Design af højttalere til audiometri - lydboble koncept

SPA9-10

Gruppe 970

Signalbehandling og akustik

Aalborg Universitet

02-06-2022

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Signal Processing and Acoustics

Frederik Bajers vej 7B
9220 Aalborg Øst
http://www.it.aau.dk

Titel:

Design af højttalere til audiometri - lydboble koncept

Projekt:

Afgangsprojekt - Speciale

Projektperiode:

September 2021 - Juni 2022

Projektgruppe:

SPA 970

Deltagere:

Karl Sommer
Simon Nadj

Vejleder:

Dorte Hammershøi

Synopsis:

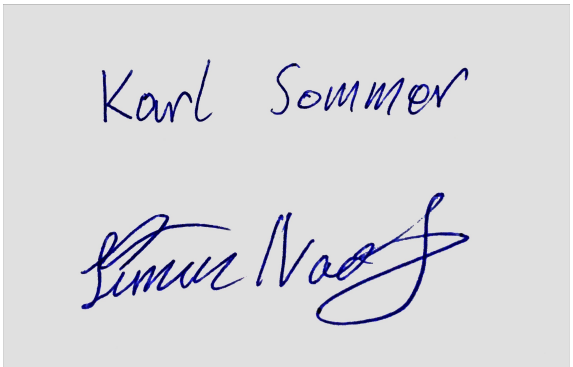
Denne rapport tager udgangspunkt i de nye krav til tilpasning/verificering af høreapparater, mere specifikt kravene om taleaudiometri i støj i frit felt. På basis af undersøgelse af danske høreklinikker, designes, produceres og testes et sæt højttalere, der er designet som lydbobler (navngivet efter formen). Der laves en opstilling i AAU's lyddøde rum, hvor udbredelseskarakteristik måles på to typer højttalere, der henholdsvis er monteret på en væg og i et hjørne. Yderligere kalibreres højttalerne til brug i taleaudiometri ud fra standard IEC 60645-1. Det lykkes at simulere lavfrekvensrespons for kabinetter med basrefleks. Efter eksperimentering lykkes det i Fusion 360 at designe højttalerne, og efterfølgende 3D-printe og samle dem. Det lykkes at kalibrere frekvensresponset, så dette overholder kravene i standard IEC 60645-1. Yderligere overholder højttalerne de fleste krav til max THD ved 80 dB og 100 dB SPL.

Sidetal: 83
Sidetal med appendiks: 117
Afsluttet: 02/06-2022

Underskrifter

Aalborg Universitet, d. 02/06-2021

Underskrifter fra gruppemedlemmer: Karl Sommer og Simon Nadj.



Forord

Denne rapport er udarbejdet af gruppe 970 fra kandidatuddannelsen "Signal Processing and Acoustics", 9. og 10. semester på Aalborg Universitet med start i efteråret 2021.

Læsevejledning

Denne rapport benytter Vancouver-metoden til henvisning af kilder. Dette betyder, at den første kilde i rapporten vil have en henvisning angivet som [1], og at den første indgang i *Litteratur*, bagerst i rapporten, vil være den tilsvarende kilde. Læses denne rapport elektronisk, vil det være muligt at trykke på [1], og blive henført til kilden i *Litteratur*.

Rapporten er inddelt i kapitler, afsnit og underafsnit. For eksempel vil kapitel 1, afsnit 3, underafsnit 1 angives som afsnit 1.3.1. Figurer og tabeller er nummereret efter hvonår figuren/tabellen kommer i et given kapitel. For eksempel vil den 1. figur i kapitel 1 blive angivet som figur/tabel 1.1. Hvis en figur/tabel ikke er produceret til rapporten, vil der være en kildehenvisning i figur-/tabelteksten.

Der er benyttet ISO 80000, *System International* til angivelse af enheder igennem rapporten.

Ordliste

Forklaring af forskellige termer og forkortelser i rapporten.

Ord/forkortelse	Forklaring
Aktiv højttaler	En højttaler med indbygget effektforstærker.
Audiologiassistent	Person ansat ved offentlig klinik, som udfører undersøgelser og tilpasser høreapparater.
Audiologist	Person ansat ved privat klinik, som udfører undersøgelser og tilpasser høreapparater.
CI	Cochlear Implantat.
Case	I denne rapport beskriver en case et generaliseret scenarie, fx en beskrivelse af en gennemsnitlig audiologisk klinik.
DSL	Desired Sensation Level. Tilpasningsmetode til høreapparater, med en specifik target curve.
EQ	Equalization. Lydfiltrering med hensigt på at opnå et fladt systemrespons.
Fusion 360	Autodesk Fusion 360. Program til 3D-modellering.
HA bruger	Høreapparats Bruger. Bruges universelt i rapport omkring patienter, der er førstegangs brugere og patienter, der har erfaring med høreapparater.
NAL-NL1	National Acoustic Laboratories - Non Linear 1. Tilpasningsmetode til høreapparater, med en specifik target curve.
REM	Real Ear Measurement.
SNR	Signal Noise Ratio
Target curve	Kurve der beskriver ideel karakteristik for et givet system.
THD	Total Harmonic Distortion.
A/D converter	Analog til Digital converter.
MATLAB	MATLAB er et programmerings og numerisk beregnings værktøj, som er brugt til flere forskellige ting under projekt arbejdet.
RMS	Root Mean Square.

Indholdsfortegnelse

Ordliste . . . vi
Indledning . . . ix

Kapitel 1 Indledende Analyse **1**
1.1 Baggrund . . . 1
1.2 Nye minimumskrav . . . 3
1.3 Undersøgelse af audiologiske klinikker . . . 4
1.3.1 Indretning af klinikkerne . . . 4
1.3.2 Faciliteter . . . 5
1.3.3 Nuværende tilpasning og verificering af høreapparatstilpasning . . . 6
1.3.4 Cases . . . 6
1.4 Tale i støj . . . 8
1.4.1 Fordele og ulemper ved taleaudiometri i støj . . . 9
1.4.2 Standarder for taleaudiometri og audiometri i frit felt . . . 10
1.5 Antal højttalere . . . 11
1.5.1 Enkelt højttaler . . . 12
1.5.2 Tre højttalere . . . 12
1.5.3 Mere end tre højttalere . . . 12
1.6 Kravspecifikation . . . 13

Kapitel 2 Højttalerdesign **15**
2.1 Koncept: Lydbobler . . . 15
2.2 Valg af højttalerenhed . . . 20
2.3 Lukket kabinet eller basrefleks . . . 22
2.3.1 Modeller for højttaler i boks . . . 22
2.3.2 Højttalerberegning: Lukket kabinet . . . 27
2.3.3 Højttalerberegning: Kabinet med basrefleks . . . 29
2.4 Erfaringer med 3D print . . . 34
2.5 Design af højttalerkabinetter . . . 36
2.5.1 Volumenberegninger på interne dele . . . 38
2.5.2 H1: Flad center højttaler . . . 40
2.5.3 H2: Flad sidehøjttaler . . . 43
2.5.4 H3: Hjørnehøjttaler med flad front . . . 44
2.5.5 Samling af højttalere . . . 51
2.6 Test af højttalere . . . 54
2.6.1 Måleopstilling . . . 54
2.6.2 Udbredelseskarakeristik (lyddødt rum) . . . 59
2.6.3 THD . . . 67

Kapitel 3 Opstiling til audiometri og kalibrering **69**
3.1 Opstilling . . . 69

3.2 Kalibrering . . . 72
3.2.1 Kalibreringstrategi . . . 72
3.2.2 Resultat af kalibrering . . . 73

Kapitel 4 Afsluttende analyse **75**
4.1 Diskussion . . . 75
4.1.1 Interviews . . . 75
4.1.2 Lavfrekvent niveauforskel mellem H1 og H3 . . . 75
4.1.3 Peaks i H1 respons . . . 76
4.1.4 Kamfiltrering af H3 . . . 76
4.1.5 Udbredelseskarakteristik . . . 76
4.1.6 Kabinettuning . . . 76
4.1.7 THD . . . 77
4.1.8 Frekvensrespons i endelig opstilling . . . 77
4.2 Konklusion . . . 79
4.3 Perspektivering . . . 79
4.3.1 Mobil højttaler . . . 79
4.3.2 Interaktivt element: LED ringe. . . . 80
4.3.3 Muligheder i 3D-print af højttalere: Produktion og prototyping . . . 80
4.4 Anerkendelser . . . 82

Appendiks A Appendiks **83**
A.1 Spørgsmålsark til interview i høreklinikkerne . . . 83
A.2 Svar fra interviews . . . 84
A.2.1 Klinik 1 (Privat klinik) . . . 84
A.2.2 Klinik 2 (Offentlig klinik) . . . 87
A.3 Målinger på forstærker print . . . 89
A.3.1 Forsøgsopstilling . . . 89
A.3.2 Linearitet . . . 90
A.3.3 THD og SNR . . . 91
A.4 Transskriberinger . . . 92
A.4.1 Klinik 1 (Privat klinik) . . . 92
A.4.2 Klinik 2 (Offentlig klinik) . . . 103

Litteratur **117**

Indledning

I januar 2022 blev der fra Sundhedsstyrelsen introduceret nye minimumskrav til tilpasningen af høreapparater. De nye krav indebærer at alle, der får eller allerede har høreapparat, skal have eftertestet tilpasningen af deres høreapparat vha. en fritfelts taleaudiometri. I dette tilfælde er beskrivelsen af fritfelt mere inkluderende end under akademiske forhold og indebærer blot akustisk dæmpede vægge.

Der er i Danmark mere end 400 klinikker, hvor største delen er privatejede. I denne rapport vil det undersøges, hvordan klinikkernes nuværende opstilling ser ud. Det vil undersøges hvorvidt, både de private og de offentlige klinikker har brug for nye opstillinger for at leve op til de nye krav. I tilfælde af at der er brug for nye opstillinger, vil der blive undersøgt hvad der i disse er nødvendigt for at overholde kravene. Det primære fokus for denne undersøgelse vil ligge på højttaler elementet, i de nye krav om frit felts taleaudiometri.

På baggrund af disse overvejelser opstilles et initierende problem:

"*Hvordan er klinikker udrustet til når de nye minimumskrav indføres? Er det nødvendigt med nye højttaler opstillinger og hvad ville i så fald være den bedste løsning for klinikkerne?*".

Indledende Analyse 1

Til at starte med undersøges de nye krav, baggrunden for disse samt forholdene i klinikkerne. Der ses på argumenter for og imod de nye krav. Her vil der bl.a. blive taget udgangspunkt i høringssvar fra de forskellige parter, der har deltaget i høringen om indsættelse af de nye minimumskrav. Forholdene i de danske klinikker undersøges gennem interview. Der vil desuden blive opstillet relevante cases, som bruges til udgangspunkt til krav og tests. Disse cases tager udgangspunkt i resultaterne fra interviews med de klinikker der har deltaget. Der ses på tale i støj som målemetode, samt hvad standarderne for taleaudiometri og audiometri i frit felt siger mht. opstilling og udførsel. Forskellige antal af højttalere til audiometri undersøges med udgangspunkt i de opstillede cases og i undersøgelsen af klinikkerne. Endelig opstilles der en kravspecifikation på baggrund af den indledende analyse.

1.1 Baggrund

I januar 2020 blev der fra Sundhedsstyrelsen udsendt et udkast af "Faglige kvalitetskrav og anbefalinger til høreapparatbehandling af voksne"[1] til offentlig høring. Udkastet indbefatter en opdatering af minimumskrav til høreapparatbehandling af voksne. Disse nye minimumskrav forventes at blive aktuelle fra januar 2022. Som det fremgår af beskrivelsen af høringsmaterialet [2], er formålet med de nye tiltag at sikre forbedret og ensartet kvalitet af høreapparatbehandling på tværs af klinikker landet over.
Selve høringen [1] og høringssvarene fra de forskellige parter kan findes på Høringsportalens hjemmeside (kilde [2]).

Blandt andet opdateres minimumskravene for høreapparatstilpasning og verificering af tilpasningen. Tilføjelserne til kravene lyder, at der som minimum skal benyttes REM-målinger (Real Ear Measurement), taleaudiometri med støj i frit felt samt et spørgeskema om brugerens udbytte fra anvendelse af apparatet. Disse nye krav er inspireret af BEAR-projektet, der bl.a. er grundlagt på baggrund af en undersøgelse om tilfredsheden blandt høreapparatsbrugere. Undersøgelsen, kaldet EuroTrak [3], er fra 2016 og er en omfattende statistisk undersøgelse, der bl.a. omhandler folk med hæmmet hørelse, hvor mange der anvender høreapparater og deres tilfredshed med dette. Der konkluderes, at ca. 71% af folk i Danmark, der anvender høreapparater, er tilfredse. Til sammenligning med andre europæiske lande, ligger procenten i tilfredshed på ca. 79% i Italien, 81% i Schweiz og 84% i Frankrig. Det ønskes, at der kan ydes en mindst lige så tilfredsstillende service til de danske borgere, der har besvær med hørelsen, som i andre europæiske lande, ved at opdatere minimumskravene for høreapparatstilpasning.

For de klinikker, der i forvejen ikke har det nødvendige udstyr til at imødekomme de nye krav, vil der være en udgift i anskaffelsen af udstyr og potentielt nye/større lokaler. Yderligere vil den ekstra tid, der skal bruges per høreapparatsbruger, kræve mere personale - og dermed større/flere lokaler - for at opnå samme produktivitet. Denne ekstra tid er svær at finde, idet høreforsorgen i Danmark i forvejen er presset på tid. Der er enighed hos PAKS, Frie Høreklinikker og HørNu om, at disse omkostninger især vil gå udover de private klinikker. PAKS (Private Audiologiske Klinikkers Sammenslutning) og Frie Høreklinikker er sammenslutninger af private høreklinikker, mens HørNu er en selvstændig organisation, der arbejder på at forbedre behandling af folk med nedsat høreevne. Disse skriver i et fælles høringssvar følgende:

"De private aktører har en velbegrundet frygt for, at de økonomiske byrder, som en implementering af krav og anbefalinger vil medføre, vil tvinge især mindre audiologiske klinikker til at lukke. De øgede omkostninger som Sundhedsstyrelsens krav og anbefalinger repræsenterer, vil betyde en ekstraregning til hele høreforsorgen, men vil i sagens natur gå hårdest ud over de private aktører." [4]

Yderligere tilføjer Dansk Industri (DI), at den ekstra tid, der skal bruges på målingerne, som de nye krav er baseret på, især vil gå ud over de ældre høreapparatsbrugere:

"Mange merudgifter og øget tidsforbrug. Der bliver et omfattende tidsforbrug for særligt ældre mennesker med antallet af målinger. Der er opbakning til frit felt målinger, men kun på nye HA (pga. tidsforbrug) og der foreslås max. tre højttalere." [5]

En faktor, der også spiller ind i tidspresset er de eftertjek, der skal udføres på HA brugere, der har fået et nyt høreapparat. En HA bruger, der har fået udleveret et høreapparat, har mulighed for at få eftertjekket deres tilpasning efter nogle uger eller måneder, hvis tilpasningen ikke er tilfredsstillende. Her er der ved MarkeTrak 2011 i USA lavet en undersøgelse over sammenhængen mellem verifikationsmetoder brugt ved høreapparatstilpasning og antallet af eftertjek nødvendigt for, at HA brugeren har fået en tilfredsstilende tilpasning [6]. Undersøgelsen viser, at antal eftertjek reduceres med 20%, når der anvendes en kombination af REM og taleaudiometri med støj i frit felt. På den måde kan den tid, der i alt skal bruges per HA bruger, reduceres, og tiden kan derfor bruges på andre HA brugere. Det betyder også, at ældre HA brugere belastes mindre, idet de skal til færre eftertjek for at opnå en tilfredsstillende tilpasning.

Indtil nu har der ikke været specificeret krav til, hvordan verificering af høreapparatets tilpasning skal foregå. Der er derfor potentiale for, at de metoder, der i øjeblikket er i brug, ikke er veldefinerede og ingen videnskabelig evidens har for at gavne brugeren af høreapparatet. Yderligere vil forskelle i verifikationsmetode på tværs af klinikkerne give varierende resultater for tilpasningen. Om tilpasningen gavner brugeren, og hvor meget den gavner brugeren vil derfor afhænge af hvilken klinik, brugeren får tilpasset sine høreapparater hos. En ikke-ensartet kvalitet på tværs af klinikkerne er dårlig praksis, hvilket understøttes af blandt andre DI, der i deres høringssvar skriver følgende om de nye krav:

"DI anerkender den store indsats, der gøres for at løfte kvaliteten og gøre kravene gældende på tværs af sektorer. Det er vigtig, at HA brugeren kan være sikker på at få samme niveau i behandlingen og rehabiliteringen på tværs af hele systemet og uanset hvor i landet man er bosat." [5]

For at opnå en ensartet kvalitet på tværs af klinikkerne indføres der nye minimumskrav for tilpasning af høreapparater og verificering af denne tilpasning, som bunder i objektive målinger og høretest. Disse nye minimumskrav bliver præsenteret i det følgende afsnit.

1.2 Nye minimumskrav

I dette afsnit bliver der gået i dybden med de nye krav, og hvordan disse skal lede til en mere veldokumenteret og objektiv vurdering af høreapparatstilpasningen. De nye krav til verificering af høreapparatets tilpasning kan findes i "Faglige kvalitetskrav og anbefalinger til høreapparatbehandling af voksne"[1], afsnit 5.1.3.

Når en ny eller erfaren HA bruger har fået udleveret et høreapparat, skal apparatet tilpasses til brugerens behov. Tilpasningen skal efterfølgende verificeres for at sikre, at HA brugeren går hjem med et apparat, der forbedrer dennes høreevne/-oplevelse. De nye minimumskrav omhandler hvilke metoder, der som minimum skal benyttes ved tilpasning af apparatet samt verificering af denne tilpasning. Følgende tre metoder skal som minimum benyttes:

- REM-målinger (Real Ear Measurements).
- Taleaudiometri med støj i frit felt.
- Spørgeskema vedrørende den forbedring, brugeren oplever ved brug af apparatet.

Ved REM-måling får testpersonen en probeslange ind til trommehinden, for at lydtrykket ved trommehinden kan måles gennem denne. På den måde kan man måle tilpasningen og sikre, at man rammer den ønskede target kurve ved HA brugerens trommehinde.

Ved taleaudiometri, med støj i frit felt, kan testpersonens taleforståelse i et støjfuldt miljø undersøges. Langt de fleste indberettede problemer, når det kommer til høreapparater, omhandler støj. En sådan måling udført med høreapparater på kan derfor have relevans. Tale i støj undersøges yderligere i afsnit 1.4.

I "Faglige kvalitetskrav og anbefalinger til høreapparatbehandling af voksne"[1] foreslås yderligere to metoder til verificering af tilpasningen:

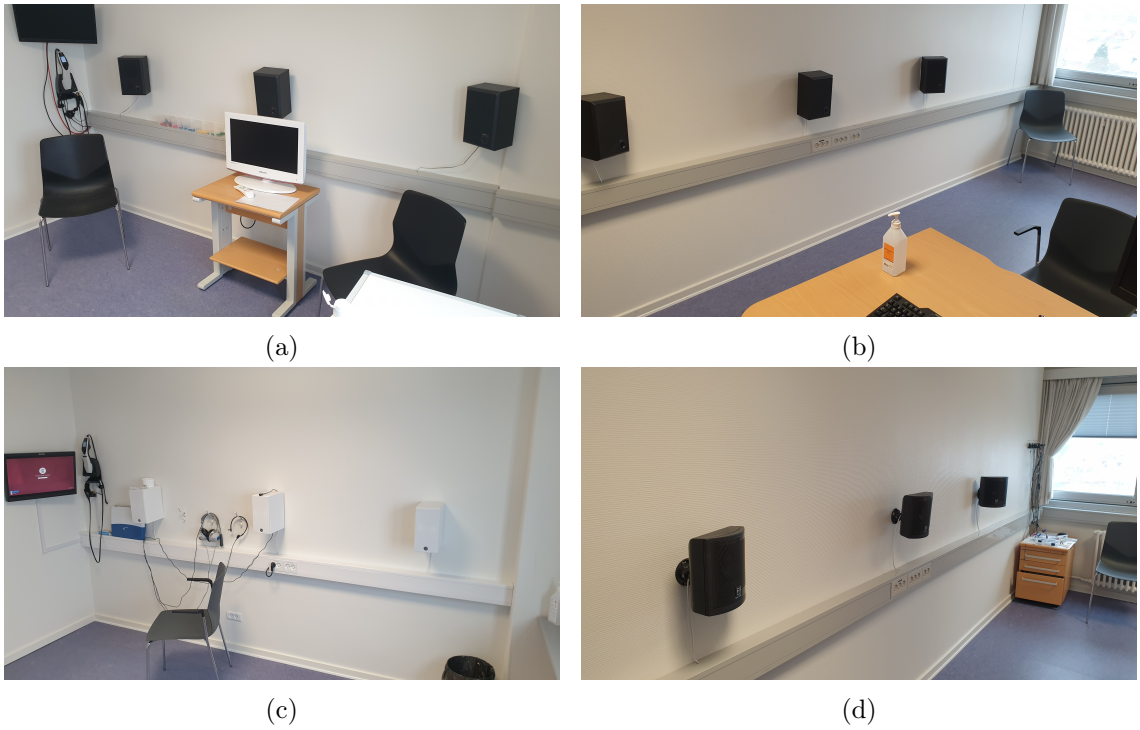
- Test af lokaliseringsevne ved brug af flere højttalere.
- Test af responstilpasning ved præsentation af lydmiljøer, der er relevante for HA brugeren.

Eftersom der ikke har været specificerede krav til verificering af tilpasningen af et høreapparat indtil nu, ønskes det at finde ud af hvilke metoder, der er benyttet i klinikkerne før indføringen af de nye minimumskrav. Dette er bl.a. det, der undersøges gennem interview i klinikkerne. I det næste afsnit præsenteres de besvarelser, der er opnået ved interview.

1.3 Undersøgelse af audiologiske klinikker

Som nævnt, er der hos de private høreklinikker bekymring omkring den investering, der skal foretages for at kunne overholde de nye minimumskrav. For at få indblik i klinikkernes behov/krav til deres nuværende/manglende udstyr, er der skrevet ud til 9 høreklinikker i Nordjylland og en enkelt i Midtjylland. Af de 10 klinikker er det lykkedes at få et interview i 2 af klinikkerne. Spørgeskemaet til interviewene kan findes i A.1. Det lykkedes at komme i kontakt med en offentlig klinik (sygehus) og en privat høreapparatforhandler i besiddelse af REM og fritfeltsudstyr. I dette afsnit ses der på, hvordan høreklinikker er indrettede, hvilke faciliteter høreklinikkerne besidder samt hvilke metoder for tilpasning og verificering, der anvendes før de nye krav træder i kraft. Dette afsnit er baseret på besvarelserne fra interviews i klinikkerne. Disse besvarelser kan findes i appendiks A.2.

1.3.1 Indretning af klinikkerne



(a) (b)

(c) (d)

Figur 1.1: Eksempler på forskellige lokaler med frifelts opstillinger. På (a) ses et tilpasningsrum med frit felts udstyr og skærm til video udgaven af DANTALE I. På (b) ses et tilpasningsrum med frit felts udstyr, her står skrivebordet i line of sight mellem HA brugeren og højttaleren. På (c) og (d) ses to yderligere eksempler på tilpasningsrum med frit felts udstyr.

Ved den offentlige klinik, der deltog i undersøgelsen, er der seks lokaler, som benyttes ved tilpasning af høreapparater. To af lokalerne er ca. 3,8 m x 3,2 m, mens de sidste fire er ca. 5,7 m x 3 m. Alle lokalerne har 2,5 m til loftet. Alle lokalerne har linoleumsgulve, vægge af enten gips eller beton og loftpaneler, der kan være akustisk dæmpende paneler. Samtlige lokaler har én væg, hvor der er vinduer, som dækker størstedelen af dennes flade. Alle lokalerne har et kryds på gulvet, som markerer positionen, hvori en stol til HA brugeren skal stå, ved frit felts målinger. Alle lokaler har et skrivebord, hvor personalet har deres

udstyr/ arbejdsplads. Disse skriveborde er placeret forskelligt, i de forskellige lokaler. I nogle tilfælde står disse skriveborde i line of sight af højttalerne til frit felts audiometri og HA brugerens siddeposition. I figur 1.1, ses nogle eksempler på frit felts opstillinger hos den offentlige klinik, som deltog i undersøgelsen. Det kan ses, at der bruges forskellige højttalere i nogle af de forskellige rum.

Ved den private klinik, med frit felts udstyr, som deltog i undersøgelsen, er der to lokalter til tilpasning af høreapparater. Disse lokaler er ca. $10\,\mathrm{m}^2$ og har begge 2,5 m til loftet. I begge lokaler er der gulvtæppe på gulvet, væggene er lavet af gips med isolering bagved og loftpanelerne er akustisk dæmpende. Begge lokaler har et skrivebord, hvor audiologisten har sin arbejdsplads.

Figur 1.2: Tilpasningsrum med frit felts udstyr.

1.3.2 Faciliteter

Den offentlige klinik (sygehus) har udstyr til følgende undersøgelser: otoskopi, tympanometri, stapediusrefleks, rentone audiometri ved luft og ben ledning, REM og frit felts audiometri. Desuden har klinikken udstyr til at programmere flere forskellige producenters høreapparater og deres forskellige modeller. Klinikken har mulighed for at 3D printe bla. formstøbte øreproppper til den enkelte HA bruger.

Ved den private klinik i besiddelse af fritfelts udstyr, er der udstyr til yderligere følgende undersøgelser: otoskopi, høreprøve udført som beskrevet i standard ISO 8253 og REM.

1.3.3 Nuværende tilpasning og verificering af høreapparatstilpasning

Hos den offentlige klinik (sygehus) udføres der både otoskopi, tympanometri, stapedius-refleks måling, samt luftbåren og benbåren rentone-audiometri. Baseret på audiometrien udføres der en tilpasning af høreapparatet ud fra høreapparatproducentens software/target kurve. Til verificering af denne tilpasning, fører audiologisten/audiologiassistenten en samtale med HA brugeren. Her spørges der om tilpasningen lyder mærkeligt/forkert, og tilpasningen rettes ind efter respons fra HA brugeren. I særtilfælde benyttes tale i støj i frit felt til verificering af tilpasningen, men dette indgår ikke i den almene procedure.

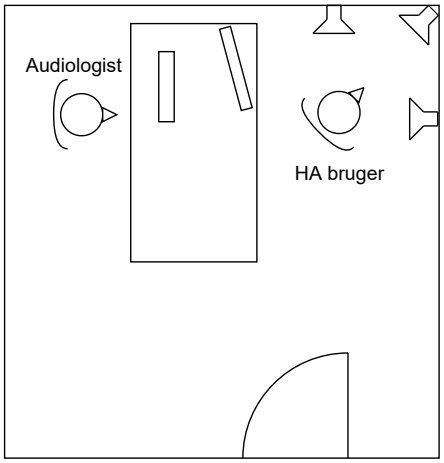
Hos den private klinik med udstyr til REM og målinger i frit felt udføres der otoskopi og en høreprøve, som beskrevet i standard ISO 8253 (audiometri) forud for tilpasningen. Herefter benyttes REM og NAL/DSL til tilpasning, baseret på den forudgående audiometri. Tilpasningen verificeres og justeres ved samtale med HA brugeren og en efterfølgende taleaudiometri med støj i frit felt. I tilfælde, hvor HA brugeren synes den første tilpasning lyder for høj, kan der også udføres en taleaudiometri forud for nogen justering. Således kan dette sammenlignes med en taleaudiometri efter justering, så HA brugeren kan få at vide, hvor meget taleforståelse der går tabt ved at skrue ned på tilpasningen.
Hvis HA brugeren i forvejen benytter et høreapparat, kan der også tages udgangspunkt i dennes tilpasning, når brugeren skal have nyt apparat.
Kontaktpersonen tilføjer, at der til verificering på andre klinikker, hvor kontaktpersonen har arbejdet, laves støjkilder ved at skramle med noget papir, at køre en ske rundt i et krus eller lignende, for at tjekke, om brugeren af høreapparatet kan holde sådanne lyde ud.

1.3.4 Cases

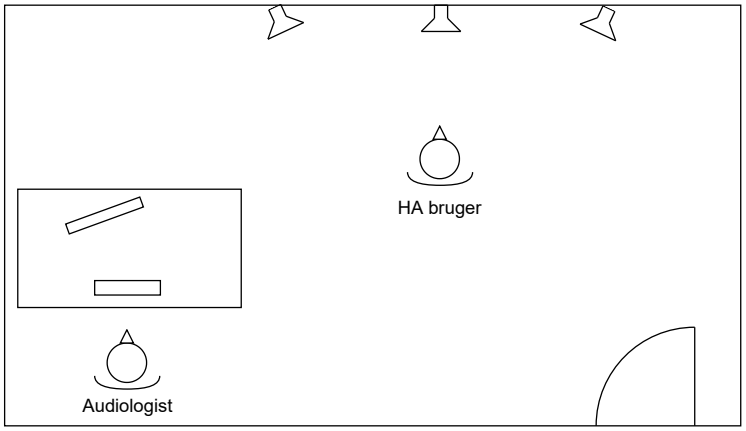
Til projektet opstilles tre cases på baggrund af beskrivelserne i de forudgående afsnit. Første case er scenarioet, hvor HA brugeren kommer ud til en lille klinik for at blive undersøgt og få tilpasset høreapparatet. Anden case er scenarioet, hvor HA brugeren kommer ud til en stor klinik for at blive undersøgt og få tilpasset høreapparatet. Tredje case er scenarioet, hvor audiologisten kommer hjem til HA brugeren for at foretage undersøgelsen og tilpasningen af høreapparatet.

Case 1: Hos lille høreklinik

En typisk lille klinik har ét eller flere mindre rum sat af til udførelse af høretest og tilpasning af høreapparater. I denne rapport defineres en klinnik til at være lille, hvis disse lokaler er maksimum $12\,\mathrm{m}^2$. Klinikken har gulvtæppe. Væggene er lavet af gips med isolering bagved, mursten eller beton. Lofterne er måske beklædt med lyddæmpende paneler. Der er et skrivebord, hvor audiologisten sidder med en computer, der bruges til at styre de forskellige undersøgelser med. Audiologisten befinder sig i rummet under udførelsen af de forskellige undersøgelser. I den lille klinik, vurderes det, at det i mange tilfælde vil være lettest at lave en opstilling i et hjørne, som set på figur 1.3. På denne måde udnyttes dimensionerne i et lille lokale bedst.



Figur 1.3: Skitse af hvordan en lille audiologisk klinnik, som beskrevet i case 1, kan se ud. Audiologisten sidder ved en arbejdsstation med en computer, som bruges til at styre de forskellige undersøgelser. HA brugeren sidder ud for en opstilling af højttalere monteret i et hjørne.



Figur 1.4: Skitse af, hvordan en stor audiologisk klinik, som beskrevet i case 2, kan se ud. Audiologisten sidder ved en arbejdsstation med en computer, som bruges til at styre de forskellige undersøgelser. HA brugeren sidder ud for en opstilling af højttalere monteret fladt på en af lokalets vægge.

Case 2: Hos stor høreklinik

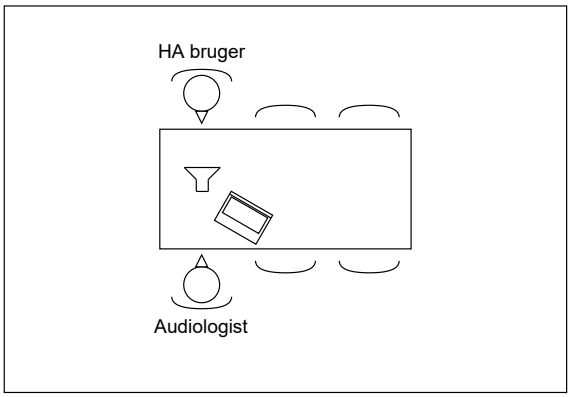
En typisk stor klinik har ét eller flere store rum sat af til udførelse af høretest og tilpasning af høreapparater. I denne rapport defineres en klinik til at være stor, hvis disse lokaler er $12\,\mathrm{m}^2$ eller større. Klinikken har gulvtæppe. Væggene er lavet af gips med isolering bagved, mursten eller beton. Lofterne er måske beklædt med lyddæmpende paneler. Der er et skrivebord, hvor audiologisten sidder med en computer, der bruges til at styre de

forskellige undersøgelser med. Audiologisten befinder sig i rummet under udførelsen af de forskellige undersøgelser. I den store klinik, vurderes det, at det i mange tilfælde vil være lettest at lave en opstilling langs en stor væg, som set på figur 1.4. På denne måde udnyttes dimensionerne i et stort lokale bedst.

Case 3: Ude i HA brugerens hjem

Denne case er baseret på udsagn fra Gert Ravn, da ingen mobile klinikker har ønsket at deltage i undersøgelsen.

Rammerne for rummet, hvor undersøgelser udføres, er her ikke klare, som ved case 1 og 2. I forskellige hjem kan størrelsen af rummet, samt indretningen variere meget. En typisk undersøgelse vil foregå i HA brugerens spisestue, ved spisebordet. Her vurderes det, at den bedste løsning er en mobil højttaler, som placeres på bordet i HA brugerens spisestue. Fler-kanals løsninger vurderes upraktiske i denne case.



Figur 1.5: Skitse af, hvordan en opstilling i en HA brugers hjem kunne se ud, som beskrevet i case 2. Audiologisten og HA brugeren sidder på hver sin side af HA brugerens spisebord. Audiologisten benytter en laptop til at styre de forskellige undersøgelser.

1.4 Tale i støj

Flere studier peger på, at undersøgelser med tale i støj, er nødvendige for at kunne lave en fyldestgørende tilpasning af et høreapparat. Dette er især vigtigt, da en af de hyppigste brugsscenarier af høreapparater netop er tale og i mange tilfælde i støj. Eksempler kunne være normal samtale i offentligt rum (fx. på restaurant, busterminal, butik, osv.), hvor der hyppigt optræder baggrundsstøj i form af bla. tale fra folk uden for samtalen. Med nedsat hørelse kan det især være svært at forstå tale i sådanne situationer.

Én måde at undersøge en persons evne til at forstå tale i støj, kan være en SNR test. Her afspilles sætninger samtidigt med støj. Forholdet mellem støj og tale justeres indtil forsøgpersonen kan genkende 50% af ordene i en sætning. Det forhold der er ved 50% genkendelse, kaldes SNR tabet.

SNR tab	Grad af SNR høretab
0-2 dB	Normalt
2-7 dB	Mildt SNR tab
7-15 dB	Moderat SNR tab
>15 dB	Kraftigt SNR tab

Tabel 1.1: Grader af SNR høretab [7]

Et forsøg viser, at en rentoneaudiometri ikke er nok til at danne et billede af en HA brugerens forståelse af tale i støj. To HA brugere med lignende alder og livstil har fået udført rentoneaudiometrier, som resulterede i tilnærmelsesvist ens rentoneaudiogrammer. Ud over rentoneaudiometrier, har begge HA brugere fået udført en SNR tabs test. HA bruger B har et SNR tab på 9 dB i begge ører, mens HA bruger A har et SNR tab på 1 dB på højre øre og 3 dB på ventre øre. Selvom HA brugerne er så forskellige ved SNR tabs test, vil HA brugerene med stor sandsynlighed modtage samme behandling, hvis de kun undersøges med rentoneaudiometri[7]. Ud fra tabel 1.1 ses det, at HA bruger B har et moderat SNR tab, mens HA bruger A har et normalt SNR tab på højre øre og kun et mildt SNR tab på venstre øre. Kendskab til dette SNR tab er vigtigt ved valg af høreapparat. HA bruger A kan nøjes med et mere simpelt høreapparat, som kun forstærker. HA bruger B derimod, vil have stor gavn af et høreapparat med direktionel forstærkning for at øge tale til støj forholdet.

For at kunne teste effektiviteten af direktionel forstærkning, vil der være brug for mindst tre højttalere, nemlig en center kanal, højre kanal og venstre kanal. Dette skyldes at støjen skal skilles fra talen i rummet for, at de direktionelle mikrofoner ikke opfanger begge dele.

Mange tidlige testsystemer af tale i støj bruger enkelt ord (fx. DANTALE I). Dette er dog ikke hensigtsmæssigt, da høreapparaters forstærkning ikke justeres momentant og derfor ikke reagerer på enkelte ord. Derfor anbefales det, at bruge sætnings baserede tale i støj systemer (fx. DANTALE II) [8].

1.4.1 Fordele og ulemper ved taleaudiometri i støj

Taleaudiometri i støj lægger op til klare forbedringer ved undersøgelsen af en HA brugers egentlige behov. Der er mulighed for både at dokumentere over for HA brugeren, hvilken forbedring høreapparatet giver under kontrollerede forhold. Dette er med til at give HA brugeren en mere tryg oplevelse og under tilpasning kunne få feedback på og direkte mærke, hvor stor forbedringen er. Dette er af en audiologist, som allerede bruger fritfelt taleaudiometri i støj, blevet påpeget at være et stærkt værktøj til at overbevise HA brugere om at starte ud med en højere grad af forstærkning end ellers (appendiks A.4.1). Der er ved undersøgelsen af klinikker, af en audiologiasistent, blevet belyst en fordel ved frit felts audiometri opstillinger. Personalet på sygehuset hvor hun arbejder, har tit efterspurgt muligheden for at kunne undersøge en HA bruger i forskellige lydmiljøer. Disse miljøer kunne bla. være musik, hvor hun foreslår at man finder tre sange i forskellige genre, som kan tilpasses i niveau og bruges i undersøgelsen (appendiks A.4.2). Taleaudiometri i støj giver de private klinikker en måde, hvorpå de over for staten, har et dokumenterbart grundlag for at lave de høreapparats udleveringer de gør. Her er der fokus på, at staten giver tilskud til de private klinikker, når de udleverer et høreapparat.

Der er af en audiologiasistent, fra det sygehus der deltog i undersøgelse, påpeget nogle problemstillinger ved tale i støj. Audiologiasistenten mener, at i nogle tilfælde vil HA brugerens skelneevne være så ringe, at der ikke vil være mulighed for en stor forbedring. På baggrund af dette mener Audiologiasistenten, at en HA brugers skelneevne skal danne grundlag for om der udføres test med tale i støj. Audiologiasistenten påpeger, at det kan have negative psykologiske konsekvenser på en HA bruger, hvis de skal igennem lange tests, hvor de kun får dårlige resultater og i sidste ende alligevel ikke får noget gavn af testen. Et andet problem der blev påpeget af samme audiologiassisten, er, at DANTALE I umildbart har et for lavt støjniveau. Hun nævner at hun selv nemt klarer denne test med et SNR på -13 dB (appendiks A.4.2). I gruppen er dette bekræftet ved en hurtig test, hvor man nåede frem til det samme. Normalt hørende personer har en skelneevne på 0-2 dB [7].

1.4.2 Standarder for taleaudiometri og audiometri i frit felt

For at få indblik i krav til udstyr, testsignaler og forhold under taleaudiometri med støj i frit felt undersøges følgende standarder:

- ISO 8253-2: Sound field audiometry with pure-tone and narrow-band test signals [9].
- ISO 8253-3: Speech audiometry [10].
- IEC 60645-1: Equipment for pure-tone and speech audiometry [11].

For audiometri med rene toner eller smalbåndsstøj er der krav til, hvor meget baggrundsstøj, der må være. Disse findes i standarden ISO 8253-2, afsnit 6. I ISO 8253-3 nævnes der dog, at disse krav kan være knap så strenge for taleaudiometri. Hvor meget man kan tillade sig at slække på kravene, står der ikke. Knap så strenge krav kan dog ses som en fordel for de mobile klinikker, idet baggrundsstøjen ude i HA brugernes hjem ikke kan kontrolleres.

Der er ikke krav til selve højttaleropstillingen for audiometri i frit felt. Dog anbefales der i ISO 8253-3, afsnit 8, at der for taleaudiometri med støj bruges en centreret højttaler til talesporet, mens der bruges to højttalere til støjen. Disse to placeres henholdsvis til højre og venstre for centerhøjttaleren, med en indfalsvinkel på 45° i forhold til referencepunktet. Desuden er der krav om, at støjen afspillet i de to højttalere er inkohærent, hvis denne opstilling benyttes.

For at udføre en oprigtig audiometri i frit felt, vil det være nødvendigt at benytte et lyddødt rum. Det er dog ikke realistisk at kræve af klinikkerne, at disse anskaffer sig et lyddødt lokale grundet høj pris og pladsbehov. I den internationale standard ISO 8253-2 er der beskrevet tre forskellige lydfelter:

- Frit felt
- Diffust felt
- Quasi-frit felt

Her overvejes kriterierne for et quasi-frit felt. I ISO 8253-2 er frit felt beskrevet som et lydfelt, hvor feltets grænser (ifm. et rum: vægge, gulv og loft) har en negligerbar indflydelse på lyden. Et quasi-frit lydfelt er beskrevet som et lydfelt, hvor feltets grænser har en moderat indflydelse på lyden. Der er ikke krav om, at taleaudiometri skal efterkomme

kravene for det quasi-frie lydfelt. Dog er det veldefineret og et mere realistisk alternativ til en audiometri i frit felt.

For at opfylde kravene for det quasi-frie lydfelt, som beskrevet i ISO 8253-2, skal følgende være gældende for opstillingen:

- Højttaleren(e) skal placeres i testpersonens hovedhøjde, hvor referencepunktet vælges til at være punktet mellem personens ører ("inde i" hovedet). Afstanden mellem referencepunktet og højttaleren skal være mindst 1 m.
- Lydtryksniveauet målt 15 cm over, under, til højre og til venstre for referencepunktet må højest afvige med ± 2 dB fra lydtrykket i referencepunktet.
- Lydtryksniveauet målt 10 cm foran og bagved referencepunktet må højest afvige med ± 1 dB fra det teoretiske lydtryksniveau givet ved invers afstandslov

Til sidstnævnte punkt kan der med fordel tages udgangspunkt i det tekniske dokument "Vejledning i opstilling og kalibrering af udstyr til audiometri i frit felt - 3. udgave"fra FORCE Technology, tabel 2 [12]. Her er invers afstandslov-udregningerne lavet for henholdsvis 1 m, 1,5 m og 2 m.

Til taleaudiometri i frit felt anbefales det i ISO 8253-3, afsnit 15.3, at der benyttes et lydtryk for talesignalet på 65 dB. Dette svarer til et almindeligt taleniveau. For støjsignalet kan der enten bruges et fast eller variabelt signalniveau. Hvis et fast støjniveau benyttes, er det anbefalede niveau 60 dB. Hvis et variabelt støjniveau benyttes, skal niveauet ændres i steps af 5 dB eller mindre.
Mht. typen af støjsignal foreslås i afsnit 15.1 et frekvensvægtet signal af tilfældigt støj, som beskrevet i standarden IEC 60645-2. Hvis et andet støjsignal end dette benyttes, skal karakteristikken af signalet specificeres.
I en note er det tilføjet, at der også kan bruges støjsignaler baseret på tale, såsom babble noise. Der gøres opmærksom på, at variationer i testresultater er større for sådanne typer støjsignaler.

I standarden IEC 60645-1, afsnit 6.1.6, sættes der krav til overordnede frekvensrespons for både audiometer og højttalere. For denne måling skal testsignalerne bestå af 1/3 oktavbåndsfiltreret lyserød støj. For 1/3 oktav frekvensbånd med centerfrekvenser i 250 Hz til 4000 Hz må lydtrykket afvige med op til ±5 dB fra gennemsnitslydtrykket af de anvendte testsignaler i dette frekvensbånd. For centerfrekvenser mellem 4000 Hz og 6300 Hz må lydtrykket afvige med ±8 dB fra den førnævnte gennemsnitsværdi. Responset uden for dette frekvensområde skal specificeres af højttalerproducenten. Yderligere specificeres der krav for THD i afsnit 6.1.10.2. Der må være højest 3% THD ved et lydtryk på 80 dB i 1 meters afstand, og højest 10% ved et lydtryk på 100 dB.

1.5 Antal højttalere

Når en klinik skal vælge en løsning til frit felts opstillinger, er der flere mulighedder. I nogle tilfælde vil det være nok med én højttaler, i andre ønskes der måske tre. I specielle tilfælde kan der være ønske om, at have mere end tre højttalere.

1.5.1 Enkelt højttaler

Løsningen med en enkelt højttaler er mest relevant for den mobile klinik beskrevet i case 2 i afsnit 1.3.4. En sådan løsning vil være den mest oplagte af de tre (enkelt højttaler, tre højttalere og mere end tre højttalere), til et mobilt system. Dog kan nogle klinikker med egne lokaler også have gavn af denne løsning, hvis omkostningerne er for store ved et større system eller der ikke er plads i klinikkens lokaler. Denne løsning vil tillade at undersøge en HA brugers taleforståelighed og mulighed for at forstå tale i støj. Den er dog begrænset, i det at der med en sådan sådan løsning ikke er mulighed for at teste forbedringer med høreapparater med retningsbestemte mikrofoner. Dette skyldes at høreapparatet i dette tilfælde i kan skille støj og tale fra hinanden i rummet.

1.5.2 Tre højttalere

Denne løsning er meget oplagt til scenarioet med en klinik med egne lokaler, som beskrevet i case 1 og 2 i afsnit 1.3.4. Dette giver mulighed for de samme undersøgelser, som med en højttaler. Desuden tillader det også at efterteste et høreapparats støjadskillelse med retningsbestemte mikrofoner, som ikke er muligt med en enkelt højttaler. Denne løsning vurderes til at være det bedste kompromis, af de her tre præsenterede løsninger. Desuden anbefales der i ISO 8253-3, at bruge opstillinger med tre højttalere, til undersøgelser med tale i støj [10].

1.5.3 Mere end tre højttalere

Hvis der anvendes mere end tre højttalere, er der mulighed for at teste bla. retningsbestemmelse. Denne opstilling kan især være relevant når der er tale om CI patienter, som skal have genoptrænet retningsbestemmelses evnen. For børn med CI, kan der være tale om at skulle optræne retningsbestemmelse helt fra bunden. Her er et system med flere end tre højttalere, placeret rundt omkring patienten, nødvendig for at kunne gengive lyd i flere retninger (flere vinkler både foran og bag patienten og også op og ned).

1.6 Kravspecifikation

I dette afsnit, vil kravene for en løsning med en fast opstilling og en løsning med en mobil opstilling, blive specificeret. På baggrund af undersøgelsen af forskellige klinikker, kan det konkluderes, at de klinikker der ikke besidder en fritfelts opstilling, heller ikke har en effektforstærker. Dette lægger op til, at lave en højttaler med indbygget forstærker. Desuden var højttalerne på de klinikker, der havde fritfelts opstillinger, aktive. Derfor vælges det, at stille krav til at højttalerne designet i dette projekt også skal være aktive.

	Specifikationer	Forhold
Generelle krav		
Frekvens-respons*	For hvert 1/3 oktavbånd med centerfrekvenser fra 125 Hz til 4 kHz: Maksimum afvigelse på ± 5 dB re. gennemsnittet af alle 1/3 oktavbåndssignalerne fra 125 Hz til 4 kHz. For hvert 1/3 oktavbånd med centerfrekvenser fra 4 kHz til 8 kHz: Maksimum afvigelse på ± 8 dB re. gennemsnittet af alle 1/3 oktavbåndssignalerne fra 125 Hz til 4 kHz.	Testsignal: lyserød støj. 1 m eller i referencepunktet**
THD	Maksimum 3 % ved 80 dB SPL. Maksimum 10 % ved 100 dB SPL.	1 m eller i referencepunktet**
Fast opstilling		
Montage	Skal kunne monteres på en væg.	
Interface	Følgende indgange skal forekomme: Analog lydindgang. Indgang til forsyning.	
Mobil opstilling		
Forsyning	Batteridrevet.	
Interface	Følgende indgange skal forekomme: Analog lydindgang. Trådløst audio interface. (Bluetooth, wifi osv) Indgang til forsyning/opladning.	
	*Fra IEC 60645-1, men for hele systemet (audiometer, forstærker og højttalere). Her antages at audio interface har negligerbar indflydelse på lyden. ** Lyttepositionen under audiometrien ved en given opstilling.	

Æstetiske krav: Udseendet af højttalerne er valgt af forfatterne af denne rapport. Der er valgt at have fokus på et lydboble koncept. Dvs. at højttalerkabinetterne tager udgangspunkt i at være en bobble/forhøjning på væggen, hvor de er monteret. På en flad væg er dette umildbart en simpel kuglekalot. Når der skal monteres en højttaler i et hjørne, opstår der problemer i at basere denne på en kugleform. Der skal holdes fast i de

runde former - der stilles her ikke yderligere krav til udseendet af denne.

Krav til dimensioner vælges til at være løse, men fronten af en boble skal holdes så tæt på væggen som muligt, men uden at diameteren af denne bliver "meget" stor.

Grundet kravet om et frekvensrespons mellem 125 Hz og 8 kHz, antages det, at der kan nøjes med at bruges én fuldtone højttalerenhed. Valget af højttalerenhed bliver undersøgt nærmere i afsnit 2.2.

Højttalerdesign 2

I dette kapitel redegøres der for designet af højttalere til taleaudiometri, baseret på den udledte kravsspecifikation. Der dykkes ned i et koncept med lydbobler. Der bliver undersøgt højttalerenheder og design af højttalerkabinetter med og uden basrefleksport. Til sidst samles og testes de designede højttalere.

2.1 Koncept: Lydbobler

Som tidligere nævnt, ønskes der at lave "lydbobler". I dette afsnit vil der blive uddybet, hvordan dette kan udføres. Desuden vil der blive set på nogle af de problemstillinger der kan være med til at placere højttalere i eksisterende klinikker. Konceptet med "lydbobler", er tænkt som bobler/forhøjninger på væggene, hvor der er skjult en højttaler i. Disse forhøjninger skal være i form af kuglekalotter.

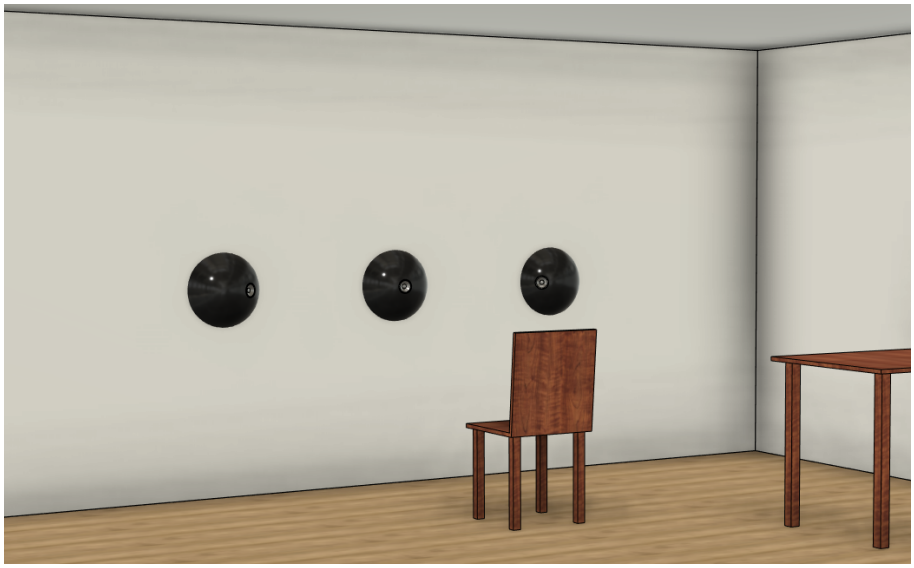
Figur 2.1: Eksempel på "lydbobler", placeret i et hjørne.

På figur 2.1 ses en opstilling med "lydbobler" som vil passe til case 1 (afsnit 1.3.4). På billedet er denne ene enhed, monteret midt på "lydboblerne". Som vist ved case 1, skal audiologisten sidde ved skrivebordet og betjene udstyret til målingen, mens HA brugeren sidder foran højttaleropstillingen og kigger lige ind i højttaleren i hjørnet.

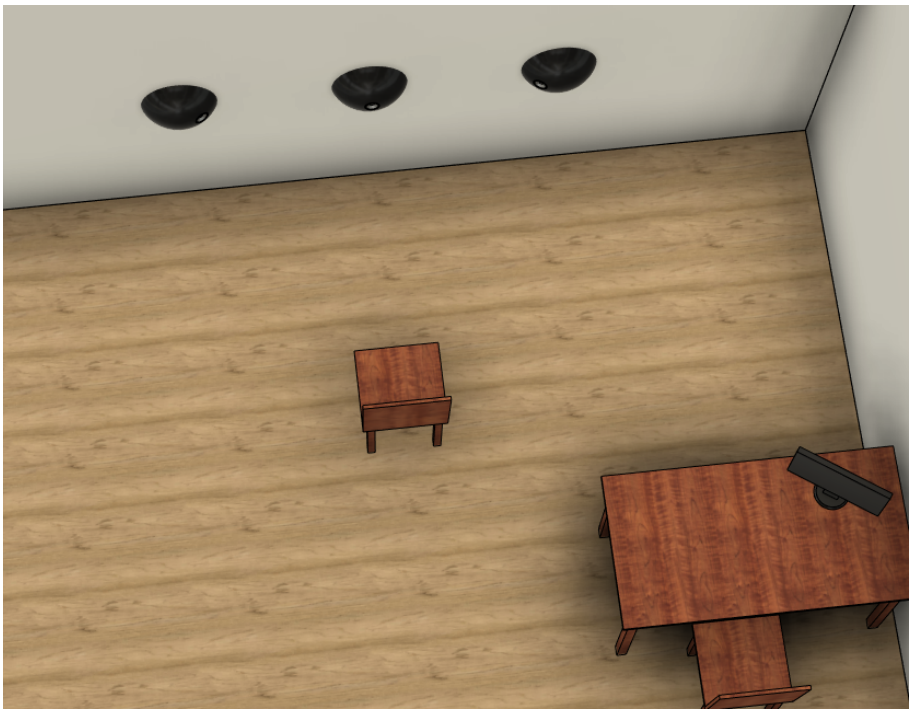
Figur 2.2: Hjørneopstillingen oppe fra.

På figur 2.2 ses samme hjørneopstilling oppe fra. Her kan det ses, at højttaleren i hjørnet er større for at give den samme volumen som højttalerne på de flade vægge. Dette skyldes, at det her er en kvart kugle, i stedet for en halv.

Til case 2 (afsnit 1.3.4) kan der benyttes en opstilling som vist på figur 2.3 og 2.4. Her er "lydboblerne" placeret fladt på væggen foran HA brugeren, med højttaler enhederne vinklet ind mod denne.



Figur 2.3: Eksempel på "lydbobler", placeret på en flad væg.



Figur 2.4: Opstilling på flad væg, oppe fra.

Når sådanne højttaleropstillinger skal laves i eksisterende klinikker, kan der være flere problemer. Bla. kan mangel på vægplads være en grund til at vælge en opstilling i et hjørne, i stedet for på en flad væg. Andre problemer kan fx være kabelbakker på væggene eller andre forhindringer. Et eksempel, på hvordan dette kan løses, ses på figur 2.5.

Figur 2.5: Opstilling i hjørne, med kabelbakke.

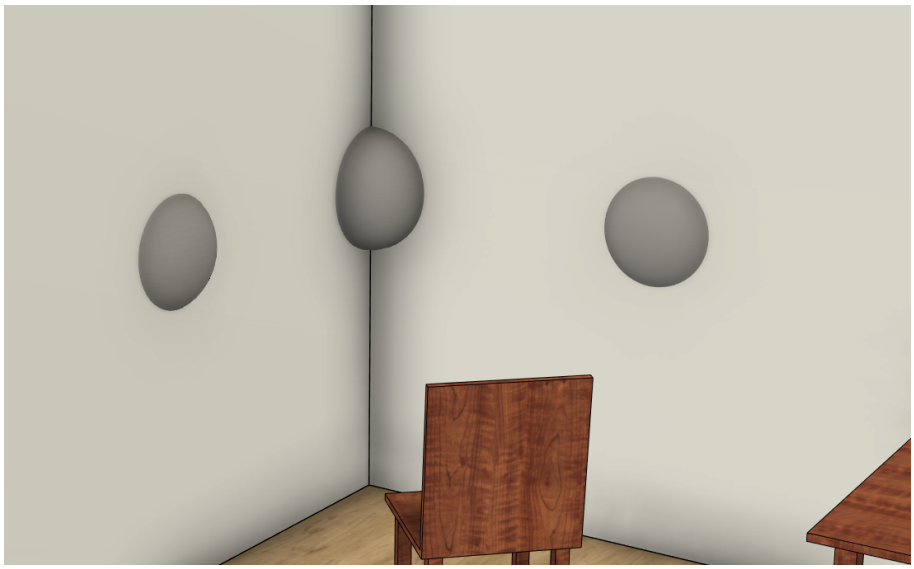
Her "løber" to af boblerne uden om kabelbakken (højttaleren til venstre og i hjørnet), af denne grund er de også illustreret større, da der skal kompenseres for den kabinetvolumen dette stjæler. På samme måde ville der kunne kompenceres for andre objekter, der potentielt kunne sidde i vejen for en installation.

Hvis det slet ikke er muligt, eller det af æstetiske årsager ikke ønskes at montere højttalerne

i øjenhøjde med HA brugerens siddeposition, kan "lydboblerne" eventuelt placeres som vist på figur 2.6.

Figur 2.6: Opstilling i hjørne, under loft.

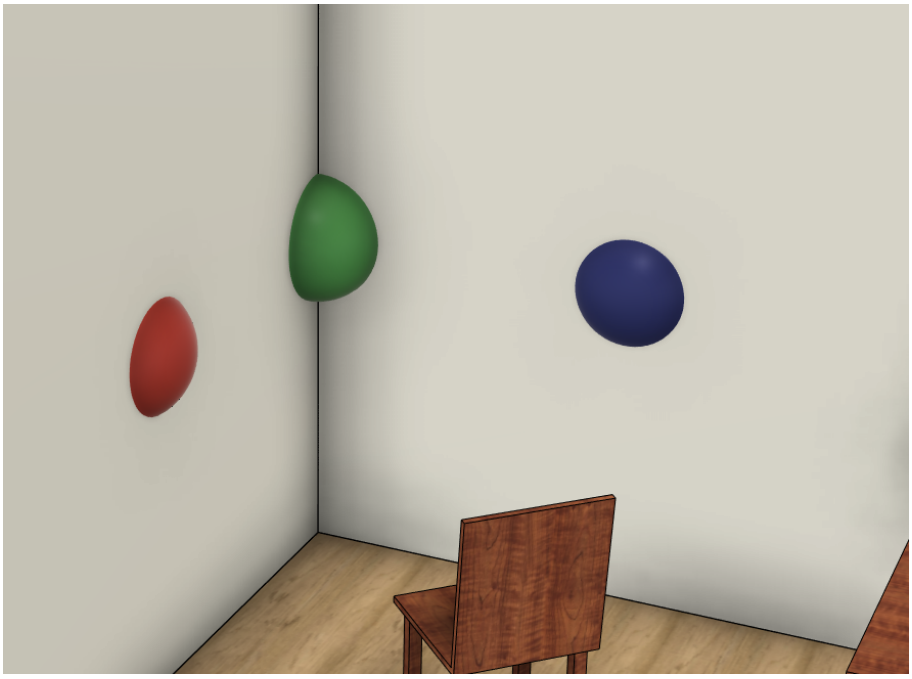
Indtil nu er højttalerne illustreret som sorte sfærer med en synlig højttalerenhed i. Dette har været for at gøre det nemmere at se, hvad der blev beskrevet. For at gøre højttalerne mere diskrete/pæne, kan de eventuelt beklædes i stof med samme farve som væggene de monteres på. Dette er illustreret på figur 2.7.



Figur 2.7: Højttalere beklædt med stof.

Dette både skjuler selve højttalerenheden og gør, at højttaleren falder mere i med sine

omgivelser. Hvis klinikken gerne vil gøre opstillingen mere spændende at kigge på, kan højttalerne eventuelt beklædes med stof i andre farver. Eksempler kan ses på figur 2.8.



Figur 2.8: Højttalere beklædt med stof i forskellige farver.

2.2 Valg af højttalerenhed

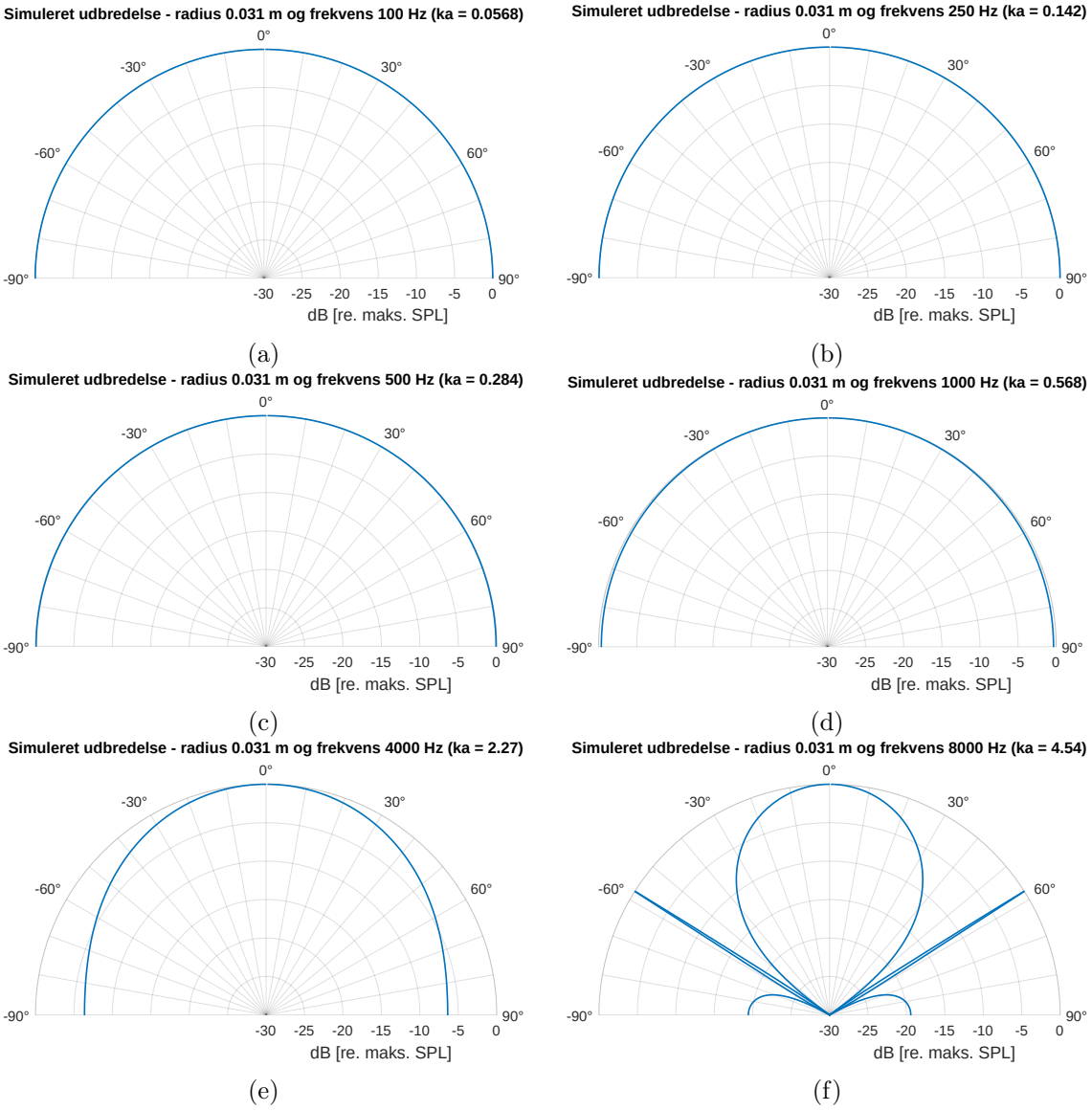
Det ønskes at finde en fuldtone-enhed til højttalerdesignet. Dette gør design og beregninger mere simpelt og vurderes tilstrækkeligt grundet det relativt smalle frekvensbånd, der er beskrevet i kravspecifikationen, afsnit 1.6.

Valget af højttalerenhed er først og fremmest baseret på, hvad der har været tilgængeligt. Her er der kigget på Vifa M10MD-39-08 og Visaton FRS 8M, da disse har været tilgængelige på universitetet. Baseret på læsning af datablad vælges FRS8M enheden, da denne kan gå længere ned i frekvens (150 Hz mod ca. 300 Hz for Vifa-enheden). Billeder af den valgte højttalerenhed kan ses på figur 2.9:

(a) (b)

Figur 2.9: Visaton FRS 8M set fra henholdsvis front og side.

Efter valg af højttalerenhed er udbredelseskarakteristikken for enheden simuleret. Enheden har en diameter på 6,3 cm, og udbredelseskarakteristikken for udvalgte frekvenser kan ses på figur 2.10:



Figur 2.10: Simuleret udbredelseskarakteristik af den valgte højttalerenhed i baffle, ved udvalgte frekvenser.

Det ses, at højttalerenheden bliver mere direktiv over 4000 Hz. Yderligere ses en tydelig direktionalitet ved 8000 Hz. Eftersom højttaleropstillingen skal bruges til taleaudiometri - og dermed talesignaler - vurderes det, at den øgede direktivitet over 4000 Hz ikke gør enheden uanvendelig. Dette skyldes, at den vigtigste information i tale ligger under 4000 Hz. Derudover sidder testpersonen direkte ud for alle højttalere, hvor afvigelser er minimale - givet at testpersonen sidder stille.

I tabel 2.1 ses de vigtigste højttalerparametre, som senere benyttes til simulering af lavfrekvensrespons:

$Q_{TS}[\cdot]$	0.49
f_s [Hz]	125
V_{AS} [L]	1.1
S [cm^2]	29
M_{MD} [g]	17
C_{MS} [m/N]	922e-6
x_{MAX} [mm]	2.5

Tabel 2.1: Højttalerparametre for Visaton FRS 8M, der skal bruges til simulering og design.

Betydningen af parametrene uddybes i det følgende afsnit.

2.3 Lukket kabinet eller basrefleks

Til højttalerkabinet overvejes både lukket kabinet/trykkammer og kabinet med basrefleks/port.

Lukket kabinet overvejes, idet designproces - både mht. simuleringer og 3D-tegning - forsimples. Kompromiset ligger i et større kabinet samt en større nødvendighed for korrektion i det lavfrekvente for at opnå et respons, der opfylder kravene.

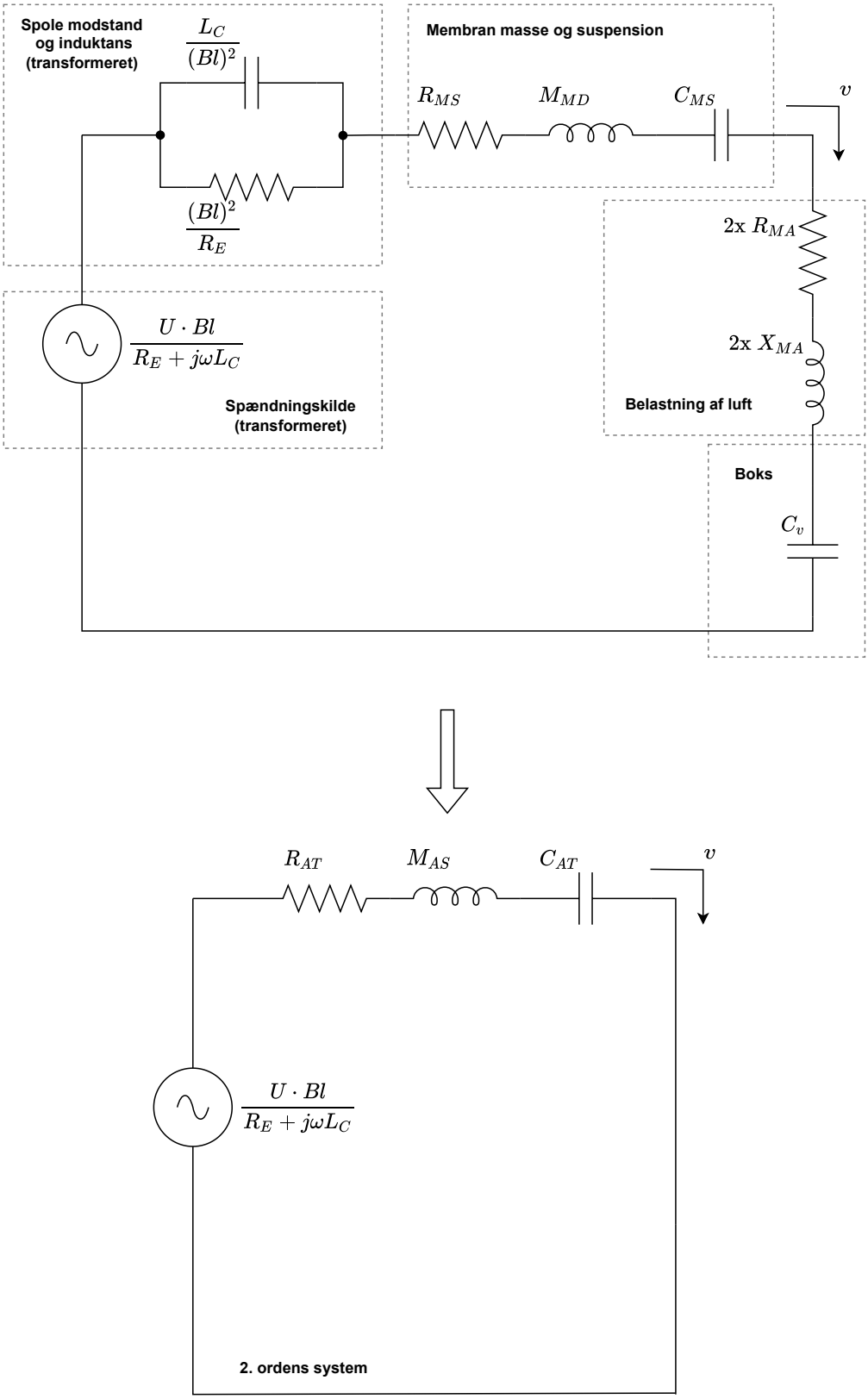
Alternativet er et kabinet med basrefleks. Dette gør udregningerne af kabinetvolumen mere komplekse, tilføjer udregning af størrelsen af basrefkles og gør selve 3D-tegning og samling af kabinettet vanskeligere. Til gengæld kan et bedre lavfrekvensrespons opnås. I de følgende underafsnit præsenteres højttalermodeller for en højttaler monteret i henholdsvis et trykkammer og i kabinet med basrefleks, og lavfrekvensresponset for de to kabinetdesign simuleres med den valgte højttalerenhed.

2.3.1 Modeller for højttaler i boks

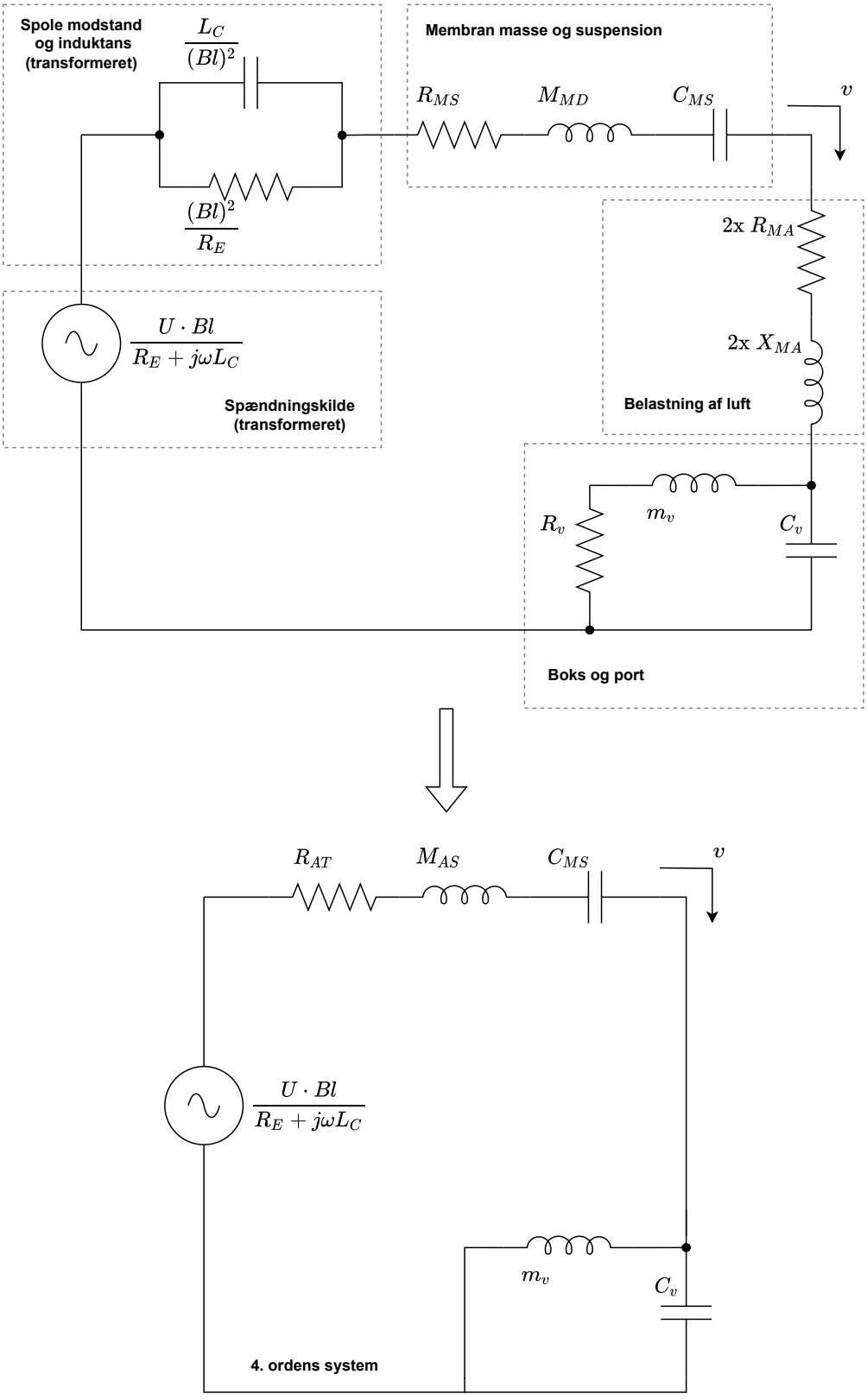
For at vurdere om der er behov for et kabinetdesign med basrefkles, simuleres lavfrekvensresponset af den valgte højttalerenhed sat i en boks, henholdsvis med og uden basrefleks. Hertil benyttes velkendte højttalermodeller beskrevet i videnskabelige artikler fra Thiele og Small. Kredsløbet på venstre side af figur 2.11 er en elektro-mekanisk model for en højttalerenhed monteret i en lukket boks. Inkluderet i modellen er højttalerspolens elektriske elementer transformeret til mekanisk ækvivalent, højttalerens membranmasse, suspension modstand og eftergivenhed samt det mekanisk-tranformerede ækvivalent af den akustiske impedans/luftimpedans. Disse udgør modellen for en højttalerenhed monteret i en uendelig baffel. Ved at udvide modellen med boksens eftergivenhed (C_v på figuren) fås modellen for højttaler monteret i lukket boks. For lettere at benytte modellen til simulering, reduceres modellen ved at fjerne neglegerbare elementer fra modellen (set fra et lavfrekvns-perspektiv). Først fjernes højttalerspolens induktans (L_c på figuren), da denne hovedsageligt har betydning for responset i højere frekvenser, end dem der er et ønske om at simulere for. Dernæst fjernes luftmodstanden (R_{MA} på figuren), da denne har en neglegerbar størrelse ift. de andre modelelementer. Dette er en fordel, da luftmodstanden er frekvensafhængig og derfor ville gøre simulering mere komplekst. Sidst sammenlægges

elementerne til totale modstande, masser og eftergivenheder, hvilket resulterer i anden-ordens-systemet, der ses til højre på figur 2.11.

Modellen for højttaler monteret i boks med basrefleks ses på figur 2.12. Massen af luften i porten og modstanden i denne er tilføjet i parallel med boksens eftergivenhed. Her ses igen hele modellen og den reducerede model til højre på figuren. Modstanden af luften i porten (R_v på figuren) neglegeres her, for senere at blive taget højde for, når der vælges, hvor stor indflydelse lækager i højttalersystemet forventes at have. Resultatet bliver et fjerde-ordens-system.



Figur 2.11: Electro-mekanisk model for en højttaler monteret i en lukket boks og tilhørende reduceret model.



Figur 2.12: Electro-mekanisk model for en højttaler monteret i en boks med basrefleks og tilhørende reduceret model.

Fælles for de to modeller er, at disse lavfrekvens systemer kan reduceres til få parametre, der beskriver hele filtersystemet/-responset. For det lukkede kabinet kan responsfunktionen for kredsløbet på figur 2.11 reduceres til følgende:

$$G(s) = \frac{s^2 T_C^2}{s^2 T_C^2 + s\frac{T_C}{Q_{TC}} + 1} \tag{2.1}$$

Her er T_C tidskontanten for lukket-kabinet højttalersystemet, og denne er givet ved:

$$T_C = \frac{T_S}{\sqrt{\alpha + 1}} \ , \tag{2.2}$$

hvor T_S er periodetiden for højttalerens egenresonans, og

$$\alpha = \frac{C_{AS}}{C_{AB}} = \frac{V_{AS}}{V_B} \tag{2.3}$$

er forholdet mellem eftergivenheden af højttalerenhedens suspension og luften i kabinettet, eller forholdet mellem enhedens ækvivalentvolumen og kabinettets volumen. Q_{TC} er den totale Q for højttalersystemet, og er givet ved:

$$Q_{TC0} \approx Q_{TS} \cdot \frac{f_c}{f_s} = Q_{TS} \cdot \sqrt{\alpha + 1} \ ,$$

hvor f_c er systemets tuningfrekvens.

Der skal derfor kun bruges følgende tre parametre fra højttalerens datablad til simulering af systemet:

- f_s: Højttalerenhedens egenresonans.
- Q_{TS}: Total Q for højttalerenheden.
- V_{AS}: Ækvivalent volumen af luft, der har en eftergivenhed lig enhedens suspension.

Heraf bliver den eneste variabel at skrue på volumenet af det lukkede kabinet.

For kabinettet med basrefleks kan responsfunktionen for kredsløbet på figur 2.12 reduceres til følgende:

$$G(s) = \frac{s^4 T_0^4}{s^4 T_0^4 + a_1 s^3 T_0^3 + a_2 s^2 T_0^2 + a_3 s T_0 + 1} \ , \tag{2.4}$$

hvor T_0 er højttalerens nominelle filter-tidskonstant og a_1, a_2, a_3 er konstanter, der beskriver filterkarakteristikken. Disse fire er beskrevet ved følgende fire udtryk:

$$T_0 = \frac{T_s}{h^{\frac{1}{2}}} \tag{2.5}$$

$$a_1 = \frac{Q_L + hQ_T}{h^{\frac{1}{2}} Q_L Q_T} \tag{2.6}$$

$$a_2 = \frac{h + (\alpha + 1 + h^2)Q_L Q_T}{hQ_L Q_T} \tag{2.7}$$

$$a_3 = \frac{hQ_L + Q_T}{h^{\frac{1}{2}} QLQT} \tag{2.8}$$

Simulering af kredsløbet på figur 2.12 kan derfor udtrykkes ved følgende fem parametre:

- f_s: Resonansfrekvens af højttalerenheden.
- α: Forholdet mellem eftergivenheden af højttalerenhedens suspension og luften i kabinettet.
- h: Forholdet mellem kabinet-port tuningfrekvens og højttalerenhedens egenresonans.
- Q_T: Total Q for højttalerenheden (Q_{TS} i databladet).
- Q_L: Q-faktor, der introduceres for at tage højde for lækager højttalersystemet.

Q_L er en parameter, der ikke kan måles, før et prototype-kabinet er produceret, og der er ikke nogen præcis måde at forudberegne denne. Der er derfor en tommelfinger regel fra [13], hvor $Q_L = 7$ vælges som udgangspunkt til design. Derfor vælges dette udgangspunkt også for dette projekt.

Der findes forskellige target respons, når det kommer til tuning af et portet kabinet. I dette projekt kigges der på to specifikke: Quasi-tredje-ordens Butterworth (QB3) og fjerde-ordens Chebyshev/"Sub-Chebyshev"(C4/SC4). Fælles for disse er, at der er tale om en optimering af a-koefficienterne til det ønskede respons, med formål at opnå passende α og h værdier. Disse to skal i sidste ende bruges til udregning af kabinettet og portens dimensioner. Ved reduktion af udtrykkene for a-koefficienterne, fås følgende udtryk for α og h:

$$\alpha = \frac{h(Q_L Q_T a_2 - 1)}{Q_L Q_T} - 1 - h^2 \tag{2.9}$$

$$h = \frac{a_3 Q_L - a_1 Q_T}{\frac{Q_L}{Q_T} - \frac{Q_T}{Q_L}} \tag{2.10}$$

2.3.2 Højttalerberegning: Lukket kabinet

Til beregning af det lukkede kabinet og respons er der forskellige procedurer. Forskellen i udregning ligger i udgangspunktet. Der vælges en kendt værdi for enten α, Q_{TC0} eller volumen. Her er tre eksempler - et for hvert udgangspunkt. Til alle beregningseksemplerne benyttes følgende ligninger, taget fra Smalls paper [14]:

$$V_B = \frac{V_{AS}}{\alpha}, \tag{2.11}$$

hvor V_B er kabinetvolumen, V_{AS} er en volumen af luft, hvis eftergivenhed er ækvivalent til eftergivenheden af højttalerenheden og α er resonansforholdet.

$$\frac{Q_{TC0}}{Q_{TS}} \approx \frac{f_c}{f_s} = \sqrt{\alpha + 1}, \tag{2.12}$$

hvor Q_{TC0} er den totale Q for højttalersystemet, når generator udgangsmodstand $R_g = 0$, og f_c er kabinettets egenresonans.

Fra ligning 2.12 kan følgende to sammenhænge udledes:

$$\alpha = (\frac{f_c}{f_s})^2 - 1 \tag{2.13}$$

$$\alpha \approx (\frac{Q_{TC0}}{Q_{TS}})^2 - 1 \tag{2.14}$$

Fremgangsmåde 1: vælg $\alpha = 3$: I Smalls paper nævner han, at en god værdi for α er 3 eller over. Begrundelsen for dette er den resulterende kabinetstørrelse V_B. For værdier under 3 bliver kabinetstørrelsen så stor, at luften i kabinettet mister sin "suspension-effekt.

Med $\alpha = 3$ kan kabinetvolumen direkte udregnes:

$$V_B = \frac{1{,}1\,\mathrm{L}}{3} \approx 0{,}367\,\mathrm{L}$$

Ved isolation af f_c i ligning 2.13, kan tuningfrekvensen af kabinettet udregnes:

$$f_c = f_s \cdot \sqrt{\alpha + 1} = 125 \cdot \sqrt{3 + 1} = 250\,\mathrm{Hz}$$

For at beregne knækfrekvensen for det resulterende system (-3 dB), udregnes Q_{TC0} ved isolation i ligning 2.14:

$$Q_{TC0} \approx Q_{TS} \cdot \sqrt{\alpha + 1} = 0.49 \cdot \sqrt{3 + 1} = 0.98$$

Den fundende værdi kan da indsættes i udtrykket for knækfrekvensen, givet i Smalls paper:

$$f_{-3dB} = f_c \cdot \sqrt{\frac{1/Q_{TC0}^2 - 2 + \sqrt{(1/Q_{TC0}^2 - 2)^2 + 4}}{2}} \approx 198\,\mathrm{Hz}$$

Fremgangsmåde 2: vælg $Q_{TC0} = \frac{1}{\sqrt{2}}$: Udgangpunktet i Q_{TC0} tager udgangspunkt i et maksimalt flat 2. ordens Butterworth filter. Her ligger knækket i samme frekvens, som kabinettets egenfrekvens (ses i de følgende udregninger).

Ved isolation af α i ligning 2.14 og givet den valgte enheds Q_{TS} fås:

$$\alpha \approx (\frac{0.707}{0.49})^2 - 1 \approx 1.08$$

Kabinetvolumen, tuningfrekvens og knækfrekvens kan udregnes på samme måde som i fremgangsmåde 1:

$$V_B = \frac{1{,}1\,\mathrm{L}}{1.08} \approx 1\,\mathrm{L}$$

$$f_c = 125 \cdot \sqrt{1.08 + 1} \approx 180\,\mathrm{Hz}$$

$$f_{-3dB} = 177 \cdot \sqrt{\frac{1/0.707^2 - 2 + \sqrt{(1/0.707^2 - 2)^2 + 4}}{2}} \approx 180\,\text{Hz}$$

Fremgangsmåde 3: vælg $V_B = 5$: Den sidste fremgangsmåde har til formål at tjekke responset for højttalersystemet, når en ønsket volumen er given. I dette tilfælde er det for at undersøge effekten af en større højttalervolumen med den givne enhed.

Given den ønskede volumen, kan α udregnes ved isolation i ligning 2.11:

$$\alpha = \frac{V_{AS}}{V_B} = \frac{1{,}1\,\text{L}}{5\,\text{L}} = 0.22$$

Herefter kan tuningfrekvens, Q_{TC0} og knækfrekvens udregnes på samme måde, som de tidligere fremgangsmåder:

$$f_c = 125 \cdot \sqrt{0.22 + 1} \approx 138\,\text{Hz}$$

$$Q_{TC0} \approx 0.49 \cdot \sqrt{0.22 + 1} \approx 0.54$$

$$f_{-3dB} = 138 \cdot \sqrt{\frac{1/0.54^2 - 2 + \sqrt{(1/0.54^2 - 2)^2 + 4}}{2}} \approx 192\,\text{Hz}$$

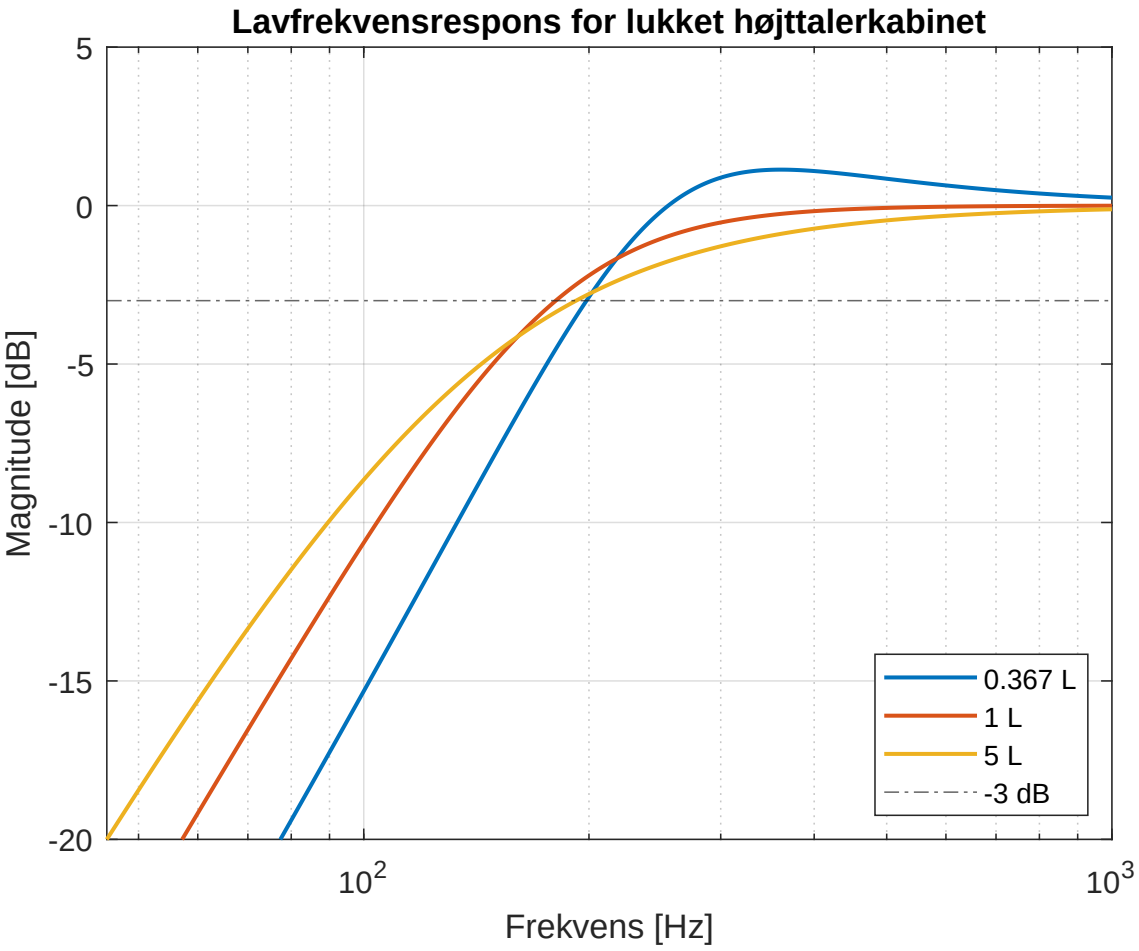
System respons: Et plot af lavfrekvensresponset for hvert af de tre eksempler kan ses på figur 2.13:

Der er taget udgangspunkt i ligning 2.1 til plot af lavfrekvensresponserne. Responset for kabinettet med den mindste volumen (blå kurve på figur 2.13) viser et boost i de laveste frekvenser før knækket. Dette kan være en fordel, idet det kræver mere effekt afsat at afspille lyd i lave frekvenser. På den måde opnår man en mere effektiv højttaler. Dog øges knækfrekvensen (relativt til et maksimalt fladt respons), og responset falder hurtigere herefter. Det modsatte er tilfældet for højttaleren med den største volumen (gul kurve). Her begynder responset at falde allerede ved en højere frekvens. Selvom -3 dB frekvensen er ca. den samme, aftager responset langsommere efter knækket. Dette gør det lettere at korrigere for manglende lavfrekvent end med den mindste volumen.

Det vurderes svært at opnå et brugbart respons ned til 100 Hz $\frac{1}{3}$-oktavbåndet med den givne højttalerenhed. I bedste fald bliver kabinettet fysisk stort, men der vil stadig være behov for en hel del kompensering, hvis et fladt højttalerrespons skal opnås, og højttaleren skal kunne spille højt nok i det lavfrekvente.

2.3.3 Højttalerberegning: Kabinet med basrefleks

Til beregningerne med basrefleksen er der lavet et script i MATLAB. Scriptet er baseret på formler fra Small's papers [13] og en praktisk gennemgang givet af [15]. Relevante formler og procedurer præsenteres her.



Figur 2.13: Lavfrekvensrespons for de tre forskellige kabinetberegninger.

QB3 justering:

Følgende forhold mellem filtercoefficienter er gældende for QB3 justering:

$$a_2 > 2 + \sqrt{2} \tag{2.15}$$

$$a_1 = \sqrt{2a_2} \tag{2.16}$$

$$a_3 = \frac{a_2^2 + 2}{2a_1} = \frac{a_2^2 + 2}{2\sqrt{2a_2}} \tag{2.17}$$

Ved omskrivning af 2.6 fås følgende udtryk, der er gældende for $h > 0$:

$$h - a_1 Q_L \sqrt{h} + \frac{Q_L}{Q_T} = 0 \tag{2.18}$$

Procedure: Det kan lade sig gøre, at lave ét stort udtryk, der udelukkende afhænger af a_2, for hvilket en rod kan løses for. Ifølge [15] er dette dog et svært problem at løse mht. computerkraft, og der foreslås en numerisk løsning vha. funktionen "fzero" i MATLAB. Denne kommer frem til en værdi af a_2 på følgende måde:

1. Vælg startværdi for $a_2 = 2 + \sqrt{2}$
2. Beregn a_1 og a_3 - ligningerne 2.16 og 2.17
3. Beregn h - ligning 2.10
4. Beregn ligning 2.18 med de fundende værdier for a_1 og h
5. Fortsæt med nye a_2 værdier, indtil ligning 2.18 giver nul

Dette er en forsimpling af processen. Funktionen "fzero"implementerer sandsynligvis algoritmer, der er mere effektive end trial-and-error.

Den fundende værdi for a_2 kan da bruges til at beregne a_1 og a_3, hvilke derefter kan bruges til at beregne h og α, ved hjælp af ligningerne 2.9 og 2.10.

C4/SC4 justering:

Følgende sammenhæng mellem filterkoefficienter er gældende for Chebyshev/"Sub-Chebyshev" justering:

$$D = \frac{k^4 + 6k^2 + 1}{8} \tag{2.19}$$

$$a_3 = \frac{k(4 + 2\sqrt{2})^{\frac{1}{2}}}{D^{\frac{1}{4}}} \tag{2.20}$$

$$a_2 = \frac{1 + k^2(1 + \sqrt{2})}{D^{\frac{1}{2}}} \tag{2.21}$$

$$a_1 = \frac{a_3}{D^{\frac{1}{2}}} \left(1 - \frac{1 - k^2}{2\sqrt{2}}\right) \tag{2.22}$$

Procedure: Som med QB3 afhænger de ovenstående udtryk udelukkende af en enkelt konstant, nemlig k i dette tilfælde. Der kan derfor på samme måde benyttes "fzero" i MATLAB. Proceduren bliver da følgende:

1. Vælg startværdi for $k = 0.95$
2. Beregn a_1 og a_3 - ligningerne 2.22 og 2.20
3. Beregn h - ligning 2.10
4. Beregn ligning 2.18 med de fundende værdier for a_1 og h
5. Fortsæt med nye k værdier, indtil ligning 2.18 giver nul

Den fundende værdi for k kan da bruges til at beregne a_1 og a_3, hvilke derefter kan bruges til at beregne h og α.

Volumen og basrefleks-dimensioner

Vigtigst er indflydelsen af de fundende parametre på de fysiske dimensioner af højttalerkabinettet. Den ønskede kabinetvolumen, eksklusiv volumen af basrefleksen, kan findes på samme måde som med det lukkede kabinet:

$$V_B = \frac{V_{AS}}{\alpha} \tag{2.23}$$

hvor V_{AS} er en volumen af luft, hvis eftergivenhed er ækvivalent til eftergivenheden af højttalerenheden.

For at undgå turbulente lyde fra basrefleksen, skal tværsnitsarealet af denne være stort nok. Fra Smalls paper [13], er følgende udtryk givet som krav til portens tværsnitsareal:

$$S_v \geq 0.8 f_B V_D \tag{2.24}$$

hvor f_B er tuningfrekvensen, og V_D er den volumen, højttalerenheden flytter på ved maksimalt udsving. Dette kan også skrives om, så kravet omfatter portens diameter:

$$d_v \geq \sqrt{f_B V_D} \tag{2.25}$$

f_B er givet ved:

$$f_B = f_s \cdot h \tag{2.26}$$

hvor f_s er højtalerenhedens egenresonans. V_D er givet ved:

$$V_D = x_{max} \cdot S \tag{2.27}$$

hvor x_{max} er slaglængden for højttalerenheden, op til hvilken den ikke forvrænger (som regel fundet i databladet) og S er højttalerenhedens effektive overfladeareal.

Fra [16] fås følgende udtryk for portlængden:

$$l_v = \frac{m_v \pi a_v^2}{S^2 \rho_0} \tag{2.28}$$

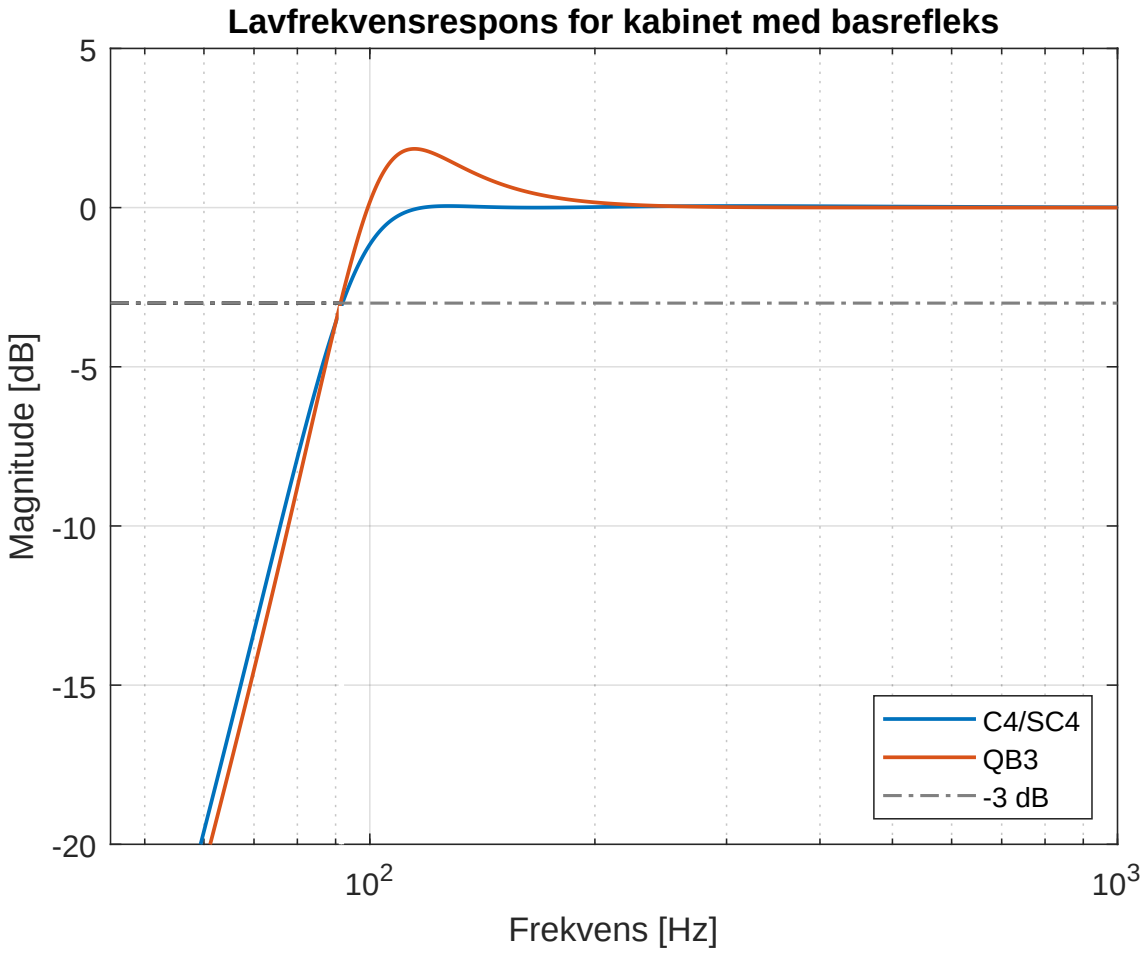
hvor m_v er trægheden af luften i porten, a_v er portens radius og ρ_0 er densiteten af luft. m_v er givet ved:

$$m_v = \frac{1}{(2\pi f_B)^2 \cdot \frac{1}{s_c}} \tag{2.29}$$

hvor s_c er stivheden af volumen i kabinettet - den reciprokke eftergivenhed. s_c er givet ved:

$$s_c = \frac{S^2 \rho_0 c^2}{V_B} \tag{2.30}$$

hvor c er lydens hastighed.



Figur 2.14: Lavfrekvensrespons for de to target responser for det portede højttalerkabinet.

På figur 2.14 ses det simulerede lavfrekvensrespons for de to kabinettuninger, samt en linje for 3 dB knækket. Tabel 2.2 præsenterer relevante specifikationer for tuningerne:

	QB3	C4/SC4
Tuningfrekvens, f_B [Hz]	106.3	102.5
Knækfrekvens, f_3 [Hz]	91.3	91.9
Ripple/peak [dB]	1.85	0.05
Portlængde, l_v [cm]	3.67	6.55
Kabinetvolumen, V_B [L]	3	2.2

Tabel 2.2: Tabel med relevante værdier for tuning af basrefleks med den valgte højttalerenhed.

Begge responser har tæt på samme knækfrekvens (omkring 91-92 Hz), men forskellige mængde ripple/peaking. For C4/SC4 tuningen er der meget lav, ripple og responset er tilnærmelsesvist fladt. For QB3 tuningen er der en peak på ca. 1.85 dB. Begge responser har deres fordele. Det ene giver et respons, der er fladt fra udgangspunktet, hvilket betyder mindre korrektion er nødvendigt ved kalibrering. Det andet respons har mere energi i det

lavfrekvente ved samme effekt afsat i højttalerenheden, hvilket giver mulighed for at opnå højere lavfrekvent lydtryk uden yderligere forvrængning grundet membranudsving. I sidste ende er der valgt at benytte C4/SC4 tuningen grundet den lettere korrektion. Yderligere kræver denne en mindre kabinetvolumen - også modregnet den længere port, for hvilken der præsenteres volumenberegninger for i senere afsnit. Dette giver derfor en mindre højttaler, hvilket æstetisk kan være en fordel.

2.4 Erfaringer med 3D print

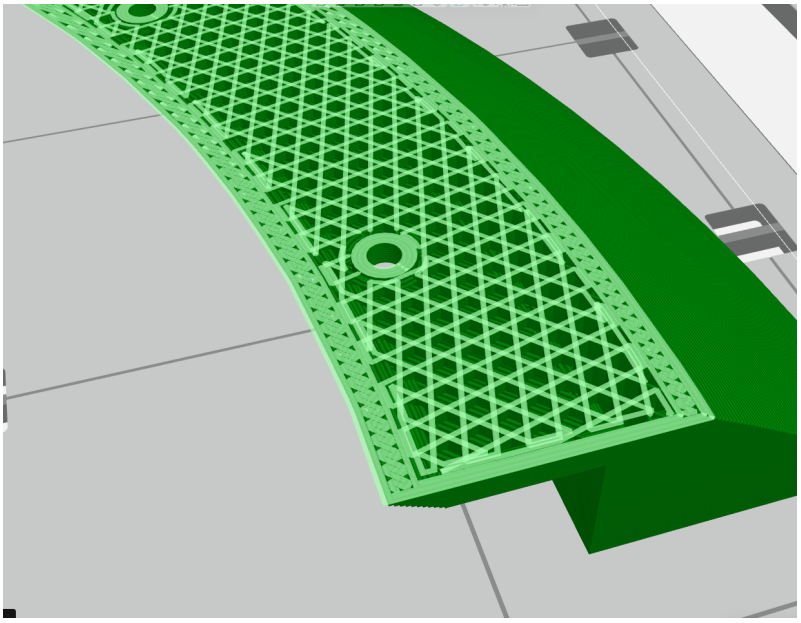
Under udviklingen af de forskellige højttaler prototyper, er der gjort nogle erfaringer med 3D print.

Et stort problem i 3D print processen er et fænomen kaldet "warping". Dette opstår når forskellige dele af det 3D printede plastik køler ned med forskellig hastighed. Når plastikken køles ned, trækker den sig sammen. Kombinationen af nedkøling med forskellig hastighed og sammentrækning kan resultere i skæve dele. Dette sker oftest i bunden af et print, hvor emnet skal binde til den plade, det bliver printet på. De første test dele til projektet blev printet på en 3D printer af typen: "Makerbot Replicator+". Ved print med denne printer, opstod der en del problemer med warping, ved print af størrer dele. På figur 2.15 ses det, hvordan den ene ende af det 3D printede emne løfter sig fra bordet, når den anden enden trykkes ned mod bordet.

Figur 2.15: 3D printet emne med warping.

Herefter blev det valgt at printe på printeren af typen: "Stratasys F170". Denne printer minimerede warping problemet så meget, at det næsten ikke var målbart mere. Dette skyldes, at denne printer har et lukket kammer, hvori den printer. Dette kammer varmes op, for at undgå ujævn nedkøling af emnet der printes. Til alle større dele i projektet er Stratasys F170 printeren derfor benyttet.

Ved 3D print, printer man sjældent massive emner. Ofte printes emnerne med en skal og et "infill" gitter. I dette tilfælde er der valgt at printe med Stratasys F170 printerens standard skaltykkelse på 1,524 mm. Til infill er der valgt at printe med et hexagonalt mønster. Dette er valgt, fordi det umildbart er lige stærkt i alle retninger. Dette øsnkes, da højttalerdelene helst skal have uniform stivhed på tværs af fladerne. Der er valgt at printe med 60% infill. Dette betyder at 60% af volumen inden for skallerne er fyldt med infill materiale.



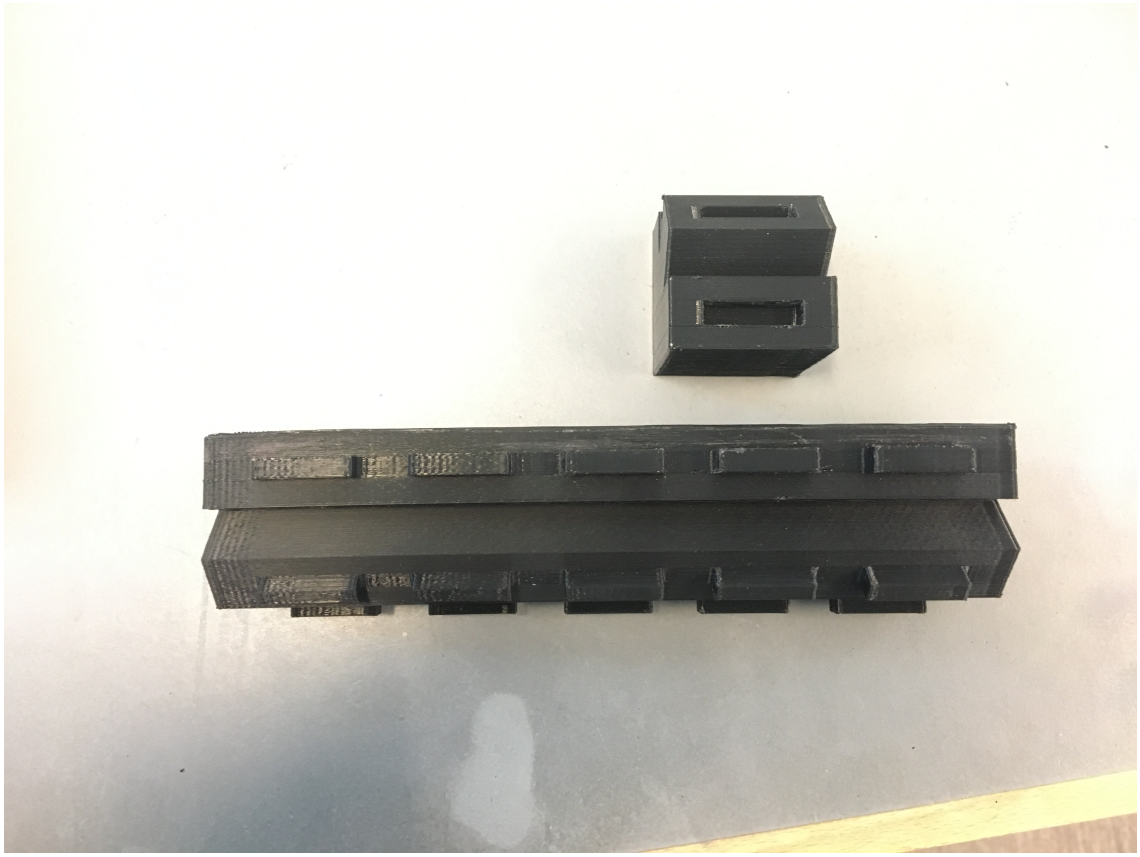
Figur 2.16: Screenshot fra slicer software, hvor vægtykkelse og infill kan ses.

Til at lime de forskellige dele af højttalerne sammen, er der valgt at bruge en lim der hedder "Würth klæbefix". Denne tørrer hurtigt, samt at den binder godt til plastikken. En fordel ved at den tørrer hurtigt, er, at der ikke er brug for at spændene delene sammen, men at de blot kan holdes i den korte tørre tid.

Til at lave samlinger der skal kunne skilles ad og samles igen, er der valgt at bruge messing gevindindsatser. Disse smeltes ned i huller i det 3D printede plastik, hvor den ru overflade sætter sig fast når plastikken køler af igen. Dette giver et gevind der kan holde til at bruges mange flere gange, end hvis der blev skruet direkte ned i plastikken. Der er lavet et testeprint, med forskellige hulstørrelser. Her er der testet hvor nemt det er at smelte en indsats i og hvor stærk denne er. Her blev der vurderet at en huldiameter på 3,7 mm, gør det nemt at sætte indsatsen i samtidig med at den sidder godt fast. Desuden skal der undgås at der flyder plastic ind i indsatsen, som ville gøre at man ikke kan skrue skruen i. Der blev testet hvor stærk denne samling var, ved at skrue en skrue i en indsats og herefter trække i denne med en tang. Der blev trukket indtil noget gik i stykker og i dette tilfælde var det selve 3D printet der gik i stykker og ikke samlingen mellem indsats og 3D print.

Dette er rigtig godt, da styrken af 3D printet som er brugt ved testen kan øges.

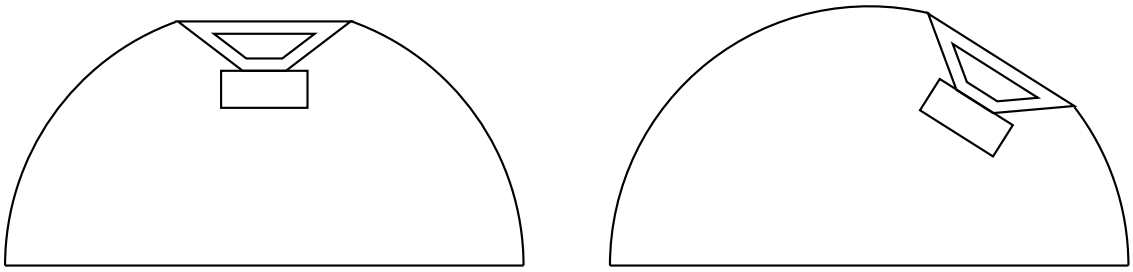
Ved print af større dele, kan der være brug for at dele højttaleren op i flere dele. For at sikre at disse bliver samlet korrekt, er der valgt at bruge en løsning med not og tap. For at sikre at disse passer sammen, er der printet et testprint med forskellige størrelser af tapper og en fast not. Ud fra disse blev det besluttet af der skal være 0,25 mm mellem not og tap, for at de passer præcist sammen. På figur 2.17 ses et test emne, lavet til at teste not og tap systemet.



Figur 2.17: Test af not og tap

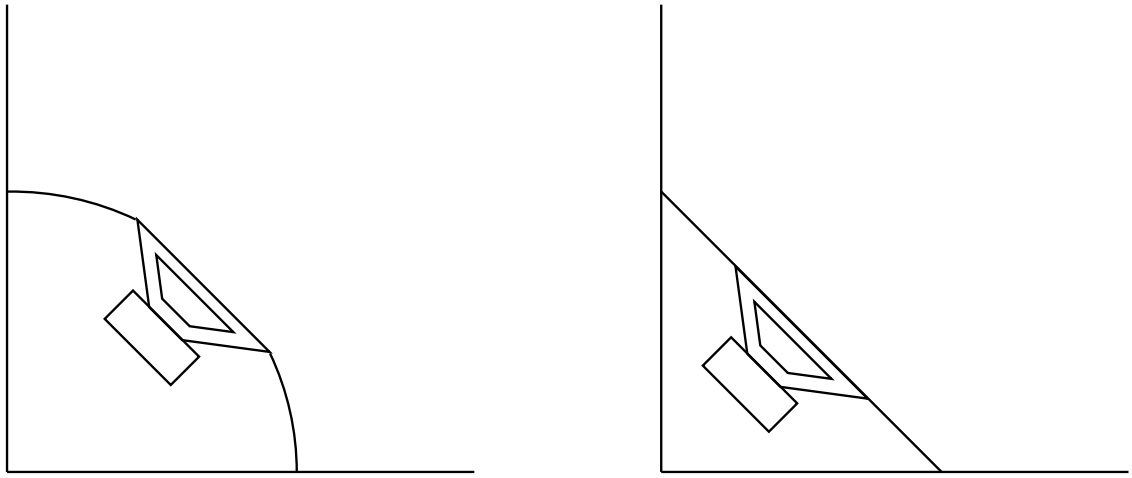
2.5 Design af højttalerkabinetter

Der skal designes forskellige højttalere til hver case. Til den første case (lille klinik, hjørneopstilling), skal der designes en sidehøjttaler, der skal sidde fladt på væggen ud for HA brugeren, og der skal designes en centerhøjttaler, der skal sidde i hjørnet foran HA brugeren. Til den næste case (stor klinik, enkelt væg) skal der designes en center højttaler, der sidder fladt monteret på væggen pegende lige frem mod HA brugeren, og der skal designes en sidehøjttaler, der tilsvarende sidder fladt monteret, men hvor selve højttalerenheden peger ud med en given vinkel. For den tredje case (mobilt setup) skal der designes en højttaler, der er transportabel og let kan sættes op ude i HA brugerens eget hjem.



Figur 2.18: Forskellen mellem den flade centerhøjttaler (venstre) og den flade sidehøjttaler (højre).

På figur 2.18 er de to typer af fladt monterede højttalere illustreret. Det vurderes, at case 1 og case 2 begge kan drage nytte af højttaleren, der monteres fladt og peger lige frem: sidehøjttaler i case 1 og centerhøjttaler i case 2. Med hensyn til hjørnehøjttaleren er der overvejet to mulige designes. Dette er illustreret på figur 2.19:



Figur 2.19: Forskellen mellem kvartkugle hjørnehøjttaleren (venstre) og den flade hjørnehøjttaler (højre) set ovenfra. Begge er buede vertikalt (dimensionen, der ikke er vist).

I det første design er højttaleren formet som en kvart kugle, mens den i det andet har en flad front med 135° til hver væg. I begge design er højttaleren buet vertikalt, men grundet den flade front bevæger det andet design sig væk fra "boble-formen. Her tænkes det, at den flade front har en blødere overgang til væggene end kvartkuglen. Derfor tages der udgangspunkt i dette designforslag.

Alt i alt skal der som udgangspunkt designes tre forskellige højttalere:

- H1: Flad center, højttalerenhed peger ligefrem.
- H2: Flad side, højttalerenhed er vinklet.
- H3: Hjørnehøjttaler, flad front.

De angivende forkortelser (eks.: H1) vil herefter henføre til beskrivelserne i listen ovenfor.

2.5.1 Volumenberegninger på interne dele

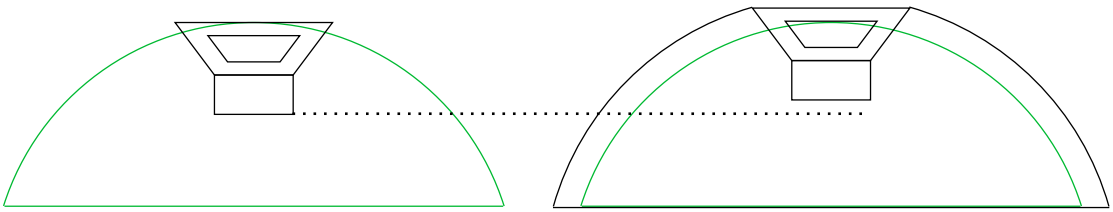
Til design af højttalerkabinetterne tages der udgangspunkt i volumenberegninger, hvor volumenerne ses på som simple geometriske former. Her skal der før dimensionberegningerne tages højde for interne elementer, der "stjæler" volumen fra den indre volumen. Følgende fire elementer tages højde for ved volumenberegning:

1. Højttalerenhed (magnet og konisk membran)
2. Inputterminal
3. Forstærkerprint
4. Basrefleks

Af disse fire vil de første tre volumener være ens for alle højttalere. Hvor stor en volumen basrefleksen kommer til at tage af den indre volumen afhænger af det specifikke højttalerdesign. Her bliver proceduren at designe kabinet og port med et estimat på hvor stor en volumen porten tager, hvorefter den designede port måles mere nøjagtig op og kabinetdimensionerne tilpasses.

Højttalerenhed

Hvor stor et volumen, som højttalerenheden stjæler fra kabinetvolumenet, afhænger af hvor dybdt højttalerenheden sidder i volumenet, hvilket afhænger af vægtykkelsen i kabinettet. Dette er illustreret på figur 2.20:

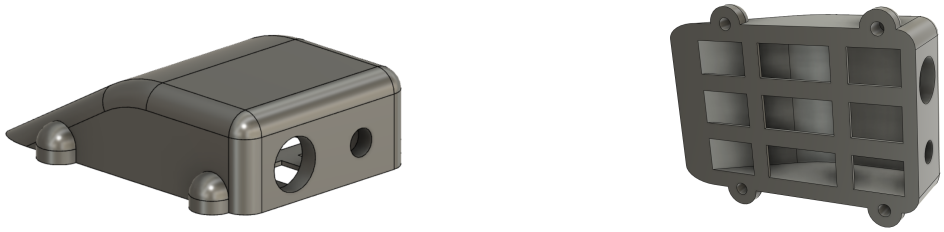


Figur 2.20: Illustration af den volumen, højttaleren "stjæler" fra højttalerkabinettet. Til venstre sidder højttalerenheden direkte på volumenet. Til højre sidder højttaleren monteret på kabinettet, så vægtykkelsen giver en forskel.

Foruden magneten vil den tragt-formede membran i højttalerenheden også tage af volumenet. En præcis volumenberegning kan lade sig gøre, men er vurderet ineffektivt mht. tidsforbrug. I stedet ses volumenet, der tages af tragten, samlignelig med volumenet, der tilføjes af hullet i kabinettet, hvor højttaleren skal sidde. Derfor vurderes det, at højttalervolumenet kan estimeres ved blot at udregne volumenet af magneten. Volumenet af magneten er udregnet ved brug af de opgivne mål på dens diameter og højde fra højttalerenhedens datablad.

Inputterminal

Inputterminalen er designet, så der kan tilkobles et lydsignal og en strømforsyning til højttaleren. Det endelige design kan ses på figur 2.21

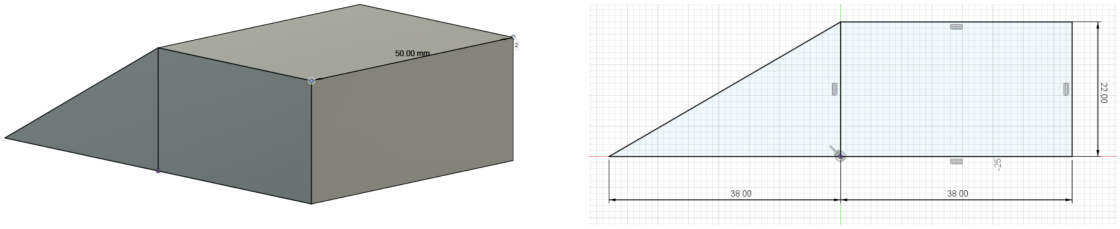


(a) (b)

Figur 2.21: Inputterminal til strømforsyning og lydsignal til højttaleren.

De to huller er dimensioneret til, at der kan monteres et phono stik og et barrel-jackstik. Oprindeligt er højttalerne designet som aktive højttalere. Det er dog kun lykkedes at anskaffe en enkelt forstærker til indbygning. Derfor er der lavet en modificeret version af terminalen vist på figur 2.21, hvor det store hul, der oprindeligt er til strømstikket, er fyldt ud. Gitteret i bunde af inputterminalen, som set på figur 2.21b, er lavet til at undgå warping af 3D-printet. Efter delen er printet, klippes denne af, og ujævnheder files væk.

Hullerne til stikkende er tætnet ved at varmlime stikkende, efter der er loddet signal og strømforsyningsledninger på stikkende.



(a) (b)

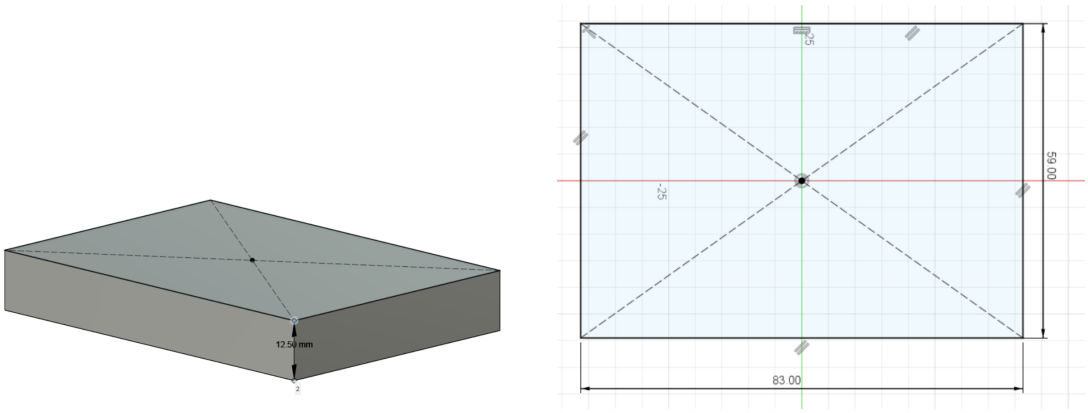
Figur 2.22: **(a)** Simpel form benyttet til at estimere terminalens volumen. **(b)** Tværsnittet af terminalestimatet.

Til beregning af terminalens volumen, er der taget udgangspunkt i den simplere form, som inputterminalen er udformet af. Denne ses på figur 2.22a. Yderligere dimensioner af volumenet ses på figur 2.22b. Volumenet er udregnet som en sum mellem en kasse og et trekantet prisme.

Afrundingerne af kanter på terminalen gør en præcis volumenberegning besværlig. Dog er dette valgt for at give mere plads mellem terminal og henholdsvis højttalerenheden og kabinettets inderside. Det vurderes at den simple volumenberegning er et rimelig estimat, idet der også tilføjes volumen fra "fødderne" på terminalen, hvor denne skal skrues fast i.

Forstærkerprint

Forstærkerprintet har en meget kompleks form, og der er en masse små luftrum mellem komponenter, der vurderes til ikke at bidrage til det indre volumen af højttalerkabinettet. Der er derfor valgt at lave en forsimpling baseret på de højeste komponenter.



(a) (b)

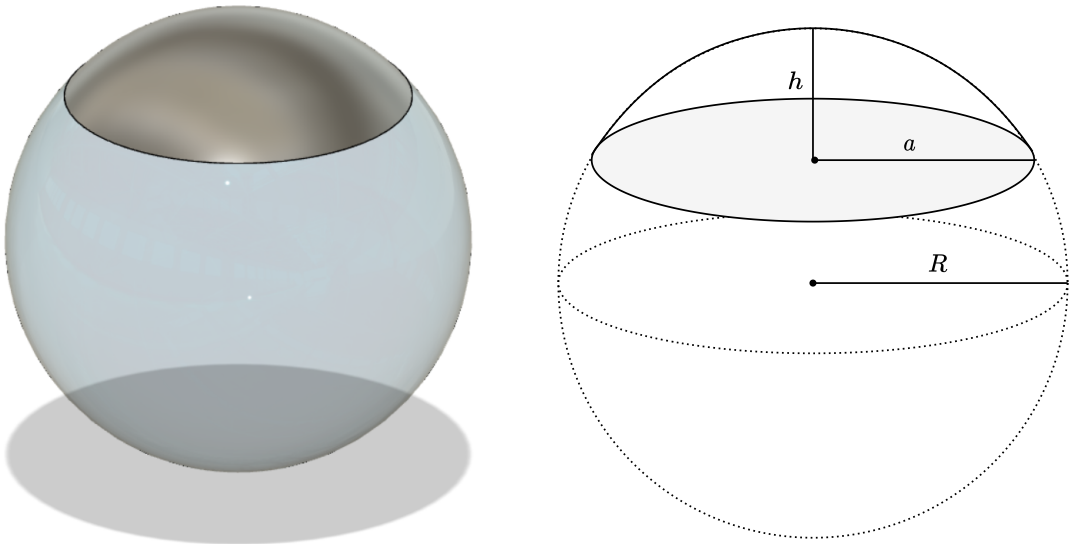
Figur 2.23: **(a)** Kasse, der benyttes til at estimere volumenet, der tages af forstærkerprintet. **(b)** Tværsnittet af kassen med dimensioner.

På figur 2.23a ses den kasse, der bruges til estimering af forstærkerens volumen. Yderligere dimensioner ses på figur 2.23b.

Disse tre volumener lægges til det volumen, der blev fundet frem til ved simuleringerne. Som sagt laves et design af basrefleks, før denne volumen modregnes totalvolumenet, hvorefter kabinetdimensionerne korrigeres.

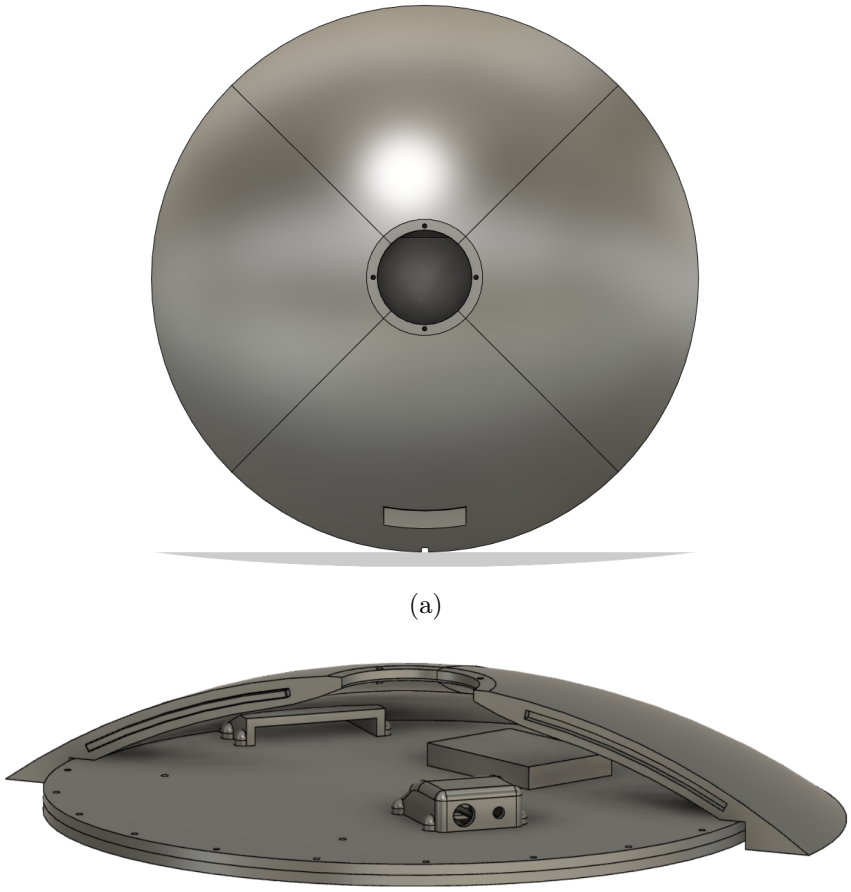
2.5.2 H1: Flad center højttaler

Designet af H1 er den simpleste, hvor hovedvolumen i kabinettet kan beregnes som volumen af en kuglekalot. En 3D-illustration og geometrisk tegning kan ses henholdsvis på figur 2.24a og figur 2.24b:



(a) (b)

Figur 2.24: **(a)** Illustration af en kuglekalot, der er udgangspunkt for volumenet i H1. **(b)** Geometri af kuglekalotten.



(a)

(b)

Figur 2.25: Det færdige design af H1 åbnet. a) Set fra fronten. b) Åben, så der kan ses både inputterminal, forstærker-estimat og basrefleks.

Volumenet af en kugle er beskrevet ved følgende udtryk [17]:

$$V = \frac{1}{3}\pi h^2(3R - h) \ , \tag{2.31}$$

hvor V er volumen af kuglekalotten, h er højden og R er radius af den kugle, kalotten er "skåret" ud af. Den nemmeste måde at tegne dette på i Fusion 360 er at finde radius af den hele kugle, hvilken kan isoleres i ligning 2.31:

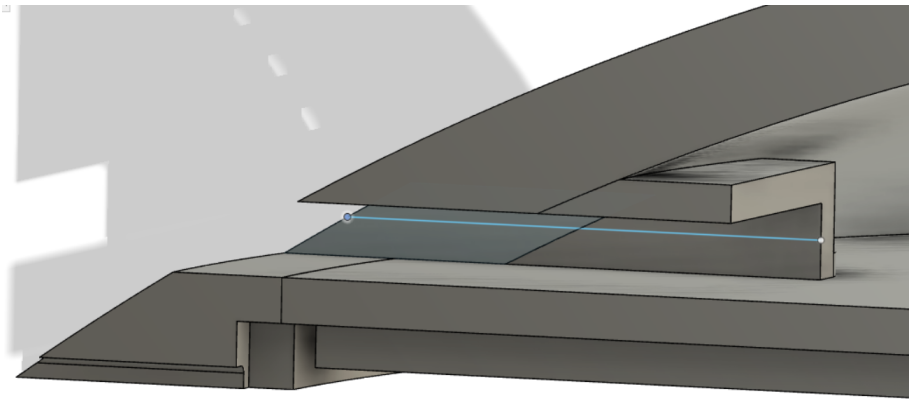
$$R = \frac{V}{\pi h^2} + h/3 \tag{2.32}$$

Højden af kuglekalotten er begrænset af højden på højttalerenheden. Her er der valgt at give kuglekalotten en højde på 46 mm for at få plads til højttalerenheden. For at få en ide om størrelsen på højttaleren, kan følgende udtryk bruges til at finde radius på kuglekalotten:

$$a = \sqrt{h(2R - h)} \tag{2.33}$$

Med dette kan H1 tegnes. På figur 2.25 ses det endelige design af H1 med de indre komponenter (bortset fra højttalerenheden) tegnet ind i højttaleren.

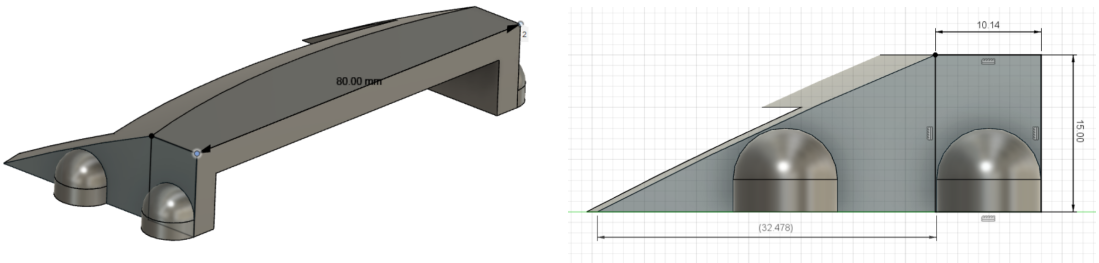
Basrefleksen i H1 er designet, så både bagpladen i højttaleren og selve kabinetvæggen bliver en del af porten. Længden er porten er designet ud fra den vertikale midte. Dette er illustreret på figur 2.26:



Figur 2.26: Tværsnit af kabinet og port-del, der sammen udgør basrefleksen. Linjen, der sidder i den vertikale midte har dimension som udregnet ved kabinetsimuleringerne.

Porten termineres ikke i en simpel flade, som det oftere er set i kasseformede højttalerkabinetter. Derfor er der valgt at længden af porten tager udgangspunkt i den vertikale midte af porten, da volumen af luften i porten derfor bliver ca. den samme, som havde porten termineret i en jævn flade vinkelret på porten.

På figur 2.27a ses porten, mens de estimerede dimensioner brugt til at beregne den volumen, porten kommer til at tage af den totale volumen, ses på figur 2.27b:



(a) (b)

Figur 2.27: **(a)** Del af porten, der sammen med kabinet udgør hele basrefleksen. **(b)** Areal af siden af port-delen. Dette bruges til at estimere volumenet af delen i kabinettet.

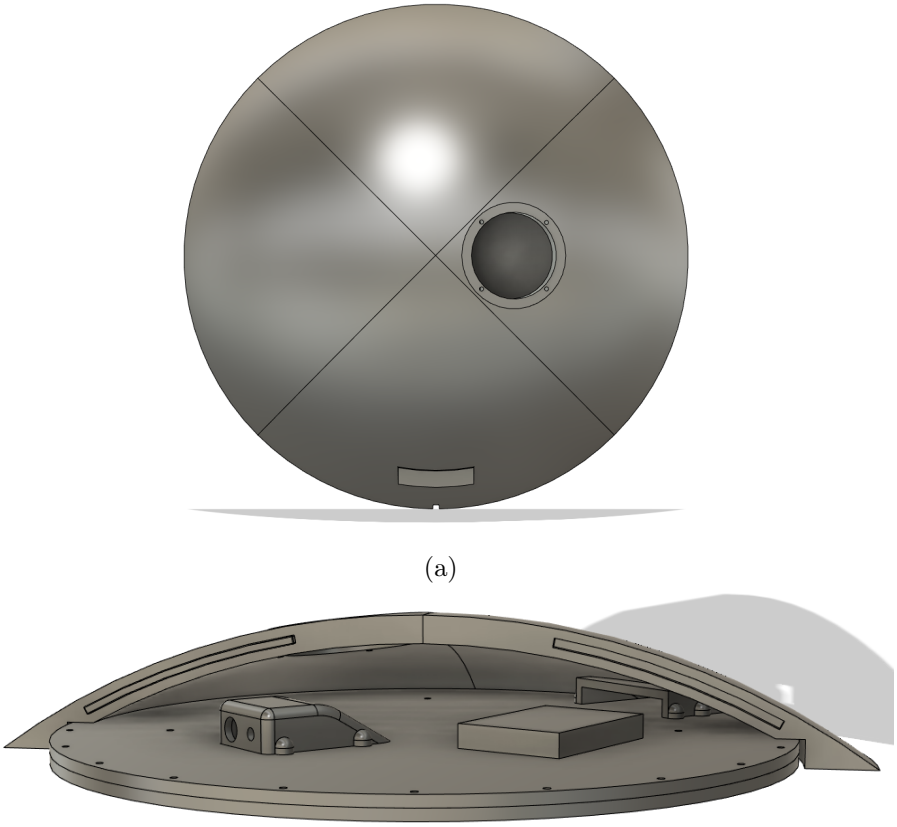
Endelig haves alle volumener, der modregnes den indre volumen i det endelige design. Følgende tabel præsenterer de relevante volumener, samt det endelige volumen af kabinettet:

H1 volumen [L]	
Luft i kabinet	2,21
Højttalerenhed	0.09
Inputterminal	0.06
Forstærkerprint	0.06
Basrefleks	0.03
Total	2.46

Tabel 2.3: Tabel over volumener i H1.

Tabel 2.3 viser de endelige volumener for interne dele, samt den nødvendige indre volumen for kabinettuning i H1.

2.5.3 H2: Flad sidehøjttaler



(a)

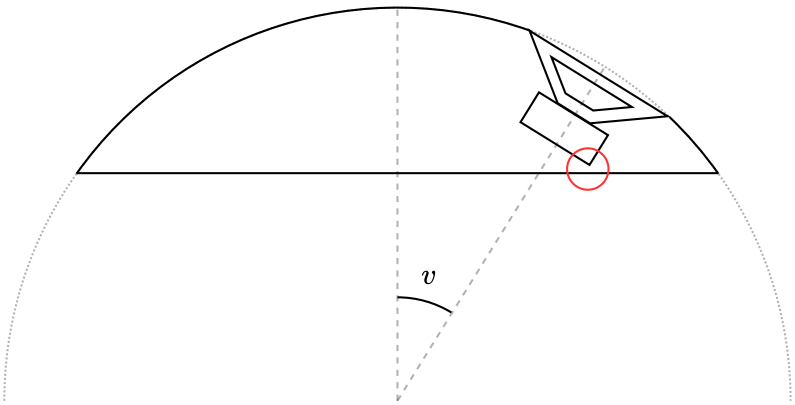
(b)

Figur 2.28: Et muligt design af H2. a) Set fra fronten. b) Åben, så der kan ses både inputterminal, forstærker-estimat og basrefleks.

H2 skal, som vist i case 2, sidde i 45° til højre og til venstre for referencepunktet. For lethedens skyld vælges der at tage udgangspunkt i H1, men hvor højttalerenheden vinkles/forskydes ud til siden. Et designforslag af H2 kan ses på figur 2.28:

Der skal dog tages højde for, at der stadig skal være mellemrum mellem højttalerenhedens magnet og bagvæggen af kabinettet. Der er derfor en grænse for, hvor langt højttaleren-

heden kan forskydes/vinkles, før dybden af kabinettet ikke er tilstrækkeligt. Problemet er illustreret på figur 2.29:



Figur 2.29: Illustration af pladsbegrænsning, når højttaleren vinkelforskydes i kabinettets ydre. Det kritiske punkt er markeret med en rød cirkel.

Afhængigt af udbredelseskarakteristikken af enheden kan det være nødvendigt at gøre boble-kabinettet dybere, for at højttalerenheden kan vinkles nok. På figur 2.28 er hullet til højttalerenheden vinklet 10° ud til siden. Her vurderes der, at der stadig er plads til enheden, uden at den støder på bagpladen. Dog mangler de 35° for at højttaleren peger direkte på referencepunktet fra en vinkel på 45°. En afvigelse kan dog potentielt korrigeres for ved kalibreringen.

Grundet begrænset tid, tages der udgangspunkt i dette design, da alle volumenberegninger og dimensionering af basrefleks er magen til dem for H1.

2.5.4 H3: Hjørnehøjttaler med flad front

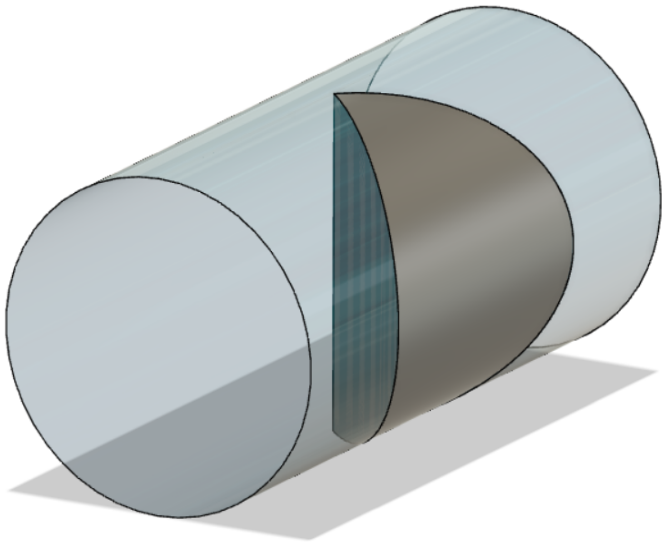
Volumenberegningerne for H3 er mere komplekse. Der er et ønske om, at højttaleren har boble-form vertikalt, men at fronten horisontalt har 135° til væggene. En måde at lave denne form på er ved at tage et udsnit af en cylinder. Dette er illustreret på figur 2.30.

Her er der taget et udsnit fra midten af cylinderen og med 90°, så formen passer i et standard hjørne. Beregning af volumen i denne form gøres ved integration over tværsnittet af højttaleren.

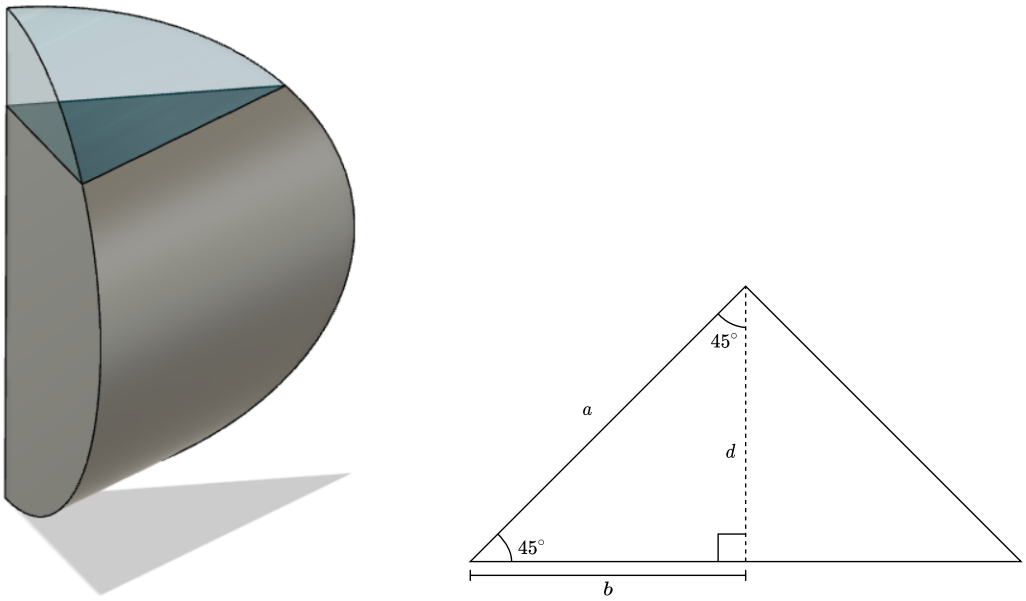
På figur 2.31a er tværsnittet af volumenet illustreret for et arbitrært punkt. Her ses det, at tværsnittet bliver en trekant, der er både ligbenet og retvinklet. Dette er tilfældet for samtlige mulige tværsnit langs volumenets vertikal. En geometrisk tegning af tværsnittet ses på figur 2.31b. Ud fra denne opstilles et udtryk for tværsnitsarealet, som funktion af højttalerdybden d. Tværsnitsarealet af en retvinklet og ligbenet trekant er følgende:

$$A = \frac{1}{2}a^2 \ , \tag{2.34}$$

hvor a er sidelængden af trekanten. Denne kan ud fra sinusrelationerne defineres ved længden af vinkelhalveringslinjen, der går gennem den rette vinkel - tilsvarende længden d - på følgende måde:



Figur 2.30: Illustration af hjørnehøjttaler som udsnit af en cylinder.



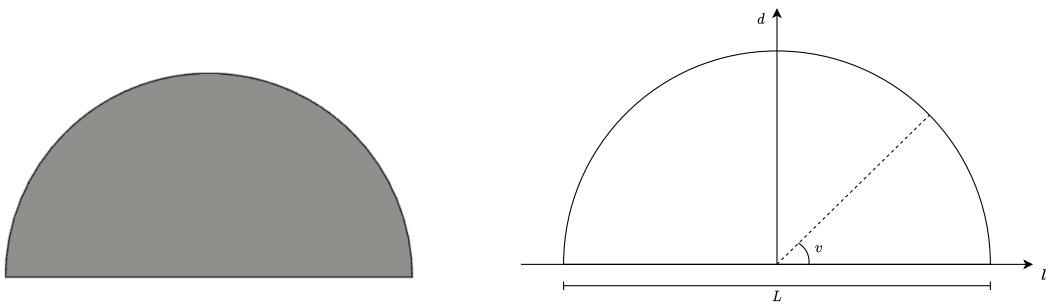
(a) (b)

Figur 2.31: (a) Illustration af tværsnittet af hjørnehøjttalervolumenet. Tværsnittet er en trekant, der både er ligbenet og retvinklet hele vejen ned gennem vertikalen af volumenet. (b) Geometri af tværsnittet.

$$a = d \cdot \frac{\sin(90°)}{\sin(45°)} \tag{2.35}$$

Indsættes formel 2.35 i formel 2.34 fås tværsnitsarealet udtrykket ved længden d:

$$A = \frac{1}{2}(d \cdot \frac{\sin(90°)}{\sin(45°)})^2 \tag{2.36}$$



(a) (b)

Figur 2.32: (a) Volumenet set fra siden og liggende. (b) Geometri af dybden af volumenet som funktion af position på længden.

På figur 2.32a ses højttalervolumenet liggende og fra siden. Dette illustrerer dybden langs volumenet. På figur 2.32b ses en geometrisk tegning af volumenets dybde. Med denne som udgangspunkt opstilles udtryk til beregning af volumenet vha. det fundende udtryk for tværsnitsarealet udtrykket ved dybden. Dybden af volumenet kan udtrykkes ved vinklen fra midten af volumenets bagkant ud til et sted på volumenets "front", samt længden af bagkanten:

$$d = \sin(v) \cdot \frac{L}{2} \ , \tag{2.37}$$

hvor v er den omtalte vinkel, og L er bagkantens længde (hvilket tilsvarer volumenets længde). Følgende udtryk beskriver forholdet mellem vinklen v og en længde l langs bagkanten:

$$l = \cos(v) \cdot \frac{L}{2} \tag{2.38}$$

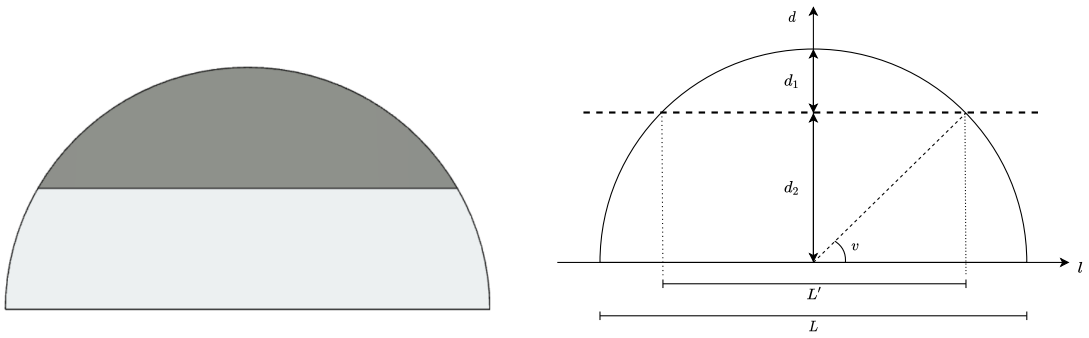
Vinklen v isoleres i formel 2.38 og resultatet substitueres ind i formel 2.37. Det resulterende udtryk er volumenets dybde d som funktion af en længde l langs volumenets bagkant:

$$d = \frac{L}{2} \cdot \sin(\cos^{-1}(l \cdot \frac{2}{L}) \tag{2.39}$$

Dette udtryk indsættes i formel 2.36, og der integreres over l i intervallet $[-\frac{L}{2}; \frac{L}{2}]$, for at få det endelige udtryk for volumenet:

$$V = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{1}{2}(\frac{L}{2} \cdot \sin(\cos^{-1}(l \cdot \frac{2}{L})) \cdot \frac{\sin(90°)}{\sin(45°)})^2 \, dl \tag{2.40}$$

For æstetikkens skyld forsøges det at lave hjørnehøjttaleren omtrent lige så lang som diameteren på H1 og H2 som første forsøg. Dette estimeres ved at gøre længden af den indre volumen af H3 lige så lang som diameteren af den indre volumen af H1 og H2. Et præcist længde-match vurderes til at være en for omfattende beregning til proof-of-concept. Det kan blive nødvendigt, at ændre dette udgangspunkt, hvis det viser sig, at der opstår problemer mht. at få plads til de indre elementer. Et udsnit fra en cylinder med en sådan diameter får for stor volumen. Derfor ses der på at lave volumenet som et udsnit forskudt fra midten af cylinderen, hvilket er illustreret på figur 2.33a, og med tilhørende geometrisk tegning på figur 2.33b:



(a) (b)

Figur 2.33: (a) Volumenet set fra siden og liggende med dybdekorrektion. (b) Geometri af dybden af volumenet som funktion af position på længden.

Den resulterende volumendybde d_1 kan udtrykkes på følgende måde:

$$d = d_1 + d_2 \leftrightarrow d_1 = d - d_2 \tag{2.41}$$

Formel 2.41 kan da erstatte d i formel 2.35, hvilket giver følgende:

$$a = (d - d_2) \cdot \frac{\sin(90°)}{\sin(45°)} \tag{2.42}$$

Udtrykket for d i formel 2.37 kan da substitueres ind i formel 2.42:

$$a = (\frac{L}{2} \cdot \sin(\cos^{-1}(l \cdot \frac{2}{L})) - d_2) \cdot \frac{\sin(90°)}{\sin(45°)} \tag{2.43}$$

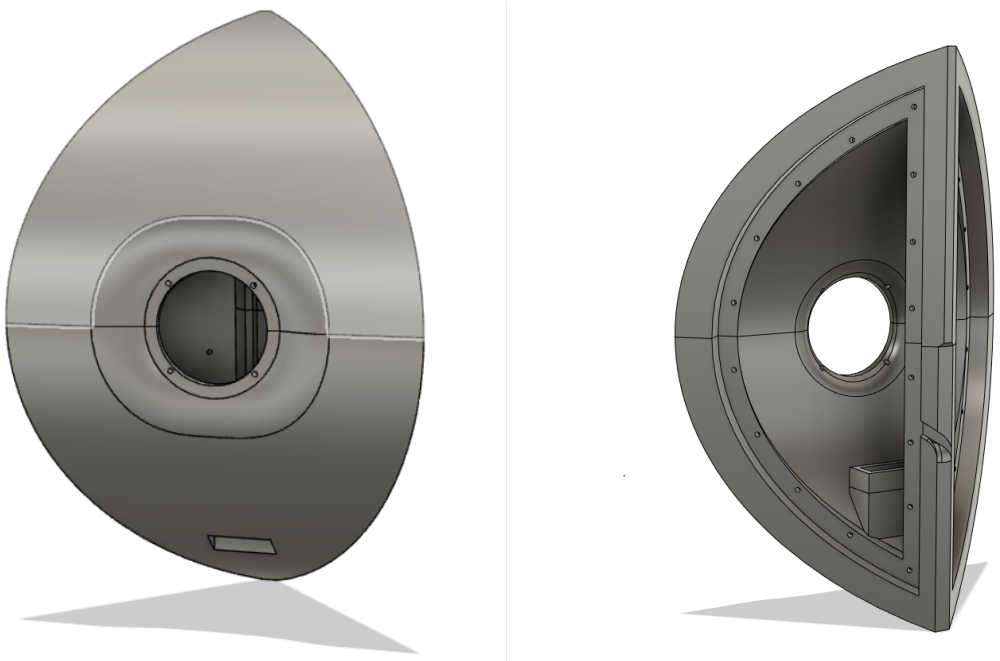
Til sidst kan volumenet udtrykkes på lignedne vis som formel 2.11, ved at indsætte 2.43 i formel 2.34 og integrere over l. Der integreres dog i stedet i intervallet $[-\frac{L'}{2} : \frac{L'}{2}]$:

$$V = \int_{-\frac{L'}{2}}^{\frac{L'}{2}} \frac{1}{2}(\frac{L}{2} \cdot \sin(\cos^{-1}(l \cdot \frac{2}{L})) - d_2) \cdot \frac{\sin(90°)}{\sin(45°)})^2 \, dl \tag{2.44}$$

Som nævnt er der valgt at lave længden af volumenet i H3 samme længde som diameteren på volumenet i H1, for tilnærmelsesvist at få kabinetter, der har samme størrelse. Af denne grund, er det nødvendigt at opstille et udtryk for den totale længde, L, som funktion af den ønskede længde på volumenet i H3 (længden L'). Dette er gjort ved at opstille et udtryk for L' som funktion af cylinderens diameter L og den resulterende volumenddybde d_1, og efterfølgende isolere L:

$$L' = 2 \cdot \frac{L}{2} \cdot \cos(\sin^{-1}((\frac{L}{2} - d_1) \cdot \frac{2}{L})) \leftrightarrow L = \frac{4 \cdot d_1^2 + L'^2}{4 \cdot d_1} \tag{2.45}$$

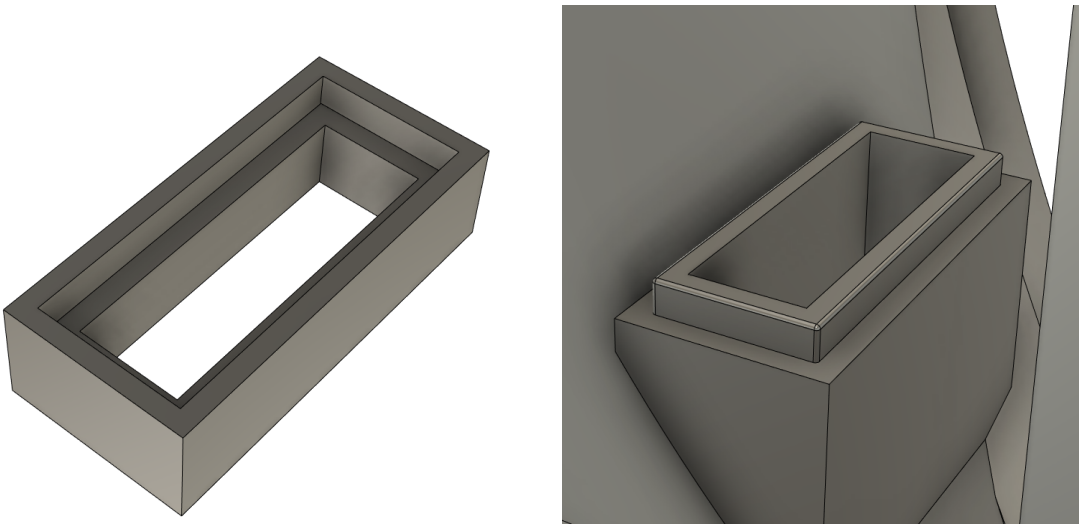
Med de opstillede formler kan der da i MATLAB løses for cylinderdiameteren L og den resulterende dybde d_1, for hvilke der opnås den korrekte længde på den indre volumen, samt den korrekte indre volumen i kabinettet.



(a) (b)

Figur 2.34: Det endelige design af H3. a) Set fra fronten. b) Set bagfra uden bagplader.

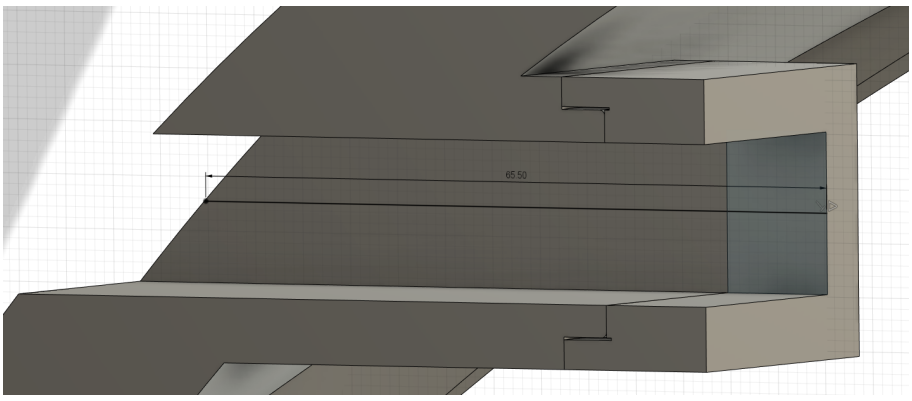
På figur 2.34 ses det endelige design af H3. Figur 2.34a viser designet fra fronten. Her ses en forsænkning ind i kabinettet, så højttaleren kan monteres på en jævn flade. Dette giver højttaleren en "tragt" -lignende form, hvor højttaleren forsænkes med omtrent 8 mm. Figur 2.34b viser designet set bagfra uden bagplader monteret. Her ses porten, der sidder nederst i kabinettet. Det ses også, at bagkanten ikke er spids, men fladet af. Dette er valgt, så der er større tolerance for, hvor skarpt et hjørne skal være, for at højttaleren kan sættes op ubesværet. Derudover er der lavet en endnu dybere udfladning på den nederste del, så ledninger kan løbe ned langs bagkanten inde i hjørnet. Det ses også, at der er lavet en flad kant med huller til montering af bagpladerne i kabinettet. Disse tager også volumen. Der er valgt at benytte Fusion 360 til at finde volumen af disse kanter, idet en analytisk udregning vurderes for kompleks/for tidskrævende.



(a) (b)

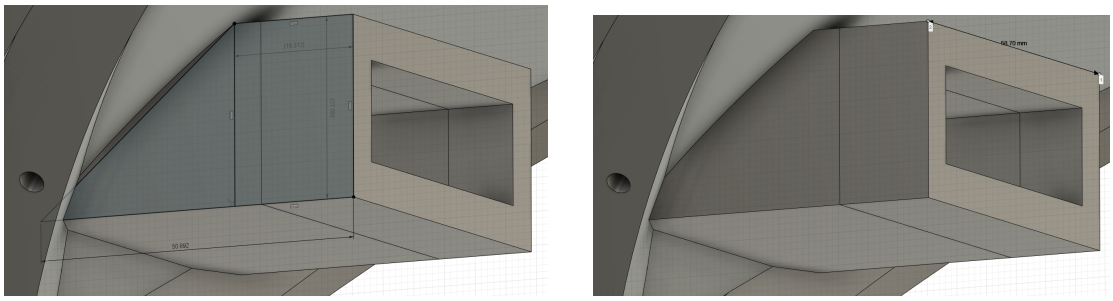
Figur 2.35: Portdesign for H3. (a) Del af port, der kan monteres i kabinettet. (b) Tap i kabinettet, hvor portforlængelsen sættes på.

På figur 2.35 ses designet af porten i H3. Denne er en blanding af indebygget i kabinettet og monterbar. Dette er gjort, så kabinettet kan tunes ved udskiftning af portdelen set på figur 2.35a, hvis dette er nødvendigt.



Figur 2.36: Tværsnit af kabinet og port-del, der sammen udgør basrefleksen. Linjen, der sidder i den vertikale midte har dimension som udregnet ved kabinetsimuleringerne.

Som med H1 og H2 er porten "skæv"ud mod kabinettets yderside. Derfor er længden af porten defineret på den vertikale midte, som illustreret på figur 2.36



(a) (b)

Figur 2.37: Dimensioner benyttet til udregning af portvolumen. (a) Areal af siden af porten, simplificeret til en trekant og en rektangel. (b) Portens bredde.

Til beregning af den volumen, porten "stjæler" fra den indre volumen, laves en simpel estimering vha. et rektangel og en trekant som tværsnit. Dette er illustreret på figur 2.37a. Sammen med bredden af porten vist på figur 2.37b kan et volumen estimeres.

H3 volumen [L]	
Luft i kabinet	2,21
Højttalerenhed	0.09
Inputterminal	0.06
Forstærkerprint	0.06
Plademonteringskant	0.15
Basrefleks	0.06
Total	2.64

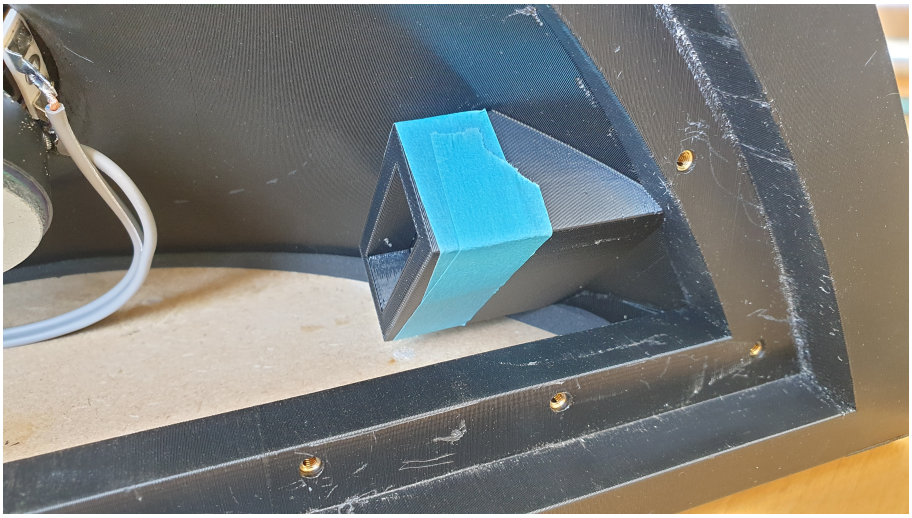
Tabel 2.4: Tabel over volumener i H3.

Tabel 2.4 viser de endelige volumenberegninger af interne dele i højttaleren, samt den nødvendige indre volumen for kabinettuning i H3.

2.5.5 Samling af højttalere

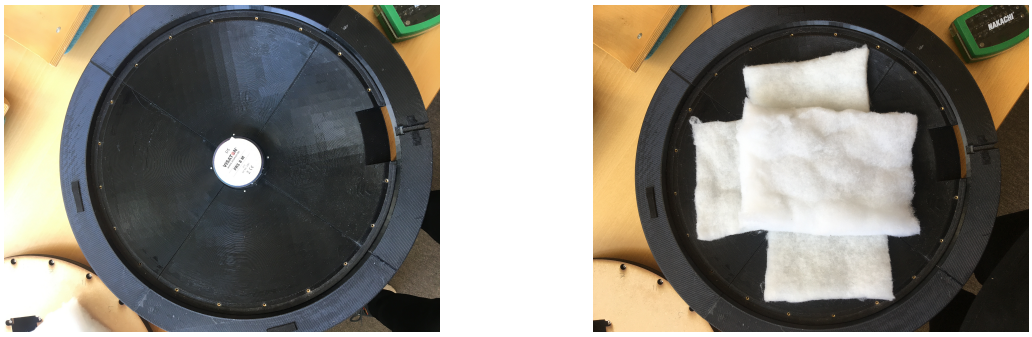
Figur 2.38: Porten i H1. Tætningsliste er sat på kanterne, der skal lukket tæt med kabinettet.

Til samling af højttalerkabinetterne er der benyttet tætningsliste på overflader, der sættes sammen. Dvs. mellem bagplader og kabinet, men også mellem porten i H1 og kabinettet. Dette er illustreret på figur 2.38. Her ses en sort tætningsliste klistret på porten. Der er også tætningslise på kabinettet i forlængelse af listerne ned langs siden, samt nede på enden, hvor pladen stiller lidt ud. Dette er dog ikke vist på billedet.



Figur 2.39: Porten i H3. Forlængelsen er monteret med elefantsnot og tape.

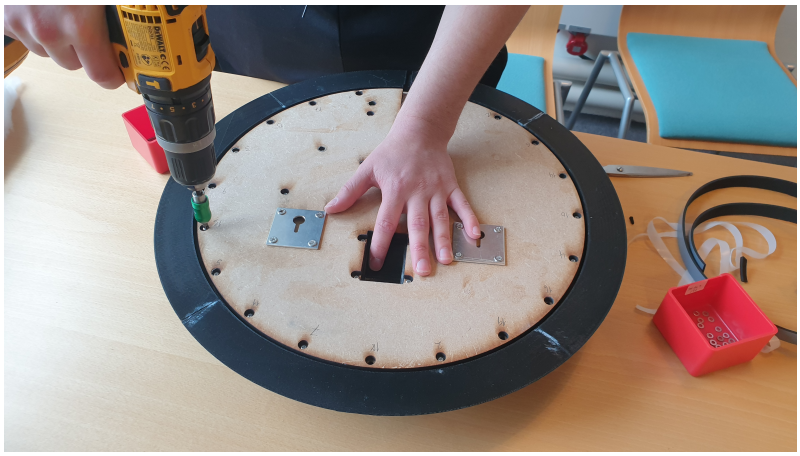
På H3 er bagpladen ikke en del af porten. Her er porten tætnet vha. elefantsnot og tape. Dette er vist på figur 2.39. En lille streng elefantsnot er lagt rundt i kanten af portstykke, før porten er samlet. For en sikkerheds skyld er der sat tape rundt om samlingen mellem portstykket og den del af porten, der er bygget ind i kabinettet.



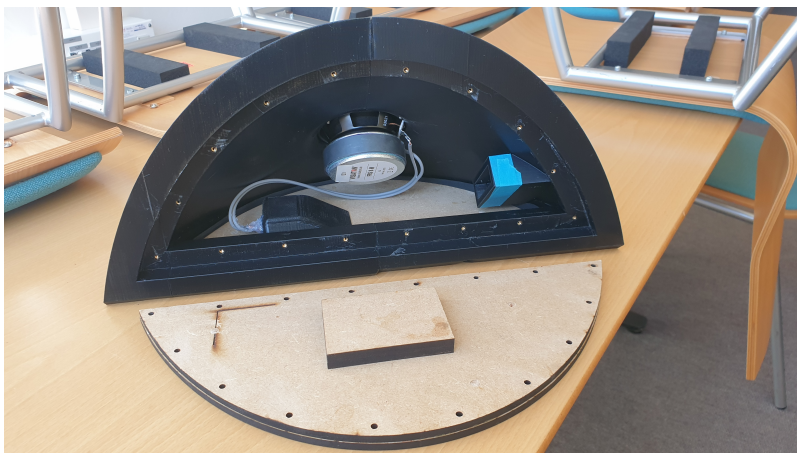
(a) (b)

Figur 2.40: H1 højttaler før bagplade er monteret, henholdsvis med og uden vat i.

For at fjerne potentielle resonanser, ved højere frekvenser, i højttalerkabinetterne, lægges der nogle lag af vat ind i kabinettet. Dette er illustreret på figur 2.40. Vattet er placeret i en sådan mængde, at det ikke komprimeres betydeligt ved lukning af kabinettet.



Figur 2.41: Montering af bagplade på H1.



Figur 2.42: H3 før vat er lagt i og anden bagplade er monteret.

Bagpladerne er skruet fast med maskinskruer i de indsmeltede gevindindsatser. På figur

2.41 ses påsætning af bagpladen i en af H1 højttalerne.

H3 højttaleren har to bagplader, der skal tætnes med skumliste og monteres med maskinskruer. På figur 2.42 ses H3 højttaleren før der er lagt vat i og den anden bagplade er sat på plads. Yderligere ses træklodsen, der sidder på den ene bagplade i stedet for et forstærker print. Denne er til for at volumenet, der er modregnet grundet forstærkeren i kabinettet, stadig fyldes ud i kabinettet. Dette er også gjort for den passive version af H1 højttaleren.

Figur 2.43: Alle tre højttalere samlede og klar.

Endelig kan alle tre højttalere ses samlet på figur 2.43.

2.6 Test af højttalere

Efter design og konstruktion af de forskellige højttalere, er disse blevet testet. Der er blevet målt frekvensrespons, udbredelses karakteristik og THD.

Til alle tre målinger bruges en opstilling i det lyddøde rum (B4-111). Dette rum er tilgængeligt på universitetet. Udbredelses karakteristik og frekvensrespons måles på samme tid, som en kombineret måling. På denne måde opnås en frekvensafhængig udbredelseskarakteristik.

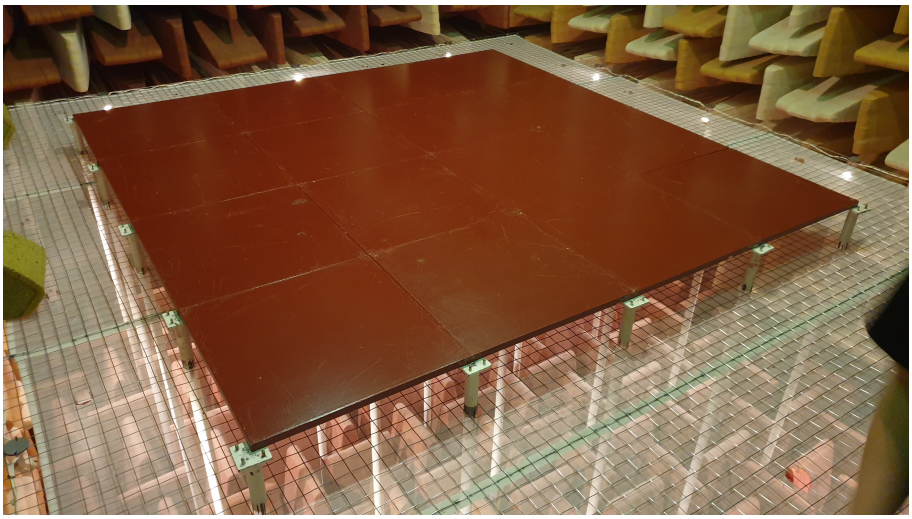
2.6.1 Måleopstilling

Til måleopstillingen er der brugt udstyret der ses i tabel 2.5.

Udstyr	Antal
PC med Matlab	1
RME FIREFACE UFX+	1
RME MICSTASY	3
G.R.A.S. Preamplifier type 26CC	18
G.R.A.S Frit felts mikrofon 40AZ 1/2"	18
Presonus PRM1	1
Brüel & Kjær Mikrofon kalibrator type 4231	1
Mikrofonholdere	18
SMB til BCN kabel	18
BNC til XLR converter	18
XLR han-hun kabler	*
BNC kabler	4
Metalbue til at montere mikrofoner på	1
Stålwire til at holde bue i ønsket vinkel	2
Omdrejningspunkt til bue	2
Vat til at dæmpe refleksioner fra bla. bue	*
Vaterpas med digital udlæsning af vinkel	1
Strips	*
* Ukendt eller udefinerbart antal	

Tabel 2.5

For at kunne måle højttalerne på en måde, der repræsenterer deres endelige montering, er der udlagt et gulv i det lyddøde rum. Dette kan ses på figur 2.44.



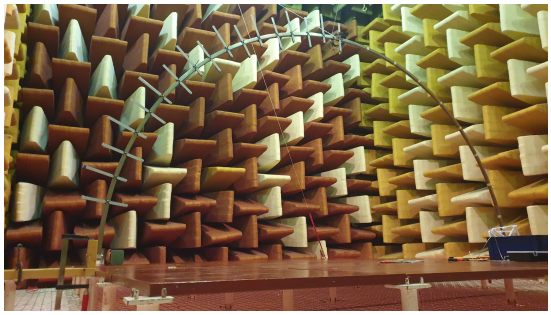
Figur 2.44: Billede af gulvet lagt i det lyddøde rum.

Gulvet består af plader med dimensionerne: 78 cm × 78 cm × 2,5 cm. Disse plader er lavet af træbeton, hvilket er meget tungt og stift. Dette mindsker transmissionen igennem gulvet. Det er vigtigt at der ikke forekommer transmissioner igennem gulvet, da dette giver et tab i lydtryk, som kan ændre på udfaldet af målingerne.

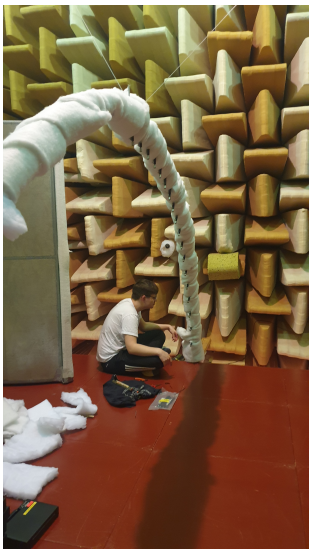
Over gulvet er placeret en bue. Denne bue består af en metalstang med form som en halvcirkel. Metalstangen er fastgjort i begge ender på træklodser, som sidder fast i plan med gulvet. Omdrejningspunktet for buen, er lavet så det passer tilnærmelsesvist med det akustiske midtpunkt for både H1 og H3. På buen sidder der 18 mikrofoner af typen G.R.A.S 40AZ. Der er ud fra de udbredelsessimuleringer, der er lavet i afsnit 2.2, valgt at placere disse med 5° afstand langs en kvart bue. Dette er for at sørge for at de dyk der kan ses i simuleringen, ved højere frekvenser, bliver repræsenteret i målingerne. Det vurderes at det er tilstrækkeligt kun at måle på en kvart bue, da højttalerens form er symmetrisk og derfor forventes udbredelsen også at være det. Fra fronten af mikrofonerne til det akustiske midtpunkt for H1 og H3, er der 1,6 m ± 0,01 m (målt med laser afstandmåler). Efter mikrofonerne er placeret korrekt, pakkes alt andet end mikrofonerne ind i vat, som vist på figur 2.45. Dette er for at dæmpe refleksioner fra buen.

Som A/D converter til mikrofonerne er der brugt 3x RME MICSTASY. Disse er placeret i det lyddøde rum under gulvet. A/D converterne er vha. to BNC kabler blevet forbundet til et RME FIREFACE UFX+ i kontrolrummet tilhørende det lyddøde rum. På denne måde skal alle forbindelserne til mikrofonerne ikke føres ud af rummet.

Under målingerne skal buen flyttes til forskellige vinkler. Dette skal ske i en opløsning af 5° (samme opløsning som mikrofonerne). For at måle denne vinkel, er der fastmonteret en digital vinkelmåler på buen. Dette kan ses på figur 2.46. For at holde buen i en ønsket vinkel, bruges to laststropper og stålwires. De to stålwires går gennem taljer hængt fra loftet og ned til toppen af buen. Stålwirene spændes op med laststropperne og på denne måde holdes en ønsket vinkel.



(a)

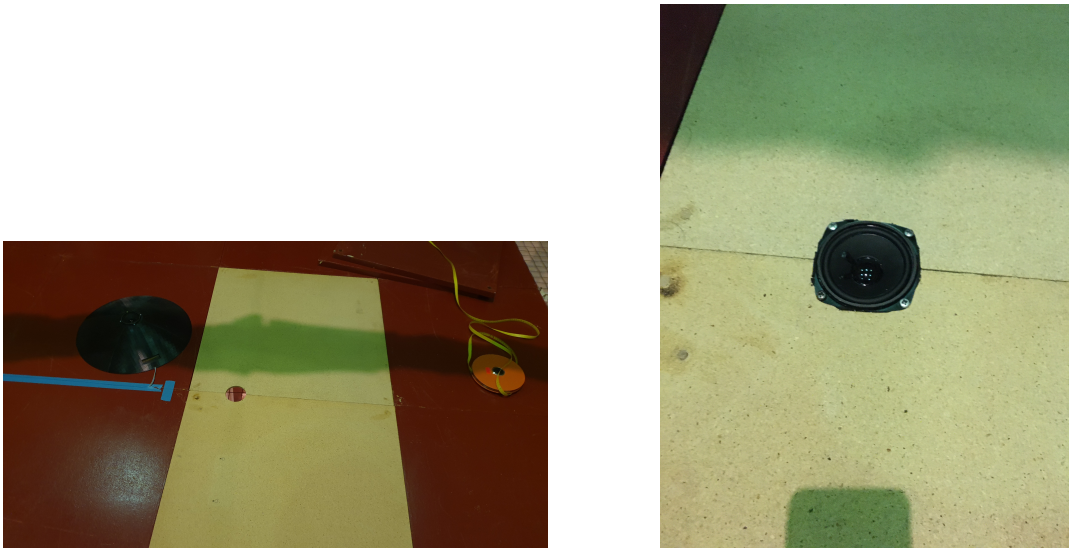


(b)

Figur 2.45: a) Mikrofonbue med mikrofonholdere påsat. Holderne er her ikke justeret i afstand til hinanden og afstand til højttalerens position. b) Buen set efter mikrofonholderne er placeret korrekt, og buen er klædt i vat.

Figur 2.46: Billede af vaterpas monteret på bue.

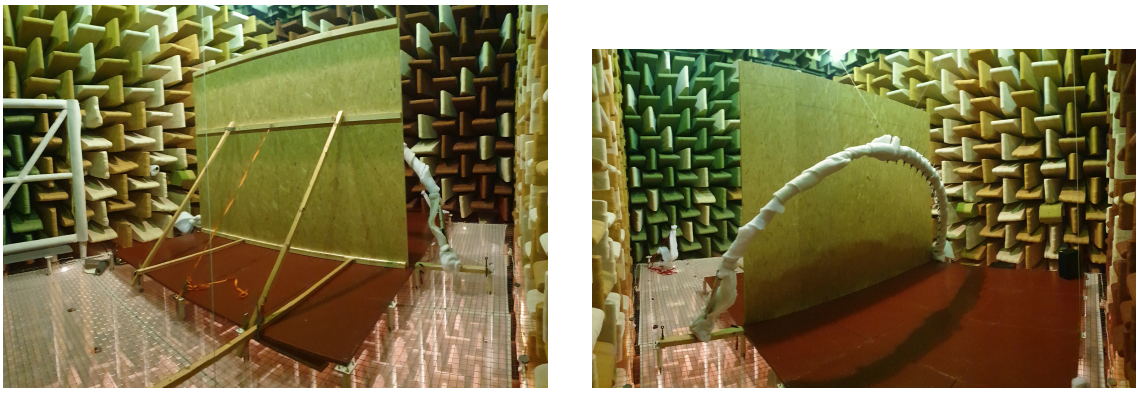
Som reference til målinger på H1 og H3 er der først lavet en måling på en højttalerenhed af samme type, som brugt i disse, i en uendelig baffle opstilling. Denne enhed er monteret i to plader lavet til formålet. Opstillingen til uendelig baffle kan ses på figur 2.47. Placeringen af hullet til denne enhed er midt under den øverste mikrofon på buen og dermed samme midterposition som H1 og H3 skal placeres i.



(a) (b)

Figur 2.47: a) Modificerede plader til uendelig-baffle-måling. b) Højttalerenhed monteret i gulvpladerne.

For at kunne måle H3 med et hjørne, er der konstrueret en væg på gulvet i det lyddøde rum. Som det kan ses på figur 2.48, er denne væg lavet af træ, mere specifikt træplader skruet fast på tværliggende tømmer. Bagerst er væggen støttet af skråstivere ned til kanten af gulvet samt en lastestrop, der sikrer at væggen ikke kan vælte forover.

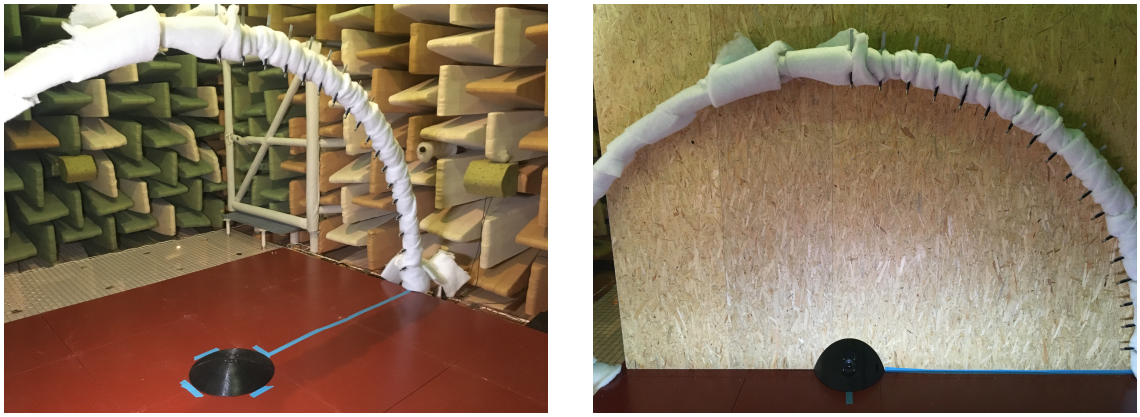


(a) (b)

Figur 2.48: a) Opsat væg set bagfra. b) Væg set fra fronten.

Til målingerne udført på H1 placeres denne som vist på figur 2.49(a). Dette er midt under den øverste mikrofon på buen. Til målinger på H3 er denne placeret som vist på figur 2.49(b). Igen er dette midt under den øverste mikrofon på buen. Ved opstilling af både H1

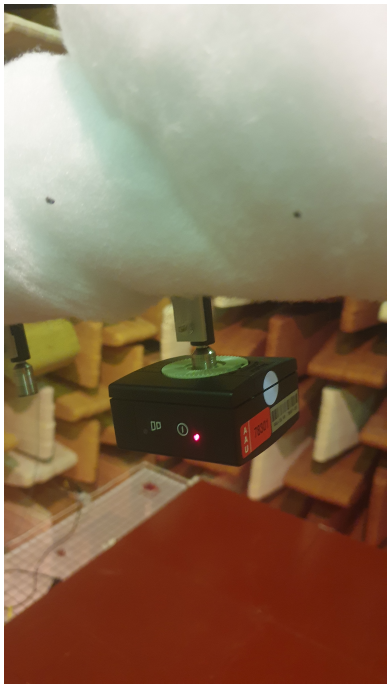
og H3 er ledningen ud til højttaleren tapet fast mod gulvet, så denne ikke flytter sig fra måling til måling (når buen flyttes og der derfor skal opholde sig personer i rummet).



(a) (b)

Figur 2.49: "Montage"af højttalere. a) H1 lagt på gulvet midt for buen. b) H3 lagt på gulvet midt for buen, op ad væggen.

Inden målingerne blev foretaget, skal alle de 18 mikrofoner på buen kalibreres. Kalibreringen foregår ved at en kalibrator, af typen Brüel & Kjær 4231, placeres over en mikrofon. Dette ses på figur 2.50. Herefter tændes kalibratoren, som genererer et kendt lydtryk på 94 dBSPL. Der optages nu 10 s lyd fra mikrofonen. Herefter findes RMS værdien for dette lydspor og denne værdi, kan bruges som en kalibrerings reference. Dette skyldes at den tilsvarer det fullscale tal, som repræsenterer 94 dBSPL for den givne mikrofon.



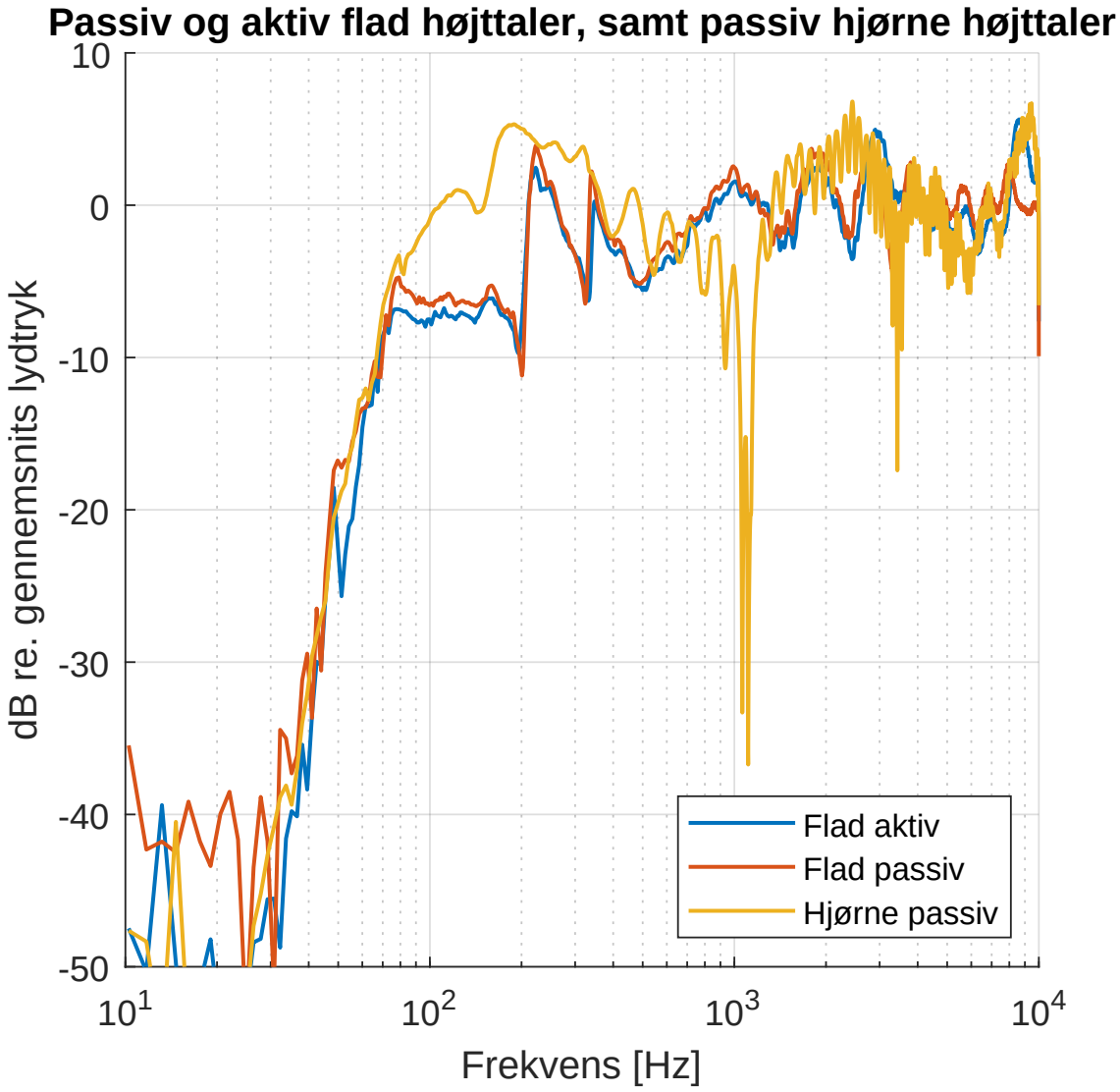
Figur 2.50: Kalibrering af mikrofoner. B&K 1kHz kalibrator hængende fra mikrofon.

2.6.2 Udbredelseskarakeristik (lyddødt rum)

Ved målinger i det lyddøde rum er følgende procedure blevet fulgt:

- Lav justering på opstilling (vinkling af buen).
- Forlad rummet og sluk lyset.
- Spænd begge døre.
- Vent 5 min.
- Udfør måling.

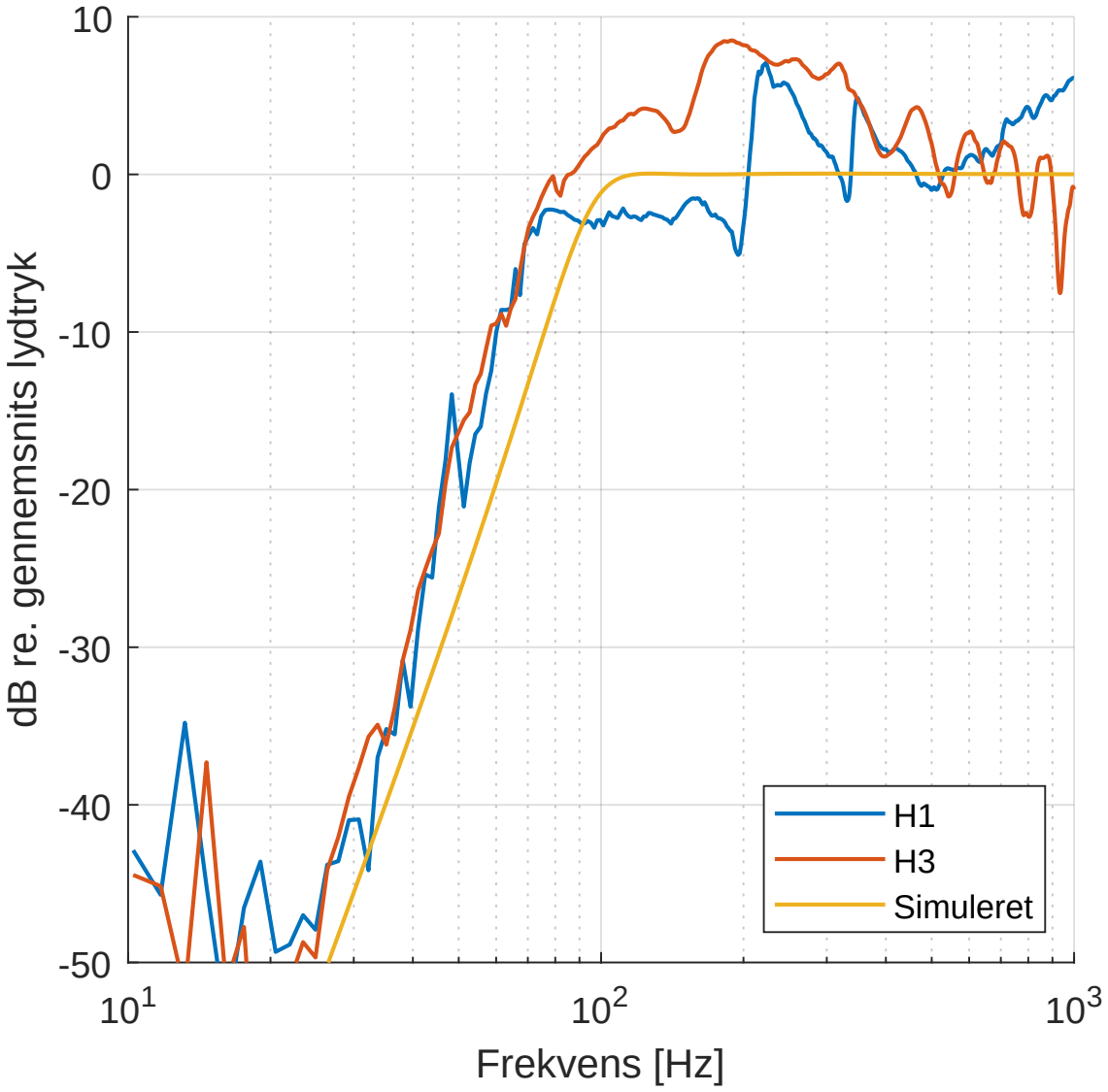
Denne procedure er fulgt hver gang af flere forskellige årsager. Grunden til at lyset slukkes, er at det tydeligt kan høres, når det er tændt (50 Hz fra lysnettet). Dørene til det lyddøde rum kan spændes til ved at vippe dørhåndtaget helt op i lodret position. Dette klemmer kanten af døren tæt med en pakning og hjælper med at sænke niveauet af baggrundsstøjen. Der ventes 5 min efter at rummet er lukket, fordi der er observeret, at buen står og svinger en tid efter, at der har været gået på nettet i det lyddøde rum. Ved at vente de 5 min får disse svingninger lov at falde til ro og påvirker dermed ikke målingen.



Figur 2.51: Frekvensrespons af passiv og aktiv H1 og H3

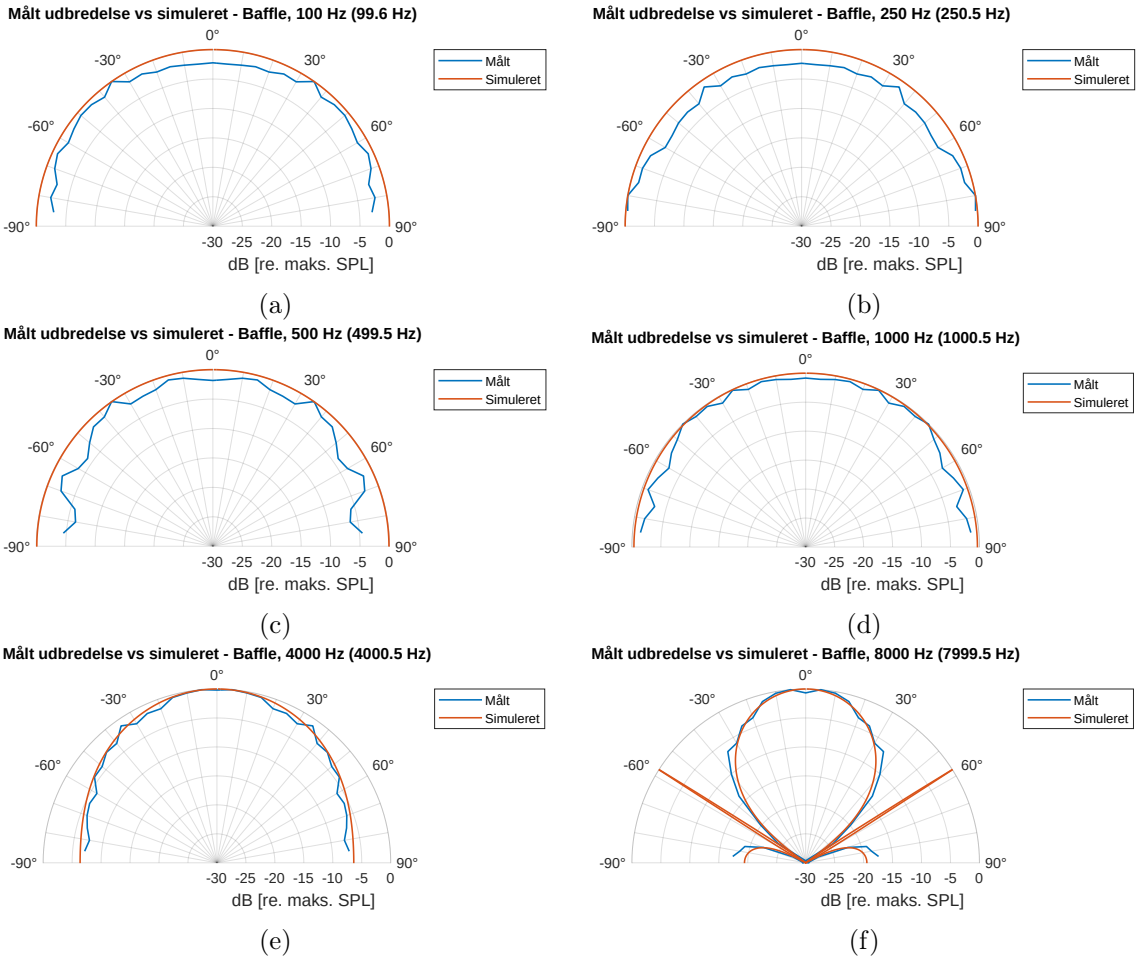
På figur 2.51 ses responset af de tre målte højttalere. Den blå og røde linje viser frekvensresponset for henholdsvis den aktive og den passive version af H1. Den gule linje viser frekvensresponset for H3. Det ses, at de to versioner af H1 (passiv og aktiv) har frekvensresponser, der ligger tæt. Variationer i disse vurderes negligerbare. Derimod ses det, at H3 afviger meget fra H1. Fra 200 Hz og ned af i frekvens ses det,at H3 ligger omkring 6 dB højere end H1. Dette passer med, at der opnås yderligere 6 dB akustisk forstærkning fra, at H3 sidder i et hjørne, ift. H1 som sidder på en enkelt væg (her et gulv). For H3 ses der desuden to store dyk omkring 1100 Hz og 3500 Hz. Disse vurderes at opstå fra diffraktion, der hvor H3 møder væggene (her gulvet og væggen). Dette vurderes på baggrund af at dimensionen på tværs af fronten af H3 er 29 cm. Denne dimension tilsvarer tilnærmelsesvist bølgelængden af de 1100 Hz. Det observeres at de to dyk minder om en form for kamfiltrering i responset af H3.

På figur 2.52 ses en sammenligning mellem frekvensresponset for H1, H3 og det simulerede respons fra afsnit 2.3.3. Det ses at tuningsfrekvensen for både H1 og H3 ligger lavere end det simulerede respons.



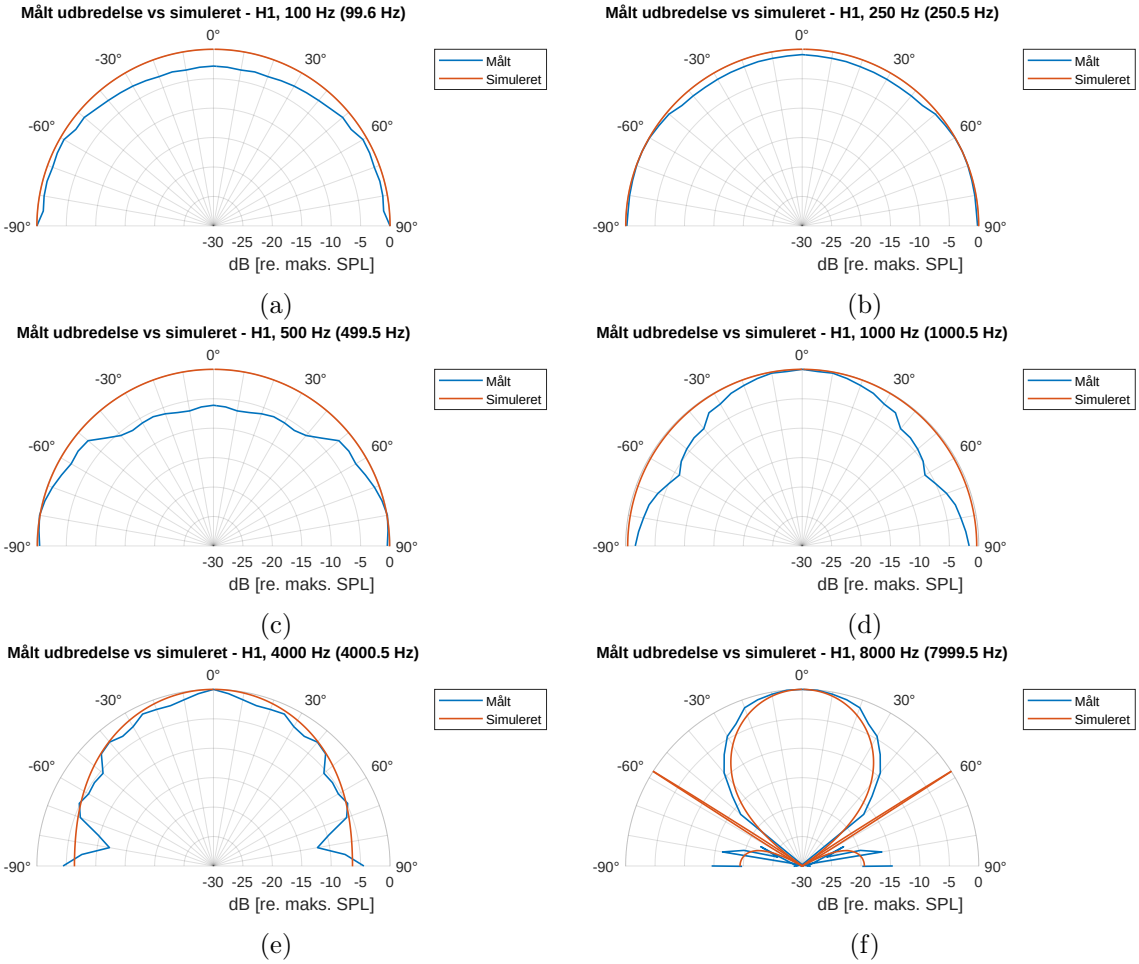
Figur 2.52: Frekvensrespons af H1, H3 og simulering.

På figur 2.53 ses udbredelseskarakteristikken fra den baffle monterede enhed mod den simulerede. Det ses, at der er en rimelig overensstemmelse mellem teoretisk og reel udbredelseskarakteristik.



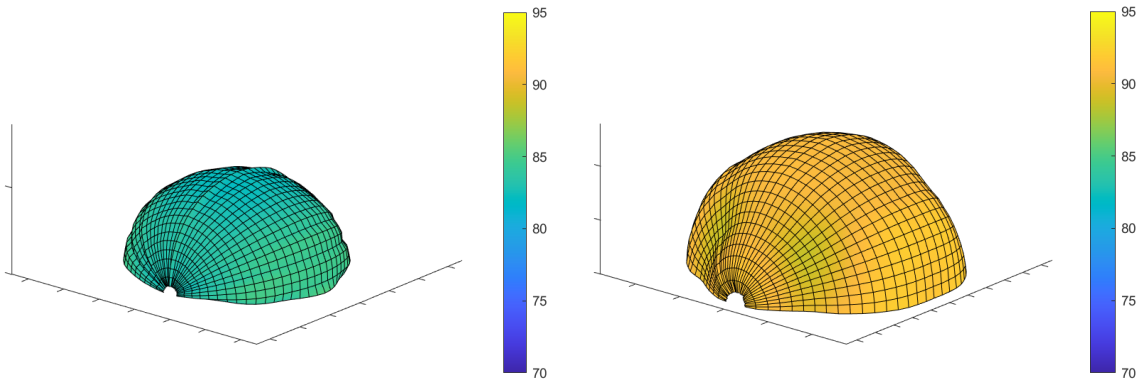
Figur 2.53: Udbredelseskarakteristik af højttalerenhed i baffle mod det simulerede, ved udvalgte frekvenser.

På figur 2.54 ses udbredelseskarakteristikken fra H1 mod den simulerede. Det ses at der er rimelig overenstemmelse mellem teoretisk og faktisk udbredelseskarakteristik. Dog er der markante afvigelser ved 500 Hz og 1000 Hz. Disse skyldes sandsynligvis interferens fra kabinettet.



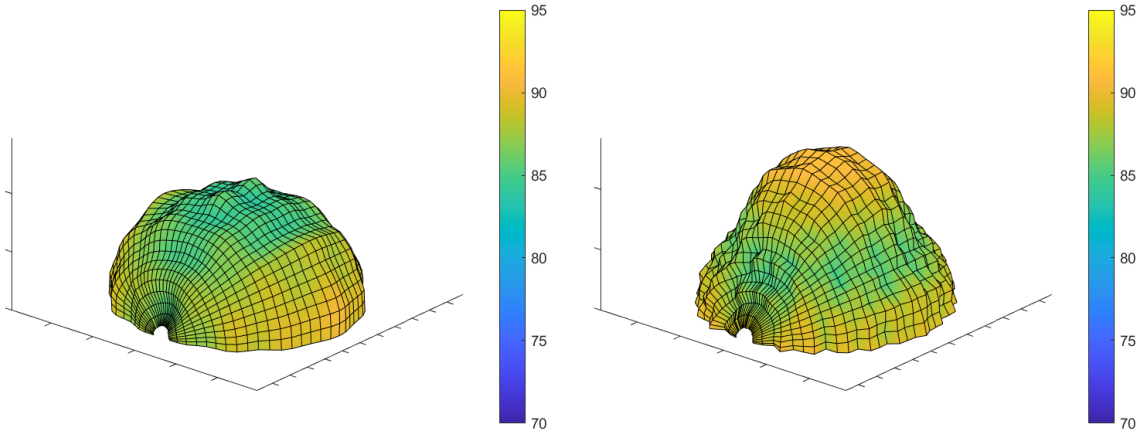
Figur 2.54: Udbredelseskarakteristik af H1 mod det simulerede, ved udvalgte frekvenser

På figur 2.55 ses udbredelseskarakteristikkerne for de samme frekvenser som i figur 2.54, men repræsenteret i 3D. Her ses det tydeligt hvordan udbredelsen bliver mere og mere direktionel med højere frekvens.



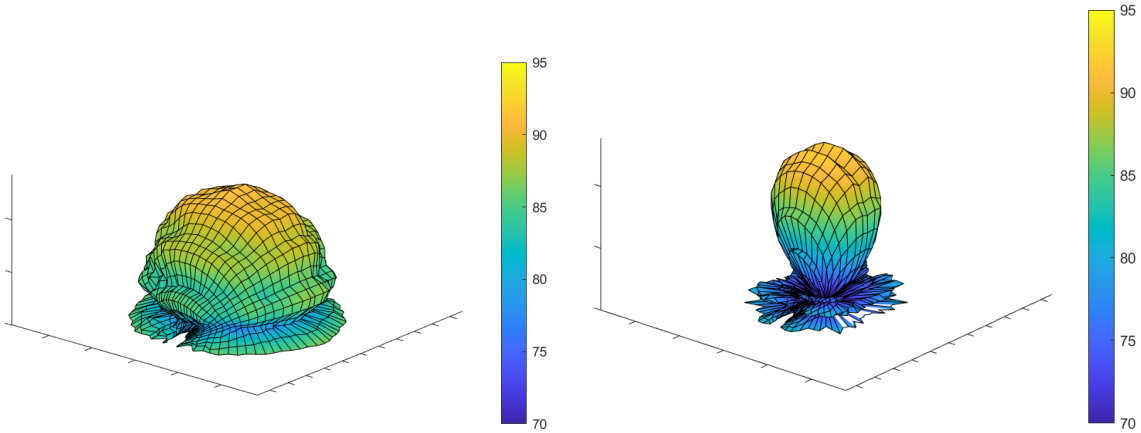
(a) 100 Hz

(b) 250 Hz



(c) 500 Hz

(d) 1000 Hz



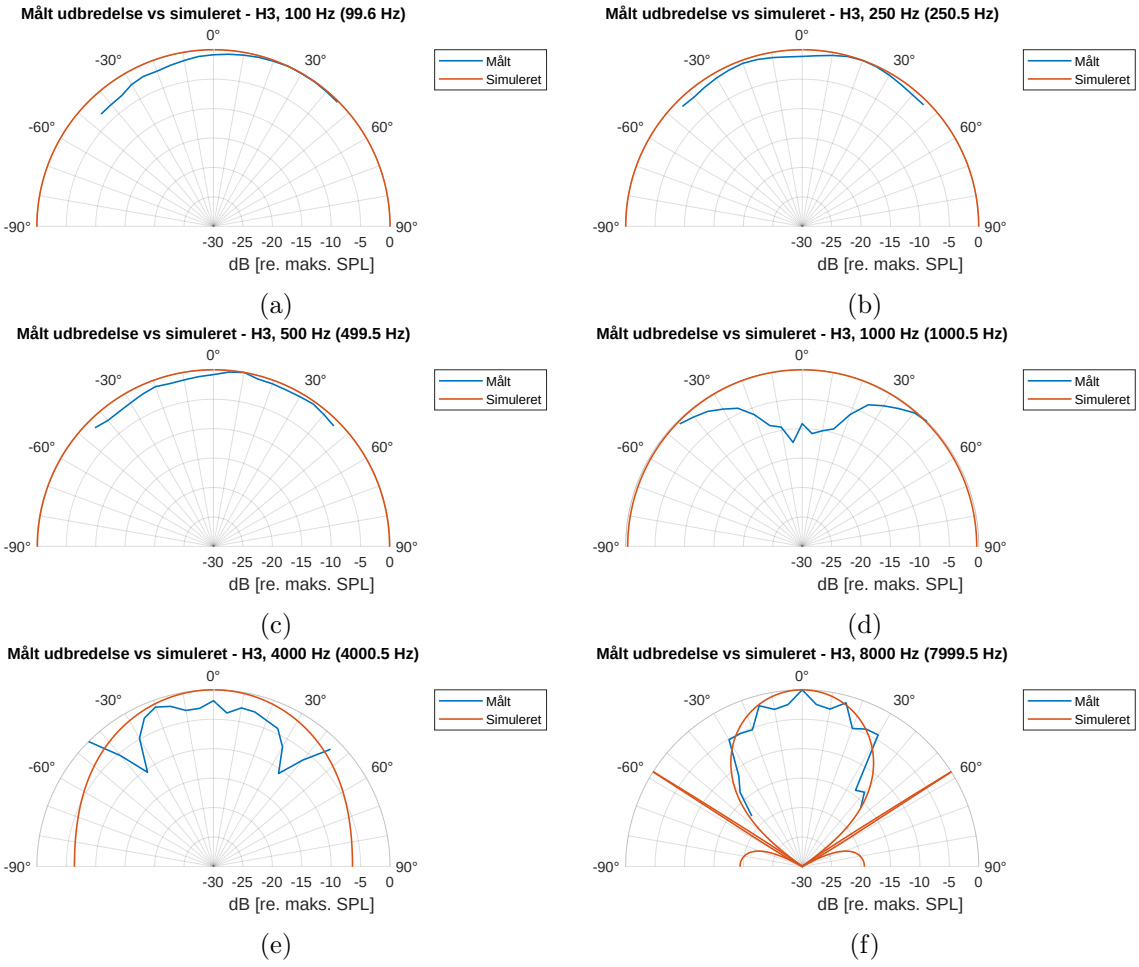
(e) 4000 Hz

(f) 8000 Hz

Figur 2.55: 3D udbredelseskarakteristik af H1.

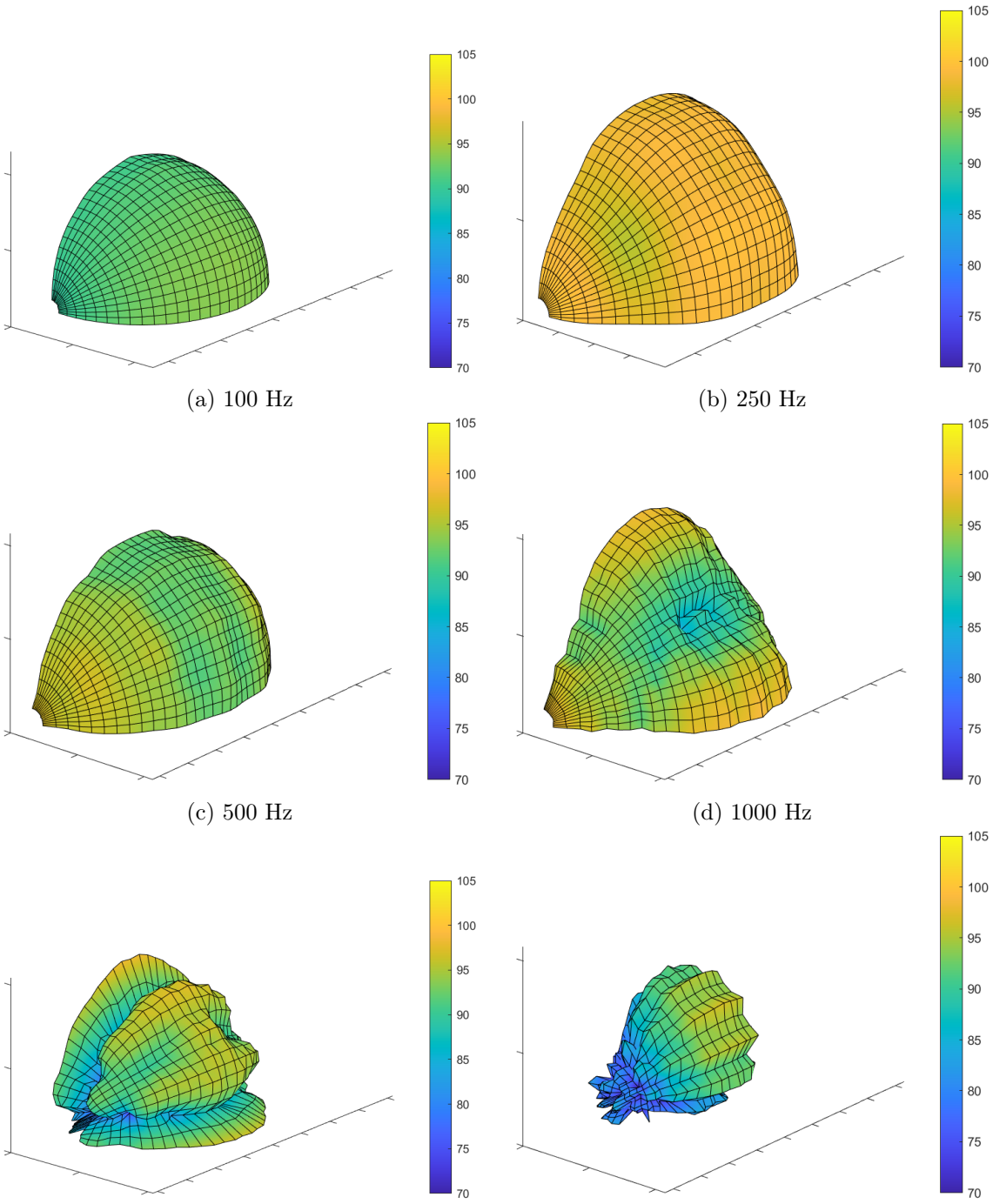
På figur 2.56 ses udbredelseskarakteristikken fra H3 mod den simulerede. Ved målingerne på H3 kan det ses, at der ved lave frekvenser er et fald mod ventre i udbredelseskarakteristikken. Dette fald skyldes højest sandsynligt transmission igennem den opstillede væg i det lyddøde rum. Denne væg er konstrueret af plader, som ikke er lige så stive, som dem gulvet er lavet af. Ved 1000 Hz ses det tidligere beskrevne dyk i responset. Dette dyk er kraftigst on-axis for højttaleren. Desuden ses der en signifikant afvigelse fra teorien ved 4000 Hz. Dette skyldes højest sandsynligt refleksioner fra væggene (her væg og gulv). Kigges der derimod på 8000 Hz ses det, at teorien igen passer. Dette skyldes, at højttaleren

her er direktionel nok til at væggene har en insignifikant indflydelse på udbredelsen.



Figur 2.56: Udbredelseskarakteristik af H3 mod det simulerede, ved udvalgte frekvenser.

På figur 2.57 ses udbredelseskarakteristikkerne for de samme frekvenser som i figur 2.56, men repræsenteret i 3D. Her kan det igen ses, hvordan der ved 100 Hz (a) er en dæmpning i toppen af udbredelsen. Ved 1000 Hz (d) ses et dyk omkring 1100 Hz. På (e), ved 4000 Hz, ses det, at refleksioner fra væggen og gulvet har indflydelse på main lobe af udstrålingen.



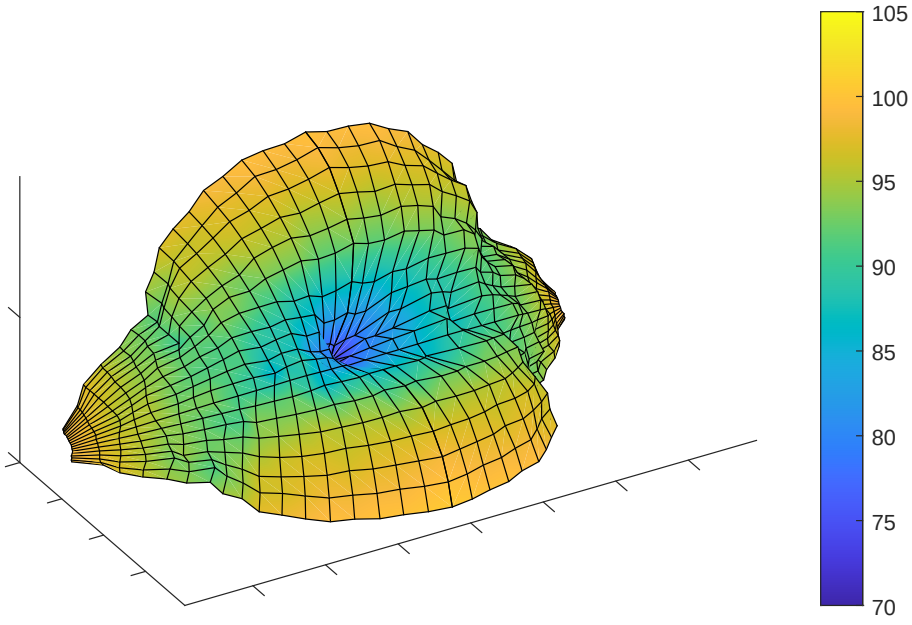
(a) 100 Hz (b) 250 Hz

(c) 500 Hz (d) 1000 Hz

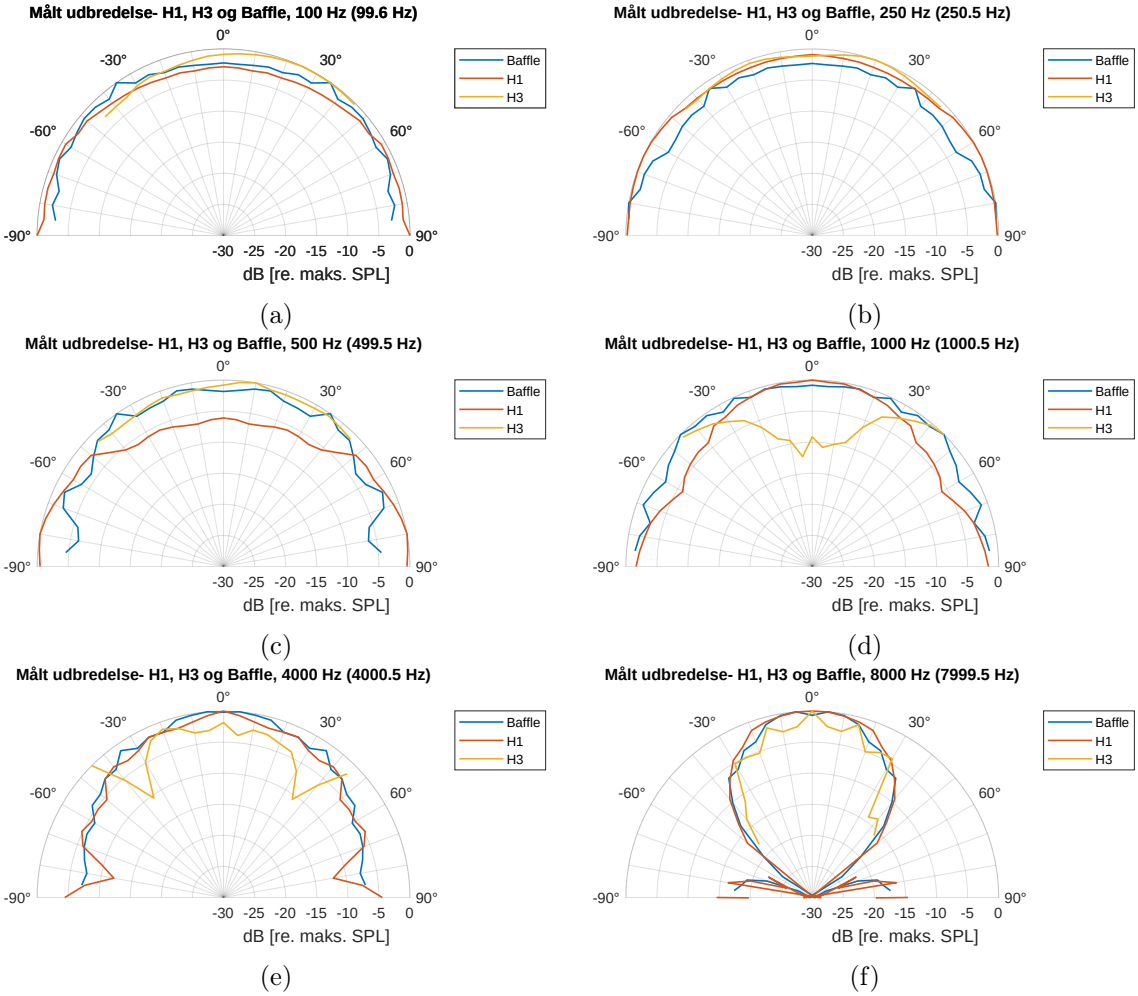
(e) 4000 Hz (f) 8000 Hz

Figur 2.57: 3D udbredelseskarakteristik af H3.

På figur 2.58 ses 3D udbredelseskarakteristikken af H3 ved 1100 Hz. Her ses det tydeligt hvordan der opstår et dyk on-axis pga. destruktiv interferens.



Figur 2.58: 3D udbredelseskarakteristik af H3 ved 1100 Hz.



Figur 2.59: Udbredelseskarakteristik af aktiv og passiv H1 og H3.

På figur 2.59 ses udbredelseskarakteristikken af den baffle monterede højttaler enhed, H1 og H3 plottet sammen. Det ses at ved lave frekvenser (100 Hz og 250 Hz), at de tre udbredelseskarakteristikker tilnærmelsesvis er ens. Det skal dog noteres, at det totale niveau her ikke kan ses. Dette skyldes at de tre måleserier er vist relativt til deres respektive maksimum SPL. Ved mellemfrekvenserne (500 Hz, 1000 Hz og 4000 Hz) ses den største afvigelse mellem de tre udbredelseskarakteristikker. Igen ved 8000 Hz er udbredelseskarakteristikkerne tilnærmelsesvist ens.

2.6.3 THD

Målingerne af THD følger samme procedure, som beskrevet for udbredelseskarakteristikken (slukke lys, lukke døre osv.). For at måle THD for et helt højttalersystem er top mikrofonen placeret on-axis for højttaleren. For at teste de to krav, der omhandler THD, og som er nævnt i afsnit 1.6, er der gjort følgende: For kravet maks. 3 % THD ved 80 dBSPL er der skruet op for højttaleren i trin af 0,2 dB på udgangssignalet fra lydkortet. Dette er gjort indtil at der enten er nået 3 % THD eller 80 dBSPL. Samme metode er fulgt for kravet om maks. 10 % THD ved 100 dBSPL, men med grænseværdierne fra dette krav. Ud over begrænsninger ved lydtryk og forvrængning, blev der indført en begrænsning ved den maksimale effekt der må afsættes i højttalerenheden; 30 W. Disse målinger er blevet udført ved følgende frekvenser: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz og 1000 Hz.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz
SPL 1 m (maks. 100 dBSPL)	93,1 dB	100,8 dB	93,7 dB	100,0 dB
THD	10,0 %	5,5 %	2,9 %	0,9 %
SPL 1 m (maks. 80 dBSPL)	80,7 dB	80,0 dB	80,4 dB	80,0 dB
THD	3,7 %	0,3 %	0,7 %	0,2 %

Tabel 2.6: Forvrængning og lydtryk for H1.

I tabel 2.6 ses de målte forvrængninger og lydtryk for H1. Det ses, at de endelige maksimumværdier i målingerne ikke rammes præcist. Dette skyldes at forstærkningen i effektforstærkeren gør de små trin på 0,2 dB til relativt store spring i signal niveau. Desuden ses det, at der for 125 Hz og 500 Hz ikke opnås et lydtryk på 100 dBSPL. Dette skyldes at effektgrænsen for højttalerenheden er nået.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz
SPL 1 m (maks. 100 dBSPL)	100,6 dB	103,3 dB	97,2 dB	94,3 dB
THD	9,7 %	6,3 %	3,0 %	1,5 %
SPL 1 m (maks. 80 dBSPL)	80,3 dB	80,3 dB	80,4 dB	80,1 dB
THD	1,5 %	0,4 %	0,5 %	0,3 %

Tabel 2.7: Forvrængning og lydtryk for H3.

I tabel 2.7 ses de målte forvrængninger og lydtryk for H3. Her ses det, at der ikke opnås 100 dBSPL ved 500 Hz og 1000 Hz. Dette skyldes igen en begrænsning af afsat effekt i højttalerenheden.

Opstiling til audiometri og kalibrering 3

I dette kapitel præsenteres de fysiske opstillinger, der laves i forbindelse med test af en hel audiometriopstiling, som beskrevet i case 1 (tre højttalere i et hjørne). Yderligere vælges en kalibreringsstrategi og kalibreringen implementeres og testes på case-opstillingen.

3.1 Opstilling

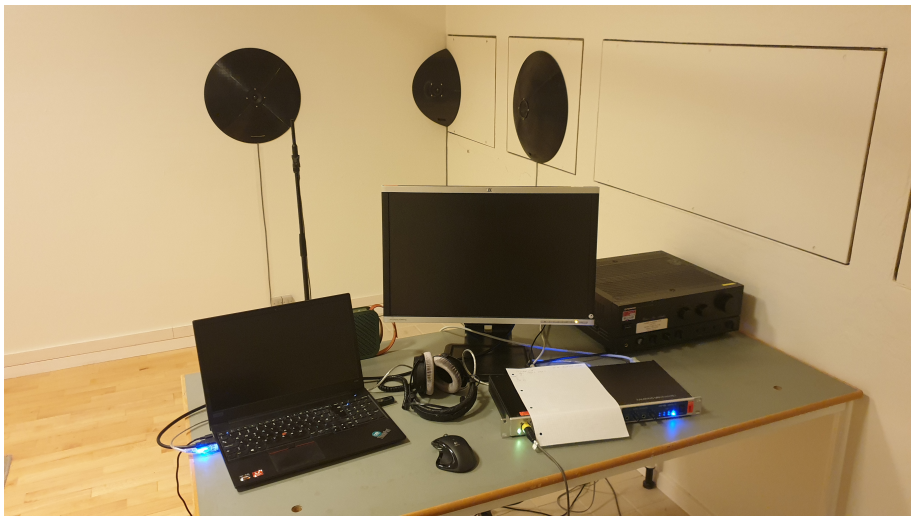
Der er valgt at lave opstilling til frit felt audiometri i lokale B4-107 på Frederik Bajers Vej 7. Lokalet er valgt, idet forhold som vægtype og gulv er samligneligt med det, der er set ude i høreklinikkerne. Opstillingen ses på figur 3.1:

Figur 3.1: Frb 7 B4-107: Lokale, hvor audiometriopstiling er sat op. Set mod opstillingen.

Mikrofonen, der benyttes til kalibrering ses også på figuren, monteret på et stativ. Denne er placeret 1,5 m fra centerhøjttaleren (hjørnehøjttaleren), og sidehøjttalerne er monteret, så disse sidder 45° på mikrofonen relativt til centerhøjttaleren. Højttalernes centerpunkt er placeret 1,3 m over gulvet.

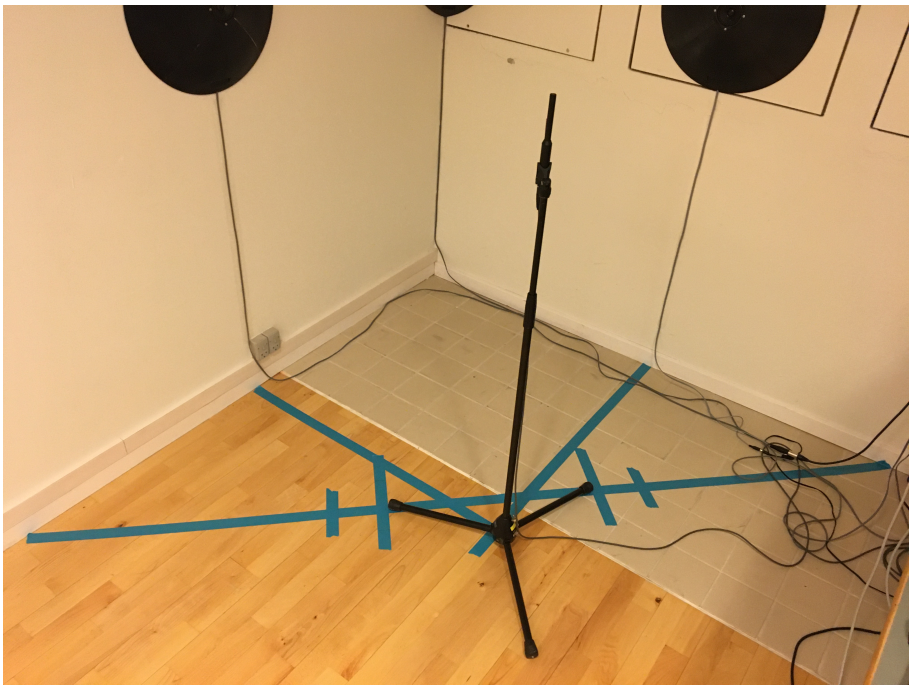
Figur 3.2: Frb 7 B4-107: Lokale, hvor audiometriopstiling er sat op. Set mod resten af rummet.

På figur 3.2 ses samme lokal i modsatte ende. I lokalet er der mulighed for at sætte akustiske paneler op, så rumakustikken kan ændres. Der er valgt ikke at have palener hængende omkring audiometri opstillingen. Til gengæld er der hængt paneler op i den ende af lokalet, der ikke benyttes. Dette er gjort, så resten af rummet har mindre indflydelse på målingerne, når opstillingen skal kalibreres.



Figur 3.3: Udstyr benyttet til audiometriopstillingen.

På figur 3.3 ses udstyret benyttet til opstillingen, samt kalibrering af denne. Et RME Fireface 802 er benyttet som output med tre kanaler. Her er den ene kanal ført direkte ind i den aktive sidehøjttaler (højre højttaler). Til højre på bordet ses en Pioneer A616, der bruges til at drive de to passive højttalere (center og venstre højttaler). Kalibreringen - og senere audiometrien - udføres fra laptop'en vha. scripts i MATLAB.



Figur 3.4: Højttaleropstilling og kalibreringsmikrofon.

Under test af kalibreringen er der valgt at teste imod det quasi-frie lydfelt, som beskrevet i standard ISO 8253-2 og FF-vejledningen fra Force Technology. Hertil skal mikrofonen flyttes 10 cm frem og tilbage og 15 cm til venstre, højre, op og ned i forhold til referencepunktet. For sidehøjttalerne skal mikrofonen flyttes parallelt med væggene, hvilket kan måles op med et måleværktøj. For centerhøjttaleren er der ingen parallelle flader at måle af på, bortset fra gulvet og loftet. Derfor er der valgt at sætte en markering op med tape, der skal gøre det lettere at flytte på mikrofonen. Dette ses på figur 3.4. Placering af tape er udregnet vha. trigonometri.

3.2 Kalibrering

I dette afsnit præsenteres kalibreringsstrategien benyttet til opstillingen, samt resultaterne for den kalibrerede opstilling.

3.2.1 Kalibreringstrategi

Der overvejes kalibrering af tre forskellige akustiske faktorer i opstillingen:

1. Frekvensrespons
2. Lydtryk
3. Tidsforskydning

Der findes krav til frekvensresponset af højttaleropsætningen, hvilket er beskrevet i kravsspecifikationen i afsnit 1.6. Derudover ses det nødvendigt at lydtrykket fra de tre højttalere er det samme, når disse måles i referencepunktet. Af disse grunde kalibreres der for disse to faktorer. Tidsforskydning kan være relevant at kigge på ved kalibrering af en multi-højttaler opstilling. Der er ikke fundet krav i de nævnte standarder mht. tidsforskelle mellem højttalerne. Dog kan nogle typer af SIN-test være følsomme over for tidsforskelle mellem kanalerne. I tilfældet af opstillingen beskrevet i afsnit 3.1 er den kritiske forskel mellem centerkanalen og en sidekanal. Eftersom der ikke er fundet krav dertil og ikke har været tid, er der valgt ikke at kalibrere tidsforskelle.

Frekvensrespons

Der er i kravene i afsnit 1.6 beskrevet følgende krav til frekvensresponset:

- I $\frac{1}{3}$ oktavbånd fra 125 Hz til 4000 Hz: Maks. $\pm$5 dB re. gennemsnit SPL i $\frac{1}{3}$ oktavbånd fra 125Hz til 4000Hz.
- I $\frac{1}{3}$ oktavbånd fra 4000 Hz til 8000 Hz: Maks. $\pm$8 dB re. gennemsnit SPL i $\frac{1}{3}$ oktavbånd fra 125Hz til 4000Hz.

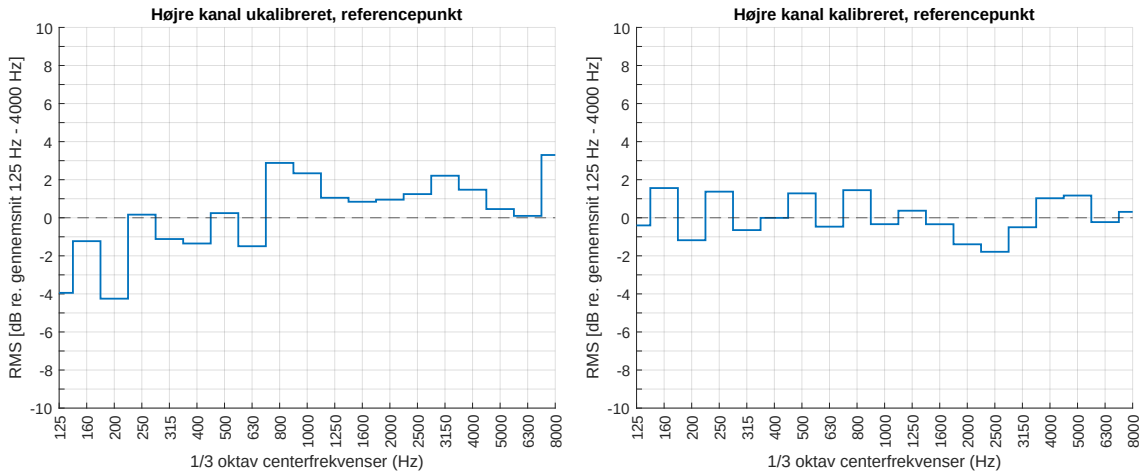
Til kalibrering af frekvensrespons tages der derfor udgangspunkt i et MATLAB-script, hvori lydtrykket måles i $\frac{1}{3}$ oktavbånd fra 125 Hz til 8000 Hz. Der vælges at benytte lyserød støj til kalibreringen. Med lyserød støj er energien ligeligt fordelt i oktaver. Foretages en RMS på hvert frekvensbånd af $\frac{1}{3}$ oktavbåndsfiltreret lyserød støj fås derfor samme lydtryk i hvert bånd. Der optages i 10 sekunder for hver højttaler, hvor det første sekund af måldataene smides væk, grundet timingproblemer i MATLABs Audio Toolbox. Efterfølgende filtreres måledataene med 19 filtre, et for hvert $\frac{1}{3}$ oktav bånd. Der tages en RMS af hvert frekvensbånd.

En oplagt fremgangsmåde herfra ville være at tage gennemsnittet af RMS-værdierne, som beskrevet i kravene, og kalibrere de individuelle afvigelser fra denne. Der er dog risiko for, at et stort dyk skal kalibreres med en stor forstærkning. Dette kan i nogle tilfælde give digital klipning. Derfor vælges der i stedet at kalibrere de individuelle bånd til frekvensbåndet med et lavest målte niveau. Det vurderes at den digitale opløsning, man mister på dette er negligerbar.

Lydtryk

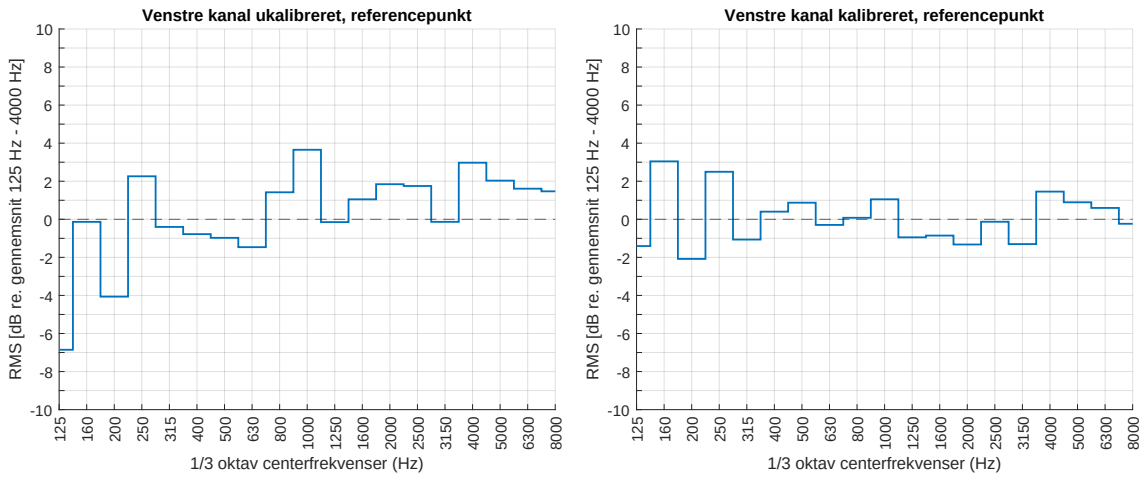
For at sikre, at højttalerne er indstillet til at spille ved samme lydtryk, vælges der under kalibrering af frekvensresponset at kalibrere alle højttaleres responser til den RMS værdi, der for alle tre højttalere er lavest. Eftersom alle højttalere måles med samme omnidirektionelle målemikrofon, giver den resulterende kalibrering samme niveau på alle tre højttalere.

3.2.2 Resultat af kalibrering



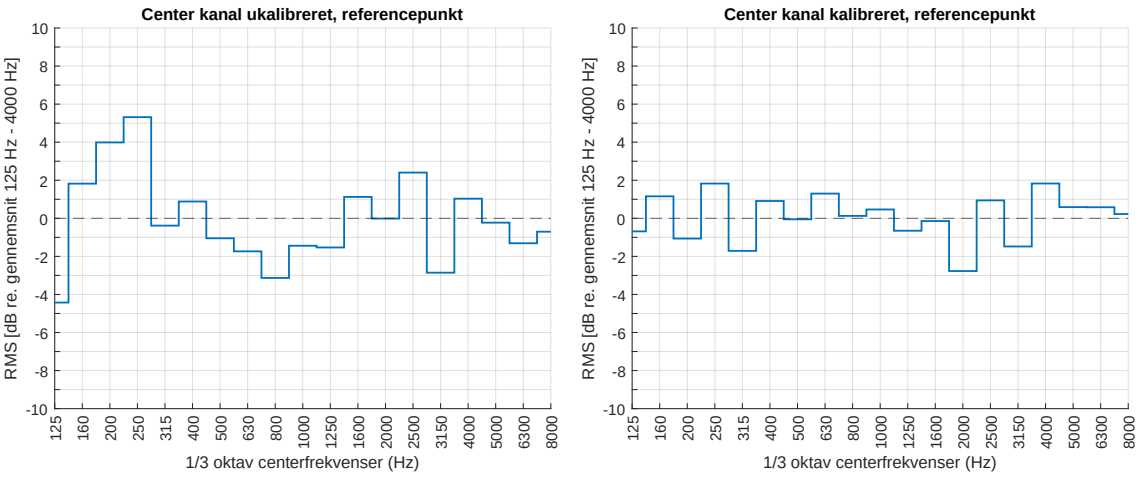
(a) (b)

Figur 3.5: Plot af niveau i $\frac{1}{3}$ oktavbånd med og uden kalibrering, målt på højre højttaler.



(a) (b)

Figur 3.6: Plot af niveau i $\frac{1}{3}$ oktavbånd med og uden kalibrering, målt på venstre højttaler.



(a) (b)

Figur 3.7: Plot af niveau i $\frac{1}{3}$ oktavbånd med og uden kalibrering, målt på centerhøjttaler.

På figurerne 3.5, 3.6 og 3.7 ses resultaterne for kalibrering af audiometri opstillingen, henholdsvis for højre, venstre og centerhøjttaler. Resultatet er vist som afvigelser i dB fra et gennemsnit af lydtrykket på tværs af $\frac{1}{3}$ oktav frekvensbåndene. Alle de præsenterede resultater er målt i referencepunktet for opstillingen. Der ses en tendens for højre og venstre højttaler i det lavfrekvente, hvor der ligger mindst energi relativt til gennemsnittet før kalibrering. Her ses der for centerhøjttaleren at der ligger mere energi i det lavfrekvente. Den største afvigelse før kalibrering ses hos venstre kanal, figur 3.6, i 125 Hz på lige over -7 dB. Den største afvigelse efter kalibrering ses hos den venstrekanal i 250 Hz på lige over 3 dB.

Et resultat, der ikke kan præsenteres er de relative lydtryk mellem højttalerne. Her er måldata gået tabt. Et andet resultat, der ikke kan præsenteres er afvigelser mellem referencepunktet, og punkterne beskrevet i standard ISO 8253-2 vedrørende det quasi-frie lydfelt. Her er måldata ligeledes gået tabt. Dog haves scripts til måling klar, så begge målinger let kan genlaves.

Afsluttende analyse 4

I dette kapitel vurderes testresultaterne fra målingerne på højttalerne og den kalibrerede opstilling. Der kommenteres på forventede og overraskende fænomener, der er observeret i måldataene, og mulige årsager præsenteres. Efterfølgende dannes der en konklusion på projektet som helhed. Til sidst i perspektiveringen omtales mulighederne i det færdige produkt, og evt. videre arbejde med design og use cases.

4.1 Diskussion

4.1.1 Interviews

Da det kun lykkedes at få interviews med to klinikker, en offentlig og en privat, kan det diskuteres hvor repræsentativ undersøgelsen er. Her har Gert Ravn, som har hjulpet under projektet, hjulpet med yderligere viden omkring klinikker uden frit felts udstyr. På baggrund af hans viden om de danske klinikker, konkluderes det at største delen af de private klinikker i danmark, ikke har frit felts udstyr. Derfor er den private klinik der har deltaget i undersøgelse, et specialtilfælde. Dette skyldes at klinikken har udstyr til både frit felts audiometri og REM. Dog er denne kliniks lokaler repræsentative for hvad andre klinikker har.

4.1.2 Lavfrekvent niveauforskel mellem H1 og H3

Der er observeret en niveauforskel mellem on-axis responset for H1 og for H3, især i det lavfrekvente. Her overvejes den akustiske forstærkning væggene giver, når højttalerne er sat op. For de lave frekvenser, hvor der er tale om omnidirektionel udbredelse, vil refleksionerne tidligt interferere med den direkte lyd, og dermed give en forstærkning i disse frekvenser. For H1 er der tale om forstærkning fra en enkelt væg, hvilket i teorien skulle give det dobbelte lydtryk i de lave frekvenser - altså en forstærkning på ca. 6 dB. For H3 er der tale om en forstærkning fra to vægge, og dermed en teoretisk forstærkning på 12 dB. Dette giver en 6 dB forskel mellem det lavfrekvente for H1 og H3, hvilket er nogenlunde, det der er målt.

Yderligere er der ved THD-målingerne observeret, at der ved 125 Hz fås en THD på 1,5% ved ca 80 dB SPL for H3, mens der ved en yderligere måling er fået en THD på 1,5% ved ca. 74 dB for H1. Igen observeres en 6 dB forskel, der kan skyldes forstærkning fra en ekstra væg ved H3, selv når THD'en er den samme for begge højttalere (hvilket vurderes til at være ækvivalent med, at den afsatte effekt i højttalerne er den samme).

4.1.3 Peaks i H1 respons

I højttalerresponset for begge H1 højttalere er målt en peak omkring 220 Hz og en mere ved 350 Hz. Dette er ikke målt ved H3, hvilket giver en ide om, at de to peaks kan skylde kabinettet. Hertil overvejes det, hvorvidt der kan være tale om kabinetresonans grundet mangel på afstivning. Designet af H1 højttaleren er knap så kompakt som H3, og H1 bagpladen er større en de to bagplader på H3. Derfor tænkes det, at kabinet og bagplader er stive nok, til der ikke opstår peaks på samme måde i H3.

4.1.4 Kamfiltrering af H3

For H3 blev der observeret akustisk kamfiltrering i frekvensresponset. Dette virker til at opstå pga. diffraktion og refleksion, der hvor fronten af højttalerkabinettet møder væggene. Det har med den nuværende version af H3 resulteret i at der et kraftigt dyk lige midt i taleområdet, nemlig 1100 Hz. Dette er selvfølgelig ikke hensigtsmæssigt. En løsning på dette problem, kunne være at lave H3 smallere på tværs af fronten og højere for at kompencere for den tabte volumen. Allerede ved en bredde på ca. 17 cm, er dykket rykket op til 2000 Hz.

4.1.5 Udbredelseskarakteristik

Udbredelseskarakteristikken af højttaleren er vigtig for en fritfelts opstilling. En god egenskab er at have omnidirektionel udstråling, da dette gør systemet mindre følsomt over for placering af HA brugeren der skal udføres en test på. Det ses i afsnit 2.6.2 at både H1 og H3 er tilnærmelsesvist omnidirektionelle i det frekvensområde der er vigtigt for tale (dog med førnævnte dyk ved 1100 Hz og 3500 Hz for H3).

4.1.6 Kabinettuning

Der er observeret, at knækfrekvensen for højttalerne umiddelbart ligger lavere i frekvens end simuleret. Her er observeret knæk omkring 70 Hz, mens simuleringerne giver knæk omkring 90 Hz. Forskellige årsager til denne afvigelse overvejes. Den simpleste af disse er en overestimering af volumen. Formlen for tuningfrekvensen er givet ved [16]:

$$f_B = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{s_c}{m_v}} \ , \tag{4.1}$$

hvor f_B er tuningfrekvensen, s_c er stivheden af luften i kabinettet og m_v er trægheden af luften i porten. Det ses, at jo større s_c bliver, jo højere bliver tuningfrekvensen. s_c er givet ved:

$$s_c = \frac{S^2 \rho_0 c^2}{V_B} \ , \tag{4.2}$$

hvor S er højttalermembranens effektive areal, ρ_0 er luftens densitet, c er lydens hastighed og V_B er netto volumen i kabinettet. Fra denne ses det, at s_c bliver mindre, når volumenet V_B bliver større. Dette betyder i sidste ende, at et større volumen giver en lavere tuning.

En anden mulig årsag er trægheden af luften i porten, m_v. Det ses fra formel 4.1.6 at tuningfrekvensen falder, når m_v stiger. Der blev valgt at lægge vat i højttalerkabinetterne,

da dette kan hjælpe på potentielle kabinetresonanser. Her huskes det, at der ikke blev taget højde for, at vattet potentielt blev lagt foran porten. Dette kan gøre luften sværere at bevæge gennem porten/øge trægheden af luften i porten, hvilket resulterer i en lavere tuningfrekvens.

4.1.7 THD

I tabel 4.1 er de resultater for H1 der overholder kravene, fra afsnit 1.6, markeret med grønt. De resultater der ikke overholder kravene, er markeret med rødt. Det ses at kravene ikke er overholdt i tre tilfælde for H1. Ved 125 Hz for både 100 dB SPL og 80 dB SPL. Her er kravet ved 100 dB SPL ikke nået, fordi effekten afsat i højttaler enheden er begrænset, for at beskytte denne. Dette har resulteret i at det ønskede niveau ikke er opnået. Ved 80 dB SPL er kravet ikke overholdt, fordi forvrængingen er for høj. Dette skyldes for stort udsving af højttalerenhedens membran.

Desuden er kravet brudt ved 500 Hz for 100 dB SPL. Dette skyldes igen en begrænsning på afsat effekt i enheden.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz
SPL 1 m (maks. 100 dB SPL)	93,1 dB	100,8 dB	93,7 dB	100,0 dB
THD	10,0 %	5,5 %	2,9 %	0,9 %
SPL 1 m (maks. 80 dB SPL)	80,7 dB	80,0 dB	80,4 dB	80,0 dB
THD	3,7 %	0,3 %	0,7 %	0,2 %

Tabel 4.1: Forvrængning og lydtryk for H1.

På baggrund af THD målingerne på H1, kan der overvejes om der skal vælges en enhed med højere følsomhed, for at opnå de 100 dB SPL. Desuden bør enheden have en større slaglængde, så den ikke forvrænger ved både 80 dB SPL og 100 dB SPL ved 125 Hz.

I tabel 4.1 ses resultaterne for H3. Der er markeret på samme måde som ved H1. Her ses det at kravene ikke er overholdt ved 100 dB SPL for 500 Hz og 1000 Hz. Igen er det for begge disse, en begrænsning af afsat effekt i enheden, der resulterer i et for lavt lydtryk.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz
SPL 1 m (maks. 100 dBSPL)	100,6 dB	103,3 dB	97,2 dB	94,3 dB
THD	9,7 %	6,3 %	3,0 %	1,5 %
SPL 1 m (maks. 80 dBSPL)	80,3 dB	80,3 dB	80,4 dB	80,1 dB
THD	1,5 %	0,4 %	0,5 %	0,3 %

Tabel 4.2: Forvrængning og lydtryk for H3.

4.1.8 Frekvensrespons i endelig opstilling

I afsnit 3.2.2 ses det at alle tre højttalere, efter kalibrering, overholder kravene ift. frekvensrespons i en hjørneopstilling. Det skal også noteres at alle tre højttalere næsten overholder kravene inden kalibrering og kun overskrider disse ved enkelte frekvensbånd.

Dette danner et godt grundlag for kalibrering. På frekvensresponserne for kalibrerede målinger, ses det at venstre kanal afviger mest. Dette kan skyldes at denne spiller ind mod en udæmpet væg og skrivebordet med udstyr til forsøget. Skrivebordet er placeret som det er, for at efterligne et miljø der er observeret i en audiologisk klinik. Dog skal der bides mærke i, at det "værste"frekvensbånd her, stadig ligger 2 dB fra at overskride kravet. Dette danner et godt grundlag for at kunne kalibrere til mange forskellige lydmiljøer.

4.2 Konklusion

Under projektet er danske høreklinikker blevet undersøgt mht. udstyr og nuværende metoder inden for audiometri og tilpasning/verificering af høreapparater. Sammen med krav fra standarder har denne undersøgelse dannet basis for et design af højttalere til taleaudiometri i støj i frit felt. Det er lykkedes at designe og bygge to typer boble-formede højttalere. Der er lavet lavfrekvenssimuleringer vha. højttalermodeller og metoder beskrevet af Small. Efterfølgende er der designet og bygget prototype-højttalere, der egner sig til opstillinger i hjørner, hvilket er pladseffektivt og egner sig til små klinikker. For hver type højttaler er der målt frekvensrespons, udbredelseskarakteristik og THD ved lydniveauer dikteret af standarderne. Det er lykkedes at bygge en prototype, der har et lavfrekvensrespons tilnærmelsesvist som simuleret. Yderligere er det lykkedes at kalibrere højttalerne, så krav om frekvensrespons og tilpassede lydtryk overholdes. Det er lykkedes at overholde krav om THD for de fleste frekvenser og niveauer, der er udvalgt til målingen.

4.3 Perspektivering

4.3.1 Mobil højttaler

Som nævnt i afsnit 1.3.4, har der været et ønske om at lave en mobil højttaler løsning. Grundet mangel på tid, er dette ikke opnået. Dog er der gjort nogle overvejelser ift. dette og hvordan en sådan løsning kunne se ud. På figur 4.1 er der vist hvordan en mobil løsning kunne laves i boble konceptet. Her er der en kugle med højttalerenhed og elektronik, monteret på en stand til at stille på bordet hjemme hos HA brugeren.

Figur 4.1: Illustration af konceptuel mobil højttaler.

I denne opstilling skal der gøres nogle overvejelser ift. frekvensgangen af højttaleren, da lokalet skifter fra gang til gang. Dette gør det besværligt at kalibrere, da det skal gøres hver gang systemet tages i brug hos en HA bruger. Her kan der måske laves en pre-kalibrering på baggrund af dimensionerne af rummet der skal måles i og placeringen af

højttaleren. Eventuelt på baggrund af nogle simuleringer. Alternativt må der suppleres med en målemikrofon og evt. et stykke software, der gør kalibrering til lokalet hurtigt og let. Dette kan dog virke generende på HA brugeren, da kalibreringssignaler som regel ikke er behagelige at lytte til.

4.3.2 Interaktivt element: LED ringe.

Det er overvejet om der kunne tilføjes et interaktivt element til boble konceptet. Her tænkes der fx. ift. børn der skal oplæres i at retningsbestemme med CI. Her kunne der indbygges LED ringe i højttalerne, som kan give feedback. Systemet kunne fungere ved at HA brugeren står ved en centerposition og skal lytte efter hvor lyden kommer fra. Herefter kan HA brugeren gå hen og røre ved den højttaler man tror er rigtig. Denne kan så lyse fx. grøn hvis der er valgt rigtigt eller rødt hvis der er valgt forkert. Et alternativ er et point and shoot system, hvor HA brugeren har en form for pistol og "skyder" højttaleren, HA brugeren mener at lyden kommer fra. Igen kan der gives feedback i forskellige farver, alt efter om der er ramt rigtigt eller ej. En tredje mulighed er et system, hvor den højttaler der laver lyd også lyser. På denne måde er der visuel feedback sammen med lyden. Dette kan potentielt optræne noget lytte/se koordination.

Et bud på hvordan højttalerne med lysringe kan se ud, er vist på figur 4.2.

Figur 4.2: Illustration af konceptuel interaktiv højttaler.

Bruges dette aktive element, kan det være vigtigt at tidsforskellen mellem højttalerne kalibreres væk. Dette er især vigtigt, hvis der vil eksperimenteres med "phantom sources". På billedet er konceptet præsenteret med tre højttalere, men konceptet kan sagtens udvidet til brug af flere højttalere placeret på alle rummets vægge, og evt. i forskellige højder.

4.3.3 Muligheder i 3D-print af højttalere: Produktion og prototyping

Til projektet er der benyttet 3D-printning til prototype af de uortodokse kabinetformer. Dette gør produktionen signifikant lettere, givet kompetencer i CAD design haves. I dette projekt har det økonomiske ved 3D-printning givet problemer. Dette skylde hovedsageligt,

at der er benyttet en speciel printer, hvor plasticfilamentet har været ekstra dyrt. Her findes billigere alternativer.

3D-printere bliver mere og mere gængse, også hos private folk. Til prototyper er det et meget kraftfuldt stykke værktøj. Det vurderes dog også, at det kunne være et godt værktøj til skræddersyede højttalerdesigns. I konceptafsnittet, 2.1, er der illustreret en højttaler, der er formet, så denne kan monteres, på trods af i forvejen monterede kabelbakker. Dog vil der stadig være et økonomisk aspekt i de mandetimer, der går med design og produktionstid af skræddersyede højttalere.

Vælges der derimod at lave en løsning der ikke er skræddersyet til den enkelte klinik, kan der vælges at bruge sprøjtestøbt plastic. Dette kan gøre produktionen meget hurtig og ved store styktal billig.

4.4 Anerkendelser

I løbet af projektet har flere personer hjulpet på forskellige måder. Der skal uddeles tak til:

Dorte Hammershøi for god og indsigstrig vejledning igennem hele projektet.

Gert Ravn for at have bidraget til projektet, med hans viden inden for dets emner.

Claus Vestergaard Skipper for hjælp med udstyr og måleopstillinger i laboratorierne.

Kenneth Knirke for hjælp med 3D print, laserskærer og bestilling af komponenter.

De klinikker der har deltaget i interviews, for at give os et grundlag for vores cases.

Jacob Alexander Rasmussen for sparing under projektet og hjælp med gennemlæsning af færdig rapport.

Cille Bach Thuesen for korrekturlæsning af færdig rapport.

Appendiks A

A.1 Spørgsmålsark til interview i høreklinikkerne

Alt data om interviewet gemmes i et år efter projektaflevering (Afleverings dato: 02/06-2022). Under interviewet vil der blive optaget lyd. Disse optagelser bliver ikke offentliggjort, men gemmes med henblik på at dokumentere besvarelser som vil blive transskriberet til rapporten.

Ønskes der at besvare interviewet anonymt? (Ja/Nej):
Hvis ja, ydfyldes følgende ikke.
Navn på Klinik:
Adresse:
Kontakt person/ansvarlig:

Hvis besvarelse ved interview ønskes trukket tilbage, kontaktes den interview og data ansvarlige:
Navn: Karl Sommer
Mail: ksomme17@student.aau.dk
Tlf: 42542412

Vejleder på projektet: Dorte Hammershøi

Projektforfattere: Simon Nadj og Karl Sommer

Vi er to studerende fra Aalborg Universitet, som er i gang med at skrive vores afgangsprojekt inden for akustik og signalbehandling. Vores projekt omhandler indførelsen af de nye krav om fritfelts taleaudiometri til tilpasning af høreapparater. Dette indebærer en undersøgelse af forskellige klinikkers nuværende løsning til at verificere tilpasningen af et høreapparat og om hvorvidt klinikkerne allerede opfylder de nye krav. Vi vil gerne undersøge den nuværende løsning eller hvad der *kunne* være en god løsning til klinikkerne. Fokus for projektet er udvikling af en højttaler som er pænere/mere diskret end en "almindelig" firkantet højttaler og samtidig opfylder kravene for fritfelts taleaudiometri. Der vil til det fysiske interview blive medbragt et eksempel på hvordan sådan en løsning kunne se ud.

Spørgsmål:

De følgende spørgsmål er vejledende, forstået som at der kan opstå spørgsmål til uddybning, afhængigt af svar og hvordan samtalen udvikler sig.

Information om klinikken:

a) Hvordan er klinikken indrettet?

b) Hvilke faciliteter er der?

c) Hvordan foregår en tilpasning af et høreapparat hos klinikken?

d) Hvordan verificerer klinikken tilpasning af høreapparater?

e) Kender klinikken til de nye krav til verificering af høreapparatstilpassning?

Hvad er vigtigt for klinikken ved valg af højttalere til taleaudiometri?

a) Lyd/respons?

b) Æstetik?

c) Pris?

A.2 Svar fra interviews

A.2.1 Klinik 1 (Privat klinik)

Information om klinikken:

a) **Hvordan er klinikken indrettet?:** Klinikken har to lokaler til kundebetjening. I lokalerne er der gulvtæppe, gipsvægge og en form for lyddæmpende materiale i loftet. Hørespecialisten har et bord med computer, audiometer mm. stående i lokalet.

b) **Hvilke faciliteter er der?:** I lokalerne er der udstyr til almindelig audiometri med høretelefoner. I begge lokaler er der yderligere udstyr til både REM, og i det ene er der udstyr til frit felt. Der var desuden købt højttalere til frit felt setup til det andet lokale. Dette var dog ikke sat op endnu. Til frit felt måling benyttes der tre højttalere, en i et hjørne og to på hver sin væg med samme afstand til hjørnehøjttaleren. Disse er sat op, så de peger ind mod testpersonen med en vinkel på 45° relativt til centerhøjttaleren i hjørnet. Klinikken har DANTALE I tilgængelig til taleaudiometri. Kontaktpersonen tilføjer dog, at vedkommende ville foretrække DANTALE II, da vedkommender mener sætningsbaseret test er mere korrekt at anvende. Der er dog det økonomiske aspekt ved det.

c) **Hvordan foregår en tilpasning af et høreapparat hos klinikken?:** Der benyttes REM til tilpasningen. Her benyttes NAL eller DSL som reference,

afhængigt af forgående høreprøver. Om der benyttes det ene eller det andet, afhænger af kundens historik/baggrund. Hvis kunden allerede har benyttet et apparat, kan dette også have betydning. Her kan der med fordel tages udgangspunkt i en tidligere tilpasning, især hvis kunden skal have nyt apparat af et andet mærke. REM udføres på tre styrkeniveauer: 50, 65 og 80 dB.

d) **Hvordan verificerer klinikken tilpasning af høreapparater?:** Herefter bliver kunden spurgt om deres subjektive vurdering af lydtrykket. Efterfølgende udføres en taleaudiometri med støj i frit felt. Hvis kunden synes, tilpasningen giver for højt lydtryk efter tilpasning ved REM, kan der også udføres audiometri i frit felt før tilpasningen justeres, for at se, hvor meget kunden taber ved at få skruet ned på tilpasningen. Hvorvidt der bliver lavet taleaudiometri med støj i frit felt afhænger dog af, om der er tid til det.
Kontaktpersonen tilføjer, at for vedkommende er den pædagogiske effekt, taleaudiometrien har, der er vigtigt. Hvis kunden kan mærke, at de fanger flere af ordene, før der skrues ned for tilpasningen end efter, er de villige til at skrue op igen.
Kontaktpersonen fortæller, at det for vedkommende er blevet nødvendigt at benytte både REM og frit felt, for at være tryg i det arbejde, personen laver. Kontaktpersonen fortæller også, at de ikke er enige i den måde, verificeringen udføres på andre klinikker, vedkommende har arbejdet på. Her nævnes eksempler med raslen med papir eller køre en ske rundt i en kop, for at finde ud af, om kunden kan holde disse lyde ud. Her nævner kontaktpersonen, at dette ikke hjælper på at finde ud af, hvilket frekvensområde kunden har et problem ved.

e) **Kender klinikken til de nye krav til verificering af høreapparatstilpassning?:** Klinikken er opmærksom på, at der potentielt kommer nye krav i det nye år, men er i tvivl om, hvad kravene helt præcis bliver, idet det stadigvæk er til høring/diskussion.

Hvad er vigtigt for klinikken ved valg af højttalere til taleaudiometri?

a) **Lyd/respons?:** For kontaktpersonen er dette punkt det vigtigste.

b) **Æstetik?:** Kontaktpersonen selv er ikke interesseret i "dansk design", men det må selvfølgelig gerne se pænt ud. Muligt, at det æstetiske er vigtigere for chefen. Kontaktpersonen kom med et eksempel, hvor personen ikke fik lov at sætte et kryds på gulvet som afmærkning af position, så der sikres korrekt positionering af kunde ved frit felt måling. Kontaktpersonen mener dette skyldes æstetik.

c) **Pris?:** Kontaktpersonen fortæller, at spørger man chefen, skal højttalerne helst være så billigt som muligt, men at kontaktpersonen selv er klar over, at man kvalitetsmæssigt får, hvad man betaler for.

Andet: Der blev kort spurgt ind til cochlea-implantater og træning af retningsbestemmelse ifm. projektets omfang. Her blev det nævnt, de hos klinikken ikke har noget med cochlea-implantater at gøre. Det blev også vurderet, at der var tale om en del flere højttalere end tre, hvis man skulle kunne træne retningsbestemmelsen,

ifølge kontaktpersonen.
Højttalerne, klinikken benytter til fritfeltsaudiometri: RadioEar SP90A (forhandlet hos Interacoustics).

A.2.2 Klinik 2 (Offentlig klinik)

Information om klinikken: Klinikken er den offentlige klinnik i Aalborg, på Havrevangen 1.

a) **Hvordan er klinikken indrettet?:** Der er i klinikken 6 lokaler til at udføre audiometrier i. To af lokalerne har et kontrolrum, hvor personalet kan sidde adskildt fra patienten som får foretaget målinger. Lokalerne er 12 - 17 m^2 og har 2,5 m til loftet. Der er beton/gipsvægge, linoleums gulve og noget der måske er akustisk dæmpende paneler på loftet. Placeringen af fritfelts opstillingerne i de forskellige lokaler, virker tilfældig. I nogen lokaler er der frit om højttalerne, mens der i andre er et bord imellem nogle af højttalerne og positionen hvori patienten skal sidde.

b) **Hvilke faciliteter er der?:** Der er mulighed for at udføre otoskopi, tympanometri, stapedius refleks, rentone audiometrier, REM målinger og fritfelts audiomterier. Fritfelts opstillingerne varier fra lokale til lokale i form af typen af højttaler der bruges. Der er på gulvene i lokalerne markeret det optimale position for patienten med et kryds. Alle frifelts opstillingerne er med tre højttalere. I nogle rum peger højttalerne meget ned i gulvet og der er mistanke om at dette gør opstillingen mere følsom overfor den præcise placering af patienten, grundet direktivitet ved højere frekvenser. De bruger på klinikken bla. DANTALE I

c) **Hvordan foregår en tilpasning af et høreapparat hos klinikken?:** Først laves en otoskopi og herefter udføres en rentone audiometri ved både ben- og luft-ledning. Der udføres også SRT (Speech Reception Threshold), en tympanometri og stapedius refleks tærskler. Hvis der er mistanke til at patienten har et støjbetinget høretab, så måles der en skelneprøve i fritfelt i støj. På baggrund af denne laves den første programmering af et høreapparat.

d) **Hvordan verificerer klinikken tilpasning af høreapparater?:** Der er i forbindelse med BEAR projektet, blevet udført REM målinger på klinikken. Ellers foregår det primært ved samtale med patienten. I specialtilfælde benyttes test med tale i støj (DANTALE I), når overlægen ser det brugbart/nødvendigt, men dette er ikke almindelig procedure..

e) **Kender klinikken til de nye krav til verificering af høreapparatstilpassning?:** Audiologiassistenten er klar over at der kommer nye krav og virker til at være rimelig godt inde i dem. Der er fra audiologiassistent, der blev snakket med, givet udtryk for en bekymring om at der ved de nye krav ikke er specificeret, hvad REM målingerne skal bruges til. Hendes bekymring ligger i at der ikke er defineret hvad en REM måling skal holdes op i mod og derfor måske kan ende med at blive en ligegyldig test. Derudover foreslog Audiologiassistenten, at man på baggrund af en taleforståelighedstest uden høreapparater, vurderer om der i det hele taget skal laves test med fritfelts tale i støj. Hun mener at hvis forståeligheden i forvejen er ringe, så bliver den ikke meget bedre og derfor kan det have en negativ psykologisk effekt på patienten at lave en helt masse

målinger, hvor de alligevel ingen ting forstår.

Hvad er vigtigt for klinikken ved valg af højttalere til taleaudiometri?

a) **Lyd/respons?:**

b) **Æstetik?:**

c) **Pris?:** Audiologiassistentens bedste bud var at prisen var den afgørende faktor.

Andet: Det blev diskuteret om hvorvidt det kunne være et problem at klinikken benytter forskellige højttalere i de forskellige rum. Audiologiassistenten nævnte at hun ret tydeligt kan høre forskel på hvad rum/ højttalere der bliver brugt til fritfelts audiometri.

A.3 Målinger på forstærker print

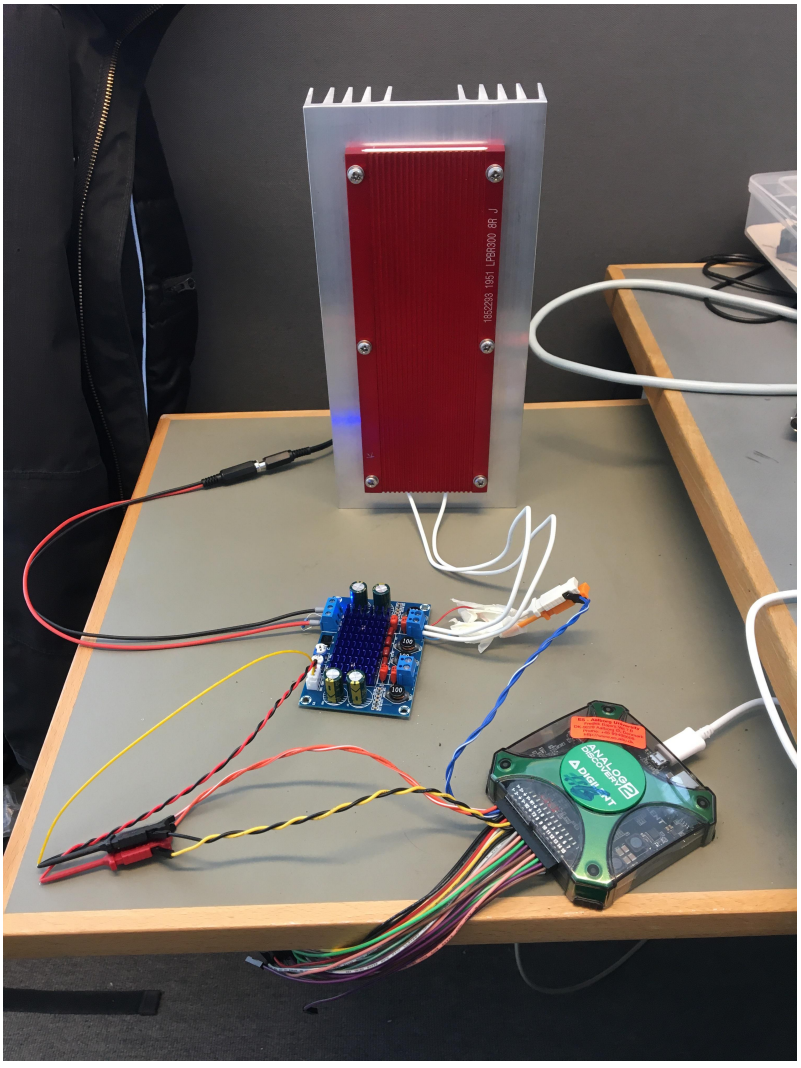
Dette er en journal fra målinger på forstærker printet "XH-M572". Der er målt linearitet, THD og SNR.

Udstyr	Antal
8 Ω ohmsk modstand	1
Analog Discovery 2	1
24 V switchmode powerbrick	1
PC med waveforms software	1
XH-M572 (DUT)	1

Tabel A.1: Liste over udstyr brugt til målinger af forstærker.

I tabel A.1, ses en liste over udstyr brugt til at måle linearitet, THD og SNR på forstærkeren.

A.3.1 Forsøgsopstilling

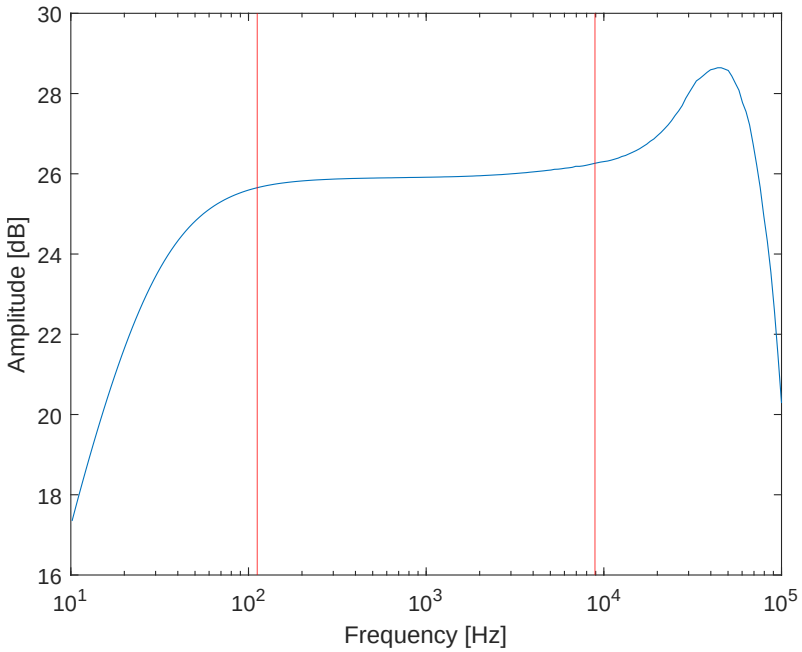


Figur A.1: Billede af forsøgsopstillingen brugt til målinger af forstærker.

På billede A.1 ses forsøgsopstillingen brugt til at lave de forskellige målinger på forstærker printet XH-M572. De to indgange (orange/hvid og blå/hvid) og den ene udgang (gul/sort) er snoet, for at undgå indstrålet støj. Der måles med den ene oscilloskops kanal på indgangen til forstærkeren, mens der med den anden kanal måles på udgangen. På denne måde kan de forskellige målinger laves, so forskellen mellem indgang og udgang og dermed negligere indvirkninger fra signalgeneratoren. Under alle målinger er der koblet en højeffekts 8 Ω ohmsk (lineær 20 Hz - 100 kHz) modstand til udgangen af forstærkeren som belastning. Volumen-potentiometeret på forstærkerprintet er sat hvor forstærkeren har 20x forstærkning.

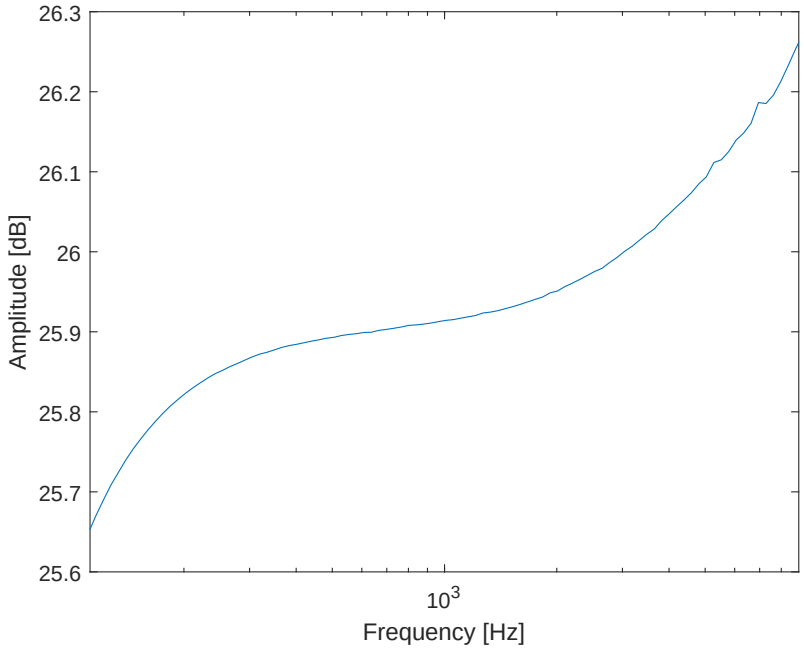
A.3.2 Linearitet

For at måle linearitet, er der kørt et logaritmisk frekvenssweep på forstærkeren. Der er målt fra 10 Hz til 100 kHz.



Figur A.2: Frekvensrespons af forstærkeren.

På billede A.2 ses forstærkerens frekvensrespons. Det ses at forstærkeren afviger meget lidt fra et fladt respons, mellem de to røde linjer. Dette frekvensbånd dækker de 1/3 oktavbånd der er specificeret i kravspecifikationen.

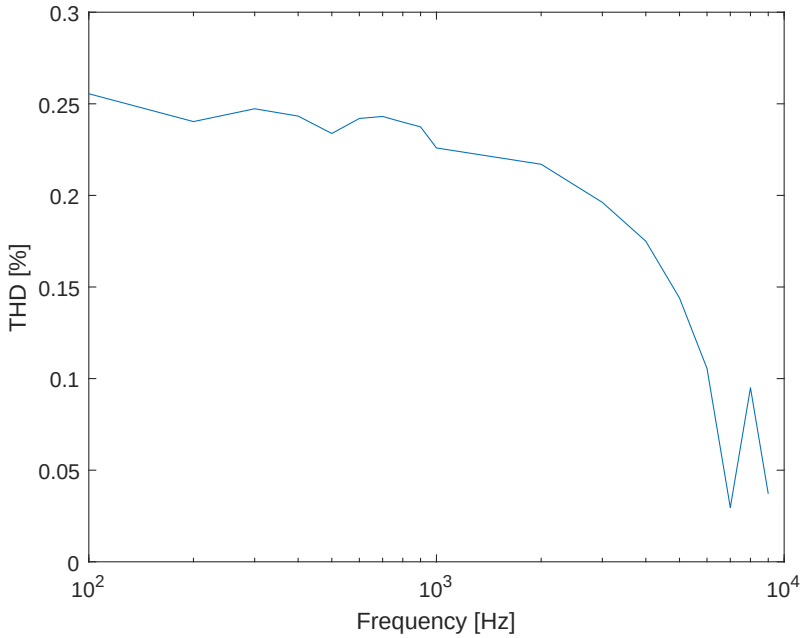


Figur A.3: Frekvensrespons af forstærkeren zoomet ind på specificeret område.

På billede A.3 ses forstærkerens frekvensrespons, men her zoomet ind på det interessante frekvensområde. Her ses det tydeligt at der ikke er en afvigelse på mere end ca. 0,6 dB.

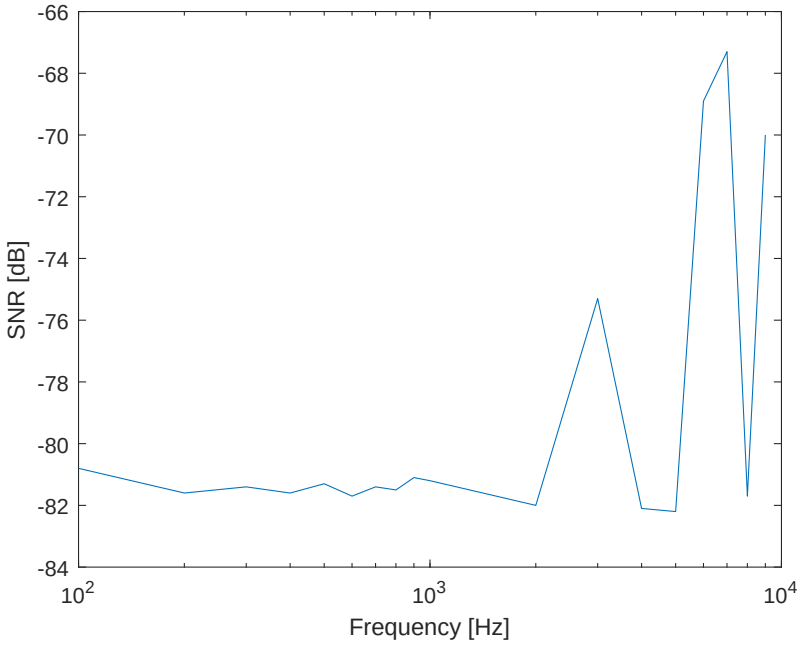
A.3.3 THD og SNR

For at måle THD og SNR over hele forstærkerens respons, er der målt THD og SNR for enkelte frekvenser inden for dette. Fra 100 Hz til 1 kHz er der målt i spring af 100 Hz. Fra 1 kHz til 9 kHz er der målt i spring af 1 kHz.



Figur A.4: THD mod frekvens målt på forstærkeren.

På figur A.4 ses den målte THD plottet i forhold til frekvens. Den højeste målte THD på ca. 0,25 % er ved 100 Hz.



Figur A.5: SNR mod frekvens målt på forstærkeren.

På figur A.5 ses den målte SNR plottet i forhold til frekvens. Den højeste målte SNR på $-67{,}3$ dB er ved 7 kHz.

Det konkluderes på baggrund af disse målinger, at denne type forstærker ikke vil have nogen signifikant indflydelse på frekvensrespons, forvrængning eller egenstøj af højttaleren den monteres i.

A.4 Transskriberinger

A.4.1 Klinik 1 (Privat klinik)

Audiologisten gjorde os før interviewet opmærksom på, at svarene vil være ud fra hans egen personlige holdning.

Karl: Og du havde læst det her?

Audiologisten: Det har jeg.

Karl: Yes. Vi har jo taget den [højttaleren] med, vi har sådan været lidt i gang med at designe højttalere. Tanken er, at det skal være en sådan kuppel-formet en som sidder på væggen. Og det er lidt, kunne vi forstå på Dorte, at der mange, der ikke synes det er æstetisk pænt i deres klinik med en firkantet højttaler. Plus, det har nogle gode akustiske egenskaber, at den er rund.

Audiologisten: Ja?

Karl: Så det er udgangspunktet i hvert fald.

Audiologisten: Det vil jeg jo sige er det afgørende, at den fungerer.

Karl: Det er så også noget af det vi vil undersøge - det kan du nok fornemme lidt af spørgsmålene - hvor meget betyder det egentlig, hvordan den ser ud?

Audiologisten: Det er jeg måske heller ikke den rette at spørge, for jeg er jo oprindeligt tysker og jeg går ikke så meget op i dansk design som sådan. Men jo, jeg kan godt lide, når det ser fint ud, når det så også virker, men for mig er funktionen det afgørende, og så kommer designet bagefter. I hvert fald i den sammehæng her.

Karl: Ja. Og ud fra en ingeniørs synspunkt vil det jo klart også være det sjoveste.

Audiologisten: Men det skal bare fungere. Det er det, det drejer sig om.

Karl: Men det er jo også det, grunden til at vi blev henvist herned af Gert, det var nok egentlig at så kunne vi få begge ender at spektrummet. Hvor det virkelig bare er funktionalitet som vi kan forstå det er her, kontra nogen af de andre, der måske hellere vil have noget, der ser pænt ud i deres klinik. Hvilket måske er en lidt sjov tilgang.

Audiologisten: Ja, jeg vil sige, som sagt før vil jeg også gerne det ser pænt ud, men for mig er det ikke det som skulle drive det. Det skulle være funktionaliteten og kvaliteten bag ved det.

Karl: Ja. Hvis vi skal hoppe sådan lidt ned til spørgsmålene, nu kan vi jo sidde her og så hvordan klinikken er indrettet.

Audiologisten: Yes.

Karl: Vi kan se i har en opstilling med tre højttalere her.

Audiologisten: Ja. Det skyldes jo lidt, den nuværende opstilling skyldes jo lidt den plads vi har. Det nok ikke helt optimalt, heller ikke i det lokale her, som det er, men det er nok det bedste vi kan gøre, hvis vi skal bruge det.

Karl: Ja, med de lokaler i har her?

Audiologisten: Ja.

Karl: Så er der akustisk dæmpede loftpaneler, eller hvad?

Audiologisten: Ja.

Karl: Og væggene er bare almindelige vægge?

Audiologisten: Det er noget lydisoleret, med noget dæmpningsværk, men det er gipsvægge udvendigt.

Karl: Okay. Nu har vi skrevet "Hvilke faciliteter er der?". Men det kan vi egentlig sidde og kigge her. Men hvis vi skal hoppe videre til C'eren, fordi de to første svarer jo næsten for sig selv, når vi er her, kan man sige. Hvordan foregår en tilpasning af et høreapparat her så, hvis vi bare skal gå igennem det?

Audiologisten: Jeg vil sige, her i butikken er det jo REM, det gør vi faktisk begge to. Så der bliver tilpasset efter de, hvad skal man sige, rationaler som vi nu har til rådighed

efter enten NAL eller DSL, ikke? Afhængigt af hvad for en høreprøve, der ligger *tilbags. Hvad kunne komme fra produktet.* Der er jo forskellige udgangspunkter. Hvorfor vælger jeg nu den ene eller hvorfor jeg vælger en andet rationale, og det har nogen gange noget med historikken at gøre, hvor kunden kommer fra. Det kan også være noget med produktet [høreapparatet] kunden har haft i nogle år, og har skiftet til et andet mærke, så er det nogen gange nemmere, når høreapparatet er programmeret på en måde, som ligner lidt mere det, som kunden kender i forvejen. Så der er forskellige ting, jeg tænker over, inden jeg sætter i gang med tilpasningen. Og så er det jo REM fuldt ud på tre styrkeniveauer på 50, 65, 80 dB. Og så er det jo sådan til sidst, hvad skal man sige, om balancen også er der for kunden rent subjektivt. Et tjek med kunden om det subjektive lydtryk også er i orden, efter tilpasningen. Og så er det jo helst en frit felt måling efterfølgende, for at kontrollere hvor vi er henne. Og også nogen gang for, når kunden ikke kan tåle den styrke vi har, en frit felt måling inden vi sætter styrken ned, for at kigge på, hvor meget taber kunden. Simpelthen også med henblik på kvalitet som første prioritet. Kvalitet i den forstand, at forståeligheden er der, og kvalitet kan jo have mange parametre i den sammenhæng, ikke? Det kan også være kundens tilfredshed i tilpasningsøjeblikket. Men så havner man jo typisk der at du på den lange løb taber kunden, fordi at så hører du sgu ikke så godt, hvis du bare får det du har mulighed for at acceptere lige nu.

Karl: Hvis man ikke får det efterjusteret, eller hvad?

Audiologisten: Ja det, nu ved jeg jo ikke hvordan, jo jeg ved hvordan andre arbejder, men det et stykke tid siden jeg arbejdede et andet sted. Og det er også nogle år siden jeg ikke har brugt REM og frit felt, så vil jeg ikke undgå [noget jeg ikke kan tyde]. Det er bare efterhånden for mig et nødvendigt redskab for at tilpasse et høreapparat. Også for at være selv tryg i, at jeg gør det rigtigt. Men, du ved, når der sidder nogen og begynder at rasle med papir eller kører en kop med en ske og sådan noget mærkelige trylle ting, det finder jo ikke ud af om kunden har det godt med høreapparatet. Jeg finder bare ud af om den pågældende lyd er til at holde ud eller ej, men jeg ved heller ikke hvilket frekvensområde kunden muligvis har et problem. Derfor vil jeg sige, ja.

Karl: Ja, det er jo ikke særlig kontrollerede forhold.

Audiologisten: Nej, det er ikke defineret.

Karl: På ingen måde.

[Nogen begynder at bore i væggen inde ved siden af, så der kommenteres på noget baggrundsstøj]

Karl: Når i så har tilpasset et høreapparat, så verificerer i det også med frit felts målinger, eller hvad?

Audiologisten: Ja, i langt de fleste tilfælde. Det har jo også lidt at gøre med, vi har jo en hvis mængde tid til rådighed.

Karl: Ja, det klart.

Audiologisten: Og nogen gange trækker det lidt ud, så kan det ikke lade sig gøre. Så kan det jo indhentes efterfølgende et andet sted. Men for mig er det egentlig mere den

pædagogiske effekt, når du har høreapparatet tilpasset, det lyder måske for højt, for skarpt, for ditten og datten, og når man så optimerer høreapparatet subjektivt for kunden, sådan at det bliver et mere tolerabelt, og kunden kan efterfølgende mærke at effekten bare ikke er den samme længere, fordi "jeg hører sgu i stedet for 90% kun 60%"eller endnu færre, så har du også kunden faktisk ofte der, hvor de siger "skal vi ikke skrue lidt op igen". For så er de villige til at acceptere mere lyd for at høre bedre, for de kan mærke forskellen, ikke også? Det er jo faktisk en af de ting som giver rigtig god værdi, synes jeg.

Karl: Okay. [Til Simon] Har du mere i forhold til....?

Simon: Så skulle det måske være lidt mere specifikt bare i forhold til, når i udfører sådan en frit feltshalløj. Hvad slags signaler bruger i til testen?

Audiologisten: Lige nu er det, jeg har kun DANTALE. Det er det eneste jeg har til rådighed.

Simon: Er det så 1'eren eller 2'eren?

Audiologisten: Ej, det vil jeg helst have. Vi har jo kigget på det i forhold til det udkast som der var. Det er jo også mere rigtigt at bruge en sætningstest, i stedet for bare nogle enkelte en-stavelses ord. Men der er jo også noget økonomisk i det. Og man investerer ikke bare i det, kun fordi der muligvis kommer noget. Og så længe, det ikke er fastlagt, hvad der kommer, så tror jeg ikke jeg får lov at lege med DANTALE II. Men jeg vil helst, fordi det er jo ikke kun i Danmark, det er i Sverige og det er i Tyskland, der er jo flere steder, hvor man er gået [noget jeg ikke kan tyde] hen til de teste for at verificere høreapparaterne med, ikke? Ja, men jeg har DANTALE til rådighed.

Karl: Okay. Men nu fik vi egentlig også snakket om de sidste tre, inden vi gik i gang med hvad der er vigtigt for klinikken. Og her ville vi nok også lidt have forventet, ud fra det Gert han sagde, så er det jo så nok mest det tekniske, du prioriterer højest.

Audiologisten: Det er i hvert fald første prioritet.

Karl: Ja.

Audiologisten: Og så må det også gerne være æstetisk. Og hvis du spørger min chef skal det nok også være billigt.

Karl: Ja, så skal det også være billigt.

Audiologisten: Men jeg ved også godt, du får ikke noget godt hvis du ikke betaler prisen, ikke? Pris og kvalitet hænger sammen, så det fortæller jeg mine kunder, når vi snakker høreapparater, hvorfor skulle det være en anden snak, når vi taler udstyret, som skal fungere ordentligt.

Karl: Ja. Jeg tror.. Nu skal vi lige se, du er jo den første, der svarede du gerne ville være med hernede. Der er ikke andre, der har meldt tilbage endnu, at de gerne vil deltage, men umiddelbart synes vi det kunne være ret interessant at have nogle cases til vores rapport vi sådan har med, til sådan at beskrive, det her det ville jo nok være et ekstreme, her er det meget god opstilling, og så kunne vi måske have nogen andre, en hvor de måske ikke går lige så meget op i det tekniske, det havde vi lidt tænkt. Og så har vi også kigget lidt

på nogle mobile høreklinikker, der oppe i Aalborg, som vi også godt kunne tænke os. Så vi tænker på om...

Audiologisten: Når du siger cases, hvad tænker du der?

Karl: Det er sådan en klinik, hvor vi tager den med, og i stedet for det bare er et interview til at danne baggrund for rapporten, så hiver vi det sådan direkte med ind i rapporten, og så har en beskrivelse af selve klinikken, som et eksempel på en klinik.

Simon: Et form for scenarie sådan kan tage udgangspunkt i.

Audiologisten: Nåh, i tænker ikke cases i forhold til kunder og patienter, i tænker mere på case, hvordan er opsætningen.

Karl: Ja.

Audiologisten: Okay, jamen det tror jeg ikke der er noget problem i. Ellers var der jo noget GDPR vi også lige skal tænke over, ikke også?

Karl: Det var mere, om vi må nævne klinikken, eller..?

Audiologisten: Jeg var også nødt til lige at cleare mit bagland, og jeg har ikke hørt at I ikke må, så det burde gerne være okay.

Karl: Yes. Fordi, jeg ved ikke, tror du vi må tage et par billeder her også, så vi lige har, så man kan sætte ind i rapporten, hvordan det ser ud? Eller er det noget, du skal finde ud af om vi må først?

Audiologisten: Det ved jeg faktisk ikke. Jeg tror bestemt I må gerne lave en tegning, eller hvad det ellers kunne være, men om der må tages billeder, det har jeg selvfølgelig ikke undersøgt.

Karl: Har du lyst til at undersøge det? Vi kan jo altid kommunikere igen, og vi kan nok også altid kommer herned igen, hvis det bliver nødvendigt.

Audiologisten: Det vil jeg gerne undersøge, jeg ved bare, at når jeg sender en mail af sted nu, så får jeg ikke svar inden for den næste times tid.

Karl og Simon: Nej nej, det fint.

Audiologisten: Så derfor vil der nok gå lidt tid inden jeg har svaret. Men jeg har ingen problem med at undersøge, om det er i orden, at jeg tager billeder her. For min skyld er det lige meget.

Karl: Det kan være du vil tage et par billeder for os så, når [vi skal ud (?)] herfra?

Audiologisten: Det kan jeg også gøre, hvis det skulle være.

Karl: I hvert fald ud fra billederne ville vi jo så kunne lave en tegning, om ikke andet.

Audiologisten: Men det undersøger jeg gerne. Jeg vil også gerne sende billederne, hvis det er i orden.

Karl: Det ville i hvert fald være fedt.

Audiologisten: Hvad skal I, når I er færdige med jeres rapport. Hvad er formålet i det?

Karl: Altså med projektet?

Audiologisten: Ja.

Karl: Formålet er at finde ud af, hvilken type højttaler, der er relevant at lave, i forhold til de nye krav. Problemet er lidt, lige nu ved vi ikke hvordan de nye krav bliver sådan helt, så...

Audiologisten: Det er jo samme problem her.

Karl: Så nu er vi ude og føle på klinikkerne, er planen lidt vi skal ud og mærke hvad de er interesserede i.

Audiologisten: Ja.

Simon: F.eks. hvis nu en klinik ikke lige har sådan en frit felts opsætning, hvad de så umiddelbart tænker er deres plan at gøre, i tilfælde af de skal have sådan noget ind i billedet. Om de skal sætte et lokale af til det, eller om de skal gøre som her, og måske sætte et hjørne af til det, eller hvor stor omfang de lige tænker, det skal være i.

Karl: Og så, lidt det vi er ved at undersøge nu, det er hvordan ser klinikker egentlig ud. Hvad er der muligt at lave af opstillinger ude i klinikker.

Audiologisten: Så bliver det også spændende at kigge på de kørende klinikker der. Hvordan gør de det?

Karl: Ja. Der bliver et interessant problem i hvis det skal være et kalibreret system. Det tror jeg, det bliver svært i hvert fald.

Audiologisten: Det giver i hvert fald udfordringer.

Karl: Ja. Men det har vi også, vi har snakket om både at lave den her [peger på demo højttaler] og så lave en mobil løsning man bare stiller på sådan lidt tri-pod-agtigt, lige som den her [peger på diktafon] på et bord hjemme ved kunden.

Audiologisten: Men så har du stadigvæk ikke, der skal også være lidt en selvkalibrering inden du gør noget, ikke?

Karl: Ja, eller en eller anden pre-kalibrering som i hvert fald er godt nok, alt efter hvordan kravene bliver.

Audiologisten: Fordi der er også noget, hvis det nu også kommer med, der står også noget i dokumenterne jeg har set, der skal ved høreprøven også laves en test, støjniveauet rundt omkring, ikke? Så det må man også lige tage med. Nu tænker jeg bare, den skal også bruges sammen med audiometeret. Hvis der er i audiometeret en mulighed for at måle på det, så det jo fint nok. Men ellers kunne det jo også være smart at have den funktionalitet på en eller anden måde indebygget i systemet der. At du kan lave en analyse af bare baggrundsstøjen eller en analyse af er lyden i rummet okay for sådan en måling her. Der er noget efterklang og...

Karl: Men så egentlig, lige nu er vi jo ved at undersøge hvad forholdene hvor vi skal lave

noget til er, finde ud af på den baggrund hvordan vi skal lave det. Og så har vi lavet denne her [peger på demo højttaler] som et hurtigt eksempel at have med ud, hvordan kunne det se ud. Altså, foreslaget fra vores vejleder Dorte var sådan nogle, lydbobler kaldte hun dem, til at sætte på væggen. Sådan nogle halvkugler.

Audiologisten: Og den skal bare simpelthen monteres på væggen, eller?

Karl: Ja, bare fladt på væggen.

Simon: Og så bare direkte op og sidde sådan her-agtigt [sætter højttaler mod en væg]. Og så var der også en tanke om at, hvis du så f.eks. har ligesom en opsætning her i hjørnet, at du så kunne have sådan nogen til at sidde der [peger på højttalere], hvor de skal sidde direkte på væggen, og så måske have sådan en kvart kugle til når den skal sidde inde i hjørnet.

Audiologisten: Ja, okay.

Karl: Noget af det vi også snakkede om med vores vejleder Dorte der, det var at hun har oplevet i hendes research at der er nogen der bliver, hvad skal man sige, skræmte - det er måske et voldsomt ord - men sådan intimiderede af at kigge på noget, man ved er en højttaler. Så er de bange for der kommer høje lyde, og at det så kan påvirke selve testen, når man placerer folk foran noget de...

Audiologisten: Snakker vi nogen kunder?

Karl: Ja.

Audiologisten: Jeg har aldrig oplevet det der. Jeg har aldrig haft en kunde, som har sagt "hvad sker der nu?". Det har også noget at gøre med, hvordan prep'er du dine kunder, ikke? Hvad fortæller du dem i forvejen. Men den reaktion har jeg aldrig haft i - nu skal jeg lige tænke mig om - fire år, sagde jeg. Så der var ikke en eneste kunde som har [kan ikke tyde] sagt det.

Karl og Simon: Okay.

Audiologisten: Det kan godt være de siger det efter, vi har testet REM på 80 dB. Det kan da godt ske, men så er der også noget grundlæggende forkert i høreapparatstilpasningen, hvis de reagerer på det. Men ikke på forhånd.

Karl: Jeg ved ikke om det er en anden sammenhæng, hun har ment så?

Simon: Det kan godt være. Men i hvert fald, det skulle være sådan lidt intimiderende, hvis du har sådan et sæt af kæmpe højttalere stående i hvert fald. Man kan sige, her er det, ville jeg måske ikke synes personligt det var så slemt, fordi så store er højttalerne heller ikke, altså.

Audiologisten: Jeg kan love dig, de kan spille højt.

Simon: Helt sikkert. Det er som i, deres fysiske - hvad kalder presence?

Karl: Tilstædeværelse?

Simon: Ja - [den] er ikke sådan, hvad kan man sige?

Karl: Den er ikke voldsom.

Simon: Nej.

Audiologisten: Nej, og det skal jo også være lidt tilpasset til lokalet, ikke? Så, alt er jo relativt.

Karl: Ja. Nu - hvad er det, det hedder - når i placerer folk her i forhold til højttalerene, er det så ca. her de sidder [viser et område], eller hvordan er det?

Audiologisten: Skal jeg lige gøre det for jer?

Karl: Ja!

[Audiologisten går hen og sætter Karl det rigtige sted.]

Audiologisten: Så skal du nok sætte dig omkring her. Så er vi der, hvor tingene er kalibreret, når du sidder der mellem de ydre højttalere og har den anden lige foran dig. Så der har været tri-pod'en med mikrofon til kalibrering. Jeg ved der skulle være et mærke på gulvet, så vi kan lige sætte den 100% på, men så snakker vi æstetik, og der er nogen som muligvis har en anden mening end jeg har. Jeg vil sige, hvis det var mig, så ville en lille punkt eller en kryds eller hvad det nu ellers var på gulvet, så vi er sikker på, hvor skal vi henne, ikke?

Karl: Der er heller ikke nogen nakkestøtte.

Audiologisten: Nej. Men du er også forholdsvis høj, og rigtig mange kunder er ikke så høje som du er.

Karl: Det er selvfølgelig rigtigt.

Audiologisten: Jeg vil sige, de ligger ikke [kan ikke tyde, noget med hovedet/nakken], typisk ikke.

Karl: Okay. Ja, altså ideen med projektet er egentlig bare at lave nogle højttalere, der kan bruges til de nye krav, hvad end de så bliver.

Audiologisten: Det bliver jo lidt kedeligt, når det kun er en højttaler, I skal bruge. Så kan der ikke sælges så mange.

Karl: Ja, på det punkt bliver det lidt kedeligt, men jeg ved heller ikke om det fordi vi har planer om at skulle sælge det.

Simon: Nej, i første omgang er der bare for at have noget spændende at lave.

Karl: Det er det vigtigste, synes jeg. Og jeg tror måske for mig, at hvis det så bare blive enkelt højttalere, så tror jeg måske de mobile klinikker bliver det sjove problem, fordi der har man ligesom et interessant kalibreringsproblem, i og med at det er så mange forskellige scenarier.

Audiologisten: Ja, det er det jo. Men på den anden side, det kan vist også løses.

Karl: Det tror jeg. Vi har snakket noget om, at lave en pre-kalibrering, fordi man nu antager, eller laver en præcis nok vejledning om hvor man stiller højttaleren på folks

borde.

Audiologisten: Jeg tror du skal nok have en referencemikrofon på kunden, hvis du skal gøre det rigtig, ikke? Du skal jo måle afstanden og lydtrykket på den pågældende punkt. Jeg tror ikke du kan undgå, at der sidder en mikrofon den ene eller anden sted rundt omkring i rummet.

Karl: Nej, det kan godt være, det bliver svært at slippe for.

Audiologisten: Men det er jo ikke noget, jeg har studeret, det er bare noget jeg har med i erfaring.

Simon: Det er nok også noget af det, vi skal undersøge, hvor meget man kan slippe afsted med.

Karl: Det er så nok noget af det næste, der kommer, når vi har været rundt ved nogle flere klinikker.

Audiologisten: Har I mange, som I har skrevet til af klinikker, eller?

Simon: Vi har skrevet til ni stykker, mener jeg.

Karl: En ni-ti stykker, sådan et eller andet. Der er to, der har meldt afbud indtil videre. Så har vi også skrevet til den afdeling, der er på Aalborg sygehus.

Audiologisten: Ja, de burde jo, de har jo været med i BEAR-projektet, de burde jo have alt det der stående, ikke?

Karl: De har også svaret, de er ved at køre det igennem ledelsen lige nu, om de har tid, eller.

Simon: Nu må vi se hvad det bliver til. Men det var også en af de klinikker, vi fik anbefalet fra vores vejleder at tage kontakt til.

Karl: Og der har vi så også et andet element, hvis det var interessant, så i forhold til cochlea-implantater.

Audiologisten: Ja, det er jo ikke noget vi dyrker her.

Karl: Nej. Men så lave noget træning af retningsbestemmelse, sådan et interaktivt element med noget lys på højttalerne. Så sidder der flere højttalere i en opstilling, og så lyser dem, der siger noget, så man kan træne det på den måde.

Audiologisten: Hvor mange højttalere skal der være til det? Det kan jo ikke nøjes med tre.

Karl: Nej, så er vi nok ude i mange flere.

Simon: Altså, hvis man gør det meget groft, kan du sætte fem højttalere, en foran, to ude for og så nogle helt ud til siderne, ikke?

Audiologisten: Jo. Men så snakker vi virkelig meget groft.

Karl: Ja, så er det meget groft.

Audiologisten: Har i nogen sinde været hos Oticon i Smørum?

Karl: Smørum?

Audiologisten: Der har de sådan et rum, hvor de har plastret hele rummet med pænt store højttalere. Nedenfor, ovenfor og hele vejen rundt. Og der kan vi, når de har optaget lyd fra en bestemt sted, så kan de simulere den sted i rummet der.

Karl: Nåh, det har vi prøvet ude på universitetet i Aalborg. Det har vi haft en lignende opstilling, med sådan en stor kuppel af højttalere hele vejen rundt.

Audiologisten: Det er jo faktisk en firkantet rum, de har der, men højttalerne sidder i en bue omkring, de står på noget tripods, ikke?

Karl: Ja, men det er også et firkantet rum ude ved os.

Audiologisten: Og så har de, jeg kan ikke huske hvor mange, der sidder i loftet, og der sidder en eller to også i gulvet, og du sidder også lidt forhøjet på sådan en forholdsvis høj stol, så at du får det der med...

Simon: Jeg mener på universitetet har de lavet sådan en opstilling inde i deres det mindre lyddøde rum. De har to, de har det lille lyddøde rum, er det ikke der, de har sat det op? [kigger på Karl]

Karl: Jo. Så var det sådan en gitter-kuppel i stålrør, hvor der så sad en hel masse højttalere på rundt om, og så subwoofere placeret rundt også. Det er også sådan noget med at gengive forskellige miljøer.

Audiologisten: Ja, man kan gøre meget. Det er bare økonomien, som driller engang imellem.

Karl: Ja, det ved jeg ikke, har vi meget mere så? [kigger på Simon]

Simon: Så skulle det, bare lige hurtigt kort være at høre hvad det er for nogle højttalere, altså sådan specifikt-agtigt.

Audiologisten: Uh, godt spørgsmål.

Simon: Nåh, okay.

Audiologisten: Nej, det er noget, som Inter Acoustics forhandler. Det er faktisk tilsvarende til vores, det passer til vores audiometerudstyr. Jeg kan... Giv mig lige to sekunder. Vi har et sæt stående ved siden af, som ikke har været sat op endnu. Der er nok en boks.

[Audiologisten henter en kasse, som højttalerne er kommet i]

Simon: SP90A, RadioEar. Okay.

Audiologisten: Det er nøjagtigt det, som der hænger her.

Simon: Skal vi skrive det ned på et papir, bare lige hurtigt?

[Højttaler model navn noteres]

Simon: Og det bliver bare styret med...?

Audiologisten: Det står her [viser et audiometer frem, der står på han skrivebord]. Det er vores audiometer.

Karl: Det er lidt mere moderne end det, vi har på uni.

Audiologisten: Er det det?

Karl: Det sådan nogle store.

Audiologisten: Åh, har I stadigvæk de store apparater, hvor I næsten skal have dampmaskinen sat i gang? Hvad er det for nogen I har der? Er det sådan nogle Bosch?

Karl: Det kan jeg slet ikke huske.

Simon: Det er i hvert fald noget gammelt noget.

Audiologisten: Det er jo computerstyret her, ikke? Så det er nok lidt smart, fordi det er jo bare en lille boks der, som styrer REM'en, den styrer frit felt, den styrer almindelig audiometri.

Karl: Det kan også være, vi har sådan noget til at ligge, men det bare ikke står fremme.

Audiologisten: De fylder jo heller ikke så meget, så det lægger man ikke så meget mærke til.

Karl: Nej, det rigtigt. Nåh, men så ved jeg ikke, om vi har så meget mere.

Simon: Nej, det ved jeg heller ikke.

Karl: Jeg synes det har været rigtig spændende.

Audiologisten: Det håber jeg.

A.4.2 Klinik 2 (Offentlig klinik)

Audiologiassistenten: ... Et børnerum, hvor det er en anderledes opstilling, fordi at der bruger vi det til børneaudiometri, og der er det nogle andre målinger man laver i fritfeltet. Og så har vi et rum hvor vi kun kan lave høreapparatudlevering, hvor vi ikke har den Astera, så der kan vi heller ikke lave de frit felts målinger, der er ikke fritfeltshøjttalere. Men der kan vi så lave Real-Ear målinger inde i rummene i stedet for.

Karl: Real-Ear, øøøh..?

Audiologiassistenten: Det er der, hvor man har sådan en probemikrofon inde i øregangen.

Karl: Okay, så en REM-måling.

Audiologiassistenten: Ja, lige præcis.

Karl: Okay.

Simon: Bare lige for at få det specificeret, når du siger, at i kan udlevere høreapparater, at der er nogle steder man kan det og ikke kan det, hvad mener du med så med det?

Audiologiassistenten: Jamen, det er hvor vi simpelthen ikke har apparaturet til det. Vi har to rum, det her rum, det sådan et hvor man kan det hele, ikke også? Men der sidder vi jo inde i det samme rum som patienten. Så har vi to rum, hvor vi er adskilt, hvor vi har lige som et lille forrum - det kan i få at se senere hen, nu når folk de går til deres pauser og sådan noget, ikke? Der har vi et lille forrum, og der sidder audiologiassistenten, og eventuelt en studerende - det bruger vi jo meget af hensyn til vores elever og studerende og alle mulige, altså lægestuderende og folk, der kommer hver dag næsten og skal være med og få et indblik i, hvordan er det at lave audiometri, ikke også? Så det er meget godt, at man har et rum for sig selv, så kan man godt sidde og tale lidt sammen, uden det forstyrrer målingen, ikke også? Det kan man jo ikke i et rum som det her, vel? Der skal man bare være helt muse stille jo, ikke? Så der sidder man med computeren og betjeningspanelet inde i det ene rum, og så er selve audiometeret bare og højttalerne og transducerne og det hele inde i det rum hvor patienten sidder. Der kan vi så kun bruge det rum, til at lave audiometri. Det kan vi ikke bruge til at lave høreapparattilpasning. Fordi der har vi ikke alle de, der kan vi ikke sidde sammen med patienten, jo. Når man har høreapparattilpasning, så det mere sådan en dialog, hvor man skal rigtig meget mere rundt om patienten i virkeligheden, ikke også, end man skal, når man laver audiometri. Og man skal sidst, men ikke mindst, også bruge alle de her forskellige tilpasningsinterface. Alt det her gøjl, i kan se, der står her [peger på elektroniske enheder på skrivebord]. Det er i virkeligheden....

Karl: Er det til at programmere...?

Audiologiassistenten: Ja, programmeringsinterface til høreapparaterne, ikke også?

Karl: Yes.

Audiologiassistenten: Og alt det kabel halløj, og alt det der står der [peger på mere elektronik på et lille bord bagved] det er også programmeringsinterface, så.

Simon: Bare til en masse forskellige høreapparter?

Audiologiassistenten: Til en masse forskellige høreapparater, forskellige fabrikater af høreapparater og så videre, ikke også? Så det har vi så nogle rum, hvor vi ikke har det stående.

Karl: Okay. Så har vi jo sådan dækket de to første spørgsmål, vil jeg nok sige. Sådan i forhold til klinikken, hvordan den er indrettet og faciliteter. Nok også lidt C'eren, hvordan en tilpasning foregår, men jeg tænker på hvis du har lyst til at beskrive, hvis der komme en patient ind og skal have tilpasset et høreapparat, hvordan så?

Audiologiassistenten: Jamen, det er jo sådan at alting hviler på den audiometri, der bliver lavet ved det første besøg, når patienten kommer, ikke også?

Karl: Yes.

Audiologiassistenten: Det er jo audiometrien der egentlig er grundlaget for alting. Og det er også derfor den fritfeltsmåling, den bliver også lavet i forbindelse med audiometrien uden høreapparater på. Så det er jo vigtigt man lige forstår, hvordan er det vi gør nu, fordi jeg er godt med på, det der ligger i standarden er at man skal lave fritfeltsmåling med høreapparater på. Og det gør vi også i nogen tilfælde, men det som vores praksis er lige nu, det er kun i de tilfælde, hvor at der skal udarbejdes en audiologisk speciallægeerklæring. Og det skal der jo faktisk i rigtig mange tilfælde, men det noget, der egentlig foregår uden for sygehus-regi. Det er sådan i dag, at overlæger, de har jo lov til at bruge sygehusets lokaler og faciliteter og så videre til deres egne private patienter. Det er sådan en aftale, der er med overlægerne og så regionerne, ikke også? Men det foregår uden for arbejdstiden, og så er der nogen af audiologisterne, der så er [med], men det er jeg ikke selv med i, men altså jeg ved udemærket godt, hvordan det foregår, fordi mere anderledes er det jo heller ikke end det vi laver til daglig, vel? Men der bliver der lavet frit felts måling med høreapparat på, så man får den her værdi, der hedder diskrimination i frit felt med høreapparater. Og det skal laves både med og uden støj og med og uden mundaflæsning. Det har vi så kun et rum, hvor det kan lade sig gøre.

Karl: Er det så med DAN, nej...

Audiologiassistenten: Det er med DANTALE I, hvor der så er, ja ja, der er en DVD. Vi har simpelthen en DVD-afspiller stående til ære for den her, det er sådan helt oldnordisk-agtigt i dag, ikke også? Men vi har en DVD-maskine, hvor vi kan afspille selve, man kan se ansigtet af hende, der sidder og læser ordene højt, ikke også? Og så laver vi så den her diskrimination i frit felt med høreapparat med mundaflæsning. Altså det kan vi også gøre både uden og med høreapparater, fordi det er nogle undersøgelser, der egentlig er behov for, noget som arbejdsskadestyrelsen, de [udvider? udbeder?] sig, for at kunne beregne en mén-grad og en grad af handicap og sådan noget, i forhold til hvis man har et høretab. Men hvis nu det ikke er de her, der skal have lavet en audiologisk speciallægeerklæring, hvis vi bare siger, sådan en ganske almindelig patient. Den patient får først lavet en almindelig audiometri, og for vores vedkommende der består den altid af otoskopi, og så måler vi [Rænnes? Renes?] og [Webers? Vebers?] prøve med stemmegaffler. Så måler vi rentonetærskler, altså med luftledning og med benledning og selvfølgelig med maskerede tærskler, der hvor det er nødvendigt. Så måler vi SRT, altså hvor er tærsklen for tale, og så måler vi skelneprøve DS monoralt med hovedtelefoner. Og så måler vi tympanometri og [stapedius?] refleks tærskler.

[En kollega kommer ind i rummet og der afklares, så interviewet kan fortsættes]

Audiologiassistenten: Nåh. Og så får de lavet tympanometri og [stapedius?] refleks tærskler, det var vist det, jeg skulle sige. Så har vi lavet en standard audiometri. Så i de tilfælde, hvor vi har en mistanke om - og det kan både være ud fra det patienten fortæller, vi spørger dem "hvad arbejder du med", "har du arbejdet i kraftig støj", og det kan også bare være en mistanke vi får alene ud fra audiogrammet af den audiometri vi lige har lavet, vi mistænker, der kan være tale om støjbetinget høretab - så måler vi den her skelneprøve i frit felt, og det er altid i støj. Ikke? Og de der resultater, det bliver så gemt i, vi bruger et system, der hedder [audio base ?] som så snakker med [noa?] databasen. Det har i hørt om, det der med [noa?] databasen og...

Karl: Det siger mig ikke lige noget.

Audiologiassistenten: Nåh. Men det sådan en database, som er sådan en software platform, kan du godt kalde det, for alle slags høreapparat software, ikke også? Så vi laver en masse målinger, og det er jo egentlig tærskelværdierne, ikke også? Og de bliver så gemt inde i den [noa?] platform, og så kan alle de andre software fra de forskellige høreapparatfirmaer, de kan så trække de data ud af [noa?] databasen.

Karl: Okay.

Audiologiassistenten: Og så er det faktisk de data, der ligger til grund for høreapparattilpasningen. Så vi har jo selvfølgelig en samtale. Den dag patienten kommer til audiometri, så har vi en samtale med patienten og laver altså både ud fra det som vi snakkede om, men også ud fra sådan en klinisk vurdering kan vi se, altså om patienten er velfungerende rent motorisk og kognitivt og så videre, ikke også, jamen så kan vi sagten tilbyde nogle apparater der måske er lidt mere vanskelige at betjene. Der er mange, de vil gerne have nogle, der er små, men de er også mere vanskelige at betjene. Hvis vi så kan se at, der er en masse udfordringer, jamen så tager vi nogle, der er noget større, men så er de også nemmere, måske for den pårørende og have med at gøre, og så videre. Så det spiller også inde i vurderingen, ikke også? Men egentlig kan vi i stort omfang tage hensyn til, hvad er patientens egne præferencer, ikke også? Fordi regionen, den er egentlig ikke særlig, altså det der er dyrt for regionen, det er vores løn og lægernes løn og alt det her. Om det lige er det ene eller det andet apparat, det er ganske få små beløb, det egentlig drejer sig om, ikke også? Så derfor, så bliver der taget stort hensyn til det. Og så kommer de ind til lægesamtale, hvis nu de skal det, hvis der er tale om kompliceret høretab. Og hvis de så skal have taget aftryk af deres ører, så kommer de ind til øreprop teknikeren og får taget aftryk af deres ører. Og så skal de så ikke mere den dag.

Karl: Aftryk til ørerne, er det til formstøbte...?

Audiologiassistenten: Ja ja, nemlig, det til enten custom made, altså i høreapparater, hvor det hele sidder inde i øret, eller også de her med receivere i øret, men hvor der så er indebygget sådan en formstøbt prop til den der receiver, der sidder i øret, eller til den, hvor det er sådan en akryl prop, der sidder i øret, og så al elektronikken, den sidder bag ved øret. Alle de tre ting, dem skal vi jo have taget aftryk til, ikke også? Og vi har jo fået 3D-printere, prale prale prale, som vi kan printe alting ud på vores egen 3D-printer. Så det er super fedt, altså. En ny verden, ikke også? Luksus, fedt og vores øreprop-teknikkere,

de er spitzen-klasse gode. I stedet for at de skal stå og slibe det i hånden og blive syge af dampe de indånder fra at støbe dem, jamen, de skal egentlig bare side og modellere det på en computer, og så spytter 3D-printeren de færdige øreprop̈per ud. Det er så fedt, ja. Og de sidder bare mega godt i forhold til ører, altså. De gamle var heller ikke dårlige, men altså det er lige blevet den tak bedre, altså.

Karl: Man kan jo nok lave det noget bedre med en 3D-printer.

Audiologiassistenten: Det kan man, det er mega godt. Ja. Og med folks navne indgraveret i og alt muligt. Ja, det er så luksus, ja. Ja, det er rigtig godt. Og så kommer de så til høreapparatudleveringen, og så er det jo så, at jeg er jo godt bekendt med, at der kommer den der nye bekendtgørelse, der hedder at så skal man lave Real-Ear måling og så skal man lave skelneprøve i frit felt, ikke også?

[En kollega kommer ind og der afklares, så interviewet kan fortsætte]

Audiologiassistenten: Den er jo lige som en 1-til-1 kopi af [modem? modum?] Bispebjerg i virkeligheden, ikke også? Det gør man der på Bispebjerg. Det har man også gjort her i Aalborg for mange år siden. Og så blev det faktisk sådan at høreapparat producenterne sagde "nej nej nej, man kan da ikke lave REM-måling på de her digitale apparater. Det kan slet ikke lade sig gøre, de er alt for avancerede. De her apparater, de er så avancerede, så det viser forkert, hvis man prøver at lave REM-måling, så det kan man ikke". Og så har de læger, der var her dengang - de er her jo ikke længere - de har sagt "nåh, jamen det siger høreapparatproducenterne, så er det selvfølgelig, så er vi nødt til at holde op med det, ikke også? Og så er man egentlig holdt op med det, ikke også? Og så er det kun fordi, at der har kørt det her BEAR-projekt, som i også har hørt om, at så er vi egentlig gået i gang med at lave REM-måling igen, men det har vi jo kun gjort på de patienter, der har indgået i de projekter. Og det var VP1 og VP4, har vi lavet Real-Ear måling på. De daglige patienter der kommer, der gør vi det stadigvæk ikke. Der gør vi det på den måde, at folk de kommer ind, og så bruger vi de her audiogram data, som jeg fortalte om før, der kommer ind i [noa?] databasen, ikke? De bliver trukket ud til det enkelte høreapparatfirmas software, og så på baggrund af audiometrien, så beregner den jo så, den forstærkning, der skal til. Og så har vi igen en dialog med patienten om "hvordan oplever du lyden?", ikke også? "Hvordan er styrken af lyden"og "er der noget, hvor du tænker det lyder lidt mærkeligt eller forkert"eller sådan noget lignende. Og så kan vi justere det ud fra det, som patienten selv oplever, ikke også?

Karl: Når patienten så skal komme med den feedback, hvad lytter de så til? Er det bare hvor i sidder og snakker med dem?

Audiologiassistenten: Så sidder vi bare selv og siger noget, ja. Og det rigtigt, der har vi jo en mangel i, at vi egentlig har for lidt lyd. Altså, det har vi snakket om utallige gange. Vi burde have noget mere forskellig lyd, vi kan afspille. Fordi det vi kan afspille i dag, det er en person, der siger nogen ord, eller den løbende tale, altså den der "en lille smal dæmning forbinder Langøre med det øvrige Samsø. Det er sådan set de lyde, vi kan afspille, som tingene er nu, ikke også? Og det er jo sådan lidt indskrænket. Især også i forhold til det her med støj, altså vi kan afspille noget tale og så kan vi afspille det her DANTALE støj, som jeg er udemærket godt klar over er omdiskuteret, "er det nu også kraftigt nok"og alt det her, altså. Den bliver beskyldt for, i gåseøjne, sådan at være for

nem, ikke også, altså. Især hvis man kører et signal-støj forhold på 0 dB, ikke? Altså, jeg kan jo som normalt hørende, jeg kan jo klare den på -13, eller sådan noget.

Karl: Det sad vi også og legede med her den anden dag.

Audiologiassistenten: Ikke også? Så det er jo også lidt, altså det virker til at støjen, den måske ikke er helt så dækkende, eller hvad man skal sige.

Karl: Nej, jeg lavede også spektrum analyse på den, og der så det ud til at støjen, den lå noget lavere end talen, faktisk.

Audiologiassistenten: Ja ja, nemlig, jamen det du jo ikke den eneste, der har gjort. Så det er jo klart at, jamen man er også nødt til at sige, at hvad er mulighederne og hvad er begrænsningerne i det her, ikke også, altså. Hvor det som patienterne de egentlig efterspørger, det er jo ikke en eller anden, der siger ord og sådan noget susen. Det er nogen helt andre ting, som der egentlig er et tema for dem i deres hverdag, ikke også? Så det vi godt kunne tænke os, det var måske at kunne have mulighed for at afspille nogen forskellige lydmiljøer, altså noget forskellig slags baggrundsstøj, og det måtte meget meget gerne bestå af folk der snakker, det der, sådan noget babble noise, ja. Cocktail partys noise, og sådan noget i den stil der. Det ville give mere mening i tilpassningssituationen efter min mening. Kan du høre mig samtidig med at det her, det bliver afspillet [blablabla-lyde]. Ikke også? Fordi det er det, som alle klager over, ikke også? Og jeg er udemærket godt klar over, at afhængigt af høretab, så ville det jo også være en stor gruppe af patienter, hvor det bliver aldrig, altså det kan vi aldrig komme op på, ikke også? Afhængigt af hvor dårlig deres høretab er og hvor dårligt deres skelnetab er, ikke også? Men til en stor gruppe af patienter, der ville det give mening at kunne afspille noget. Eller det kunne også give mening at man kunne afspille noget musik. Og det skulle ikke være alt muligt, to eller tre forskellige, noget klassisk musik, noget rockmusik, noget popmusik, eller sådan et eller andet. Bare tre forskellige som en standard. Og så sådan, så vi kunne styre niveauerne sådan rimelig præcist, ikke også? Og det her, det har vi spurgt om i hundrede år, altså. Men der er ikke [lydhør/-hed] over for det fra ledelsen, og jeg tror meget af det handler om, at det jo ikke er standardiseret, altså, ja, men så bliver det jo vores hjemmestrikkede setup og sådan noget der, ikke også? Og det kan jeg da også godt se, altså. Det er vores læger heller ikke interesserede i, at bruge penge på noget, der ligesom ikke står nogen steder, altså.

Karl: Nej, man skal jo også starte et sted.

Audiologiassistenten: Ja ja, helt sikkert. Men altså, det er ligesom for at sige, det er der vi er i dag, ikke også? Og jeg synes, det er helt fint, hvis de siger vi skal lave Real-Ear måling på alle, og det jeg er rigtig rigtig spændt på, det er at så bliver de nødt til at træffe en beslutning og tage stilling til, hvad er det så man måler den Real-Ear måling op imod. Det er jo ikke blevet besluttet endnu. Fordi det eneste, der står i den standard, som jeg har læst - jeg håber måske i kan bidrage med yderligere viden - det eneste jeg har set, det er bare, at der skal laves en Real-Ear måling. Punktum, ikke også? Der står ikke, hvad er det så vi skal måle i den måling. Fordi, undskyld at jeg siger det lidt [bremfrit?], ikke også, men enhver idiot kan sgu da lave en Real-Ear måling. Det er da det mindste, det tager to minutter. Men hvad er det så man skal måle, hvad er det man vil bruge den der måling til, ikke også? Ellers så bliver det bare sådan et gummistempel, ikke? Og

hvis man tager udgangspunkt i, hvordan har vi gjort det, altså jeg startede med det her i 1998, startede jeg på den her afdeling, ikke også? Der lå den ude på sygehus syd. Og dengang, der havde vi en tilpasningsregel, der hed "Pogo 2". Det var en Oticon, de havde opfundet dengang. Og så brugte vi, dengang, der var der jo kun, der var jo ikke alt det der ISTS lyd og sådan noget, der brugte vi bare sådan en ganske almindelig wobble [warble?] tone, sweep. Og så instillede vi simpelthen forstærkningen til den der target regel, "Pogo 2". Og det foregik jo med skruetrækker, fordi det var bare sådan en trimmer, du kunne stille og op og ned på bassen, ikke også? Og hvis det var meget fint og dyrt apparat, så var der også en diskantskrue, men altså de fleste gange, så var det mere bassen man kunne stille på, ikke også? Så man kunne jo ikke ramme det der target særlig præcist, men alligevel så fik man jo en ide om, "nåh, men hvor er vores generelle forstærkninger"og "hvor er basforstærkningen i forhold til det, vi gerne vil opnå"og så videre, ikke også? Og så indstiller vi det ud fra det. Og bagefter skruede vi ned. Fordi alle patienterne synes det var alt for højt. Og så kom vi over til Bispebjerg, der brugte vi så [icro-noise?] dengang, den der talemodulerede [prøver at genskabe lydene], den har i også godt hørt, ikke også? Ja. Fordi så sagde de jo, at den kan høreapparaterne, den tror høreapparaterne der er tale. Det var det så ikke helt, allerede der for femten år siden. Der var der virkelig stadigvæk allerede nogen høreapparater, der synes at det der [icro-noise?], det er ikke tale. Og så gav de sig til at dæmpe, ikke også, allerede der. Men det var standarden dengang, og der skulle det måles op mod en NAL-NL1-target, ikke også? Så der instillede vi alle høreapparaterne, forstærkningen i alle høreapparaterne, uanset hvad det var for et høreapparat, om det var Siemens, om det var Oticon, om det var GN, om det var Widex. Alle sammen, de skulle jo måles op imod den der NAL-NL1-target, ikke også? Så indstillede vi den til det. Med [icro-noise?], ikke? Så kom vi til VP4's projekt. Der er de så gået over til NAL-NL2 og så ISTS måle signal, ikke? Den kender i godt, ikke? Med [nogle forskellige ord, der lyder udenlandske], ja ja. Det er den der, vi kører med nu, ikke? Men det er en helt anden target regel, som er meget sværere, væsentligt sværere, vil jeg sige. Hvis folk, de ikke har prøvet at bruge høreapparat før, så er den måske fornuftig nok, den der NAL2, den er ikke særlig kraftig. Nogen, der har brugt høreapparat før, der er den for svag, altså. Og jeg tænker, har de lavet en regel, som bare skulle være nem at ramme for alle? Ikke også, altså. Der er i hvert fald nogen af høreapparatproducenternes egne target regler, der giver mere forstærkning en NL2-reglen, den gør, ikke? Og hvad er så det bedste? Vi har lige været til en faglig kongres i audiologiasistenternes landsforening, ikke også? Hvor i det ene oplæg, det handlede om netop det her med, blandt andet også med REM-målinger, hvordan man skal gøre det og sådan noget, ikke? Og det var en repræsentant fra Oticon. Og så spurgte jeg jo, "hvad er det så, der er bedst, er det bedst at bruge en generisk target regel som NAL-reglen, eller er det bedst at bruge den proprietære target regel, den der hører til og passer til det enkelte firma"? "Ja, men det er jo at bruge den, der passer til det enkelte firma". "Jamen, det lyder da godt"siger jeg, "så glæder vi os til at de target regler, de bliver frigivet til målesoftwaren, sådan at vi bare kan måle op imod dem". [Karikeret, gnider sig i hænderne] "Øøøøhm, jamen øøøh, hmmm hmmm, hum hum", ikke også? Det kunne hun jo lige pludselig ikke, "naaah, men så skal man bare lave sådan en øregangs resonansmåling, og så kan man bruge den som grundlag, i stedet for den der beregnede [noget jeg ikke kan tyde]". Aaarh, kom nu. Det er jo ikke det samme, vel? Altså, og jeg synes det er der egentlig problemet ligger, ikke også? Fordi vi kan godt lave REM. Vi har da - nu ved jeg ikke om den står her stadigvæk, nej den er nok blevet flyttet nedenunder

- men vi har den, som vi fik fra BEARs projekt, så har vi en gammel en. Og så har vi over fra Thisted sygehus. Vi har faktisk tre apparater, der står her. Det vil sige, hvis de køber fem mere til os, eller sådan noget, så er vi kørende. Og de kan sikkert få en god aftale igennem, hvis alle regionerne skal ud og købe det der, ikke også? Det er sådan set ikke apparatur, der er problemet. Det er sgu, hvad er det man vil med det, ikke også? Det er tag den beslutning, ikke også?

Karl: Jeg ved ikke om vi har stødt på mere, i forhold til hvad det specifikt skulle hjælpe at lave en REM-måling. Jeg tror, det jeg er kommet frem til ud fra det, det var at så kunne man faktisk måle, om der var den forstærkning, man forventede ind til øret.

Audiologiassistenten: Helt sikkert.

Karl: Men at få skrevet at det er det man skal validere i kravene, det ved jeg ikke om der er nogen, der har tænkt over at få gjort. Hvis det var det, du tænkte på?

Audiologiassistenten: Ja, ja, ikke også?

Karl: I stedet for bare at skrive at det skal gøres uden at skrive hvorfor det skal gøres.

Audiologiassistenten: Lige præcis.

Karl: Og det sidste vi har hørt, det ender nok med at kravene bliver meget vage, fordi de er vist kommet til at formulere det sådan, at hvis man vælger en transportabel højttaler til frit felt, så skal man kun have én. Så behøver du ikke at have de tre, så kan du nøjes med en enkelt højttaler, hvor fra mit synspunkt bliver det sub-optimalt, fordi ideen med tre højttalere er til når du har fået høreapparatet, at hvis det er retningsbestemt, så kan du jo tjekke det der med at skille støjen fra.

Audiologiassistenten: Ja ja, selvfølgelig.

Karl: Og den taber du jo lidt, hvis du gå over i enkelt højttaler systemer.

Audiologiassistenten: Ja, for det skal stadigvæk være med støj, sådan så du bare blander talen og støjen i den samme højttaler, eller hvad?

Karl: Yes, lige præcis.

Audiologiassistenten: Okay. Ja, okay.

Karl: Så bliver det sådan lidt... Man kan næsten lige så godt lade være.

Audiologiassistenten: Ja ja, helt sikkert.

Karl: Hvis det bliver så lidt alligevel.

Audiologiassistenten: Ja. Men det er nok den laveste fællesnævner, der bliver trukket frem, og jeg kunne forestille mig, at noget af det bunder sig i, at nogle af vores udemærkede kollegaer, de har fået den ide, at "vi skal da bare lave sådan noget hvor vi kører hjem til folk".

Karl: Dem har vi også nogle af vi skal snakke med.

Audiologiassistenten: Vi skal da bare, vi behøver slet ikke at have nogen som helst

lokaler eller noget som helst, vi kan da bare have en bil og så ude i bagagerummet, der har vi en taske sådan et transportabelt audiometer og så en bærbar PC og så en [hypro, hipro, hipo, hypo?] boks, ikke også? Og så kan vi tage ud til folk i deres eget hjem og lave audiometri og så sætte nogle høreapparater på dem med nogle kupler og så køre igen, og så kan vi indkassere tilskud.

Karl: Ja.

Audiologiassistenten: Så bliver det laveste fællesnævner, hvis man spørger mig.

Karl: Ja, bare at du ikke gør det, vel? Det kunne man godt frygte.

Audiologiassistenten: Ja.

Karl: Så det er ikke sikkert det er den her omgang, der sådan rigtigt rykker og der sker noget.

Audiologiassistenten: Jamen, jeg synes det er godt at diskussionen kommer i gang, i forhold til det her med verifikation, ikke også? Fordi som det er nu, der er vi i høreapparatfirmaernes lommer. Det generer mig. Altså, jeg tør godt at sige det højt til jer, for jeg har gjort opmærksom på det al den tid, jeg har været her, altså. Og det er måske også lidt atypisk, fordi at jeg har været i det her i så lang tid, ikke også? Og jeg her været på Bispebjerg, inden jeg kom hertil, der var jeg på Bispebjerg i fem år. Og der kørte man - i hvert fald der, hvor jeg var der - der kørte man fuldstændig straight med, hver gang man lavede høreapparattilpasning, så lavede man altid en REM-måling og så lavede man også altid den her taleforståelse i frit felt. Og jeg er helt sikker på, at grunden til det kommer med i den der standard, det er fordi det er ham overlægen, over på Bispebjerg, der egentlig er ham, der har bestemt, hvad der skulle stå deri, ikke også? Og jeg synes det også er fint, ikke også, fordi det er rigtig nok, man får jo virkelig en større grad af, hvad skal man sige, sikkerhed for at det man egentlig forventer, at høreapparatet gør, at det så også er det som høreapparatet gør. Det kan man bedre forvisse sig om, når man har målt det i stedet for, at man bare ligesom kan se det på skærmen, og patienten siger "det er nok godt nok", altså. Jamen, er det nu også det. Jamen, det kan man bedre se, når man har lavet de her målinger, men alle de begrænsninger, der nu også er i det, og måleusikkerheder, og hvad ved jeg, ikke også? Der er jo ikke noget, der er den gyldne løsning på nogen ting eller noget som helst. Men jeg havde det jo virkelig sådan, da jeg så startede her i Aalborg, det første lange stykke tid, jeg følte virkelig, jeg stod og udleverede høreapparater med bind for øjnene, altså. Og med den ene hånd bundet om på ryggen, og jeg tænkte bare, "shit shit, jeg ved jo slet ikke overhovedet ikke hvad der foregår jo", ikke også? Fordi at jeg ikke kunne måle det. Men jeg vil også sige, nu har jeg vænnet mig til det, fordi der er også, der er fordele og ulemper ved alting, ikke også? Og vi havde et stort projekt, den ene af de der - eller stort og stort - vi havde et lille projekt, vi havde nok 40 patienter med i det eller sådan noget, for - ja, det er ved at være lang tid siden - seks, syv år siden eller sådan noget - hvorfra den ene af de der REM-måle maskiner, vi har, den stammer. Hvor vi simpelthen ville finde ud af, hvad er så det bedste udgangspunkt for at lave finjustering, fordi alle de der studier man ellers læser, der har de ligesom bare udleveret nogle høreapparater, indstillet dem efter REM, og så ikke justeret og så sendt folk ud af døren, og så bagefter indstillet dem efter firmaets target-regel. Og der vil firmaet jo altid vinde, fordi der, altså man vil jo aldrig lade være med at snakke med folk, vel? Altså, det er jo klart at det bliver

lort, så man er nødt til at høre hvad folk, de siger, ikke også, altså. Det er dem, der skal have det på også, ikke? Men derfor kunne det jo godt være, at det gav god mening, som man gør i Bispebjerg, at sige, "nu laver vi lige en REM-måling først, så ved vi hvor vi er henne, og så har vi det som udgangspunkt og så kan vi justere ud fra det. Og så lave en måling igen til sidst så vi ved, hvor endte vi så henne", ikke?

Karl: Det skader i hvert fald ikke at tjekke, at der sker det, man forventer der sker.

Audiologiassistenten: Lige nøjagtig. Og så lavede vi så et projekt, hvor vi sagde, "nu tager vi 40 patienter", og så blev de simpelthen randomiserede i to grupper, sådan så at de fik de samme høreapparater, men de startede med noget forskelligt, den ene, de 20 af dem, de startede med at vi bare indstillede det efter firmaets target-regel, og de andre 20, de startede med at vi indstillede det efter REM-måling. Og så finjusterede vi der ud fra, ikke også? Og så registrerede vi, hvad er det så vi finjusterer. Og så kom de igen efter - jeg tror det var halvanden måned - og så startede vi forfra med at indstille det efter, sådan så at, så byttede de over, ikke også, sådan så at så blev de 20 af dem, der havde startet med at få det indstillet efter firmaet, så fik de det så indstillet efter REM-måling, og omvendt, ikke? Og så til sidst, så - de skulle også have lavet DS i frit felt med begge indstillinger og de skulle også svare på spørgeskemaer med begge indstillinger - og til sidst så skulle de så angive, hvad de så foretrak, ikke også? Så det var de samme høreapparater begge gange.

Karl: Men indstillet forskelligt.

Audiologiassistenten: Men indstillet med forskelligt udgangspunkt. Og det som vi så kunne konkludere ud af det studie, det var, at der var ikke nogen signifikant forskel på om vi havde indstillet det med REM-måling først, eller om vi havde indstillet det med høreapparatfirmaets target først. Det skal lige siges, der tog vi ikke høreapparatfirmaet egen target, der tog vi NAL 1 target til dem alle sammen, for ellers kunne vi ikke sammenligne det jo. Og det var alle sammen erfarende høreapparatbrugere. Det vil sige, der var ikke nogen første-gangs-brugere, det var nogen, der alle sammen vidste hvad de snakkede om, sådan mere eller mindre, ikke? Ja. For at udelukke den, der hedder "tilvænnings issues"og sådan noget, ikke? Ja. En lille smule hældte det til, at det var bedre at starte med at lave REM-måling, men det var ikke nok til at det var signifikant, altså så skulle vi have haft flere patienter med i det, ikke også? Men det var virkelig ikke sådan, som jeg måske havde haft en forventning om inden jeg gik i gang med projektet, det var lige som for at se, "her kan i bare se, øøh", agtigt, ikke? "Hvor meget vi går glip af"og sådan noget lignende. Men det var det faktisk ikke, vel? Og så efter den tid, så har jeg også begyndt at hvile mere i, jamen vi er faktisk ret gode til at snakke med folk. Fordi, det der jo også viste sig i det projekt - vi registrerede jo hvad var det så for nogle ændringer, vi lavede - og når vi havde startet med REM-måling, så snakkede vi med folk og finjusterede, så skruede vi ned, ikke, på grund af det, de sagde. Og når vi havde startet med at bruge firmaets target-regel, jamen så skruede vi en lille smule op i nogle tilfælde i hvert fald, ikke også? Og så endte vi på en eller anden måde det samme sted. Mere eller mindre. Ligesom, vi startede her, eller vi startede her, og så justerede vi, og så endte vi her ovre, i begge tilfælde, ikke?

Karl: Og det kan jo så ske at være et biprodukt af rutine fra jeres side, at i er gode til at forstå, hvad det er folk, [svært at tyde, der bliver talt i munden på hinanden].

Audiologiassistenten: Vi er gode til at forstå, hvad det er folk, de siger. Ja, lige præcis.

Ikke? Så det synes jeg jo også er en ting, man bliver nødt til at tage med i betragtningen, ikke også? At, jeg synes, jeg savner stadigvæk at lave det der REM-måling, men jeg har det også sådan, jamen jeg er ikke sådan, "åh nej, så kan vi slet ingenting-agtigt", ikke også, altså. Det kan vi godt undvære, altså. Hvis vi ellers kan snakke med folk. Og der er jo også nogle ulemper ved det, blandt andet hvis det er åben tilpasning, så er der hele det her med, at så måler den jo på dens egen forstærkning, der leaker ud. Og hvis det er nogen, der har et rigtig stort høretab, altså dem, hvor man egentlig tænker dem, der har det aller aller største problem og hvor det virkelig var mest vigtigt måske, at man målte det helt nøjagtigt og så videre, der kan man ikke lave REM-måling alligevel, fordi bare det, at man skal sætte den lille probeslange ind, selvom den er lille...

Karl: Nåh, så er det ikke tæt mere.

Audiologiassistenten: Så laver, ja, så er det ikke tæt, og så leaker det ud, og så får du en forkert og alt muligt, ikke også? Så den er heller ikke fuldstændig... Og der er også en kæmpe test/re-test variation i den. Og sidst, men ikke mindst, så hviler det hele jo på det her audiogram, som vi måler, ikke også? Og der er jo en kæmpe måleusikkerhed i det. Altså. Og det er jo det samme, uanset om vi indstiller det ud fra computerens beregnede indstilling eller om vi indstiller det ud fra REM-måling. Det altsammen, det hviler på det audiogram. Og det er jo ikke mere sikkert, end det er, altså. Der er også en masse måleusikkerheder i det. Så sådan er det.

Karl: Audiogrammet - nu skal jeg lige være sikker - er det baseret både på frit felt og rentone og de andre også?

Audiologiassistenten: Den, som man bruger til høreapparatindstillingen, den tager den kun rentonetærskler med.

Karl: Kun rentone?

Audiologiassistenten: Ja. Monaural.

Karl: Okay. Fordi, jeg sad og læste her - i forgårs tror jeg det var - en artikel om to patienter med lignende alder og lignende miljø, de havde levet i, som havde ca. samme høretærskels - hvad er det, det hedder - audiogrammer.

Simon: Ved rentone, ikke?

Karl: Jo, ved rentone. Men var meget forskellige i tale i støj.

Audiologiassistenten: Ja, ja helt sikkert.

Karl: Og det er jo nok også noget af det, der har interesseret os mest - i forhold til, det er nogle højttalere vi har fokus på - at der kan være så stor forskel på tale i støj, selvom rentoneaudiogrammet er ens.

Audiologiassistenten: Kæmpe kæmpe. Ja. og til dem, hvor det kan lade sig gøre, der giver det jo mening at, egentlig at lave, altså hvis vi kan få lov til at få mere tid til hver patient - [karikeret] ahahaha - ikke også? Det får vi aldrig. Men så ville det give mening at lave den måling på alle patienterne, synes jeg, altså uden høreapparater også, ikke? For ligesom at få slået fast, hvor er startniveauet henne, ikke? Ja. Hvor god er du til at

skelne i støj. Fordi ellers så er det sådan lidt, altså det kan jeg da huske i hvert fald fra Bispebjerg, ikke også, hvor man tænkte, "jamen din skelneevne er jo helt vildt ringe i det hele taget", altså. Så kan den jo heller ikke blive bedre, altså. Høreapparatet, den kan jo ikke rette op på en dårlig skelneevne, den kan kun forstærke lyden, ikke også? Men den kan ikke hjælpe på, sådan, hvordan selve høresansens funktion er inde bagved, altså. Hvis den er helt smadret, jamen så er den det jo.

Karl: Så er det man skal ud i sådan noget retningsbestemt, for at skille støjen væk.

Audiologiassistenten: Det hjælper heller ikke. Ikke hvis du har en dårlig skelneevne. Skelneevnen, det er jo høresansens funktion til at processere den lyd, der kommer ind.

Simon: Så den mere perseptive del.

Audiologiassistenten: Ja, fuldstændig. Og vi måler den jo i ro, monauralt, ikke også? Ved MCL, altså vi skruer op for lyden, så den, lyden er i hvert fald kraftig nok til at, det er ikke fordi det er for svagt til at han kan høre det, ikke også? Og så, hvis nu man har en normal hørelse, eller man bare har en mindre grad af perceptivt høretab eller kognitivt høretab, så kan man sagtens høre alle de der ord, ikke også? Så skelner man jo 100%. Men hvis man så - selvom det er højt nok, og der er ro, og det er ikke fordi, at det er for lavt eller noget som helst - så skelner man 25%, så er det fordi man bare har en rigtig dårlig skelneevne, og det kan høreapparatet ikke hjælpe på, uanset hvad.

Karl: Nej, hvis det er det, man er ude i, så nej.

Audiologiassistenten: Og dem er der faktisk en hel del af, fordi det korrelerer utroligt meget med alder. Jo ældre, jo mere smadret i processeringsevnen, ikke? Og det er bare en gruppe, der bare vokser og vokser og vokser. Og det, vil jeg jo sige, det er den kæmpe ulempe ved at vi skal lave den undersøgelse på alle, ikke også? At det er simpelthen med til at tage modet fra folk, og gøre dem kede af det, altså.

Karl: Ja, det er også rigtigt.

Audiologiassistenten: Rent psykologisk er det ikke altid en god ide. Vi skal lave den her frit felts undersøgelse med høreapparaterne i støj, og de der, der har en dårlig skelneevne i forvejen, de kommer til at score nul. Ikke også? Selv med de bedst tilpassede høreapparater, altså.

Karl: Ja. Ja.

Audiologiassistenten: For de kan ikke rette op på skelneevnen, og det kan de bare ikke. Og så er det lige som om, nu træder vi lige lidt mere rundt i det og gnider lige lidt mere salt i såret om, at din hørelse, den er faktisk fuldstændig fucked, ikke også? Og det kan vi ikke gøre noget ved, "[karikeret] nanananana". Det er sådan lidt ulempen ved det fra min side. At man skal gøre det på alle, at man ligesom skal have alle puttet ned i den kasse, der. Det kunne være dejligt, hvis det var sådan at man satte en grænse.

Karl: At man skelnede på en eller anden måde?

Audiologiassistenten: Ja, eller man satte en grænse og siger, hvordan er folks skelneevne i ro, og hvis den er dårligere - altså i ro, monauralt med hovedtelefoner, nu siger jeg bare,

60 - hvis den var dårligere end det, så springer vi den der frit felts måling over. Så kan de ikke skelne bedre af den grund, altså. Bare fordi de får et høreapparat.

Karl: Så bliver det ikke bedre, altså.

Audiologiassistenten: Nej, lige præcis, så bliver det ikke bedre.

Karl: Og så er der ingen grund til...

Audiologiassistenten: Nej, og [pinde, pinne?] mere rundt i det. Og det gør bare folk kede af det. Og de kan rigtig nemt få den der følelse af, "jamen, det hjælper jo ikke noget alligevel og jeg er jo bare så dårlig til at høre". Og det er jo ikke det samme som, at det ikke hjælper noget, for det gør jo, at folk ikke behøver at snakke højere til dem. Det gør jo at de bedre kan orientere sig, og så videre, ikke også? Altså, det er jo en stor hjælp alligevel, ikke, men til at høre tale i støj, nej. Men derfor er det en stor hjælp alligevel på mange andre måder for den enkelte, ikke også?

Karl: Helt sikkert.

Audiologiassistenten: Så det synes jeg lidt mangler i den der, at man ligesom prøver at presse alle folk ned i én, ja.

Karl: Det kommer nok også at, at man prøver at lave én stor ramme, der gælder for alt, altså for alle, både for jer og for de helt små private, og så videre. Man skulle måske skelne et sted. Ja, så tror jeg vi er ved at være igennem den første del. Så ved jeg ikke hvor meget du ved, om sådan når i skulle vælge højttalere til de her frit felts opstillinger, hvad har så været de primære krav. Altså, hvordan har i fundet ud af, hvilke højttalere det skulle være.

Audiologiassistenten: Det synes jeg faktisk er et godt spørgsmål. Altså, det ved jeg ikke, det er det korte svar, altså. Det ved jeg simpelthen ikke, altså, jeg tror bare der er blevet købt nogle højttalere, der er ligesom, var billige. Det er midt bedste gæt, altså. Jeg kan godt prøve lige at spørge, det kan jeg skrive til jer på mailen så, fordi nu er han jo gået, ham der er [medico, mediko? 35m40s]tekniker herude. Fordi, hvis der er én, der ved det, så er det måske ham, ikke også? Ja.

Simon: Dem de havde nede ved Randers i hvert fald, det var sådan nogle, der var special lavet til audiometri, mener jeg. Så det var, om det er det samme her, eller om det er nogle arbitrære højttalere, eller?

Audiologiassistenten: Det ved jeg ikke. Jeg tror bare det er sådan nogle ganske almindelige.

Karl: Det er [argon? 36m00s] højttalere. Jeg tror bare det er sådan nogle almindelige book shelf.

Audiologiassistenten: Ja ja, det er [argon] dem der. Og ude på øre-næse-hals, jeg sidder jo det meste af min tid ude på øre-næse-hals ude på sygehus syd. Og der er det [kenwood? 36m11s] højttalere. Sådan nogle rigtig old school med sådan noget sort gitter-agtigt foran.

Karl: Okay.

Audiologiassistenten: De ser meget sjove ud. Ja. Det er nærmest ikke to rum, hvor det er det samme, altså.

Simon: Nej, okay.

Audiologiassistenten: Så det er ikke fordi det er noget vi har enorm, og vi snakker også om det indbyrdes, jamen det er da påfaldende at, selvom det bliver målt og det bliver kalibreret hvert år, der kommer en kalibreringsteknikker udefra hvert eneste år og kalibrerer det hele, og det gælder selvfølgelig også frit feltet, ikke også? Så synes vi alligevel nogle gange, når vi sidder og lytter på det, at vi selv kan høre forskel, ikke også? Især i de her rum, hvor vi selv sidder og lytter på det.

Karl: Helt sikkert.

Audiologiassistenten: Ikke også? Og det var også derfor jeg sagde til jer, at "vi ved jo godt frit felt, det tager jo lang tid", altså jeg troede i skulle komme og måle på alle vores højttalere. Så tænkte jeg bare, "shit shit, det tager jo en hel dag". Det er jo derfor jeg skrev det med lokalerne, ikke også?

Simon: Ja, lige præcis.

Karl: Lige præcis. Hvem kommer egentlig og tjekker det for jer?

Audiologiassistenten: Det gør den kalibreringstekniker fra Natus. Det var det, der før hed Otometrics, det der før hed Madsen electronics.

Karl: Okay.

Simon: Okay.

Audiologiassistenten: Og han er jo... Nej, vent nu lige, for han har lige fået nyt job over i Interacoustics. Det er en, der hedder Lars Løkkeskov. Kender i ham? Han er "the man", alstå. Vil i høre noget om alt det der, så ringer i bare til ham. Og han er totalt flink. Og han har været med i det her game i helt vildt mange år, og så sådan noget.

Karl: For vi snakker jo mest med en, der hedder Gert fra det, der hedder Force.

Audiologiassistenten: Ja ja, Gert Ravn?

Karl: Ja, Gert Ravn, yes.

Audiologiassistenten: Ja. Men han er jo ikke ude og have fingrene i det rigtigt længere. Nej.

Karl: Ikke mere, nej.

Audiologiassistenten: Hvis i skal have fat i sådan en, så snakker i med Lars Løkkeskov. Men han er kommet til at arbejde for Interacoustics nu her.

Karl: Hvad fanden var det nu, jeg ville til at sige? Nåh. Det kan jeg ikke huske. Ja, men så er vi jo egentlig ved at være nået til enden med det så.

Audiologiassistenten: Det var godt.

Simon: Bare sådan lige en hurtig tanke, når man sådan lige kigger vender højttalerne lidt ned af i øjeblikket, er det noget man justerer på, når...

Audiologiassistenten: Nej, de hænger, som de hænger.

Simon: De hænger, som de hænger simpelthen?

Audiologiassistenten: Det gør de herinde, ikke også? Og så kan vi prøve at gå en tur og kigge, det kan vi nemlig gøre nu, fordi nu er der lige frit i de lokaler der. Jeg tænker vi skal gøre det inden for det næste kvarters tid, hvis i skal se de lokaler der. I må gerne lade det der køre videre, hvis i har brug for det. Men i skal tage jeres mundbind på. Hvis vi skal...

Karl: Vi har sådan en lasermåler med til lige at skyde dimensionerne på rummene.

Audiologiassistenten: Det gør i bare.

Karl: Må vi tage billeder her?

Audiologiassistenten: Ja-ja ja-ja-ja.

Karl: Så tror jeg, jeg stopper den her.

Audiologiassistenten: Bare der ikke er nogen pa[tienter med på billederne (her blev optagelsen sluttet).]

Kommentarer: Under rundvisningen blev der desuden snakket om, at højttalerne var forskellige fra rum til rum, de hang og var orienteret forskellige, og i et enkelt rum var der brugt to forskellige højttalere til samme setup. Der blev også spurgt ind til rumakustikken, ift. gulvet. Her blev der fortalt, at de ikke kunne have gulvtæpper og stole med stofbetræk af hygiejne årsager. Desuden var placeringen af patienter ikke mere præcist end et kryds på gulvet, og der var ikke nakkestøtte på stolene. I et enkelt rum, skulle patienten blot vende stolen, hvor det tænkes, at refleksioner fra bordet lige ved siden af kan give problemer. Audiologiassistenten fortæller, at de også nogle gange har problemer med høje patienter, idet de kan bøje sig længere frem over end andre for at komme tættere på højttalerne, når de havde sværere ved at høre under audiometrien.

Litteratur

[1] Sundhedsstyrelsen, Faglige kvalitetskrav og anbefalinger til høreapparatbehandling af voksne. Sundhedsstyrelsen. Version: Offentlig Høring, 2020.

[2] Ansvarlig: Sundhedsstyrelsen. Høring: Faglige kvalitetskrav og anbefalinger til høreapparatbehandling af voksne. Date of access: 29-11/2021. [Online]. Available: https://hoeringsportalen.dk/Hearing/Details/64253

[3] Anovum & EHIMA. EUROTRAK DENMARK 2016. Date of access: 1-12/2021. [Online]. Available: https://www.ehima.com/wp-content/uploads/2016/09/EuroTrak_2016_DENMARK.pdf

[4] Mikkel Schramm, Regitze Willemoës, Peter Andreasen. Fælles høringsudtalelse vedr. "Faglige kvalitetskrav og anbefalinger til høreapparatbehandling af voksne". Date of access: 29-11/2021. [Online]. Available: https://prodstoragehoeringspo.blob.core.windows.net/d6e594ee-86a5-4474-857c-74db29b89e4e/F\T1\aelles%20udtalelse%20PAKS,%20Frie%20H\T1\oreklinikker%20og%20H\T1\orNu.pdf

[5] Jens Peter Bjerg, Chefkonsulent for Dansk Industri. Høring: Faglige kvalitetskrav og anbefalinger til høreapparatsbehandling. Date of access: 29-11/2021. [Online]. Available: https://prodstoragehoeringspo.blob.core.windows.net/d6e594ee-86a5-4474-857c-74db29b89e4e/Dansk%20Industri.pdf

[6] S. Kochkin, "Marketrak viii: Reducing patient visits through verification & validation," 2011. [Online]. Available: https://www.betterhearing.org/HIA/assets/File/public/marketrak/MarkeTrak-VIII_Reducing-patient-visits-through-verification-and-validation.pdf

[7] Brian Taylor. Speech-in-noise tests. How and why to include them in your basic test battery. Date of access: 30-11/2021. [Online]. Available: https://journals.lww.com/thehearingjournal/Fulltext/2003/01000/Speech_in_noise_tests__How_and_why_to_include_them.8.aspx%20%20%20Speech%20in%20noise

[8] C. L. Martin Hansen, "Dantale ii danske hagerman sÆtninger," 2001.

[9] ISO, "ISO 8253-2: Acoustics - Audiometric test methods - Part 2: Sound field audiometry with pure-tone and narrowband test signals, 2nd ed." 2009.

[10] ——, "ISO 8253-3: Acoustics - Audiometric test methods - Part 3: Speech audiometry, 2. ed." 2012.

[11] CENELEC, "Electroacoustics - audiometric equipment - part 1: Equipment for pure-tone and speech audiometry," 2017.

[12] F. TECHNOLOGY, "Vejledning i opstilling og kalibrering af udstyr til audiometri i frit felt - 3. udgave," 2020.

[13] R. H. Small, “Vented-box loudspeaker systems part i-iv,” 2006.

[14] ——, “Closed-box loudspeaker systems part i: Analysis,” 2006.

[15] Andy’s Site of Audio Design Topics. Vented-box loudspeaker design: Conventional and assisted alignments of arbitrary order and box quality factor. Date of access: 3-1/2022. [Online]. Available: https://www.andyc.diy-audio-engineering.org/vented-box/index.html

[16] L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, and J. V. Sanders, Fundamentals Of Acoustics, fourth edition ed. Wiley, 1999.

[17] E. W. Weissstein. "Spherical Cap." From MathWorld–A Wolfram Web Resource. Date of access: 1-3/2022. [Online]. Available: https://mathworld.wolfram.com/SphericalCap.html