

## Rettelser

Fatal: Men hvorfor er det vigtigt? Teorien bag! - AB . . . . .	7
Fatal: Find ud af at lave det i matlab!!!! LS . . . . .	8
Fatal: Start mere generelt. Mere teori om lyd før vi angriber enheden. Mere teori om impedans-tilpasningen - AB . . . . .	10
Fatal: Men hvorfor er det vigtigt? Teorien bag! - AB . . . . .	11
Fatal: Find ud af at lave det i matlab!!!! LS . . . . .	11
Fatal: inkluder simulering i figuren. Derudover ville lidt teori om frekvenskarakteristikken for et lukket kabinet være lækkert, inden vi kaster os ud i målinger. Også så vi kan sammenholde teori med praksis -AB . . . . .	15
Fatal: Vi behøver vel ikke korrigere? Vi skal bare holde 1m afstand-måling sammen med 1m afstand, og tæt afstand med tæt afstand . . . . .	16
Fatal: ift hvad? - AB . . . . .	16
Fatal: ref? - AB . . . . .	16
Fatal: Men netop de lavere frekvenser burde vel være ligeglade, da der her ikke spiller direktivitet ind (fjederstyret område) - AB . . . . .	16

INGENIØRHØJSKOLEN AARHUS

E6BAC - FORPROJEKT

---

# FORBEDRING AF BAS-GENGIVELSE V. PLACERING AF RESONANS-RØR

Rapport

---

GRUPPE 1

Navn	Studienummer
Alexander Dahl Bennedsen(E)	201310498
Lasse Stenhøj Kofoed(E)	201407500
Thomas Skovgaard Rasmussen(E)	201406754

DATO: 30. MAJ 2017

# Indholdsfortegnelse

---

Indholdsfortegnelse	3
Kapitel 1 Projektformulering	5
Kapitel 2 Teori	6
2.1 Højtaler . . . . .	6
2.2 Kabinet . . . . .	9
Kapitel 3 Simuleringer	10
3.1 Højtaler . . . . .	10
3.2 Kabinet . . . . .	12
3.3 Rum . . . . .	12
Kapitel 4 Målinger	13
4.1 CLIO Pocket . . . . .	13
4.2 Konfigurationer af højtalerkabinettet . . . . .	14
Lukket kabinet . . . . .	15
4.3 Rummets karakteristik . . . . .	16
Kapitel 5 Konklusion	17
Litteratur	18

# Resume

---

For at undgå akustisk kortslutning af en højtalerenhed, har man gennem historien fundet forskellige metoder til at modvirke dette fysiske fænomen. Den akustiske kortslutning forekommer ved de laveste frekvenser, hvor bølgelængden er meget stor ift. højtalerenhedens overfladeareal, og dermed er enheden ikke i stand til at danne differens i lufttrykket mellem enhedens for- og bagside.

Ved at sætte enheden i et kabinet, kan man undgå denne akustiske kortslutning i høj grad, og ydermere udnytte kabinettets egen-resonans til at forbedre højtalerenhedens gengivelse af de lavere frekvenser.

Denne resonans er beskrevet som det princip man kalder for ventileret kabinet, eller "basreflex-kabinet"; Et princip der benytter et rør i kabinettet som, ved korrekt afstemning, kan give en forstærkning ved resonans og dermed opnå et højere gain ved de laveste frekvenser. En billigere løsning end slave-kabinettet og mere effektiv løsning end det lukkede kabinet.

Dette projekt har, foruden at designe et sådan kabinet, gået på at eksperimentere med at opnå et yderligere gain ved de laveste frekvenser ud fra placering af røret i kabinettet, samt positivt refleksionsbidrag fra nærtliggende overflader.

# Projektformulering

# 1

«««< HEAD =====

»»»> origin/master Formålet med projektet er, at ramme et afstandsmæssigt "sweet-spot", hvor røret danner yderligere konstruktiv interferens med overfladen den er i nærheden af, og dermed giver mulighed for at forstærke basgengivelsen yderligere.

Hertil ønskes en konklusion på, hvorvidt disse parametre vil gøre en psyko-akustisk forskel for brugeren.

«««< HEAD =====

Vores projekt vil, foruden at designe et sådan kabinet, gå på at eksperimentere med at opnå et yderligere gain ved de laveste frekvenser ud fra placering af røret i kabinettet, samt refleksion fra nærtliggende overflader. »»»> origin/master

Formålet med projektet er, at ramme et afstandsmæssigt "sweet-spot", hvor røret danner yderligere konstruktiv interferens med overfladen den er i nærheden af, og dermed giver mulighed for at forstærke basgengivelsen yderligere.

Hertil ønskes en konklusion på, hvorvidt disse parametre vil gøre en psyko-akustisk forskel for brugeren. «««< HEAD

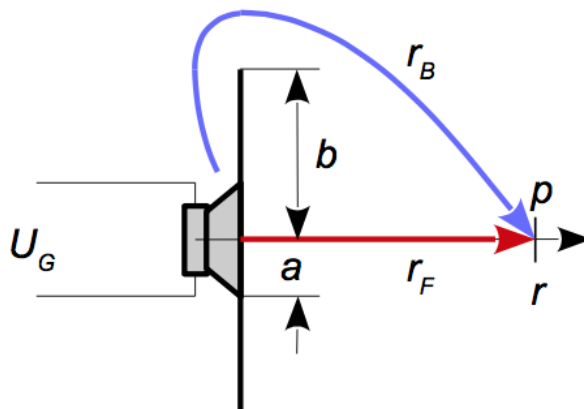
===== »»»> origin/master

Baggrunden for at bygge et kabinet til en højttalerenhed, ligger i det fysiske fænomen som man kalder akustisk kortslutning.

Da højttalerenhed forsøger at skabe en forskel i lydtrykket omkring den luft som den skubber til på forsiden, vil et tilsvarende negativt tryk opstå på den modsatte side, når bølgelængden er meget stor ift enhedens overfladeareal. Det betyder at højttaleren ikke vil kunne gengive de laveste frekvenser som den egentlig er designet til, da trykket udligner sig selv næsten øjeblikkeligt.

En løsning for dette, kan være at indsætte enheden i en meget stor baffel, for at adskille trykket på forsiden af enheden fra bagsiden. Dette betyder midlertidigt også at højttaleren vil skulle installeres fast i denne position, hvilket ikke vil være optimalt for de flestes private brug.

Løsningen her, bliver dermed at installere enheden i et kabinet.



**Figur 2.1.** Akustisk Kortslutning for en højttaler, fig. 2.25 - TAS, Elektroakustik

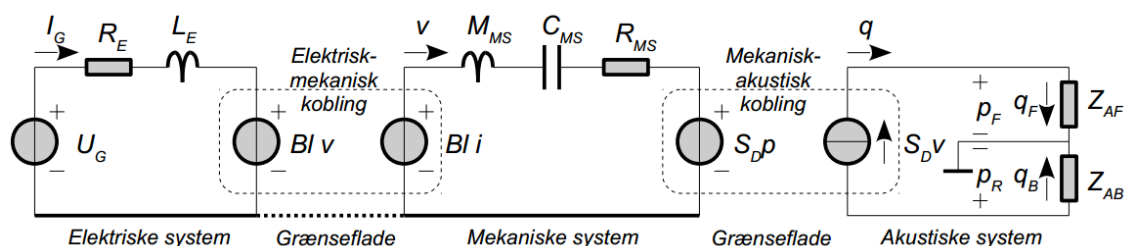
## 2.1 Højttaler

En elektrodynamisk højttaler omsætter elektrisk energi til akustisk energi vha en svingspole som sætter højttalerens membran i svingninger som dermed frembringer lyd. Som model taler man oftest om en elektrisk model for selve svingspolens kobbermodstand og selvinduktion, en mekanisk model for membranens masse og udsvingets begrænsning, samt en akustisk model for lydens udstråling. De tre modeller har en stor kobling idét der udveksles energi på tværs af modellerne. Dermed kan den impedansen for den elektriske model afspejle de andre modelleres indvirkning på højttalerens Thiele-Small-parametre beskrevet i tabel 3.1.

Højtalerens elektrisk-mekaniske impedans er interessant, da man ud fra den kan sige noget om højtalerens frekvenskarakteristik. Impedansen vil have sit maksimum ved højtalerens resonansfrekvens, givet ved svingspolens selvinduktion samt højtalermembranens styr. For en basshøjtaler er resonansfrekvensen interessant, da man ved denne frekvens kan øge lydstyrken ved lave frekvenser, og dermed give lyden mere dybde og fylde.

Højtaleren der benyttes til projektet er en 6.5"mellemtone elektrodynamisk højtaler af mærket FW168[1] fra firmaet Fountek [2].

På figur 3.1 ses den komplette model for højtalerens elektriske, mekaniske og akustiske model.[3] Komponentværdierne og forklaringen af disse, kan ses i tabel 3.1.



**Figur 2.2.** Komplet model for højtalerens elektriske, mekaniske og akustiske system.

Omregner man modellen til en komplet elektrisk model, kan man udregne den elektriske impedans  $Z_E$  for modellen. Denne impedans har et toppunkt ved højtalerens resonansfrekvens, og en minimumsværdi ved svingspolens  $R_E$ -værdi. <sup>1</sup>

Med værdierne fra tabel 3.1, som er opgivet i højtalerens datablad[1], udregnes den

<sup>1</sup>FiXme Fatal: Men hvorfor er det vigtigt? Teorien bag! - AB

Thiele-Small parameter	Symbol	Værdi for FW168
Svingspolens DC modstand	$R_E$	$7.2\Omega$
Svingspolens selvinduktion	$L_E$	$1mH$
Elektrisk godhed	$Q_{ES}$	0.452
Masse af bevægeligt system	$M_{MS}$	$14.7g$
Eftergivlighed af styr	$C_{MS}$	$0.821mm/N$
Mekanisk godhed	$Q_{MS}$	3.246
Mekanisk tabsmodstand	$R_{MS}$	$\frac{1}{Q_{MS}} \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}} = 1.304Ns/m$
Resonansfrekvens	$f_s$	$\frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS}C_{MS}}} = 45.813Hz$
Ækvivalent volumen	$V_{AS}$	$16.5L = 0.017m^3$
Kraftfaktor	$Bl$	$8.2Tm$
Membranens effektive areal	$S_D$	$119cm^2$
Maksimal lineær bevægelse	$X_{MAX}$	$4.6mm\pm$

elektriske impedans for højtaleren i ligning 3.1

$$Z_E(s) = R_E + sL_E + \frac{Bl^2}{\omega_s M_{MS}} \frac{\omega_s s}{s^2 + \frac{1}{Q_{MS}} \omega_s s + \omega_s^2} \quad (2.1)$$

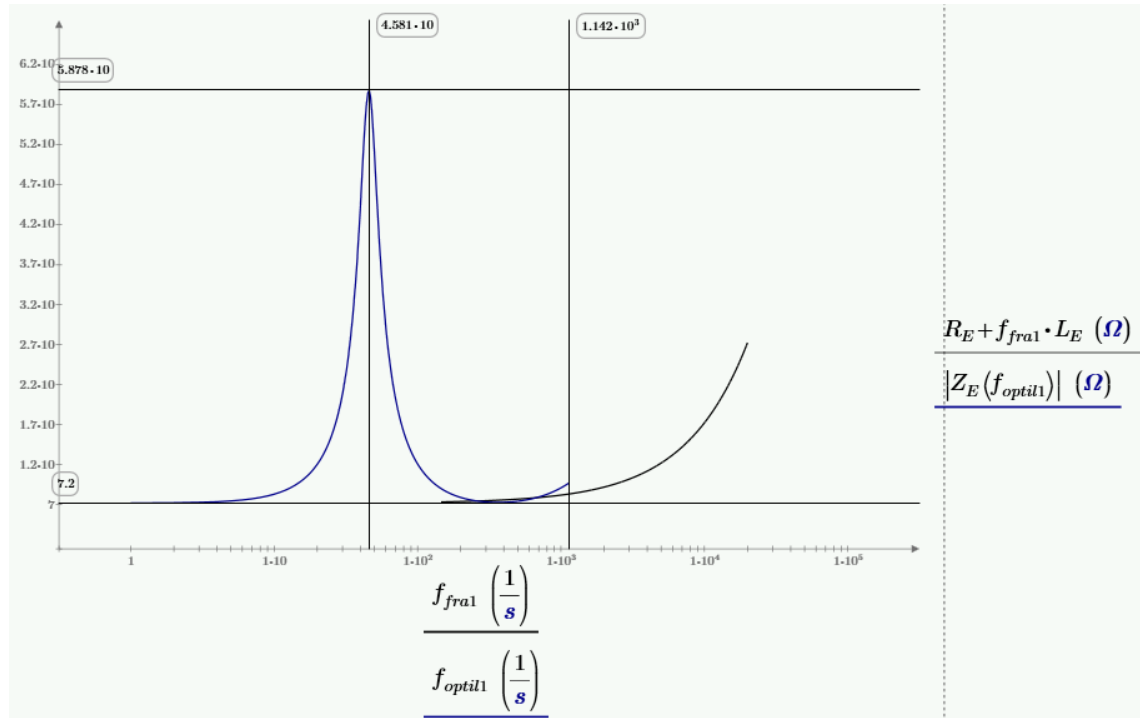
$$= 7.2\Omega + s \cdot 1mH + \frac{(8.2Tm)^2}{287.8Hz \cdot 14.7gm} \frac{287.8Hz \cdot s}{s^2 + \frac{1}{3.246} 287.8Hz \cdot s + (287.8Hz)^2} \quad (2.2)$$

Impedansen vil være størst ved højtalerensresonansfrekvens  $f_s$ , som beregnes i ligning 3.3. Dette toppunkts maksimumværdi er givet ved ligning 3.4

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS}C_{MS}}} = 45.813Hz \quad (2.3)$$

$$Z_{max} = R_E + \frac{Bl^2}{RMS} = 58.781\Omega \quad (2.4)$$

På figur 3.1<sup>2</sup> ses plottet af ligning 3.1 med værdierne for højtaleren. Kurveforløbet stemmer overens med det beregnede toppunkt  $f_s$  og minimumsværdien  $R_E$ . Kurveforløbet stemmer ligeledes overens med det opgivne i databladet [1].



**Figur 2.3.** Den elektriske impedans  $Z_E$  som funktion af frekvensen

<sup>2</sup>FiXme Fatal: Find ud af at lave det i matlab!!!! LS



## **2.2 Kabinet**

Ting og sager...

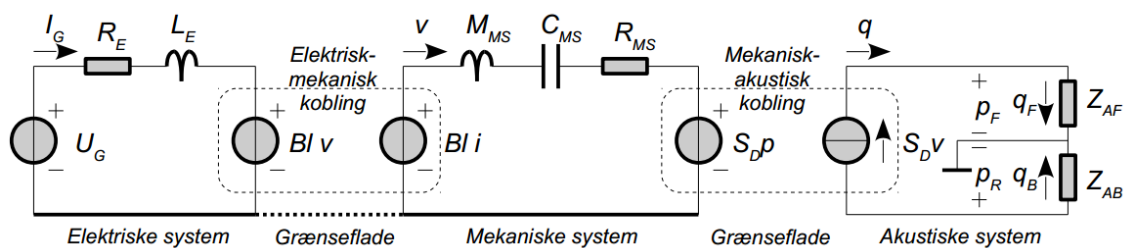
# Simuleringer 3

Formålet med dette afsnit, er at eftervise den teoretiske afhandling fra kapitel 2. Ved sammenhold mellem disse simuleringer og de reelle målinger, som ses i kapitel 4

## 3.1 Højttaler

<sup>1</sup> Højttaleren der benyttes til projektet er en 6.5"mellemtone elektrodynamisk højttaler af mærket FW168[1] fra firmaet Fountek [2].

På figur 3.1 ses den komplette model for højttalerens elektriske, mekaniske og akustiske system.[3] Komponentværdierne og forklaringen af disse, kan ses i tabel 3.1.



**Figur 3.1.** Komplet model for højttalerens elektriske, mekaniske- og akustiske system.

<sup>1</sup>FiXme Fatal: Start mere generelt. Mere teori om lyd før vi angriber enheden. Mere teori om impedans-tilpasningen - AB

Thiele-Small parameter	Symbol	Værdi for FW168
Svingspolens DC modstand	$R_E$	$7.2\Omega$
Svingspolens selvinduktion	$L_E$	$1mH$
Elektrisk godhed	$Q_{ES}$	0.452
Masse af bevægeligt system	$M_{MS}$	$14.7g$
Eftergivelse af styr	$C_{MS}$	$0.821mm/N$
Mekanisk godhed	$Q_{MS}$	3.246
Mekanisk tabsmodstand	$R_{MS}$	$\frac{1}{Q_{MS}} \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}} = 1.304Ns/m$
Resonansfrekvens	$f_s$	$\frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS}C_{MS}}} = 45.813Hz$
Ækvivalent volumen	$V_{AS}$	$16.5L = 0.017m^3$
Kraftfaktor	$Bl$	$8.2Tm$
Membranens effektive areal	$S_D$	$119cm^2$
Maksimal lineær bevægelse	$X_{MAX}$	$4.6mm \pm$

Omregner man modellen til en komplet elektrisk model, kan man udregne den elektriske impedans  $Z_E$  for modellen. Denne impedans har et toppunkt ved højttalerens resonansfrekvens, og en minimumsværdi ved svingspolens  $R_E$ -værdi. <sup>2</sup>

Med værdierne fra tabel 3.1, som er opgivet i højttalerens datablad[1], udregnes den elektriske impedans for højttaleren i ligning 3.1

$$Z_E(s) = R_E + sL_E + \frac{Bl^2}{\omega_s M_{MS}} \frac{\omega_s s}{s^2 + \frac{1}{Q_{MS}} \omega_s s + \omega_s^2} \quad (3.1)$$

$$= 7.2\Omega + s \cdot 1mH + \frac{(8.2Tm)^2}{287.8Hz \cdot 14.7gm} \frac{287.8Hz \cdot s}{s^2 + \frac{1}{3.246} 287.8Hz \cdot s + (287.8Hz)^2} \quad (3.2)$$

Impedansen vil være størst ved højttalerensresonansfrekvens  $f_s$ , som beregnes i ligning 3.3. Dette toppunkts maksimumsværdi er givet ved ligning 3.4

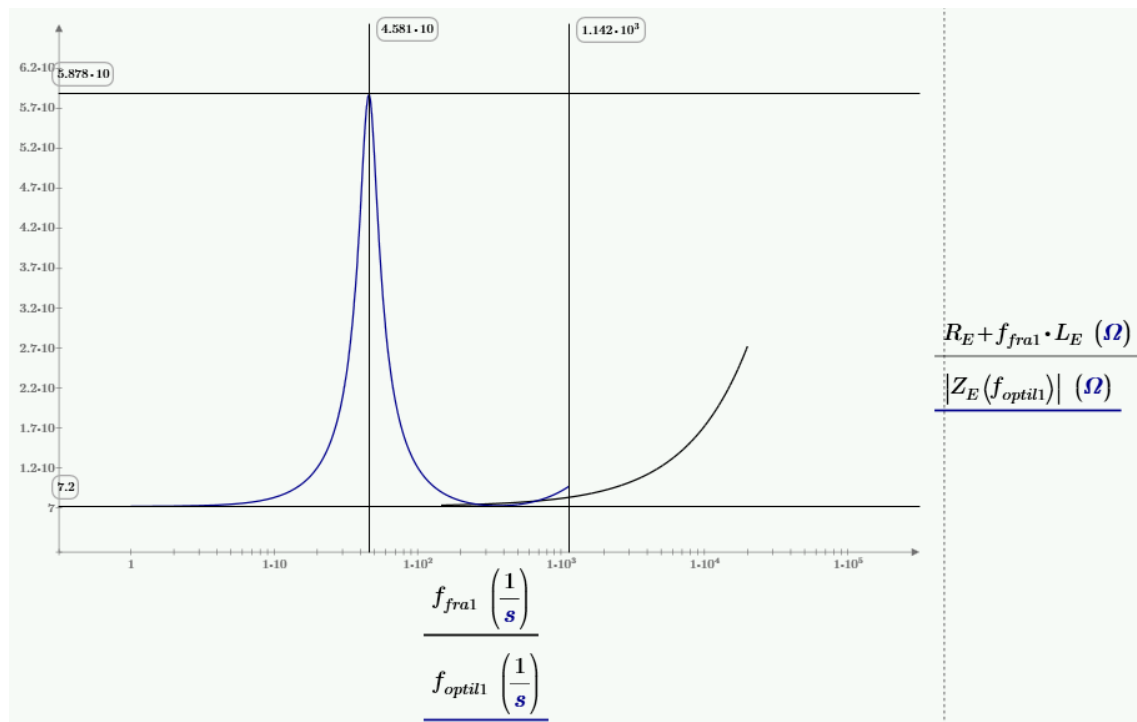
$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS}C_{MS}}} = 45.813Hz \quad (3.3)$$

$$Z_{max} = R_E + \frac{Bl^2}{R_{MS}} = 58.781\Omega \quad (3.4)$$

På figur 3.1 <sup>3</sup> ses plottet af ligning 3.1 med værdierne for højttaleren. Kurveforløbet stemmer overens med det beregnede toppunkt  $f_s$  og minimumsværdien  $R_E$ . Kurveforløbet stemmer ligeledes overens med det opgivne i databladet [1].

<sup>2</sup>FiXme Fatal: Men hvorfor er det vigtigt? Teorien bag! - AB

<sup>3</sup>FiXme Fatal: Find ud af at lave det i matlab!!!! LS



*Figur 3.2.* Den elektriske impedans  $Z_E$  som funktion af frekvensen

## 3.2 Kabinet

Ting og sager...

## 3.3 Rum

Ting og sager...

# Målinger 4

Dette kapitel omhandler brugen af CLIO Pocket til, at måle på højtalerkabinettets karakteristike samt lytteoplevelsen i et rum.

## 4.1 CLIO Pocket

Til selve målingerne blev der brugt en såkaldt **CLIO Pocket**. Dette er et værktøj som er i stand til, at måle både frekvenskarakteristikker og impulsresponsen.

Selve modulet har en indgang som sluttes til en mikrofon og en udgang som sluttes til en højttaler. Derudover findes der en USB-forbindelse til tilslutning til en computer.

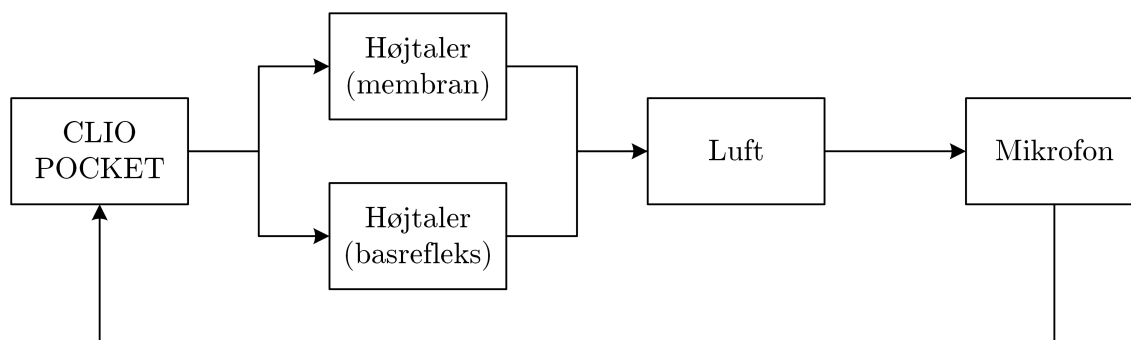
Værktøjet måler en frekvenskarakteristik ved, at udsende to frekvenschirps efter hinanden gennem højttaleren som så måles igen af mikrofonen. Disse måleresultater bruges så til, at udarbejde en frekvenskarakteristik i området fra 10 Hz til 20 kHz.

Den målemetode som CLIO Pocket benytter sig af kan derfor beskrives gennem en simpel feedback-løkke svarende til det, som er vist på diagrammet nedenfor.



*Figur 4.1.* CLIO Pocket

Som vist på diagrammet, så vil højttalerens udformning (membran og refleks), rummets udformning og mikrofonens karakteristika alle have en betydning for det målte frekvensrespons. I de målinger der fremkommer i denne report er det dog blevet antaget, at mikrofonens karakteristika kun har en minimal betydning.

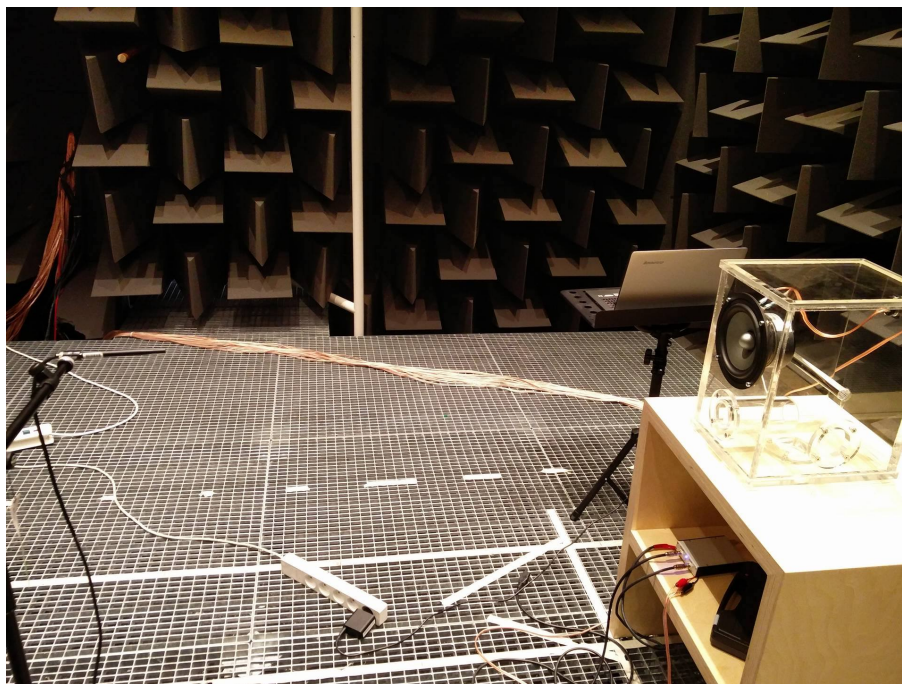


*Figur 4.2.* CLIO Pocket målemetode

## 4.2 Konfigurationer af højtalerkabinettet

I dette afsnit vil der blive set på hvordan forskellige konfigurationer af højtalerkabinettet påvirker dets frekvenskarakteristik. Idet det udelukkende er kabinettets egen karakteristika der er interessant i denne sammenhæng, så er det altså ikke ønskeligt, at rummets udformning spiller nogen større rolle i den samlede frekvenskarakteristik.

For at minimere rummets betydning for den samlede frekvenskarakteristik så blev højtaleren placeret i det lyddøde rum på IHA. Herved blev eventuelle refleksioner (ekkoer) dæmpet og det samme blev deres indvirkning på det samlede frekvensrespons.



*Figur 4.3.* Typisk måleopstilling i det lyddøde rum

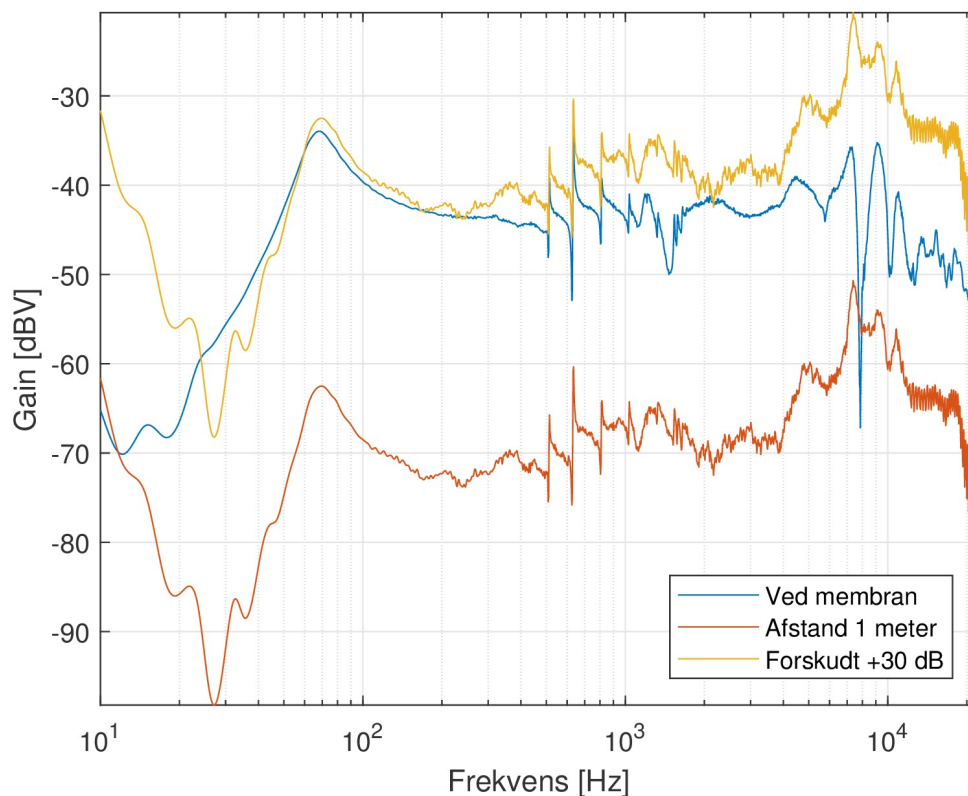
Højtalerkabinettet er lavet til, at kunne konfigureres med forskellige længder basrefleksrør som kan placeres forskellige steder. De forskellige rørlængder der er blevet undersøgt i denne report er: 3,5 cm, 7,0 cm og 15,0 cm. De vil efterfølgende, meget naturligt, blive referet til som Kort, Medium og Lang basrefleks.

Basreflekserne kan som sagt placeres forskellige steder på højtalerkabinettet: Foran under membranen, på siden i samme højde som basrefleksen foran og under bunden. De vil på de efterfølgende sider blive refereret til som Forside, Side og Bund.

I undersøgelserne vil der kun blive placeret et basrefleksrør i kabinettet ad gangen og alle andre huller vil blive forseglet med en lufttæt prop. Disse propper kan også bruges til, at lave et helt forseglet kabinet - som også vil blive undersøgt på de følgende sider.

### Lukket kabinet

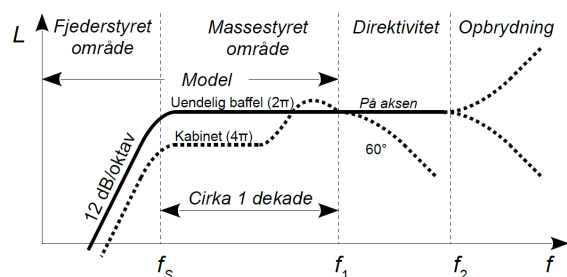
Der blev først og fremmest set på karakteristikken for et helt lukket kabinet. Det vil altså sige, at alle propper blev sat over basreflekshullerne. Frekvenskarakteristikken blev herefter målt med CLIO Pocket lige foran membranen og i 1 m afstand foran membranen. Resultatet af disse målinger ses på figuren nedenfor.<sup>1</sup>



**Figur 4.4.** Målinger på et lukket kabinet

Disse måleresultater udtaler sig som sagt ikke om hvordan basrefleksen påvirker frekvenskarakteristikken - men de vil blive brugt som referencemålinger i mange af de følgende måleopstillinger og resultater.

På figuren ovenfor optræder nogenlunde den type karakteristik vi forventer. Det er især resonansfrekvensen  $f_s$  ved 70 Hz som er meget interessant idet denne frekvens adskiller det **fjederstyrede område** fra det **massestyrede område**. Derudover er der blevet målt en hældning på kurven svarende til omkring +18 dB/oktav i det fjederstyrede område - altså en smule mere end den teoretiske stigning.



**Figur 4.5.** Teoretisk frekvenskarakteristik

<sup>1</sup>FiXme Fatal: inkluder simulering i figuren. Derudover ville lidt teori om frekvenskarakteristikken for et lukket kabinet være lækkert, inden vi kaster os ud i målinger. Også så vi kan sammenholde teori med praksis -AB

Hvis det, som omtalt i teorien, også antages at frekvensen  $f_1$  ligger en dekade over  $f_s$ , så svarer denne frekvens altså til 700 Hz. Herefter vil direktiviteten begynde at spille en stor rolle på frekvenskarakteristikken.

På grafen ses det også, at når CLIO-mikrofonen flyttes længere væk fra membranen, så bevarer karakteristikken nogenlunde sin form i det massestyrede område og et godt stykke ind i både området over og under i frekvensspektret. Den største forskel er dog, at karakteristikken er blevet dæmpet med omkring -30 dB. Derfor er den ovenstående kurve målt i 1 meters afstand også blevet korrigeret med +30 dB for at vise dette.<sup>2</sup>

For at eftervise at dette er korrekt, så ses der på den nedenstående formel der giver en sammenhæng mellem lydtryk og afstand fra lyd giveren:

$$L_2 = L_1 - \left| 20 \cdot \log \left( \frac{r_1}{r_2} \right) \right| \quad (4.1)$$

Hvor værdierne  $L_1$  og  $L_2$  er lydtryksniveauet målt i afstandene  $r_1$  og  $r_2$ . Hvis der ses peaken omkring den første resonansfrekvens  $f_s$ , så ligger denne ved omkring -34 dB når der måles tæt på højttaleren og -62,5 dB, når der måles i 1 meters afstand. Hvis disse værdier indsættes i den førnævnte formel, så findes der følgende:

$$-62,5 \text{ dB} = -34 \text{ dB} - \left| 20 \cdot \log \left( \frac{r_1}{1,00 \text{ m}} \right) \right| \Rightarrow r_1 \approx 3 \text{ cm} \quad (4.2)$$

Hvilket altså vil sige, at CLIO-mikrofonen har været placeret omkring 3 cm fra højttaleren. Dette virker også meget sandsynligt.

Grunden til afvigelsen i det fjederstyrede område<sup>3</sup> kan skyldes, at dæmpningsfaktoren i luft er meget anderledes ved lave frekvenser<sup>4</sup>. Afvigelsen ved de højere frekvenser skyldes at direktiviten spiller ind. Det kan derfor sagtens tænkes, at CLIO-mikrofonen ikke har stået præcist vinkelret ind på højttalerens midte.<sup>5</sup>

### 4.3 Rummets karakteristik

---

<sup>2</sup>FiXme Fatal: Vi behøver vel ikke korrigerer? Vi skal bare holde 1m afstand-måling sammen med 1m afstand, og tæt afstand med tæt afstand

<sup>3</sup>FiXme Fatal: ift hvad? - AB

<sup>4</sup>FiXme Fatal: ref? - AB

<sup>5</sup>FiXme Fatal: Men netop de lavere frekvenser burde vel være ligeglade, da der her ikke spiller direktivitet ind (fjederstyret område) - AB



# Konklusion 5

---

Her skal der stå noget meget klogt

# Litteratur

---

- [1] Fountek. *FW168 Midwoofer Datasheet*, 2017.
- [2] Fountek Electronic Co. Ltd. Fountek. URL <https://www.fountek.net>. Last Visited d. 24/05-2017.
- [3] Tore Arne Skogberg. *Elektroakustik*. 2016. Bilag: Elektroakustik.pdf.