTH Royal Institute of Technology. <https://johannesloor.se/static/thesisEnglish-40d445071ccf7e82e3522707f83e9d74.pdf>
- MedCalc Software Ltd. (2026). Sample size for Paired samples t-test. <https://www.medcalc.org/en/calc/sample-size-paired-samples-t-test.php> (Version 23.5.1; accessed April 16, 2026)
- Nakajima, Y., Tanaka, N., Mima, T., & Izumi, S.-I. (2016). Stress recovery effects of high- and low-frequency amplified music on Heart Rate Variability. *Behavioural Neurology*, 2016, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/5965894>
- Okoye, K., & Hosseini, S. (2024). T-test statistics in R: Independent samples, paired sample, and one sample t-tests. *R Programming*, 159–186. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-3385-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-97-3385-9_8)
- Robson, C. (2024). *Real World Research: A resource for users of Social Research Methods in applied settings* (5th.). John Wiley & Sons.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161–1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>
- Schneck, D. J. (2015). *Basic anatomy and physiology for the music therapist*. Jessica Kingsley Publishers.
- Sharma, P., Jain, A., Singh, K. D., Kumar, A., Sandhu, G., & Sharma, S. (2024, October 18). *Musical genres and their influence on heart rate variability and blood pressure: A cross-sectional study*. European Journal of Cardiovascular Medicine. <https://healthcare-bulletin.co.uk/article/musical-genres-and-their-influence-on-heart-rate-variability-and-blood-pressure-a-cross-sectional-study-2486/>

Tagg, P. (2003). Part IV: Musical Form and Practise. 17.: Harmony. Drone . In *Continuum encyclopedia of popular music of the world, Volume II: Performance and production* (pp. 532–533), Continuum.

Tarvainen, M. P., Niskanen, J.-P., Lipponen, J. A., Ranta-aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV – heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *113*(1), 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>

Technicon Acoustics. (2021, November 12). *High vs low-frequency noise: What's the difference?* Technicon Acoustics. <https://www.techniconacoustics.com/blog/high-vs-low-frequency-noise-whats-the-difference/>

Vilímek, Z., Kantor, J., Krejčí, J., Janečka, Z., Jedličková, Z., Nekardová, A., Botek, M., Bucharová, M., & Campbell, E. A. (2022). The effect of low frequency sound on heart rate variability and subjective perception: A randomized crossover study. *Healthcare*, *10*(6), 1024. <https://doi.org/10.3390/healthcare10061024>