

Auraliseringsystem for ikke-ideelle lytterom

Marius Berg

Master i elektronikk

Oppgaven levert: Juli 2010

Hovedveileder: Peter Svensson, IET

Biveileder(e): Lars Boberg Hov, Rambøll Norge AS

Oppgavetekst

Auraliseringssystem bruker hodetelefoner eller høyttalersystem for å presentere et simulert lydfelt til en lytter. Høyttalersystem fungerer bra i ekkofrie rom eller veldig akustisk dempede rom men ikke-ideelle lytterom er en utfordring for slik gjengivelse. Denne oppgaven skal studere og evaluere auralisering med høyttaler i slike ikke-ideale lytterom. Rom med forskjellig grad av akustisk demping skal studeres og forskjellige akustiske parametere skal evalueres, f.eks totalt lydnivå/spektrum, etterklangstid, tidig/sein energibalanse, kilderetning, romslighet mm.

Oppgaven gitt: 25. januar 2010
Hovedveileder: Peter Svensson, IET

Sammendrag

Denne oppgaven tar utgangspunkt i å undersøke hvordan ikke-ideelle lytterom påvirker lydsignalet i en auralisering, der auraliseringen blir presentert ved et konvensjonelt høyttalersystem. Metoden som blir tatt i bruk for å undersøke dette går ut på å kartlegge de viktigste akustiske parameterne ved en slik gjengivelse og hvor mye de endres som følge av å bli spilt av et høyttalersystem med Dolby 5.1 struktur. Parameterne det er fokusert på i denne oppgaven er: frekvensnivåer, "Clarity", etterklangstid og lateral fraction. For å undersøke rompåvirkningen i forskjellige tilfeller, er det valgt ut fem rom med noe ulik karakter, som alle er representative for realistiske rom å benytte til presentasjon av auralisering. Rommene gir fra helt tørr respons til responsen fra et auditorium og tre grader mellom. Syv simulerte rom av ulik karakter blir auralisert i Catt Acoustics og konvolvert med responsen fra sine respektive auraliseringskanaler i lytterommene. En omnidireksjonell mikrofon blir brukt for måling av frekvensrespons, C80 og T60. Og en Soundfield ambisonics mikrofon blir brukt til å måle LF. Konklusjonen i oppgaven er at de fleste av rommene ikke forringer den oktavmidlede frekvensgangen mer enn maksimalt 2dB i alle frekvensbånd, bortsett fra det laveste frekvensbåndet på 125Hz. T60 lar seg gjengi med rimelig nøyaktighet så lenge den auraliserte T60 verdien ligger godt over T60 verdien til lytterrommet. De største avvikene ligger derimot i C80 verdiene og Lateral Fraction verdiene.

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Systemvalg	1
2	Teori	3
2.1	Auralisering	3
2.2	Geometrisk Akustikk	4
2.3	Flutter ekko	4
2.4	Ambisonics B-format	5
2.5	Etterklang	5
2.6	Sinussveip	6
2.7	Norsk musikkråds anbefaling for lokaler	7
2.8	C80	8
2.9	Lateral Fraction	9
3	Utstysrliste	10
4	Fremgangsmåte	10
4.1	Målingsmetode i rommene	10
4.1.1	Måleprogrammet: WinMLS	13
4.1.2	Konvolusjon i Matlab	13
4.2	Rommene der impulsresponsene ble målt	14
4.2.1	Ekkofritt rom	14
4.2.2	Aura Lab	15
4.2.3	Lydrom C031	16
4.2.4	Grupperom B113	17
4.2.5	Auditorium EL1	18
4.3	Rommene som ble auralisert i Catt Acoustics	19
4.3.1	Rom 1	19
4.3.2	Rom 2	20
4.3.3	Hall 1	20
4.3.4	Hall 2	21
4.3.5	Hall med sceneboks	21
4.3.6	Kirke	22
4.3.7	Olavshallen	23
4.4	Post prosessing / Auralisering i Catt Acoustics	24
4.5	Frekvensrespons	24
4.6	Utrekning av C80	25
4.7	Utrekning av T60	25
4.8	Kalibrering av Soundfield systemet	26

5	Resultater	30
5.1	Frekvensrespons	30
5.2	C80	35
5.3	T60	40
5.4	Lateral Fraction	45
6	Diskusjon	49
6.1	Frekvensrespons	49
6.1.1	Frekvensrespons uten auralisering	49
6.1.2	Frekvensrespons med auralisering	50
6.2	C80	51
6.3	T60	52
6.4	Lateral Fraction	53
7	Konklusjon	55
7.1	Implikasjoner	55
7.2	Videre arbeid	56
8	Referanser	57
A	Vedlegg	58
A.1	Matlab kode for beregning av akustiske parametre	58
A.1.1	T60	58
A.1.2	C80	58
A.1.3	Frekvensbåndsnivåer	60
A.1.4	Lateral Fraction	61
A.1.5	Sync_start	64

1 Innledning

Med dagens programmer for geometrisk akustikk, som CATT-Acoustics og Odeon har det lenge vært mulig å lage en lydssimulering, en såkalt auralisering, av et rom konstruert i programmet. Ved hjelp av denne lydssimuleringen kan man få et inntrykk av hvordan rommet høres ut ved å konvolvare den beregnede impulsresponsen fra programmet med et ønsket lydsignal. Et praktisk bruksområde for denne auraliseringen, kan være å demonstrere endringer og eventuelle forbedringer i akustikken som kan man kan oppnå ved endringer i enten rommets struktur eller materialvalg. For optimalt resultat ved auralisering, skal auraliseringen spilles av gjennom gode hodetelefoner eller i et ekkofritt rom med et såkalt krysskanselleringsfilter. For bedrifter som ønsker å markedsføre eller demonstrere effekten av akustiske tiltak for en gruppe potensielle kunder, vil det kunne være upraktisk å skulle dele ut et stort antall hodetelefoner. Antallet hodetelefoner, forsterkere, kabler og system generelt vil akkumulere opp sannsynligheten for å gi et lite ryddig inntrykk ved presentasjonen av auraliseringen. (Og som kjent er jo presentasjonen av produktet en stor del av inntrykket).

Det mest praktiske i mange tilfeller er å demonstrere auraliseringen over et høyttalersystem. Og fordi ikke alle bedrifter har et ekkofritt rom tilgjengelig, vil det medføre at rommets lydkarakteristikk vil bidra til å endre lyden fra den avspilte auraliseringen i større eller mindre grad. Men akkurat hvor mye vil avspillingen i rommet endre lyden fra auraliseringen?

Denne oppgaven tar for seg å beregne bidraget fra fem virkelige rom til ulike auraliserte rom, med tanke på frekvensrespons, C80, T60 og Lateral Fraction.

Jeg vil takke mine veiledere Professor Peter Svensson og Akustikkrådgiver Lars Hov hos Rambøll Norge AS for bistand og veiledning.

1.1 Systemvalg

Til forsøket er det valgt et Dolby Digital 5.1 Surround oppsett. Det er flere grunner til det. En av grunnene at det er et standard kommersielt system. Hardware for å spille av auraliseringer som er laget i 5.1 er masseprodusert og dermed billig og enkelt å få tak i. 5.1 systemet er også helgardering mot et stereo-oppsett, i og med at venstre og høyre fronthøyttaler i et 5.1 oppsett har samme posisjoner i forhold til lytteren som et konvensjonelt stereo-oppsett. Et 5.1 surround gir i tillegg til fronthøyttalerne muligheten til å gjenskape en

større romfølelse(Lateral Fraction) enn hva som er mulig kun med front høyt-
talerne. Den siste grunnen er at programmet Catt-Acoustics gir muligheten
til å auralisere i 5.1.

2 Teori

2.1 Auralisering

Auralisering er i følge Kuttruff: Room Acoustics, et fellesbegrep for alle teknikker som skaper et hørbart inntrykk av et rom som ikke eksisterer i virkeligheten, men kun i form av informasjon om designet til rommet. Musikk eller tale blir tatt opp i et ekkofritt rom og lyden blir deretter påtrykt gjennom et system som modifierer signalet på samme måte som et ekte rom vil modifisere lyden (Kuttruff, 2000, kap 9).

Systemet som modifierer signalet, vil være en impulsrespons som konvolveres med inngangs signalet. Denne impulsresponsen kan være en impulsrespons som er målt i et ekte rom, eller en impulsrespons generert med software. For å skape en auralisering i flere lydkanaler, trenger man flere forskjellige impulsresponses å konvolvare signalet med. For å demonstrere en auralisering i hodetelefoner, kan man få en svært realistisk opplevelse av det simulerte rommet, hvis man har tatt opp eller generert impulsresponses med responsen til et såkalt binauralt hode. Et binauralt hode vil si et kunstig hode med mikrofonene plassert der trommehinnene til et ekte menneske sitter. Slik at karakteristikken til et ekte øre simuleres.

For den mest realistiske opplevelsen av en binaural auralisering på et høyttalersystem, bør man helst ha et et ekkofritt rom der høyttalerne har et såkalt crosstalk cancellation filter (Svensson & Ulrich, 2008). Ved hjelp av dette filteret vil man, hvis man er plassert riktig, oppleve lyden som om man bruker hodetelefoner. Crosstalk cancellation filteret sørger for å kansellere lyden fra venstre høyttaler ved høyre øre og omvendt.

En annen måte å skape et realistisk lydfelt på, er å benytte svært mange høyttalere i en sfære rundt lytteren. F. hvis man bruker et system med høyttalere plassert i en sirkel og vendt mot lytteposisjonen. Gitt at man har lik avstand mellom høyttalerne, vil man i teorien kunne skape et mer komplekst lydfelt og en mer nøyaktig retningsgjengivelse, jo flere høyttalerkanaler som brukes.

I et surround oppsett, slik det er definert i standarden Dolby Surround 5.1, har man kun god retningsgjengivelse i front. (Ambisonics the surround alternative, Ellen) Sidene og bak derimot, vil være litt redusert. Grunnen til dette er avstanden mellom front og surroundhøyttalerne og surroundhøyttalerne imellom. Men selv om Dolby Digital 5.1 surround systemet har denne

begrensningen, er det ikke dermed sagt at et surround system vil være dårlig egnet for å presentere en auralisering.

I følge “5.1 production guidelines” fra Dolby Laboratories Inc. er surround høyttalerne ment for å gi dybdevirkning og romfølelse til lytteren. Fokuset er i hovedsak å være foran av lytteren. Som retningslinjer til de som lager lyd-bildet på film og musikk blir det gitt anbefalinger om å plassere refleksjoner og etterklang i bakhøyttalerne (Dolby Laboratories Inc, 2000).

For auralisering kan man gjøre tilsvarende. I simuleringen av en konsertsal f. eks kan man plassere scenen foran lytteren, og klangen og refleksjoner fra publikumsområdet i surround høyttalerne. På den måten maskeren lytteren for mangel på fokus fra surround høyttalerne. Gevinsten med dette er at lydbildet vil kunne gi en mer realistisk romfølelse, enn ved et konvensjonelt stereo oppsett.

2.2 Geometrisk Akustikk

Geometrisk akustikk er en metode for å regne ut de akustiske egenskapene til et stort rom, der løsning av bølgeligninger vil være for omfattende for å få et nøyaktig resultat. Metoden for utregning med geometrisk akustikk ser på lydbølger på samme måte som lysstråler. Dvs at programmet gir lydutbredelse en forenklet modell, blandt annet for å spare utregningsressurser og gi brukeren muligheten til å gjøre beregninger med et høyt antall utsendte “lydstråler”. En strålemodell for lyd, vil blandt annet si at diffraksjonseffekter rundt hjørner ikke er tatt med i beregningen. Dette medfører at lyden ikke kan propagere rundt hjørner og skyggefelt vil oppstå på den andre siden av hjørnet, sett fra lydkilden (Kuttruff, 2000, Kap 4). Catt tar heller ikke faseinformasjon med i beregningene. Mangelen på faseinformasjon, fører til at effekter som rom-moder og antimoder ikke beregnes. Geometrisk akustikk er med andre ord mest nøyaktig i beregninger der avstanden mellom veggene er vesentlig større enn bølgelengden til signalet som er sendt ut.

2.3 Flutter ekko

“Flutter ekko”, er et fenomen som svært sjelden er ønskelig i et rom. Flutter ekko oppstår hvis to eller flere harde parallelle flater står mot hverandre. Lyden reflekteres da mellom flatene gjennom samme punkt. Flutter ekko gjenkjennes som en kort metallisk etterklang som høres som respons til lyd i

et lite rom, eller som en serie med et periodisk avtagende ekko i et rom der avstanden mellom veggene er større. En enkel måte å illustrere dette på er å ta for seg samme fenomen med synlig lys. På samme måte som man kan se speilbildet sitt nærmest uendelig antall ganger gjennom to motstående speil hvis man er plassert mellom dem, vil man kunne høre rekken med lydrefleksjoner i en sal med flutter ekko. Flutter ekko kan enkelt oppdages ved hjelp av geometrisk akustikk og kan forhindres på flere måter. Enten kan man forhindre at veggene blir parallelle i utgangspunktet, eller gjøre de eksisterende motstående flatene mer diffuserende for lyden, evt øke flatenes absorpsjon.

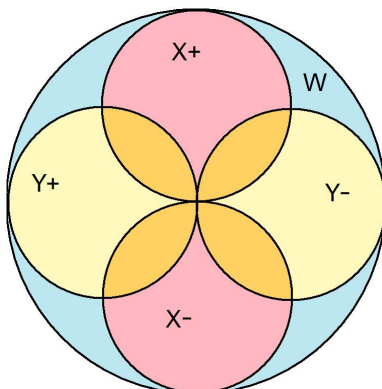
2.4 Ambisonics B-format

Ambisonics er et surround format som ble utviklet tidlig på 1970 tallet, og gir på grunn av sin struktur og oppsett gode muligheter for opptak og formidling av surroundlyd. Ambisonics B-format er en dekodet versjon av signalet som kommer fra en ambisonics mikrofon(som sender ut såkalt A format). Dette formatet er basert på forskjellige summerasjoner av signalene fra de 4 ulike mikrofon membranene. (Se figur 1)

1. X kanalen er gitt ved åttetallet: foran - bak.
2. Y kanalen er gitt ved åttetallet: venstre - høyre
3. Z kanalen er gitt ved åttetallet: Opp - ned
4. W er en omnikanal som summerer: foran + bak + venstre + høyre + opp + ned

2.5 Etterklang

Etterklangstid vil per definisjon si tiden en lyd bruker bruker på å bli at-tenuert 60dB i et rom. En vanlig måte å måle etterklang på er å genere en impuls ved alle frekvenser(se kapittel 2.6 om sinus sveip). En mikrofon fanger deretter opp lyden fra høyttaleren, samt responsen til rommet. Hvis man plotter signalet som mottas grafisk(f. eks i Matlab) vil man observere signalet som en impuls i tillegg til en eksponensielt avtagende hale som flater ut mot 0. Fordi denne "halen" er hakkete og ujevn på grunn av varierende



Figur 1: Ambisonics 2D Illustrasjon

reflekterende forhold i rommet, skal signalet baklengs integreres for å danne en såkalt Schröder kurve gitt ved følgende ligning: (illustert i figur 2)

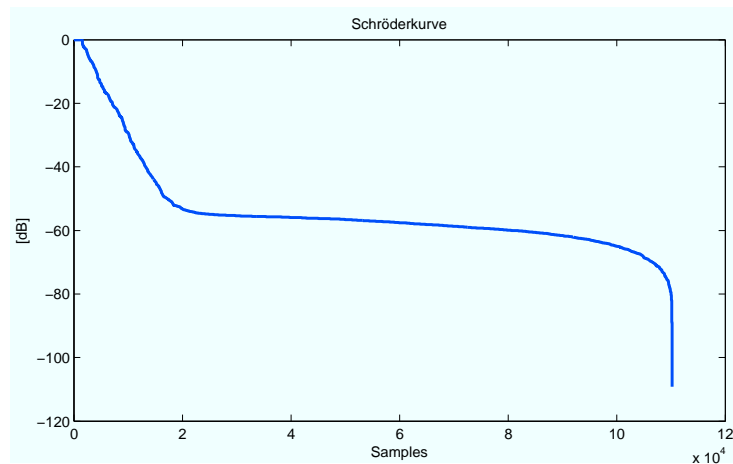
$$d(t) = 10 \log_{10} \int_t^{\infty} g_L^2(\tau) d\tau \quad (1)$$

Med logaritmiske akser kan man lese ut når signalet har sunket 60dB ut fra Schröder kurven. Siden reelle rom og praktisk utstyr alltid har et støynivå som overstiger -60dB nivået, er man nødt til finne stigningstallet og aproksimere seg fram til T60 verdien ut i fra linjen mellom to valgte punkter på kurven. I starten av Schröderkurven vil refleksjoner og etterklang være dominerende, men der hvor forholdet mellom støygulvet og etterklangssignalet blir for høyt begynner kurven å flate ut. Derfor må man velge ut hvilke punkter man skal beregne stigningstallet mellom med omhu. De standardiserte punktene man kan velge er stigningstallet mellom punktene der kurven har sunket fra -5dB til -25dB(T20) og stigningstallet mellom punktene -5dB og -35dB(T30).

2.6 Sinussveip

I WinMLS måles impulsresponsen i et rom ved hjelp av å sende ut en såkalt chirp(sinussveip) gjennom høyttaleren. Frekvensen øker eksponensielt som i likning 2.

$$f(t) = f_0 k^t \quad (2)$$



Figur 2: Schröderkurve

Dette kan oppnås ved likning 2 i tidsdomenet, der ω_1 er startfrekvensen og ω_2 er stoppefrekvensen (Svensson, 2007).

$$e_{in}(t) = \sin \frac{\omega_1 T (e^{\frac{t}{T} \ln(\frac{\omega_2}{\omega_1})} - 1)}{\ln(\omega_2 \omega_1)} \quad (3)$$

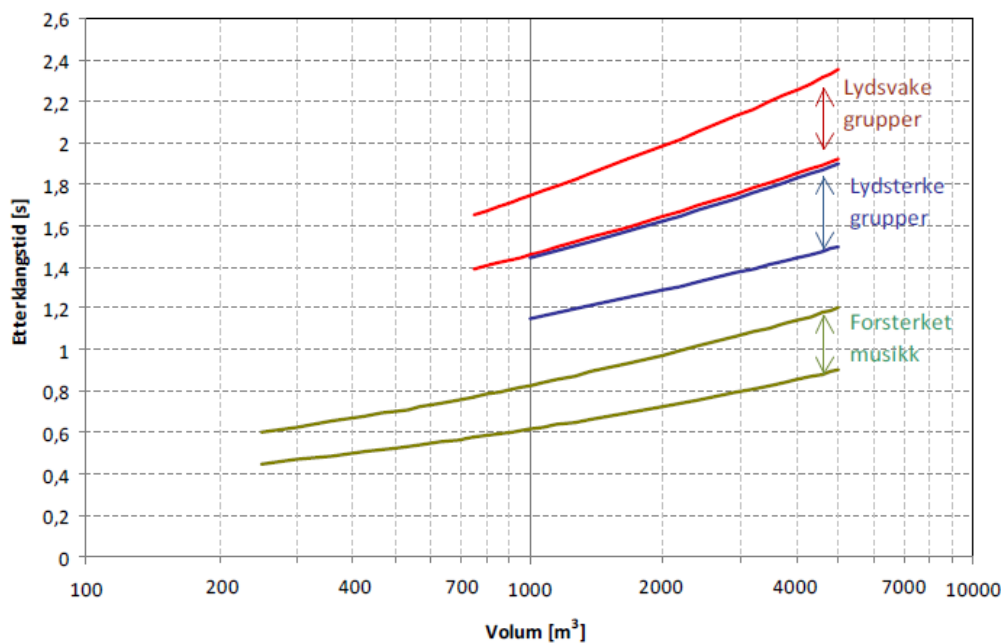
Denne målemetoden gir oss fleksibiliteten til å endre lengden på sinus sveipet, eller repetere sveipet for å gjøre målingen mer robust mot støy. Sinus sveipet gir oss også muligheten til å måle harmonisk forvrengning. (som ikke er mulig i målinger med hvit/rosa støy og lignende)

2.7 Norsk musikkråds anbefaling for lokaler

Norsk musikkråd har utarbeidet en anbefaling for å gjøre akustikken mest mulig tilpasset målgruppen til lokalet. Og skiller mellom fire ulike bruksområder: (Se figur 3)

1. "Saler for akustisk musikk, lydsvake grupper." Definert som mindre akustiske grupper som kor eller mindre blåseansambler (opptil 10 personer)
2. "Saler for akustisk musikk, lydsterke grupper." Definert som større ensembler som f. eks skolekorps, amatørkorps.

3. “Saler for forsterket musikk.” Gjelder grupper som bruker PA anlegg, som rockeband.
4. “Flerbrukssaler.” Dette begrepet omfatter tilfeller der ingen av de nevnte gruppene har prioritet.



Figur 3: NMRs krav til etterklang i forhold til romvolum

2.8 C80

Tydeligheten/klarheten i lyden i rommet er en faktor som varierer med rommets karakter og impulsrespons. Rommets refleksjoner bidrar til å “smøre ut” lyden fra kilden. Små svake lyder overdøves av etterklangen fra de sterke lydene. Tale kan bli vanskeligere å forstå og dynamikken i moderne musikk som f.eks rock, kan reduseres i romklangen. Det finnes flere definerte matematiske uttrykk som sier noe om tydeligheten i rommet, f. eks “Clarity”(C80) og “Deutlichkeit”(D50). Begge disse parameterne finner andelen mellom tidlig og sen lyd i impulsresponsen. Forsøk viser at tidlige refleksjoner oppleves som en forsterkning av den originale lyden, mens sene refleksjoner oppleves som et distinkt ekko(Kuttruff, 2000, Kap 7). Grensen mellom tidlig og sene refleksjoner er satt til 80ms for enheten “Clarity”, derav navnet C80.

Uttrykket for C80 er som følger:

$$C80 = 10 \log_{10} \frac{\int_0^{80ms} g_L^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} g^2(t) dt} \quad (4)$$

Dette uttrykket er beregnet på opplevelsen av klarhet (tydelighet) i musikk, og egner seg godt til å karakterisere store saler med tanke på fremførelse av musikk. (Og er av den grunn et av vurderingskriteriene i denne oppgaven.)

D50 beskriver tale tydelighet og beskriver prosentandelen mellom lydenergien i de første 50ms av impulsresponsen og energien hele responsen.

2.9 Lateral Fraction

Et viktig aspekt ved en konsertsal er opplevelsen av romfølelse. Ifølge Kuttruff er romfølelse forårsaket av lyden i et lukket rom, som kommer fra svært forskjellige retninger samtidig. Når lyden kommer fra såpass forskjellige retninger at vi ikke klarer å identifisere hvor lyden kommer fra, får vi nettopp denne romfølelsen. Romfølelse er et fenomen som ikke er korrelert med etterklang. Fordi en mono kilde i et klangfullt rom ikke vil gi oss romfølelse (Kuttruff, 2000, Kap 2). Et konvensjonelt stereo oppsett med to høyttalere, vil heller ikke gi oss romfølelse, fordi lyden kun kan gi oss et lydfelt med to forskjellige signaler som begge kommer forfra. For å kunne simulere romfølelsen man har i en konsertsal f. eks, vil man trenge flere høyttalere rundt lytteren, der høyttalerne ikke spiller identisk signal, men et signal som er variert med ulike refleksjoner og etterklang, slik som i en ordentlig konsertsal. Et dolby digital 5.1 surround system har derfor bedre forutsetninger for å formidle romfølelse enn et konvensjonelt stereo oppsett.

Forsøk har vist at romfølelsen sammenfaller med andelen av reflektert lyd som er innfallende fra en cosinus(åttetalls) karakteristikk fra sidene. Lateral Fraction er gitt ved:

$$LF = \frac{\int_0^{t_d} g_L^2(t) dt}{\int_0^{t_d} g^2(t) dt} \quad (5)$$

3 Utstyrsliste

Produsent	Produkt	Modell
Genelec	Aktiv Monitor	Model 1029A
Norsonic	Mikrofonmembran	Type 1220 Frittfelt(Nr: BC-4083)
Norsonic	Mikrofonkropp	Type 1206/27590
Norsonic	Mikrofon Forforsterker	Front End Type 336 (Nr: 20593)
Soundfield	Ambisonics Mikrofon	SPS422 (Nr: C598)
Soundfield	B-format Prosessor	SPS422B (Nr: 00716)
M-Audio	Eksternt Lydkort	Fasttrack Ultra
HP	Bærbar PC	7035B

4 Fremgangsmåte

4.1 Målingsmetode i rommene

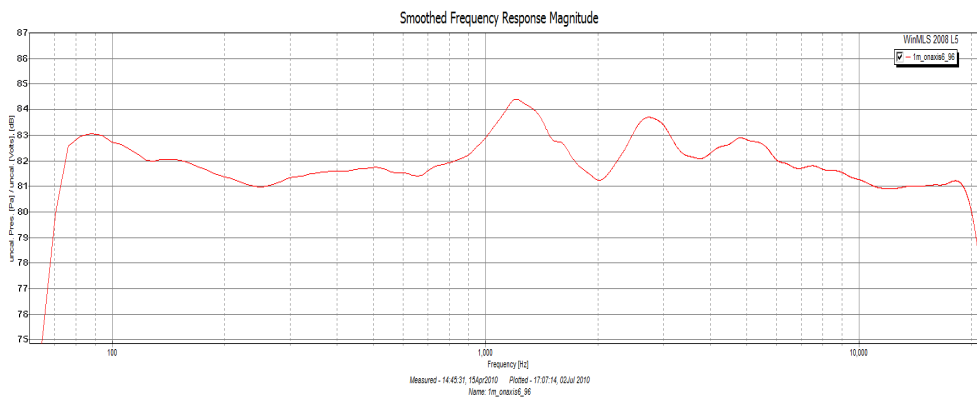
Monitoren av type Genelec Model 1029A ble montert på stativ i ønsket høyde og plassert på ønskede plasseringer i rommene.

For å måle parametere der kun en omnidireksjonell mikrofon er påkrevd, ble målemikrofonen Norsonic Type 1206/27590 brukt med Norsonic Mikrofonmembran Type 1220. Deretter ble signalet fra målemikrofonen forsterket av en Norsonic Front End Type 336 mikrofon forforsterker. Norsonic forforsterkeren ble innstilt med 30dB gain og filterinnstillingen "F", som tilsier at veifilterne er skrudd av. Deretter ble signalet digitalisert av et M-Audio Fasttrack eksternt USB lydkort og lagret på en laptop.

Som figur 4 viser ligger responsen fra Genelec høyttaleren målt med Norsonic mikrofon innenfor +/- 2dB fra 75Hz til 20kHz.

Måling av Lateral Fraction, krevde måling med omni og åttetallsdirektivitet. Som det beskrives i kapittel 4.8, består signalkjeden av en Soundfield SPS422 1. ordens ambisonics mikrofon brukt og koblet til en Soundfield SPS422B B-format prosessor, som beregnet omni og åttetalls karakteristikk og forsterket signalet opp til linjenivå. Som digitalisering og lagring ble det brukt to balanserte linjeinnganger på M-Audio lydkortet og lagret på en laptop.

Det ble tatt utgangspunkt i et standard Dolby Digital 5.1 Surround system, slik det er definert av Dolby. Slik er det definert:



Figur 4: Genelec monitoren målt i ekkofritt rom med Norsonic mikrofon)

1. Senterhøytaleren skal plasseres rett foran lytteren, og nærmest mulig i ørehøyde i sittende posisjon.
2. Fronthøytalerene kan plasseres i en vinkel mellom 22° og 30° fra senterhøytaleren, i ørehøyde.
3. Surroundhøytalerne kan plasseres i en vinkel mellom 90° og 110° fra akse mellom senter høytaleren og lytteren.
4. Alle høytalerne bør plasseres i lik avstand fra lytteposisjonen.

I oppsettet i oppgaven brukes 30 graders vinkel fra senter til fronthøytalerne. Dette fordi plassen tillater det, og den største vinkelen mellom fronthøytalerne bidrar til bredere retningsgjengivelse i front.

Vinkelen for surround høytalerne i oppgaven er satt til 110°, også fordi plassen tillater det, samt at plasseringen gir bedre mulighet for flere lyttere ved siden av hverandre i bredden. Hvis surround høytalerne hadde vært plassert 90° til høyre og venstre for senter, ville personene ved siden av senterposisjonen blokkert for direktelyden fra den ene eller begge surround høytalere for personen som sitter i senter og omvendt.

I oppgaven er det gjort forsøk der avstanden mellom lytter og høytaler er 2m. 2m er valgt fordi det var det beste kompromisset, med hensyn på dimensjonene til rommene som brukt til måling. I EL1 tillot plassen å ta en måling med 3m avstand mellom høytaler og lytter i tillegg. Det er også slik at hvis man beregner å demonstrere en auralisering for flere personer samtidig, kommer flesteparten av lytterne til å sitte utenfor sentrum. Gitt at

en person sitter på en stol av vanlig størrelse. Vil de to som sitter til høyre og venstre for personen i midten, sitte med hodet anslagsvis 60cm til høyre og venstre for sentrum.

For personene som ikke sitter i sentrum vil auraliseringen bli riktigere hvis avstanden mellom høyttalerne og sentrum er større. I form av at endringen i vinkel fra lytteposisjon til høyttaler blir mindre hvis avstanden til høyttalerne blir større. Det samme gjelder endringene i avstandene til hver av høyttalerposisjonene ved en lytteposisjon utenfor sentrum.

Men et annet poeng er at rommets dimensjoner vil skape en begrensning for avstanden fra høyttalerne til lytteposisjon. For å få en nøytral frekvensrespons fra høyttalerne (og unngå stor speilkildevirkning) vil det lønne seg å plassere høyttalerne i en viss minimumavstand fra veggene.

For å simulere et høyttalersystem som nevnt over ble responsen fra en og en høyttalerposisjon målt både med norsonic systemet og soundfield systemet. Høyttalerposisjonene og mikrofonplasseringen ble først målt opp med et målebånd og gradskive og plassert som vist i figur 8. (Bortsett fra at lytteposisjonen var rettet mot kortsiden for de andre rommene.) Deretter ble den aktive Genelec monitoren plassert i hvert av punktene etter tur. Først ble Norsonic systemet plassert i senterposisjon for måling. Deretter ble mikrofonen plassert i punktet 60cm til venstre for sentrum, for å måle responsen for en tenkt lytter som sitter en stollengde til venstre for sentrumsposisjonen. Norsonic mikrofonen ble i alle målingene satt i samme høyde som punktet midt mellom diskanten og basselementet på høyttaleren og rettet mot høyttaleren.

Når det gjelder retningene på høyttalerne og mikrofonen, ble alltid høyttaleren vendt slik at elementene var vendt 0 grader på mikrofonposisjonen i sentrum. Når mikrofonen ble plassert 60cm til venstre for sentrum, forble høyttaleren i samme posisjon.

For målingene med Soundfield mikrofonen ble Norsonic mikrofonen tatt vekk og soundfield mikrofonen satt i samme sentrumspunkt, med sentrum av mikrofonelementene i samme høyde som Norsonic mikrofonen hadde. Derimot var Soundfield mikrofonen naturlig nok alltid plassert med frontsiden rettet rett fram i alle målingene.

I området mellom høyttaler og mikrofon er objekter som overflødige møbler og gjenstander satt utenfor sirkelen med 2m radius fra sentrum. Med unntak av fastmonterte stoler(Aura og EL1), som det også vil være hensiktsmessig

å ha der ved en demonstrasjon av en auralisering. Mikrofonene hadde alltid fri siktlinje til høyttaleren og omvendt med god margin. Ved bestemmelse av sentrumspunktet, ble det alltid valgt med tanke på å utnytte rommet på en måte slik at det ble størst mulig avstand mellom veggene og høyttalerposisjonene.

4.1.1 Måleprogrammet: WinMLS

WinMLS ble brukt på softwaresiden. For å måle de forskjellige rommenes impulsrespons, sendte WinMLS et sinussveip. Sinussveipet som ble brukt til målingene var på 3 sekunder og ble foretatt med 44,1kHz / 24bits oppløsning på både avspilling og opptak. 44,1kHz samplingsfrekvens ble funnet tilstrekkelig og var tilpasset oktavbåndfilterene som skulle brukes, 24bits dynamikkoppløsning er derimot en fordel for presisjonen til utregningene. I hvert rom ble avspillingssignalet justert slik at målingen som gir sterkest utslag på mikrofonen (målingen av venstre surround høyttaler med Norsonic mikrofonen 60cm til venstre for sentrum), fikk en verdi som lå på et godt nivå litt under klippenivå. Dette for å sørge for at alle opptakene ble tatt med tilstrekkelig forsterkning, for å sikre kvaliteten.

4.1.2 Konvolusjon i Matlab

Alle de forskjellige målte impulsresponsene ble konvolvert med impulsresponsene som ble generert under Auraliseringen i Catt Acoustics (Beskrevet i Kapittel 4.4). Catt Acoustics responsene ble eksportert fra Catt i matlab format med 32-bit float presisjon. WinMLS filene ble importert i matlab via funksjonen "loadimp" som følger med WinMLS, målingene hadde en presisjon på 24bit. Catt responsene med svært lave amplitudeverdier ble ganget med samme konstant gitt ved $1/6$ delt på maksamplituden til det sterkeste Catt signalet. (se kode) Deretter ble de ferdige filene lagret i 24bits wav, for å lett kunne dobbeltsjekke utregningene fra Matlab med verdiene fra WinMLS.

Konvolveringene ble gjort i følgende mønster. Målingen fra f. eks høyre front høyttaler ble konvolvert med auraliseringen som er generert for høyre front kanalen fra Catt. Videre ble hver kanal konvolvert med sin respektive auraliserte kanal.

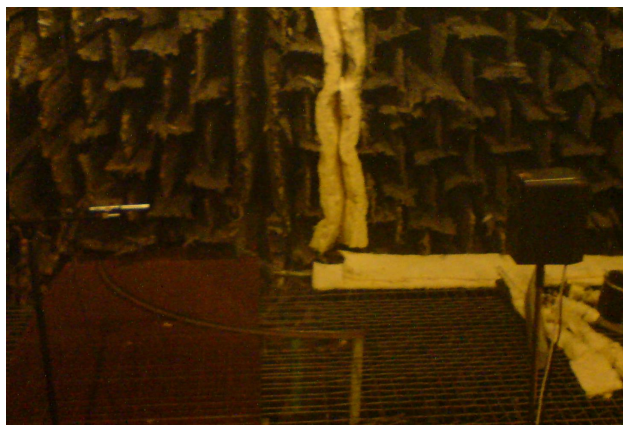
For å regne ut de akustiske parameterne i oppgaven er det brukt to forskjellige metoder. Metode nummer en er å konvolvare signalene, summere dem

og regne ut parameterne(f. eks C80). Metode nummer to er å konvolvare signalene, regne ut parameterne(f. eks T60) og deretter ta gjennomsnittet av parameterne. I kapittel 5 er det beskrevet hvilken av de to metodene som er brukt for hvert resultat.

4.2 Rommene der impulsresponsene ble målt

Fem rom ble målt. Det er blitt lagt vekt på å få med rom av litt forskjellig karakter. Alt fra helt tørt og klangløst(Ekkofritt Rom), til stort og klangfullt(Auditorium EL1) og trinnene mellom.

4.2.1 Ekkofritt rom

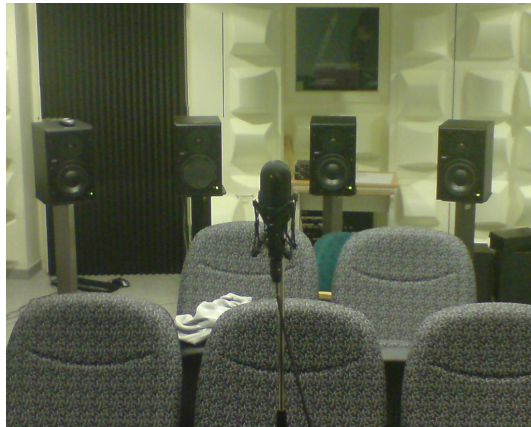


Figur 5: Ekkofritt Rom

NTNUs ekkofrie rom består av sterkt absorberende vegger, tak og gulv. Et nett av stål wire gjør at man kan bevege seg rundt. Dempematerialet består av frynsede pigger på ca en meter, og skal gi en svært høy absorpsjon av lyd i hele frekvensspekteret. Derav navnet ekkofritt. Dette er definisjonen på å måle i frittfelt. Det er kun direktelyden som når frem. På grunn denne egenskapen i rommet, er målingene med soundfield mikrofon for å måle lateral fraction ved forskjellige vinkler gjort ved å kun dreie mikrofonen til høyttaleren kommer i de gitte vinklene for 5.1 systemet. Tilsvarende forutsetninger er gjort ved måling fra sentrumsposisjonen med den omnidireksjonelle Norsonic mikrofonen. Målingene der responsen 60cm til venstre for sentrum testes ble mikrofonen flyttet til riktig avstand og vinkel i forhold til høyttaleren. Dette

rommet er tatt med for å teste ut et tilfelle der etterklangstiden er tilnærmet null og frekvensresponsen er flat. Dette legger til muligens til rette for optimal gjenskapelse av auralisering gjennom høyttalersystem generelt.

4.2.2 Aura Lab



Figur 6: Aura Lab

Rommet som er kalt Aura Lab, er et rom hvor det til daglig er innstallert et 16 kanalers lydsystem, blant annet for å kunne spille av ambisonics og surround lydfelt av høy orden. Rommet har dimensjonene $110m^3$ og er svært godt dempet. I dette rommet som de andre rommene er den aktive Genelec monitoren brukt til avspilling av sinus sveipet. Høyttaler og mikrofonhøyden ble i dette rommet satt til 136cm, og høyttaleren ble satt til riktige plasseringer i forhold til 5.1 spesifikasjonene. På veggen mot gangen og bak lytteposisjonen i sentrum er det laget diffuserende mønstre i veggen for å bryte opp spekulære refleksjoner som skaper “flutter ekko” og rom-modevirkninger. I motsetning til ekkofritt rom, er dette det første lokalet som er et rom og ikke et forskningslokale. Rommet har et konvensjonelt vinylgulvbelegg og vanlig romstruktur. Grunnen til at dette rommet er tatt med er for å undersøke hvordan et vanlig rom som er optimalt konstruert med tanke på frekvensrespons og kort etterklang vil kunne gjenscape en auralisering.

Dimensjoner: $7m \times 5,8m \times 2,7m$ (L x B x H) = $110m^3$



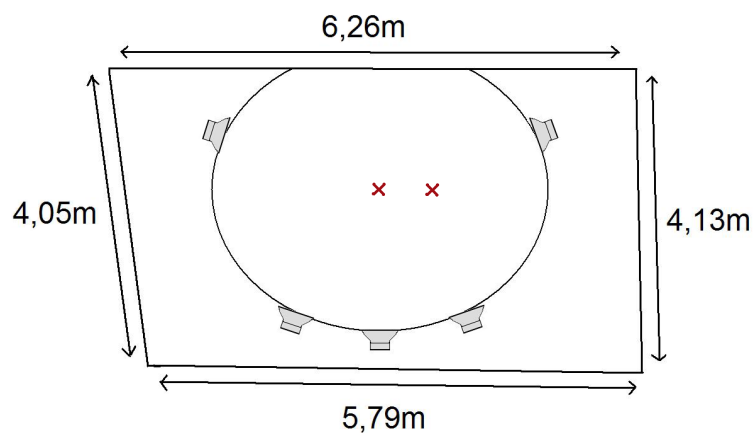
Figur 7: Lydrom C031

4.2.3 Lydrom C031

Lydrommet C031 er konstruert godt isolert fra rommene rundt og oppbygd med to lag med vegger og dobbelte dører. Alle veggene er usymmetrisk satt opp for blant annet å unngå flutter ekko og dempe modevirkninger. Etterklangstiden i rommet er lav, selv om den er høyere enn etterklangstiden i Aura labben og ekkofritt. Dette rommet er tatt med for å undersøke et rom der dempningen og designet er ganske godt, slik at dette rommet danner en mellomting mellom karakteristikken fra Aura Labben og grupperommet som beskrives under.

Rommet har to uparallele motstående vegger med lengde på 4,05m og 4,13m x to motstående vegger på 6,26m og 5,79m x 2,67m høyde = et volum på ca 65,7m³.

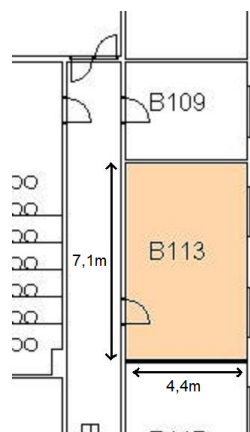
Mikrofonene og høyttaleren ble satt til høyden som tilsvarte sittehøyde med kontorstol i lokalet, 104cm.



Figur 8: Illustrasjon av Lydrom C031

Høytalerplasseringen i rommet avviker noe fra de andre rommene ved at lytteposisjonen er rettet mot langsiden, på grunn av de begrensede dimensjonene i rommet. Illustrert i figur 8.

4.2.4 Grupperom B113



Figur 9: Grupperom B113

Grupperom B113 er ikke et rom som er laget med tanke på lyd, men et standard grupperom laget med tanke på kollokvier. I rommet er det harde betongvegger og dempende paneler i taket. Dimensjonene på rommet er: $7,06\text{m} \times 4,44\text{m} \times 3,35\text{m}$ (L x B x H) = $105,0\text{m}^3$

Dette rommet skiller seg godt fra de fåregående rommene, med tanke på lengre etterklang og sterke modeformasjoner ved lave frekvenser. Modefor-

sterkningene i bassområdet kan skyldes at veggene er helt parallelle og har liten absorpsjon og gjør derfor at stående bølgemønstre mellom veggene ikke blir attenuert. Dette rommet er tatt med i oppgaven, for å undersøke hvordan et rom som ikke er konstruert spesielt for lyd vil innvirke auraliseringen. Dette rommet har en dempning og struktur som er representativ for lite dempede rom i offentlige bygg eller private kontorer generelt.

Mikrofon- og høyttalerhøyden ble satt til 126cm i dette rommet.

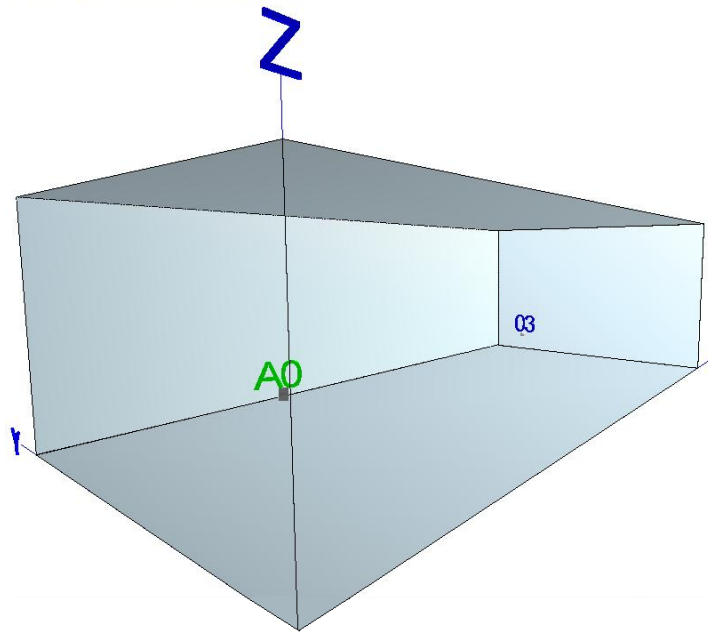
4.2.5 Auditorium EL1



Figur 10: Auditorium EL1

Auditorium EL1 utgjør det største rommet i testen, med høyest gjennomsnittlig etterklang. Dette rommet med et volum på ca 514m^3 og har riktignok parallelle vegger, men dempningspaneler finnes i tak og øvre del av veggene. Når det gjelder gulvet er rommet formet som et amfi med trinn på ca 15cm hver. Slik at gulvet og taket ikke er parallellt, og mange av flatene som er parallelle har absorberende plater. På grunn av rommets størrelse er dette rommet med høyest etterklang. Siden rommet er såpass stort, er det også god plass for større avstand mellom lytteposisjonen og høyttaleren. Derfor har det blitt gjort et ekstra sett med målinger ved 3m avstand, i tillegg til målinger med 2 meters avstand mellom høyttaler og mikrofon(i sentrumsposisjon). Dette rommet er tatt med for å undersøke hvor nøyaktig en auralisering vil presenteres i store lokaler.

4.3 Rommene som ble auralisert i Catt Acoustics



Figur 11: Rom 1 og 2

4.3.1 Rom 1

Rom 1 er et lokale på 1200 kubikk meter. Dette er fordelt på dimensjonene: 20m x 10m x 6m (L x B x H). Rommet har form som en parallellepiped (eller skoeskeform). Denne formen er gunstig med tanke på at siderefleksjoner som gir lytteren en god romfølelse. I tillegg til at det er en veldig praktisk og enkel form å konstruere. Lydkilden er en omnidireksjonell lydkilde som er plassert i koordinatet: 5m fra fremre vegg, 4.5m fra den ene sideveggen, 1.7m fra gulvet. Mikrofonene er plassert rundt punktet: 14m fra fremre vegg, 5m fra veggene, 1.7m fra gulvet. Grunnen til at kilden ikke er plassert midt mellom sideveggene, slik som mottakeren, er for å unngå at linjen mellom kilde og mottaker skaper en rett linje mellom fremre og bakre vegg. De står parallellt på hverandre. Ved å flytte kilden litt til siden unngår man dermed å skape mye flutter ekko i beregningene.

For enkelhets skyld har alle veggene i beregningen de samme spesifikasjonene vist i Tabell 1.

Spesifikasjoner vegger Rom 1

Frekvensbånd	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
Absorbsjon	33	38	43	48	51	53	55	57
Scattering	80	80	80	80	80	80	80	80

Dette rommet kan f. eks representere akustikkegenskapene til en anbefaling for et middels konsertlokale for forsterket musikk, ifølge Norsk Musikkråds Normer og anbefalinger (Norsk Musikkråd, 2009).

4.3.2 Rom 2

Rom 2 er et rom med de samme dimensjonene som Rom 1, men har vegger, tak og gulv med lavere absorpsjon for å illustrere et mindre dempet lokale. Og kunne se hvor godt akustiske egenskaper som følge av materialvalg vil kunne presenteres med oppgavens auraliseringsmetode.

Spesifikasjoner vegger Rom 2

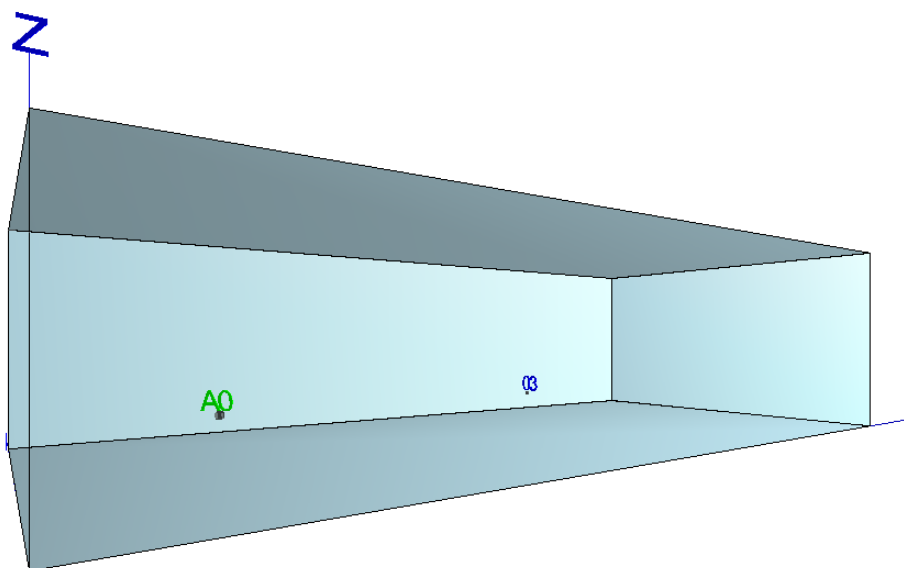
Frekvensbånd	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
Absorbsjon	18	18	19	20	21	23	25	27
Scattering	33	33	33	33	33	33	33	33

Dette rommet kan f. eks representere akustikkegenskapene til en anbefaling for øvingslokale til lydsterke grupper, ifølge Norsk Musikkråds Normer og anbefalinger.

4.3.3 Hall 1

Hall 1 er et lokale på 4096 kubikk meter. Dette er fordelt på dimensjonene: 32m x 16m x 8m (L x B x H). Dette rommet har ca. den samme skoeskeformen som de forrige rommene, dog med større dimensjoner. Lydkilden er plassert: 5m fra fremre vegg, 7m fra den ene sideveggen, 1.7m fra gulvet. Mikrofonene er plassert rundt punktet: 18m fra fremre vegg, 8m fra veggene, 1.7m fra gulvet. Veggene har samme absorpsjonskoeffisienter og spredningskoeffisienter som Rom 1.

Dette rommet kan ha et bruksområde som stort konsertlokale for forsterket musikk.



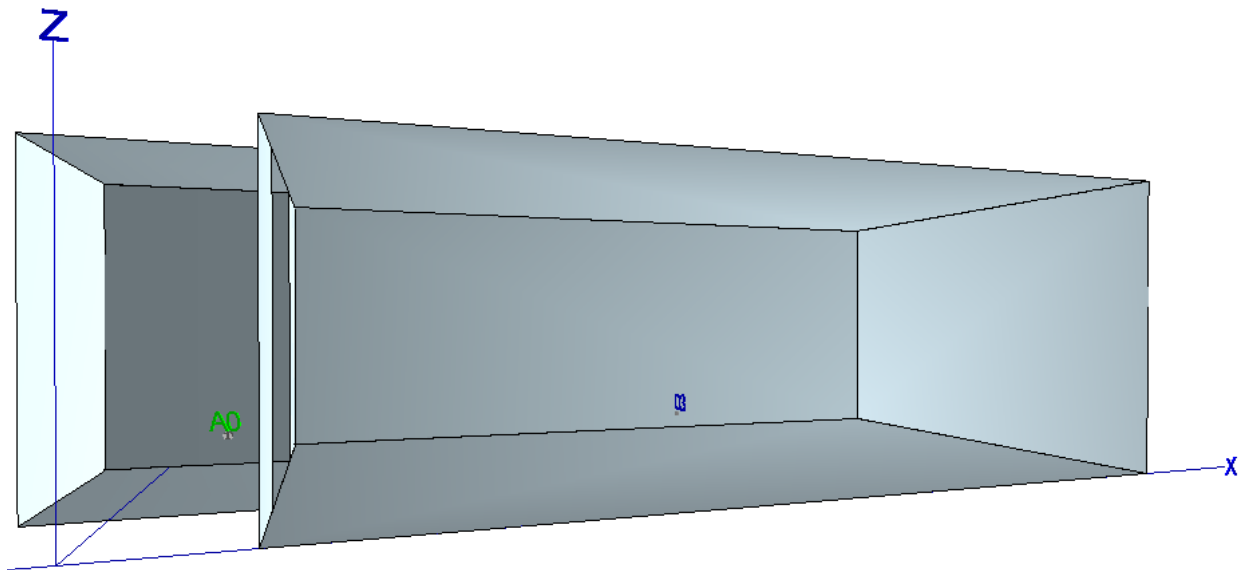
Figur 12: Hall 1 og 2.

4.3.4 Hall 2

Dette rommet har samme form som Hall 1, men absorpsjonskoeffisienten på overflatene i rommet er senket, for å se på mulighetene for å presentere materialforskjeller også her. Vegger, tak og gulv har samme spesifikasjon som overflatene i rom 2. Dette rommet gir karakteristik som passer for middels stort konsertlokale i grenseland mellom anbefalingene for lydsterke og lydsvake grupper. Lydkildeposisjonen og mikrofonposisjonen er den samme som i Hall 1.

4.3.5 Hall med sceneboks

“Hall med sceneboks” har et volum på 3968m^3 . Sceneboksen er bygd for å undersøke hvordan innvirkningen av flere nære refleksjoner rundt kilden påvirker de akustiske parameterne. (For eksempel et løft i den tidlige energien.) Spesifikasjonene på overflatene tilsvarer spesifikasjonene fra overflatene i rom 2. Karakteristikken i rommet tilsvarer anbefalingene til et middels stort konsertlokale for lydsterke grupper. Sceneboksen har dimensjonene $6\text{m} \times 8\text{m} \times 8\text{m}$ (L x B x H), og er koblet til et rom med dimensjonene $(28\text{m} \times 16\text{m} \times 8\text{m})$. Lydkilden er plassert i sceneboksen i $2,5\text{m}$ fra fremre vegg, 7m fra den nærmeste veggen og $1,7\text{m}$ over gulvet Lydmottakerpunktet er plassert 18m



Figur 13: Hall med sceneboks

fra fremre vegg 8m fra sideveggene og 1,7m over gulvet.

4.3.6 Kirke

Kirke lokalet har nesten samme form som hallen med sceneboks, med unntak av at takhøyden er økt til 10m. Volumet blir dermed 4960m^3 . Sceneboksen er tenkt som en plass til et alter eller tilsvarende. Dette lokalet er laget for å undersøke et tilfelle med høy etterklang opp mot 5 sekunder, slik det kan være i store stein/betongkirker. Lydkilde og mottakere er plassert i samme punkter som i "Hall med sceneboks".

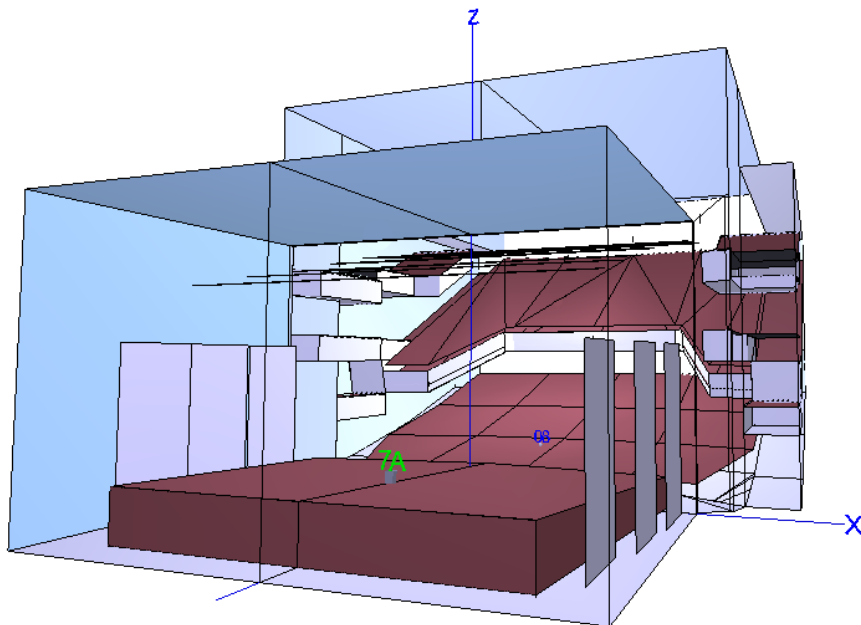
Vegger, tak og gulv har følgende spesifikasjoner:

Spesifikasjoner vegger Rom 2

Frekvensbånd	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
Absorpsjon	8	8	8	8	8	8	8	8
Scattering	12	12	12	12	12	12	12	12

4.3.7 Olavshallen

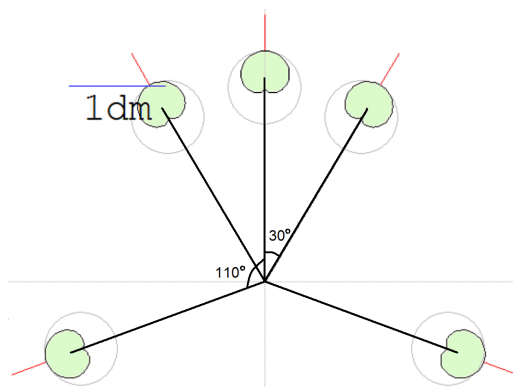
Olavshallen er konstruert i Catt for Akustikk NTNU av tidligere master studenter. Lydkilden er plassert som vist i figuren bak på scenen, nær midten. Lydkilden er plassert i foran i publikumsområdet, med en avstand fra lydkilde til mikrofoner på 22,5m. “Olavshallen” er tatt med for å undersøke et tilfelle der rommodellen har stor kompleksitet.



Figur 14: Olavshallen.

4.4 Post processing / Auralisering i Catt Acoustics

For etterprosesseringen, ble det brukt et fem kanals oppsett i Catt. Det vil si at Catt simulerer ønsket direktivitetskarakteristikk i fem punkter rundt punktet som ble valgt som mottakerpunkt i rommene. Oppsettet som har blitt brukt til auraliseringen er vist i Figur 15.



Figur 15: Mikrofonplasseringen i Catt

Mikrofonene er plassert i slik at de tar opp lydsignalet med samme direktivitet og vinkel innbyrdes som høyttalersystemet de skal spilles av på. Med en vinkel på 30° fra senter- til høyre/venstre plassering, og 110° fra senter til begge surround plasseringene. Mikrofonene bruker nyre direktivitet. Mikrofonene plasseres også i lik avstand fra sentrum slik som høyttaler systemet det skal spilles av på, for å unngå faseforskjeller mellom opptaket og avspillingen. Det er også ganske liten avstand mellom mikrofonene for å unngå store faseforskjeller i signalene som blir motatt av hver virtuell mikrofon. Ved større avstander mellom opptakspunktene øker interferensen mellom opptakene for signaler med korte bølgelengder. (Og evt for store bølgelengder dersom man benytter opptak med med svært adskilte mikrofonerposisjoner.)

4.5 Frekvensrespons

Frekvensresponsen for alle signalene er representert ved gjennomsnittlige verdier i hvert frekvensbånd i frekvensbåndene med senterfrekvens fra 125Hz til 8kHz. Se tillegget for Matlab funksjonen.

4.6 Utregning av C80

Utregningen av C80 er gjort ved å først oktavbåndsfiltre impulsresponsen. Deretter beregnes C80 etter likning 2 i Matlab. Matlab koden er vedlagt i tillegget kapA.1.2.

4.7 Utregning av T60

Beregningene av T60 ble foretatt i Matlab på grunn av muligheten til å automatisere prosesseringen og databehandlingen av mange impulsresponsen. (435 i alt) Se tillegget kapittel A.1 for Matlab koden. Prosedyren som har vært brukt ved beregning av T60 er følgende:

1. Impulsresponsen oktavbåndfiltreres ved hjelp av Peter Svensson og Aslak Bjerkviks “filter octave” Matlab kode. Oktavbåndene som omfattes i denne beregningen er oktavbåndene med senterfrekvens mellom 125Hz og 8kHz.
2. Signalene baklengs integreres for å danne en Schröderkurve. (Likning 1)
3. T60 approksimeres ved å danne en rett linje mellom to punkter på kurven. Standard er brukt som nevnt i kapittel 2.5, enten fra -5db og -25db(T20) der 0db er maksimumsutslaget eller -5db og -35db(T30). Avhengig av karakteren på etterklangskurven kan det være hensiktsmessig og bruke T20 i et tilfelle og T30 i et annet. I spesielle situasjoner kan det også være hensiktsmessig å beregne stigningstallet til kurven i andre punkter. Dette kan f. eks gjelde koblede rom og rom der etterklangen kan ha en ulineær karakter.

I T60 beregningene har det blitt brukt samme beregningspunkter for alle målingene. Konsistent metode under beregningene av T60 gir et bedre sammenligningsgrunnlag og er mer praktisk gjennomførbart for mange utregninger, selv om impulsresponsene har ulik grad av lineæritet i Schröderkurven. For frekvensbåndene med senterfrekvens fra 250Hz til 8kHz, blir T60 representert ved $2 \cdot T30$. I 125Hz båndet representeres T60 som $3 \cdot T20$. Grunnen til at 125Hz båndet regnes ut som $3 \cdot T20$ er at dette båndet viste seg mest sårbar for ulineære Schröderkurver og kunne ved enkelte utregninger vise urimelig høye verdier av T60 regnet ved $2 \cdot T30$.

4.8 Kalibrering av Soundfield systemet

Til å måle Lateral Fraction ble det valgt ut et Soundfield system av 1. orden. Dette systemet består blant av en helt spesiell Soundfield 1. grads Ambisonics mikrofon og en tilhørende dekode. En førstegrads ambisonics mikrofon vil si at det er en mikrofon med fire mikrofonelementer, som er plassert på en slik måte at de i kombinasjon med hverandre har mulighet til å gi ut et separat åttetalls signal for hver dimensjon i rommet (x, y, z). Den tilhørende prosessoren (Soundfield SPS422B) kombinerer signalene fra mikrofonene på en slik måte at man kan motta signalen i henhold til B-format standarden. Den skreddersydde prosessorløsningen kompensere også for avstanden mellom elementene i summasjonen av signalene.

Fordelen med å bruke akkurat dette systemet til å måle Lateral Fraction, er muligheten for å hente ut både omni signal via W kanalen og 8-talls karakteristikk via enten X, Y eller Z kanalen samtidig. Det er to grunner til at dette er en fordel for nettopp målingen av Lateral Fraction. For det første, hvis man for eksempel måler med sinussveip, vil man måle det samme sinussveipet med begge karakteristikkene. Et kontrollert oppsett med utstyr av god kvalitet vil selvfølgelig kunne avgi konsistent respons i gjennom flere målinger, men i praktiske tilfeller i lokaler der det er varierende støy f. eks, vil det være en stor fordel å måle åttetalls og omnikarakteristikk med en måling, for dermed å ikke ha noe avvik mellom opptakene.

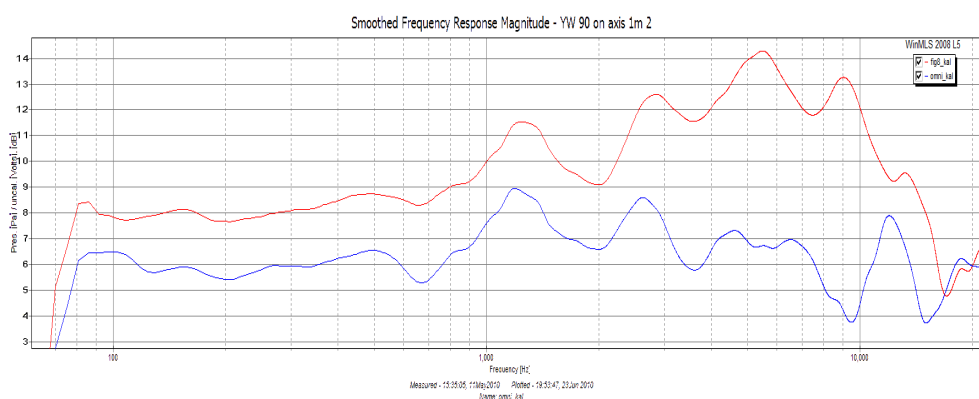
Den andre fordelen er at man måler både omni og åttetalls direktivitets-karakteristikk i samme punkt. I et oppsett der man bruker to forskjellige mikrofoner (en mikrofon for hver direktivitet), vil man selv om man er ekstremt nøyaktig, vanskelig kunne plassere hver av mikrofonene i eksakt samme koordinat for begge målingene.

Men dette systemet har også noen ulemper. En av ulementene er blant annet at systemet primært er laget for studiobruk. Med andre ord vil ikke konsistensen mellom hvert produkt være like stor som ved en profesjonell målemikrofon. Til studiobruk trenger heller ikke utstyret spesiell kalibreringsutstyr. Frekvensresponsen har også litt større rippel i frekvensresponsen enn det man kan vente fra målemikrofoner. Når det gjelder mikrofoner med åttetalls karakteristikk er dette hovedsakelig studiomikrofoner, blant annet på grunn av mindre kommersiell interesse for målinger med åttetalls karakteristikk.

Derfor, siden Soundfield systemet i første rekke er laget for studiobruk, kreves det individuell kalibrering av hvert frekvensbånd for omni og åttetallskarak-

teristikken.

Mikrofonen ble følgelig målt i Ekkofritt Rom med en distanse på 1m mellom høyttaler og mikrofon. Mikrofonens membraner ble plassert i samme posisjon loddrett som punktet midt mellom diskant- og basselementet på høyttaleren. Og resultatet ble som vist i Figur 16.

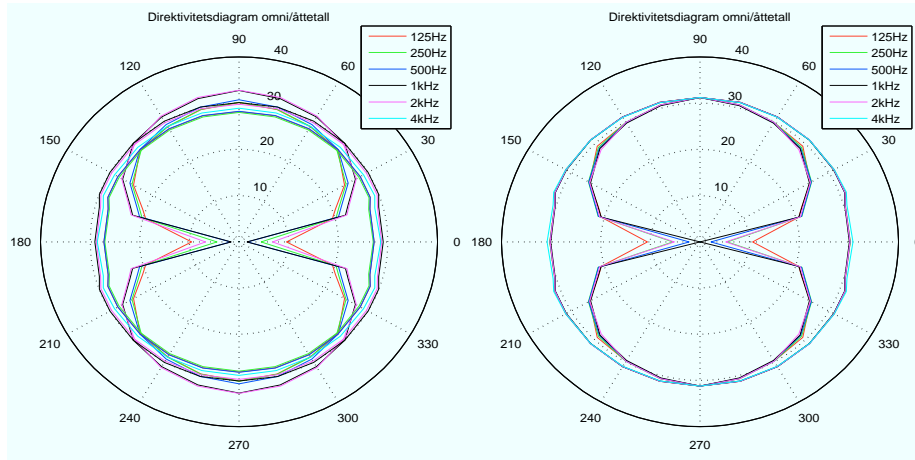


Figur 16: Frekvensresponsen til Soundfield mikrofonen målt i åttetallets maksimumspunkt. Åttetall i rødt, Omni i blått

Av figuren kan vi se at forholdet mellom omni og åttetaltskarakteristikken nesten konstant i frekvensbåndene med senterfrekvens: 125-, 250-, 500-, 1k- og 2kHz. Frekvensbåndet med senterfrekvens 4kHz har noe mer rippel i øvre del av frekvensbåndet, noe som gjør at resultatene fra dette båndet vil kunne ha større usikkerhet enn de øvrige frekvensbåndene. Pga at oktavbåndskali-bringen vil gi for stor kompensering i nedre del av 4kHz båndet og for liten kompensering i den øvre delen av båndet. Når det gjelder frekvensbåndene med senterfrekvens 63Hz og lavere, vil disse være vanskelig å måle med stor nøyaktighet på grunn av begrensninger i lineæriteten i frekvensresponsen fra høyttaleren.

Videre ble mikrofonen målt på 1m avstand fra kilden i ekkofritt rom i vinklene 0° , 15° , 20° , 30° , 45° , 60° , 75° og 90° , fra åttetaltsdirektivitetens minimum til maksimum. Dette for å undersøke direktiviteten til omni og åttetaltskarakteristikken som funksjon av frekvensbåndene. Figuren nede til venstre viser resultatet av målingen. (speilet om x og y aksen)

I figuren til høyre har det blitt addert en kalibreringskonstant til nivåene i alle frekvensbånd. Kalibreringskonstanten får alle båndene til å treffe samme punkt ved 90 graders direktivitet. Som vi ser av figuren viser responsen til



Figur 17: Direktivitetsdiagrammet til den originale omni og åttetalls karakteristikk til venstre og den kalibrerte karakteristikk til høyre.

omni kanalen ganske lik respons for alle innfallende vinkler. Det største avviket blir 0.8dB (mellom 1kHz og 4kHz) i målingen i punktene ved 0° og 180°, for de andre vinklene som ble målt er avviket maksimalt 0.12dB mellom alle båndene etter kalibreringskonstantene er lagt til, noe som må sies å være ganske konsistent respons.

For åttetallet gir det noe større avvik enn omnikarakteristikken etter normaliseringskonstanten ble oppført. Maksimalavviket mellom 15 og 90 graders innfall ligger på 1.10dB ved 45 graders innfall. (mellom 125Hz og 2kHz båndet). Ved åttetallets nullpunkter ved 0 og 180 graders innfall gis den største dempningen i 1kHz båndet, der det dempes med -31.2dB i forhold til maksutslaget. De andre båndene har litt varierende grad av dempning, hvorav båndet med minst dempning er 125Hz båndet med -20.6dB dempning i forhold til maksutslaget.

Åttetallsformen ble sammenlignet med et teoretisk åttetall, normalisert til å ha et maksimum på 31.2dB ved 90 grader og maksimal dempning på -31.2dB ($10 \cdot \log(0.000759)$). (Se figur 18)

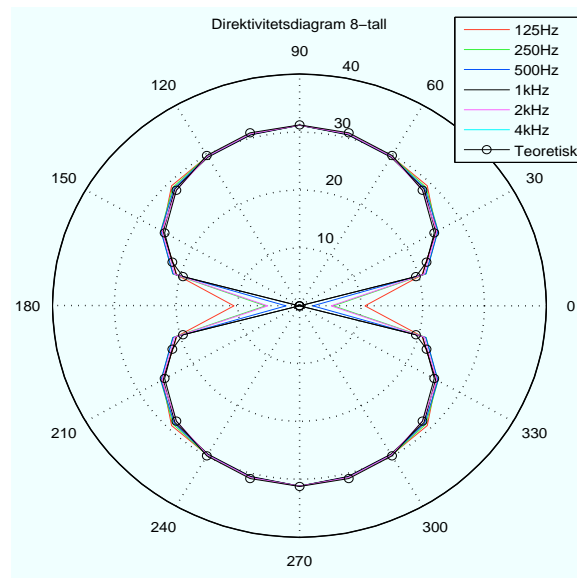
Teoretisk åttetall, logaritmisk

```

1 sine = 0.000759 + abs(sin(th).^2);
2 sine2 = 31.2 + 10*log10(sine);
3 polar(th, sine2, '-ko');

```

Det ser ut til at karakteristikkene har en form som overensstemmer med teorien



Figur 18: Direktivitetsdiagrammet til åttetallet vs. teoretisk utregnet åttetall.

for båndene som skal brukes med brukbar presisjon.

Matlab funksjon for LF ble skrevet for å utføre følgende prosedyre: Akkurat som ved utregning av T60 og C80, ble impulsresponsene oktavfiltrert av “octaveband” koden. Deretter ble de oktavbåndfilterte signalene ganget med kalibreringskonstanter. Disse konstantene ble tilpasset responsen til oktavbåndfiltrene ved en summasjon av oktavbåndsresponsene til både omni og åttetallsdataene til kalibreringssignalet tatt i ekkofritt rom. Deretter ble konstantene satt til omni delt på åttetallsresponsen. Lateral Fraction ble regnet ut etter likning 5. Kalibreringsmålingene ble deretter testet gjennom lateral fraction funksjonen og finjustert for å gi LF lik 1.00 for alle frekvensbånd med ved lik integreringstid fra 0ms til 80ms, (som i oppgaven defineres som LF(0ms)) ved impulsresponsen fra både omni og åttetallsdirektivitet.

Matlab funksjonen er vedlagt i Tillegget kapittel A1.4

5 Resultater

5.1 Frekvensrespons

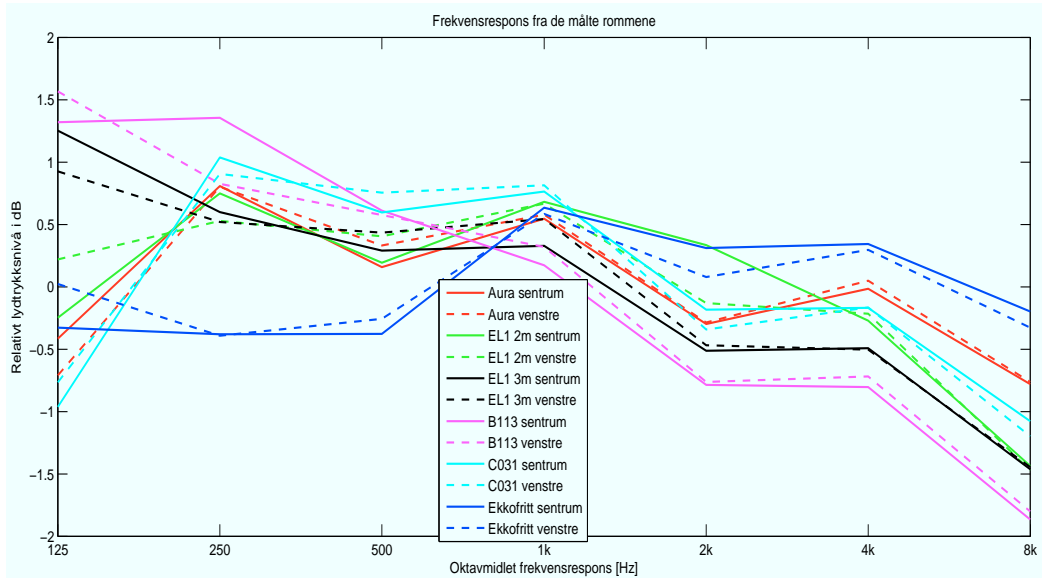
Figur 19 viser frekvensresponsen til hvert rom som er målt. Både opptak fra senterposisjon og posisjonen 60cm til venstre for senter er representert. Figur 19 skiller seg også ut fra resten ved metoden som er brukt. Frekvensresponsen for målingene fra hver av de fem høyttalerposisjonene er beregnet individuelt først og deretter er gjennomsnittet fra de fem frekvensresponsene regnet ut etterpå. Frekvensresponsen er oktavbåndsmidlet og vist som verdier for senterfrekvensene i hvert oktavbånd for å gjøre grafene lettere å sammenligne i grove trekk. For en oversiktlig plotting av grafene har hver kurve fått addert en konstant k slik at gjennomsnittet av hver kurve er 0.

Figur 20 til Figur 26 er regnet ved en annen metode. Ved superposisjonsprinsippet er impulsresponsene addert sammen først. Startposisjonen av av hver kurve ble funnet og synkronisert med de andre impulsresponsene med funksjonen `sync_start` (Se tillegget A1.5). Deretter er oktavbåndsnivåene beregnet etter summeringen. Hensikten med dette er å beregne hvor store avvik fra frekvensresponsen man kan få som følge av summering og dermed interferenseffektene som følger med summering. Dette kan forekomme fra auraliseringen eller rommet det blir spilt av i (Beskrevet i kapittel 4.4). De nevnte figurene viser en sammenligning mellom frekvensresponsen til det originale signalet fra auraliseringen og auraliseringen konvolvert med de målte responsene fra de ulike presentasjonsrommene. Alle de konvolverte signalene er normalisert med en konstant (signalet minus `norm_konst`), slik at kurvene skal ha samme gjennomsnittsverdi som referansen, for at nivået fra kurvene skal representere nivået som gir minst avvik.

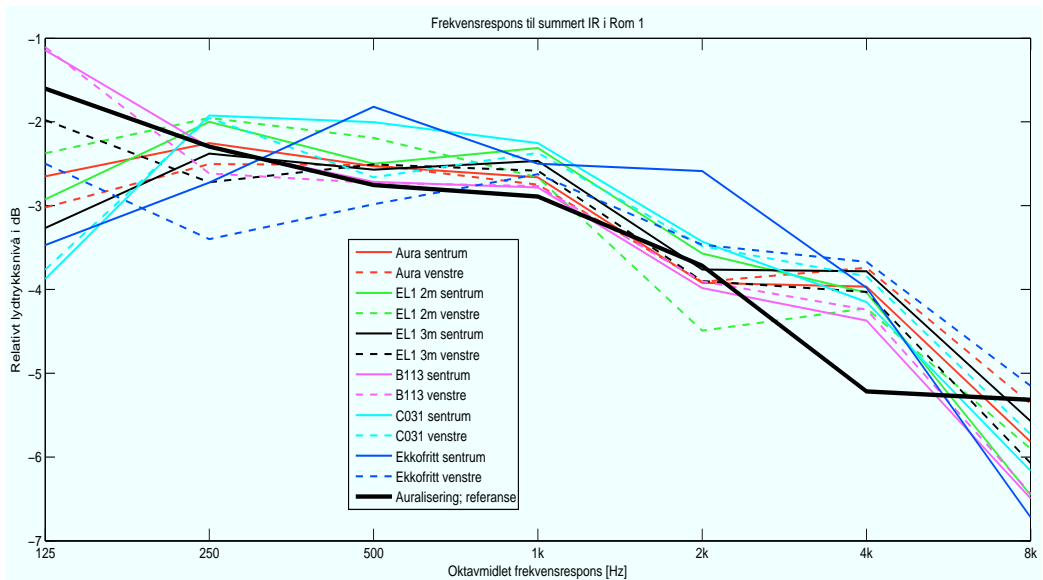
Beregning av normaliseringskonstant; 12 målinger, 7 oktavbånd

```
1 ref = sum(oktavverdier_auralisering)/7;
2
3 for a = 1:12
4     snitt(a) = sum(oktavverdier_konv(a,:))/7;
5     norm_konst(a) = snitt(a) - ref;
6 end
```

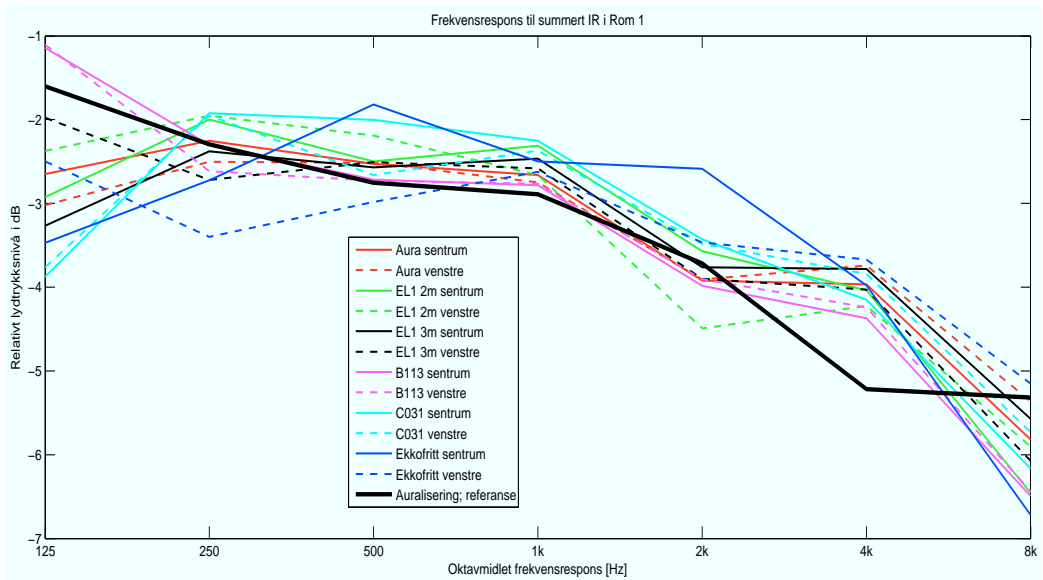
Figurene viser responsene både målt i sentrum og i måleposisjonen 60cm til venstre.



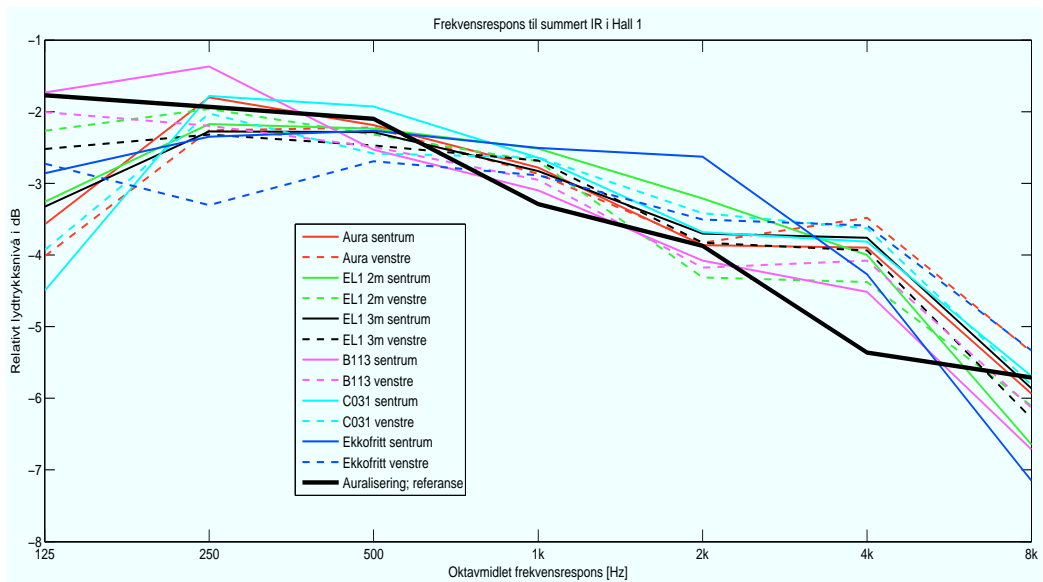
Figur 19: Normalisert frekvensresponsen til rommene uten auralisering.



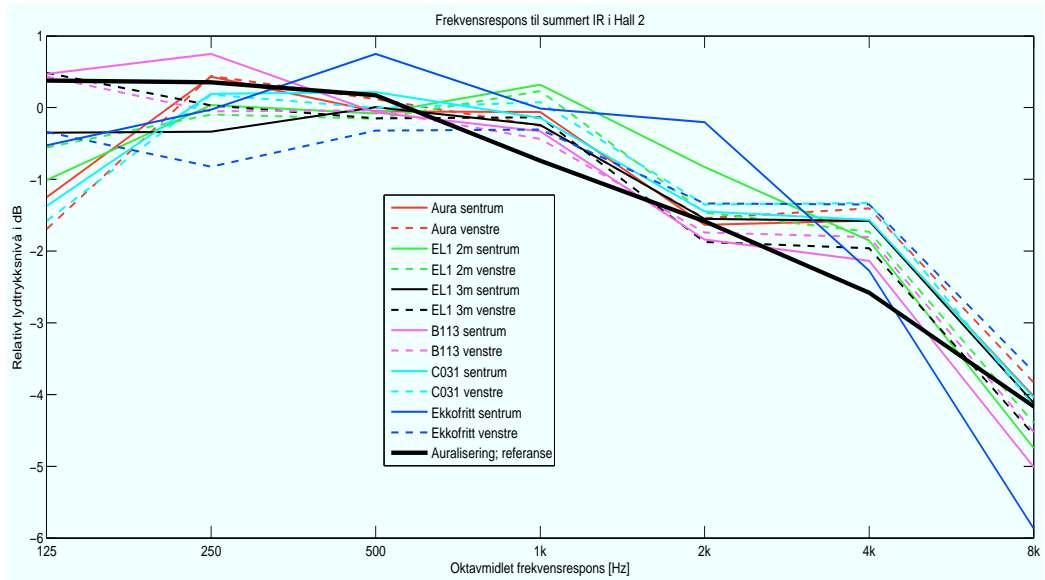
Figur 20: Frekvensrespons “Rom 1” m/u romresponser.



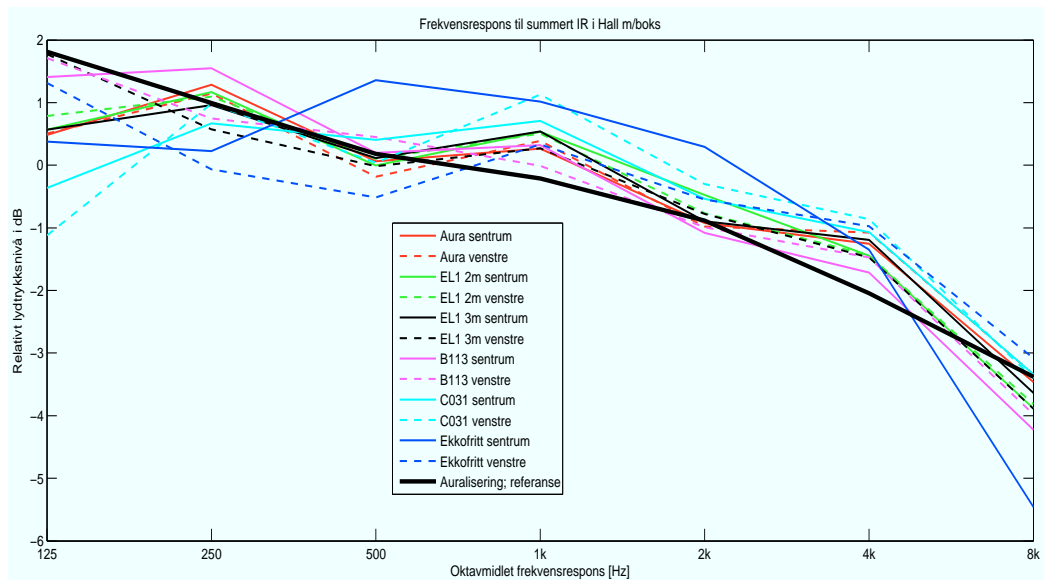
Figur 21: Frekvensrespons "Rom 2" m/u romresponser.



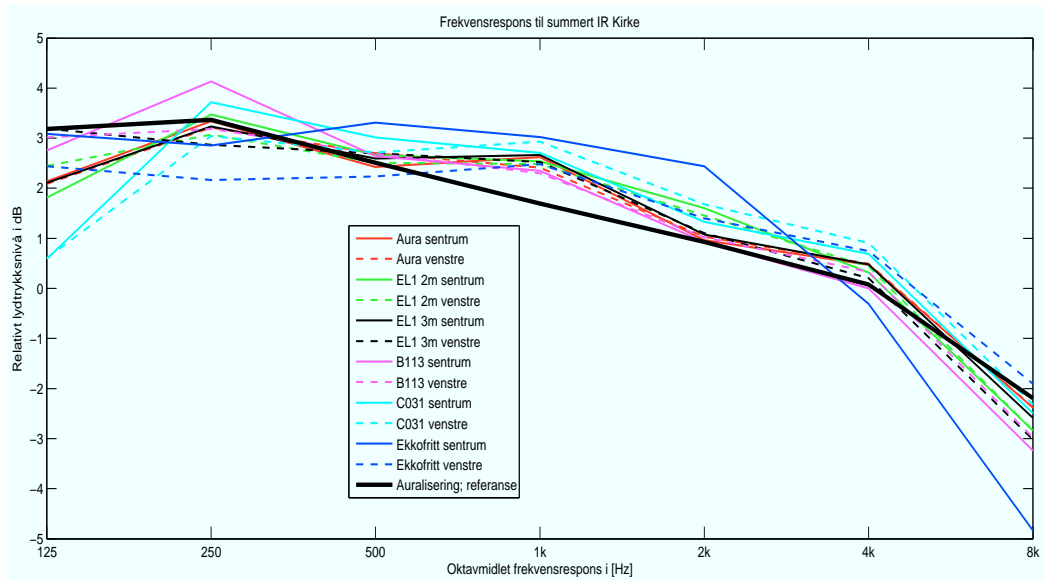
Figur 22: Frekvensrespons "Hall 1" m/u romresponser.



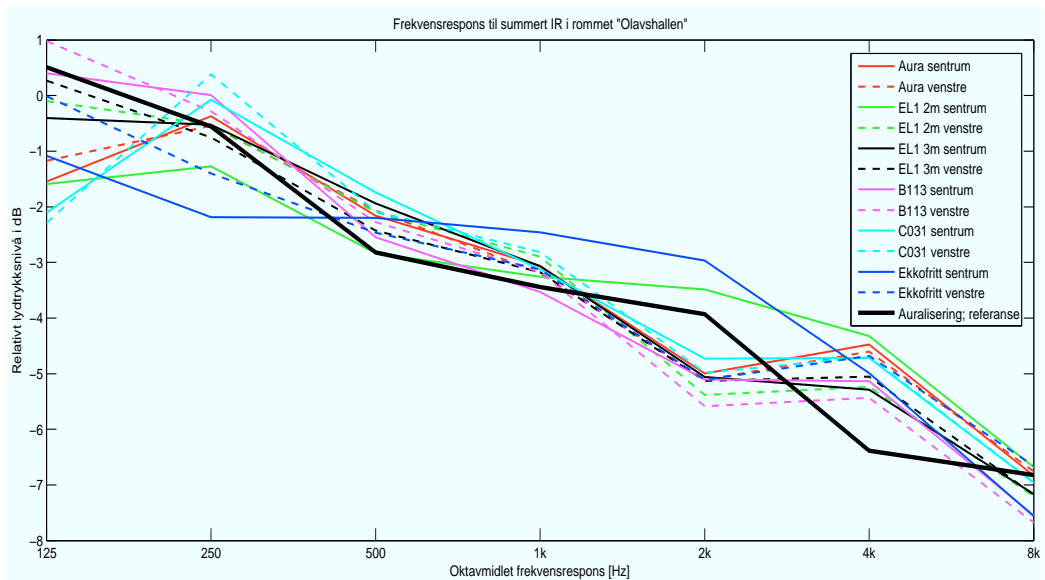
Figur 23: Frekvensrespons “Hall 2” m/u romresponser.



Figur 24: Frekvensrespons “Hall m/sceneboks” m/u romresponser.



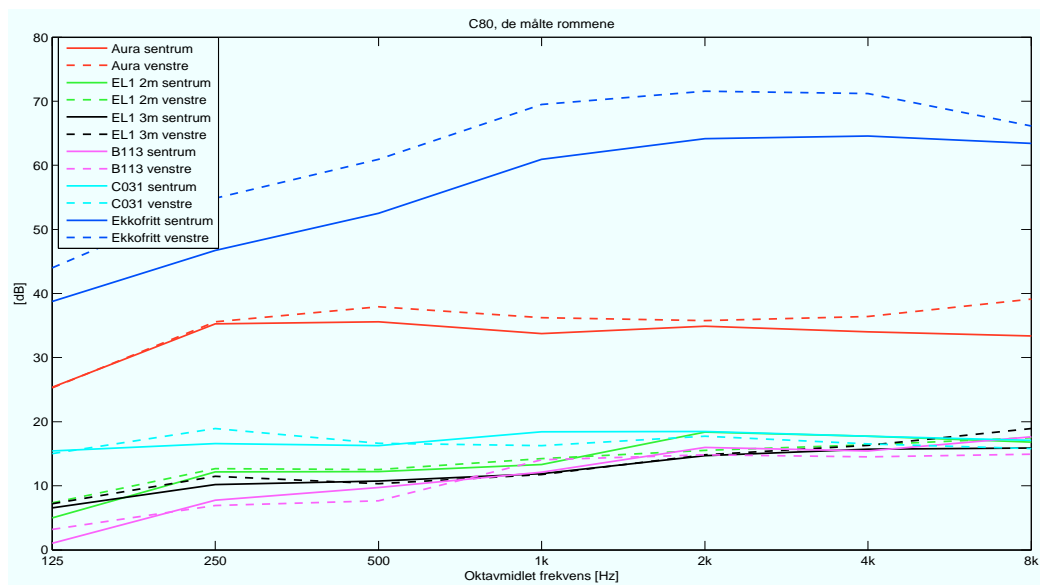
Figur 25: Frekvensrespons “Olavshallen” m/u romresponser.



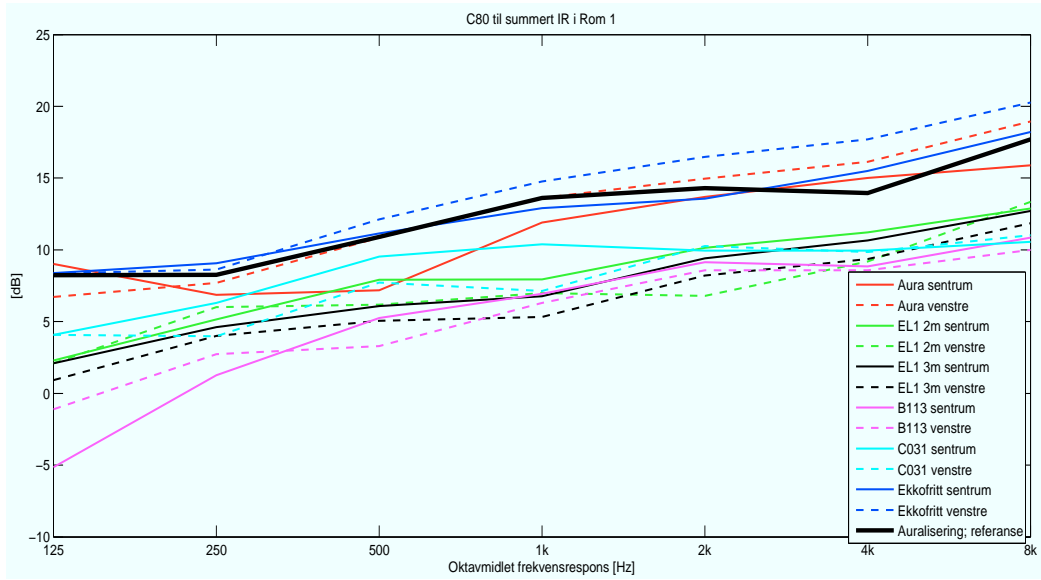
Figur 26: Frekvensrespons “Olavshallen” m/u romresponser.

5.2 C80

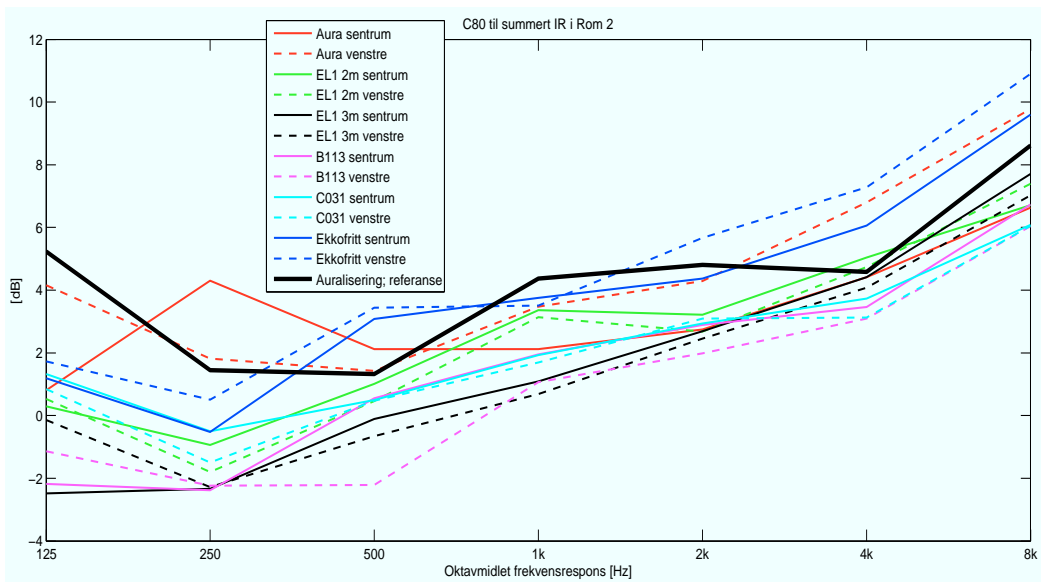
Figurene har det samme oppsettet som for kurvene som viser frekvensrespons. Impulsresponsene fra rommene er konvolvert med auraliseringen og summert før beregningen av C80. Figur 27 viser C80 verdiene rommene har i utgangspunktet. De neste figurene sammenligninger viser rommenes innvirkning på C80 verdien til auraliseringen.



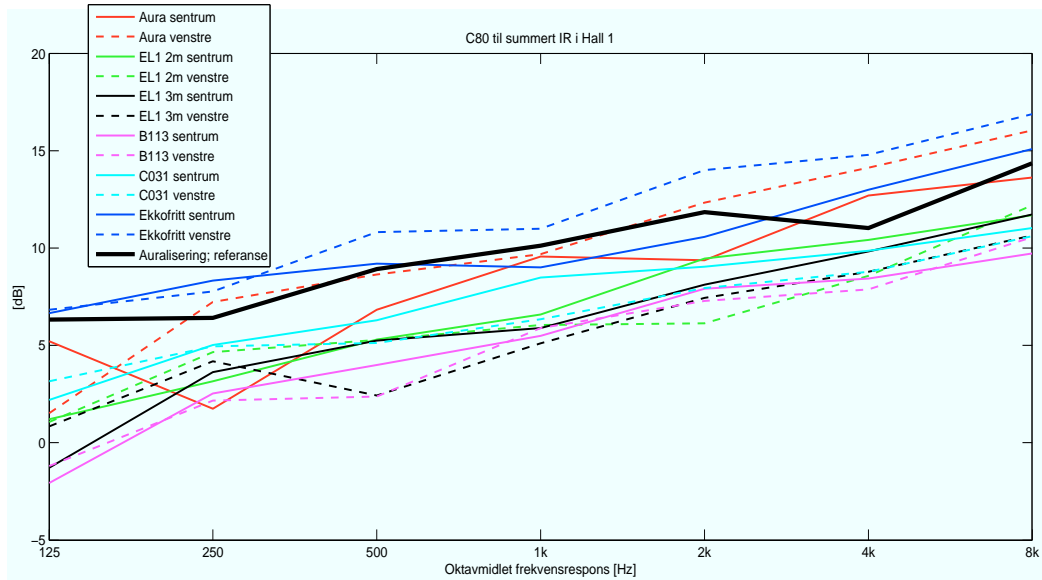
Figur 27: C80 i de målte rommene.



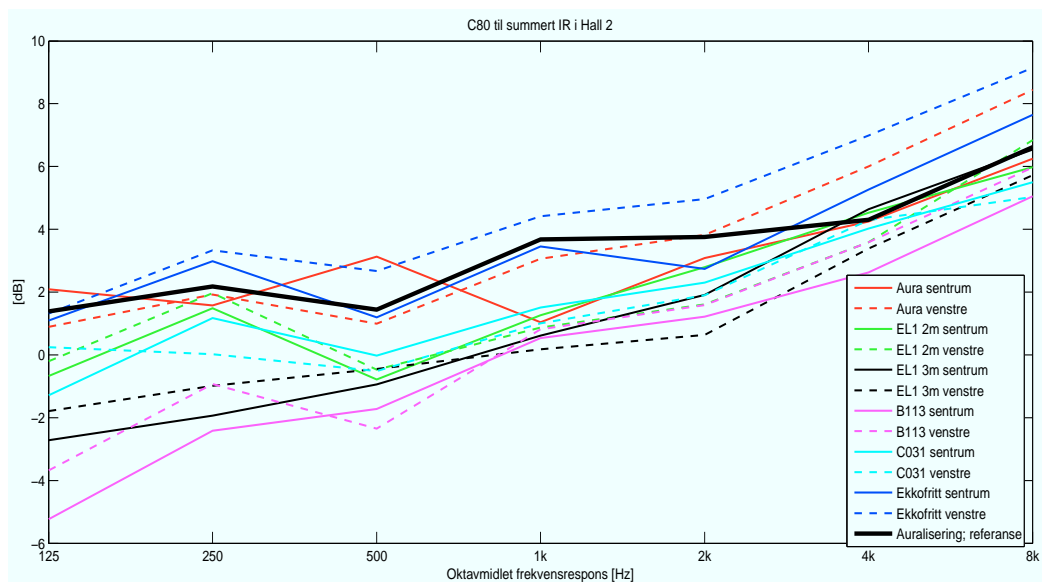
Figur 28: C80 “Rom 1” m/u rompåvirkning.



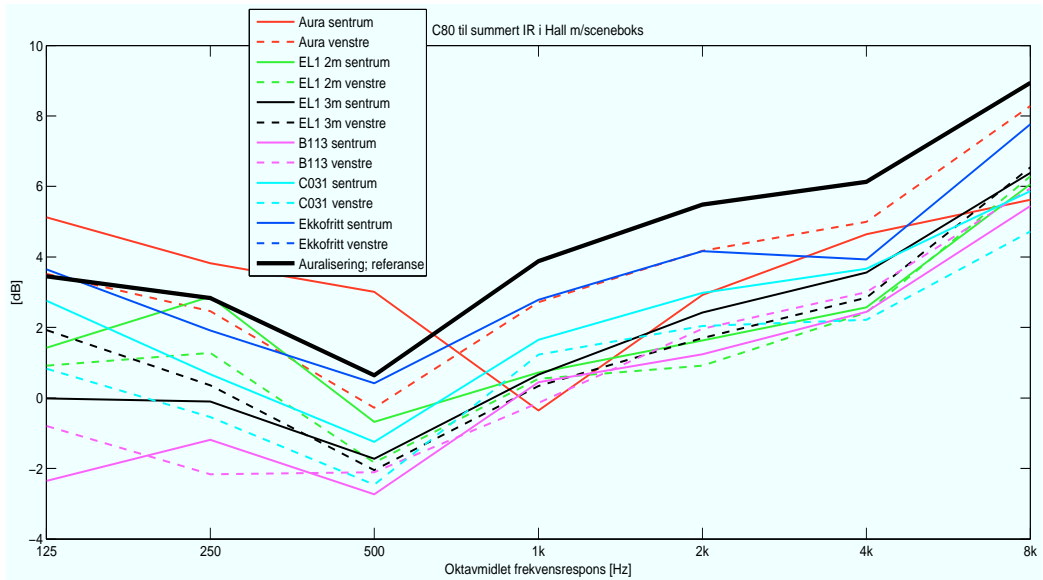
Figur 29: C80 “Rom 2” m/u rompåvirkning.



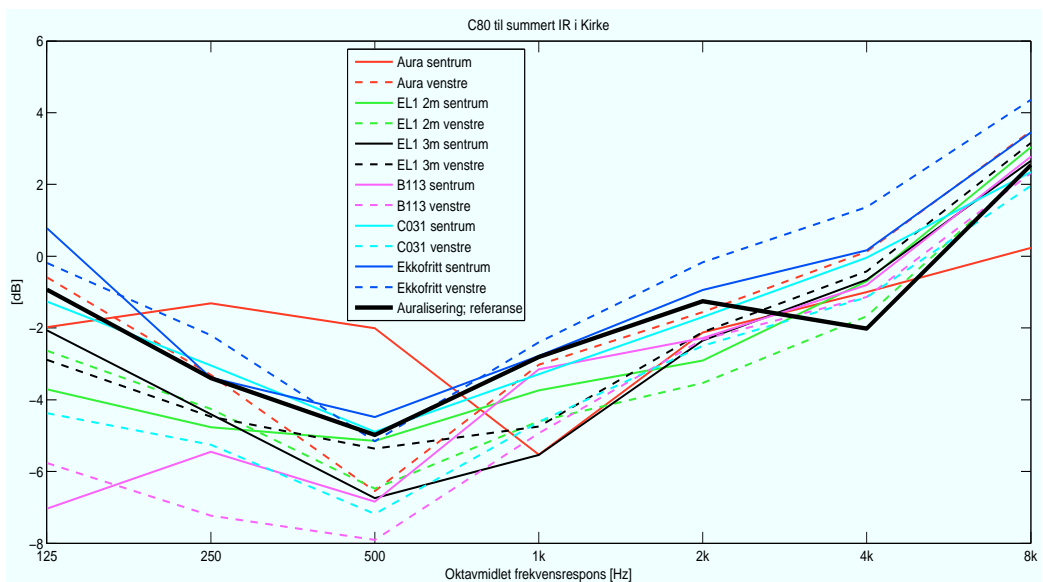
Figur 30: C80 “Hall 1” m/u rompåvirkning.



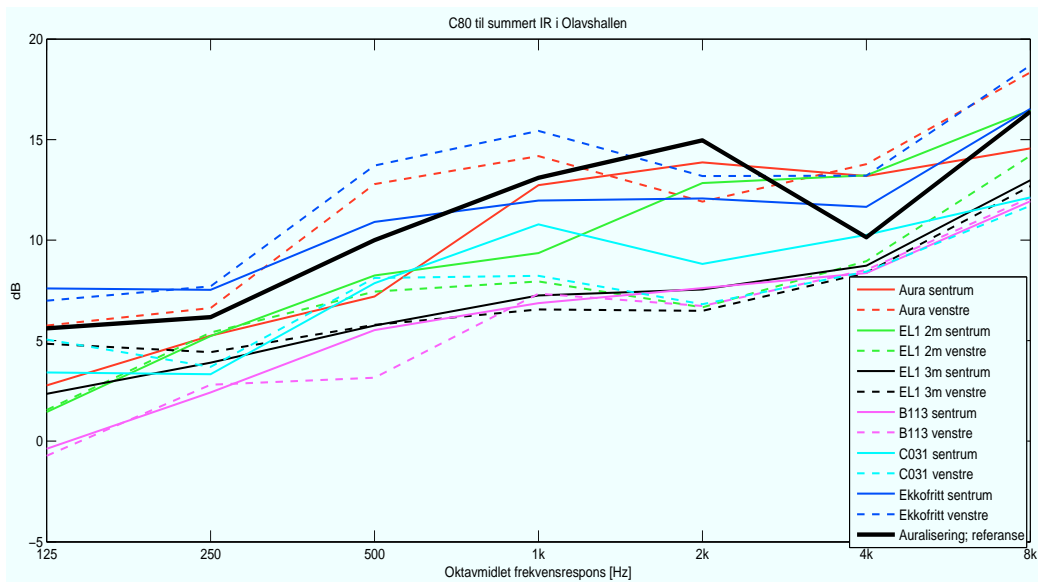
Figur 31: C80 “Hall 2” m/u rompåvirkning.



Figur 32: C80 “Hall m/sceneboks” m/u rompåvirkning.



Figur 33: C80 “Kirke” m/u rompåvirkning.

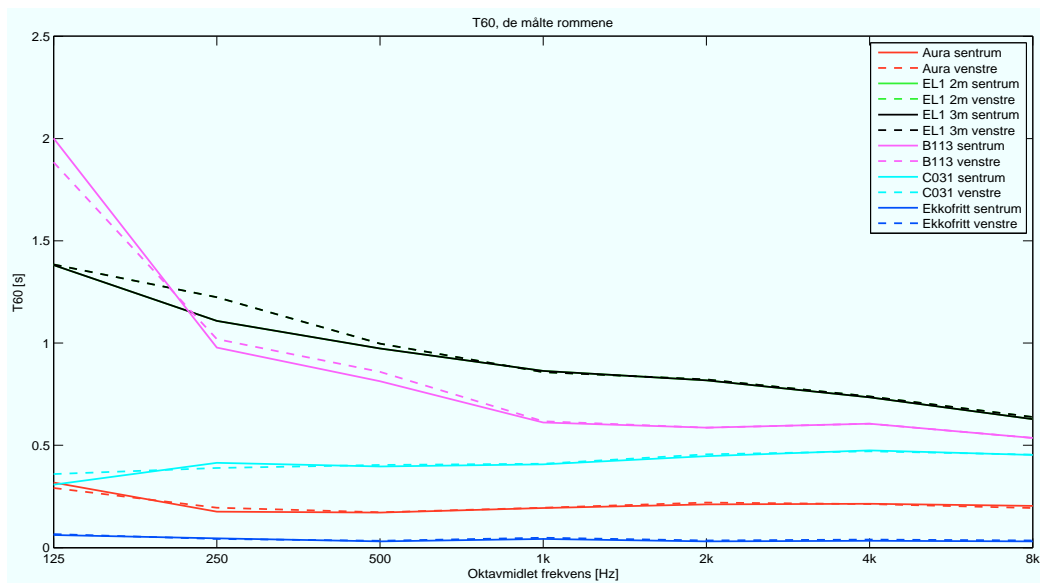


Figur 34: C80 “Olavshallen” m/u rompåvirkning.

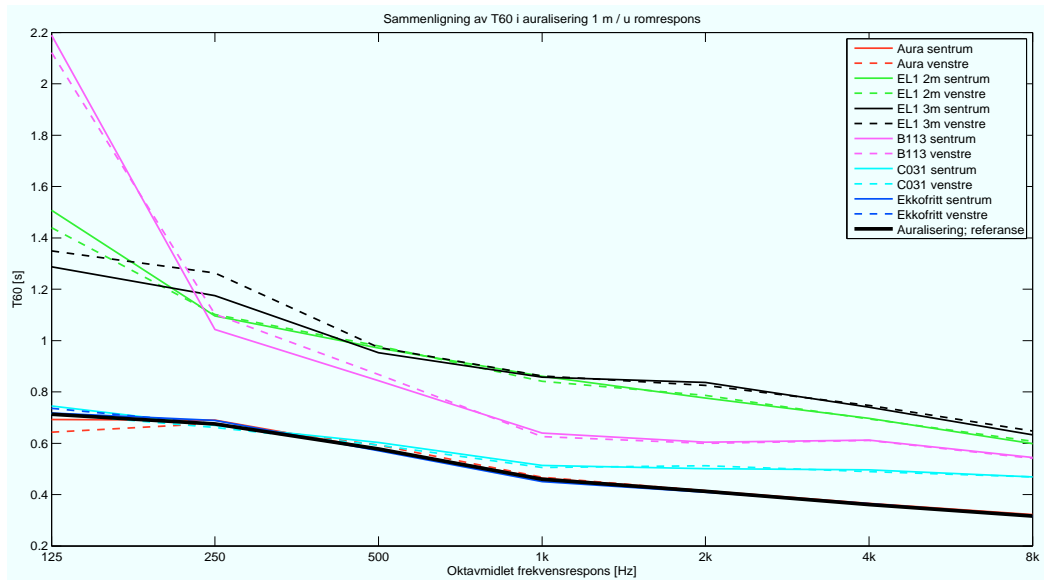
5.3 T60

T60 har blitt utregnet som beskrevet under metodekapittelet. T60 regnes ut for hvert individuelle konvolverte signal uten at kanalene summeres sammen først. Dette gjøres fordi T60 beregningen er følsom for den “støyen” som addering av impulsresponser medfører. Gjennomsnittet av T60 verdien fra høyttalerposisjonene i hvert rom blir regnet i etterkant av T60 beregningen.

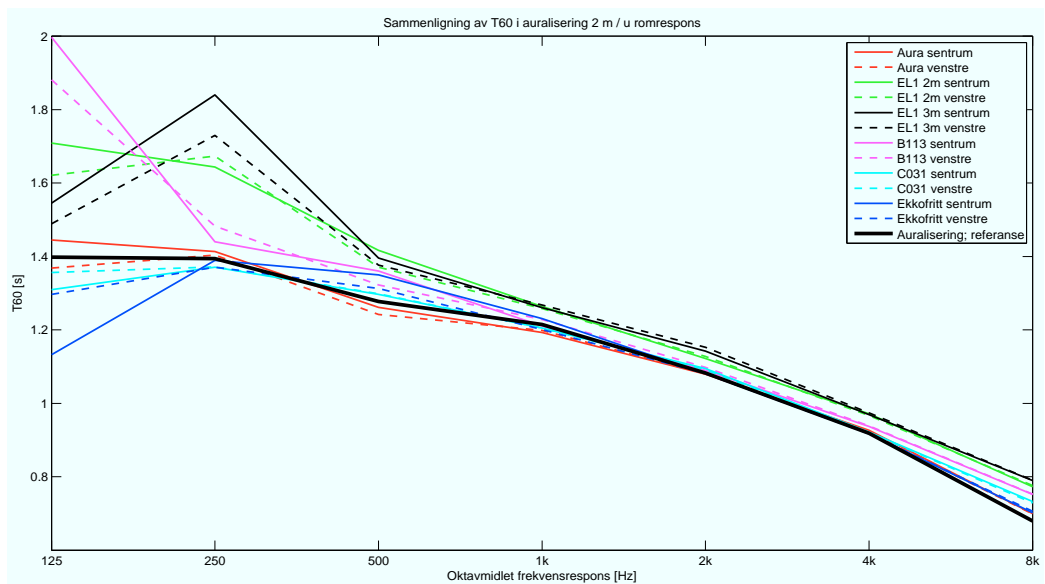
Den første grafen viser T60 verdiene rommene har i utgangspunktet. Videre vises påvirkningen til hvert rom på auraliseringssignalet med tanke på T60.



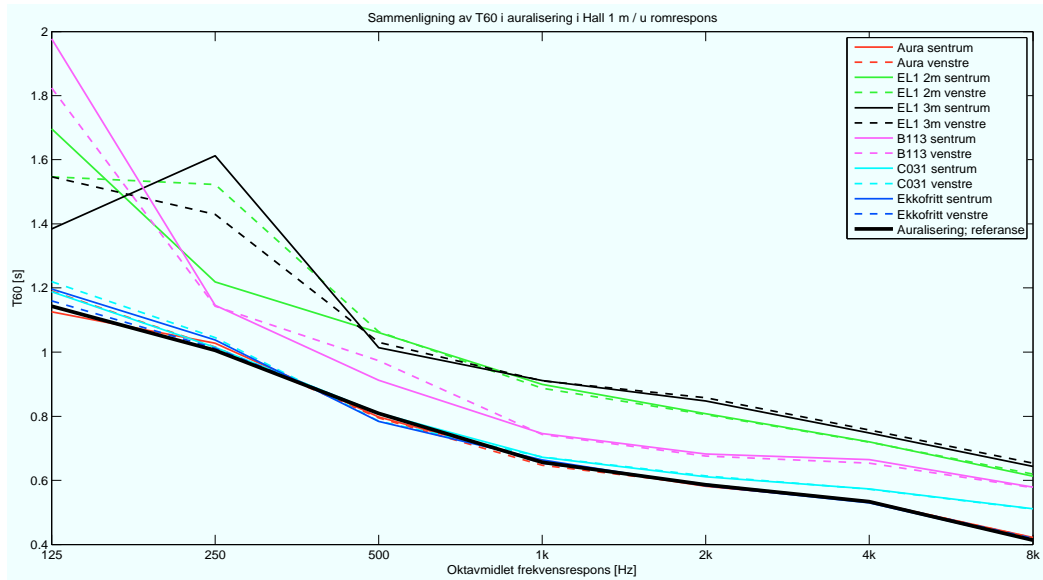
Figur 35: T60 i de målte rommene.



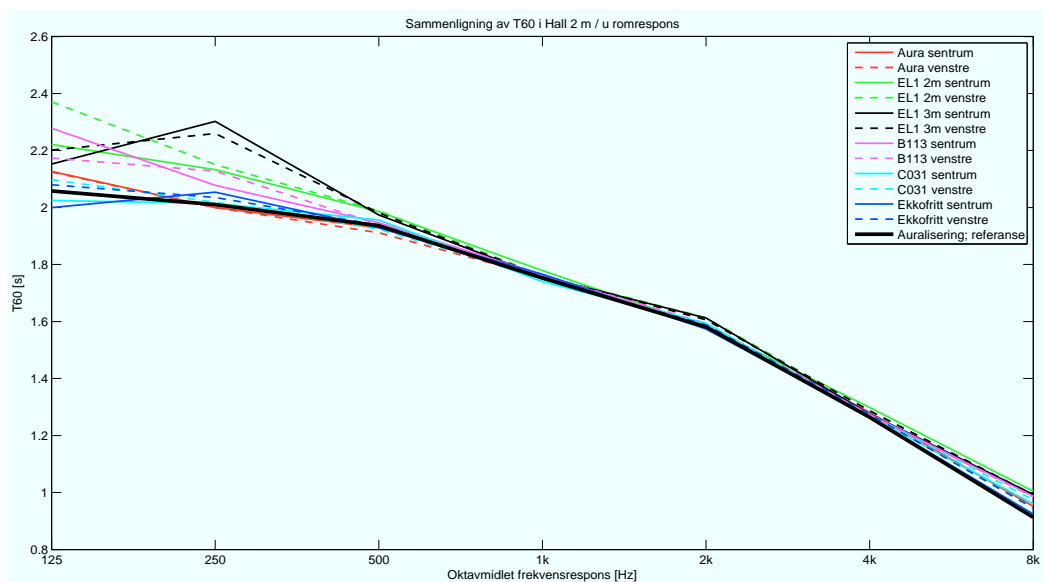
Figur 36: T60 “Rom 1” m/u rompåvirkning.



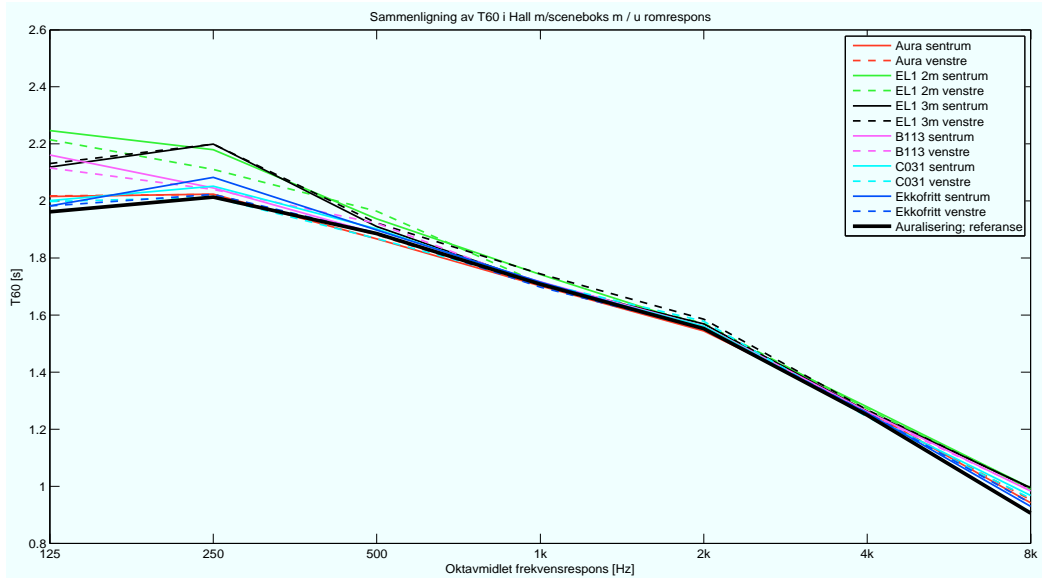
Figur 37: T60 “Rom 2” m/u rompåvirkning.



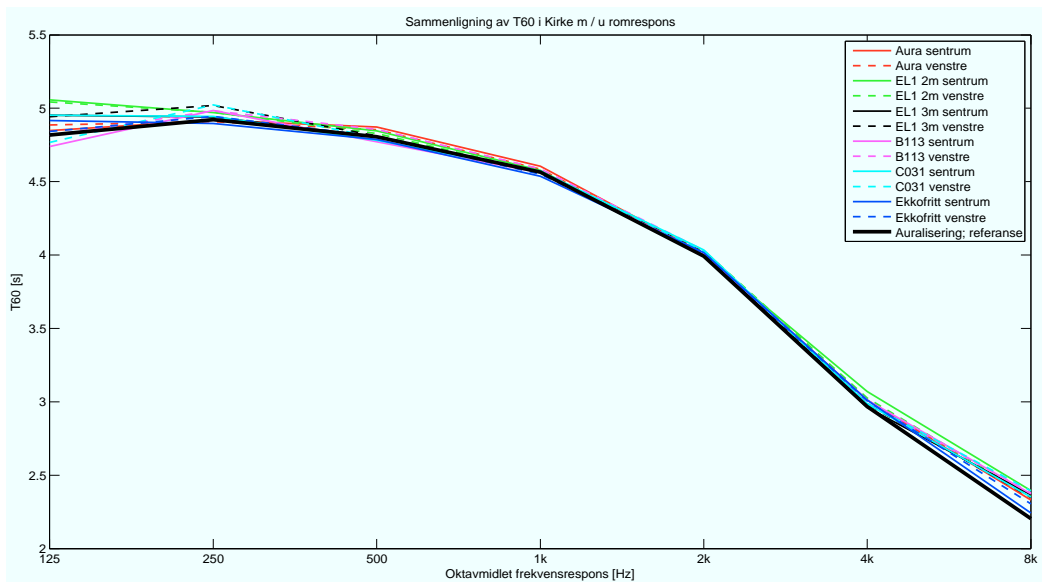
Figur 38: T60 "Hall 1" m/u rompåvirkning.



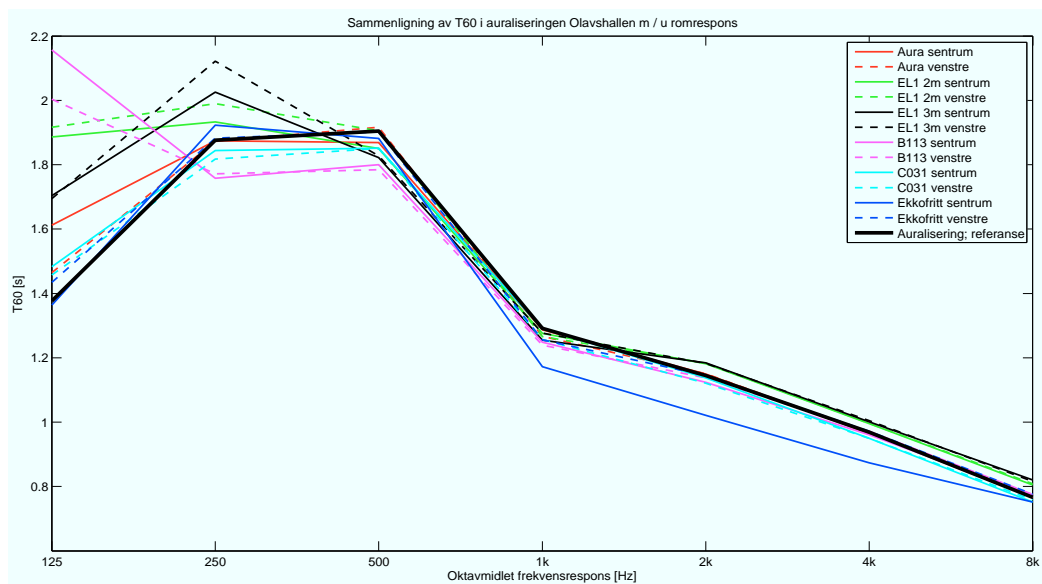
Figur 39: T60 "Hall 2" m/u rompåvirkning.



Figur 40: T60 “Hall m/sceneboks” m/u rompåvirkning.



Figur 41: T60 “Kirke” m/u rompåvirkning.

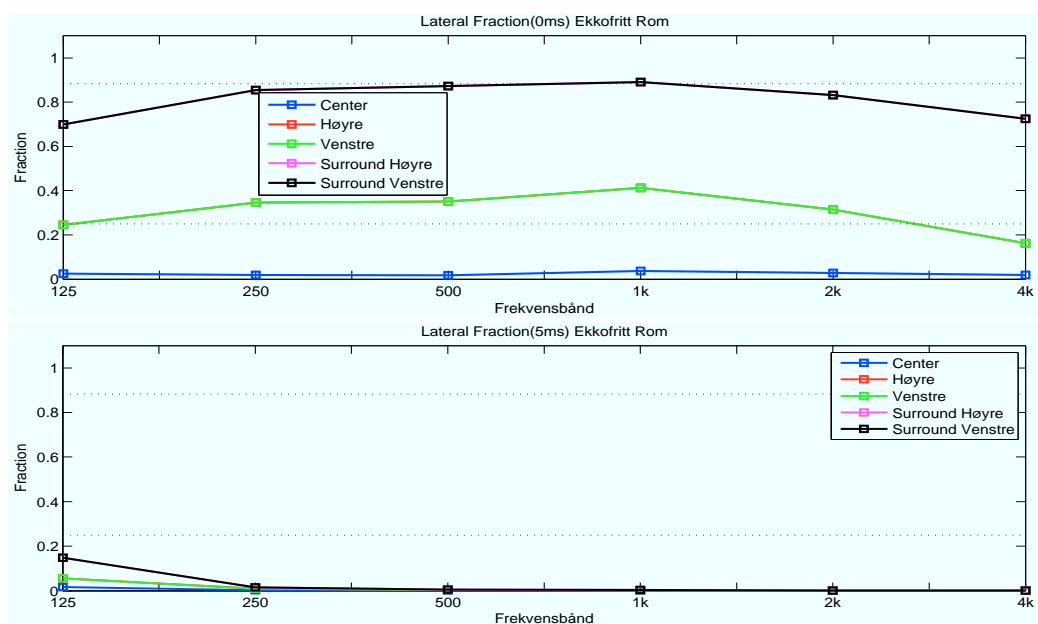


Figur 42: T60 “Olavshallen” m/u rompåvirkning.

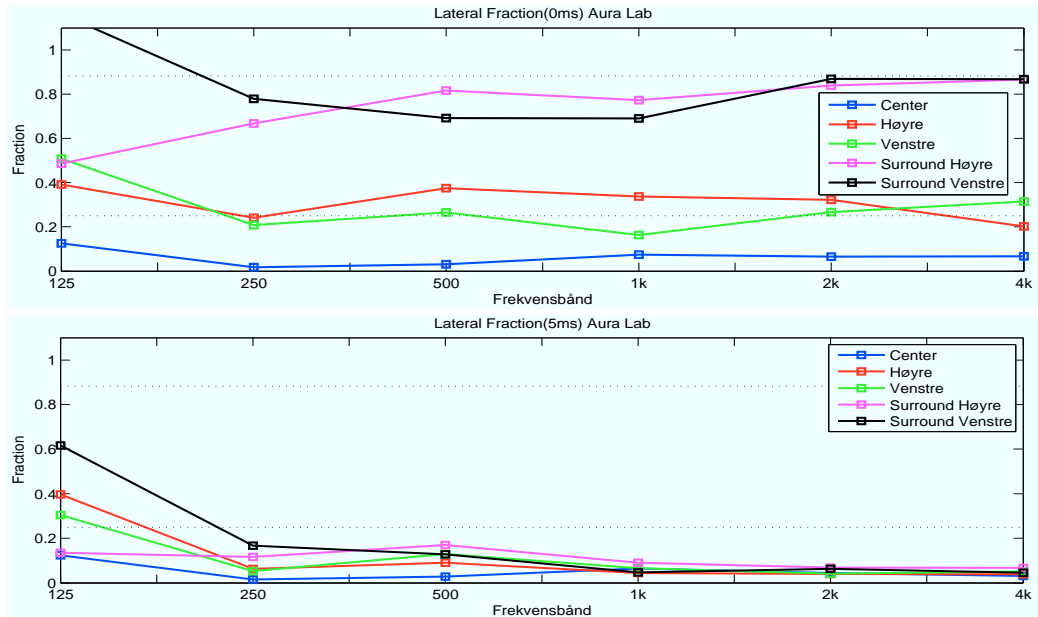
5.4 Lateral Fraction

Figurene som presenterer Lateral Fraction, er regnet ut med fraction delay satt lik 0 millisekunder, heretter beskrevet som LF(0ms), og 5ms; LF(5ms). Det vil si at direktelyden er inkludert i målingen for å spesifisere de forskjellige rommenes direktivitetsegenskaper. Figurene beskriver hvor stor andel av lydsignalet som blir målt i åttetalls delt på omni signalet fra mikrofonen. Verdiene sammenlignes med de ideelle referansesignalene. Referanseverdiene er verdiene man får fra et teoretisk åttetall i vinkelen som er påtrykt; $\cos^2(\theta)$. Dette tilsvarer en perfekt retningsbestemt høyttaler mot en mikrofon med åttetalls karakteristikk i et ekkofritt rom. Lateral Fracion(0-80ms) gir med andre ord tall på hvor godt den opprinnelige retningsinformasjonen bevares i rommet, og hvor mye som modifiseres av de tidlige refleksjonene.

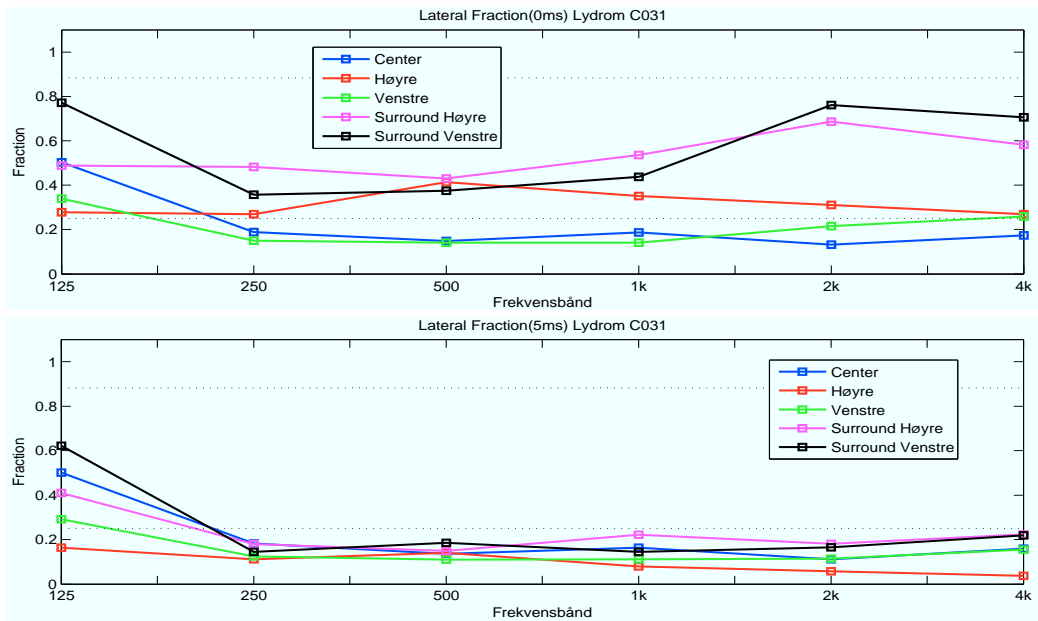
Teoretiske beregninger av LF for surround posisjonen 20° fra lateral akse, gir da $\cos^2(20) = 0,883$ og fronthøyttalerne ved posisjonen 60° fra lateralaksen får verdien $\cos^2(60) = 0,25$.



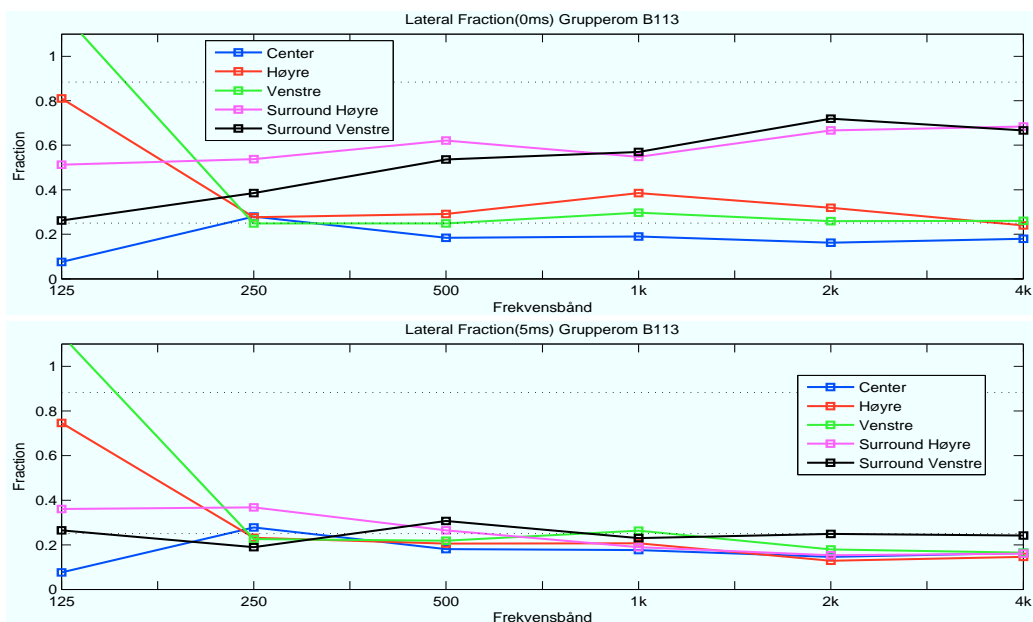
Figur 43: Lateral fraction målt i Ekkofritt rom ved 2m mellom kilde og mikrofon



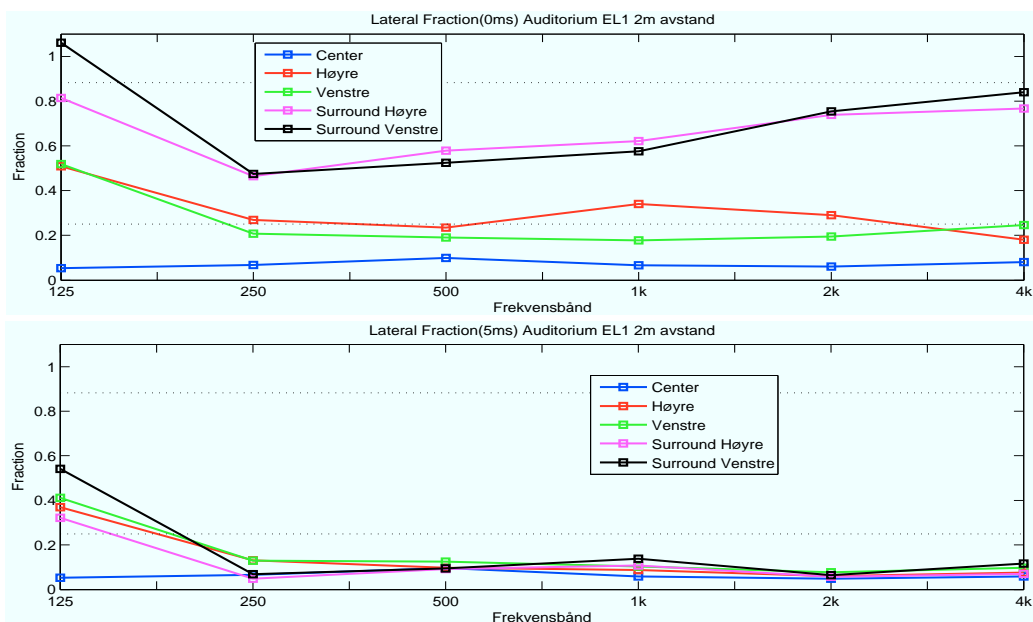
Figur 44: Lateral fraction målt i Aura Lab ved 2m mellom kilde og mikrofon



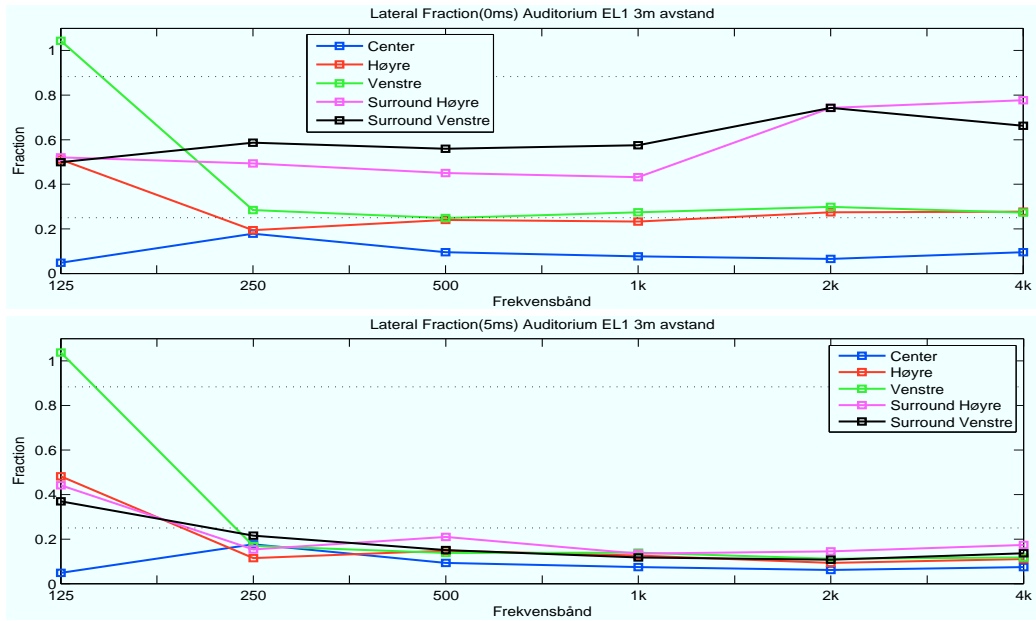
Figur 45: Lateral fraction målt i Rom C031 ved 2m mellom kilde og mikrofon



Figur 46: Lateral fraction målt i Grupperom B113 ved 2m mellom kilde og mikrofon



Figur 47: Lateral fraction målt i EL 1 ved 2m mellom kilde og mikrofon



Figur 48: Lateral fraction målt i EL 1 ved 3m mellom kilde og mikrofon

Teoretisk LF(0ms) i lytteposisjonene: senter og 60cm til venstre(2m)

Høytaler	Venstre	Center	Høyre	Venstre Surround	Høyre Surround
Senter posisjon	0,250	0,000	0,250	0,883	0,883
Venstre posisjon	0,053	0,083	0,461	0,778	0,929

6 Diskusjon

6.1 Frekvensrespons

6.1.1 Frekvensrespons uten auralisering

Resultatet uten Auralisering, vist i figur 19 er gjennomsnittsfrekvensresponsen av alle høyttalerposisjonene i hvert rom.

Som vi ser av figur 19, er det oktavbåndsnivåene til målingen fra Ekkofritt Rom, som har frekvensresponsen med lavest avvik fra 0dB. Oktavbåndsmidlingen gjør at ekkofritt kurven holder seg innenfor +/- 0.7dB fra 0 linjen. Det ekkofrie rommet gir, som navnet tilsier, svært lite rompåvirkning. Det som finnes av avvik fra 0db linjen må derfor skyldes målekjeden. Grafen viser også at frekvensresponsen fra de andre rommene er med på å gi en "varmere" frekvensgang, i forhold til frekvensgangen i målingen fra ekkofritt. Med "varmere" frekvensgang (fra uttrykket "warmth") menes en økning ved lave frekvenser i forhold til høye frekvenser. For de fleste rommene, med bidrag fra tak, gulv og vegger, viser av grafen en økning av lydtrykksnivået i oktavbåndsnivåene 500Hz, 250Hz og 125Hz. En mulig forklaring på dette kan ligge i teorien om rommoder. Rommoder vil si mønster av resonante frekvenser som øker lydnivået i enkelte små topper i frekvensplanet. Modevirkningene kan sies å være fraværende i ekkofritt rom, og lyden fra ekkofritt rom vil derfor være relativt svakere ved lave frekvenser i forhold til lyden reelle rom. Akkurat som det finnes moder, finnes det antimoder som senker enkelte frekvenser. Noe som kan være forklaringen på det senkede frekvensnivået som vises i kurven til rom C031 ved 125Hz.

Ved høyere frekvenser som f. eks 8kHz båndet, viser kurvene generelt en reduksjon i lydnivået fra 0.5dB til opptil 2dB. En mulig forklaringer kan være at de reflekterende flatene i rommet har høyere absorpsjon ved høye frekvenser. Lyd som reflekteres via absorberende flater vil dermed miste høyfrekvent energi. (Auditorium EL1 og Aura labben har blandt annet stoler med noe absorpsjon under lytteposisjonen).

Målemikrofonen som ble brukt som omni mikrofon er en frittfeltmikrofon, som er kalibrert til å gi riktig frekvensrespons for direktelyd. (Dog 0.5dB blir også trukket fra i Ekkofritt Rom). En mulig feilkilde er derfor at lyden fra diffuse refleksjoner kan få svakere høyfrekvent respons gjennom mikrofonen.

For disse rommene, kan man derfor regne at frekvensresponsen grovt sett ligger innenfor et midlet nivå som avviker 1-2dB fra auraliseringen i oktavbåndene 125Hz-4kHz, ved avspilling av auralisering på et 5.1 anlegg, som beskrevet i denne oppgaven. De målte rommene representerer både spesialtilpassede lydrom og enkelte rom som er primært tilpasset andre formål. Og vil følgelig kunne være representative for tilsvarende rom andre steder.

6.1.2 Frekvensrespons med auralisering

(Vises i Figur 20 til Figur 26)

Beregningene der kanalene er summert før beregningen av frekvensrespons mellom kanalene er eksempler på et praktisk auraliseringsoppsett. Signalet starter som en mono omnidireksjonell kilde i CATT-Acoustics og blir plukket opp via simulerte mikrofonplasseringer. Videre blir det simulert at signalene fra mikrofonene blir avspilt fra hver sin høyttalerplassering i virkelige rom med romresponser. Dette gir fritt spillerom for eventuell interferens der lyden summeres i mottakerpunktet.

Målingen fra sentrumsposisjon i ekkofritt skiller seg fra de andre målingene, som nevnt ved at målingene som er målt for alle høyttalerposisjonene; venstre, center, høyre osv.. er målt i samme måleposisjon og konvolvert med hver sin auraliseringskanal. Dette muligens ha gitt bieffeter ved at frekvensresponsen av "Ekkofritt center" avviker fra de andre ved høye frekvenser (f. eks 8kHz). (Retningene i det ekkofrie rommet er derimot likegyldig med tanke på romklang). Kurven følger et annet mønster enn de andre kurvene, som blant annet større senkning av høye frekvenser. Noe ved 4kHz og en ganske tydelig reduksjon ved 8kHz. Dette viser seg vanskelig å forklare med sikkerhet. Men en mulig løsning på reduksjonen i høyfrekvent energi i forhold til referansesignalet, kan ligge måten impulsene er synkronisert før addisjon (se tillegg kap A.1.5). Synkroniseringen dog er helt nødvendig, for å kompensere for at opptakslatency i WinMLS, som varierer noe.

Ser man bort fra den nevnte kurven, viser figurene at spredningen på frekvensnivåene i den presenterte auraliseringen aldri blir større enn 2dB i båndene fra 250Hz og oppover. Virket betyr at auraliseringene maksimalt blir spilt av med 2dB avvik i frekvens i disse båndene. I 125Hz båndet er det derimot noe større variasjoner, grupperom B113 som har skoeform og harde vegger ga høyere nivå i 125Hz båndet enn referansen. Monitoren med sine beskjedne dimensjoner ga derimot en noe redusert respons i flere av de andre

rommene, f. eks rom C031.

Korrekt gjengivelse av auralisering i rom er derfor vanskeligst å få korrekt ved lave frekvenser, blandt annet på grunn av modevariasjonene som finnes i rom.

6.2 C80

Figur 28 til Figur 34 viser rommenes evne til å bevare auraliseringens C80 verdi i de forskjellige rommene. Alle de auraliserte rommene har til felles at de har økende verdi av C80 som funksjon av frekvens. Fordi C80 er korrelert med T60 er dette en naturlig. Rommene med lavest etterklangstid Ekkofritt Rom og Aura Labben er derfor rom som har høy verdi av C80. Figurene viser at de to nevnte rommene også kan øke andelen av tidlig energi. Den tidlige delen av den auraliserte impulsresponsen blir da reflektert i rommet på en slik måte at lydenergien i de første 80ms får en større andel av energien i impulsresponsen enn tidligere.

Selv om det ekkofrie rommet i teorien bør la C80 verdien forbli uforandret, blir det ofte ikke slik med et praktisk system. Refleksjoner fra høyttaleren eller tregheit i membranene(eller andre ulineære effekter) kan endre energi-forholdet(C80) i pulsen.

Figurene viser stort sett høyere C80 verdier enn sentrumsposjonen for målingene målt 60cm til venstre for senterposisjonen i Aura ved frekvenser over 1kHz. Dette kan skyldes at den venstre plasseringen er nærmere en vegg, eller mindre absorpsjon fra stolene rundt.

Figurene viser også at lokalene der etterklangstiden er lengre mister flere dB i C80 i forhold til referansesignalet. Rom som ikke er godt dempet gir derfor en vesentlig mindre opplevelse av "Clarity"(klarhet/tydelighet for musikk). F. eks ved demonstrasjon av rask og detaljert musikk i lokalet.

Figurene viser også forskjeller i C80 verdiene til målingene som er gjort med 2m avstand og 3m avstand i Auditorium EL1. Målingene som er tatt på 3m avstand viser stort sett lavere verdier av C80 enn målingene som er tatt på 2m avstand. Grupperommet B113 er nesten bestandig rommet med de laveste C80 verdiene. Dette rommet, med sin rektangulære form og med de harde betongveggene, ser ut til å gjøre lydtransientene svært utydelige. Spesielt ved lave frekvenser.

6.3 T60

Figur 35 viser T60 verdiene til de målte rommene. T60 verdiene til EL1 tatt på 2m og 3m avstand er helt identiske og blir kun synlig som kurven fra 3m. Vi ser av grafen at det er en generell forskjell mellom rommene som er designet som lydrom og rom som er designet til generell bruk. Lydrommene har generelt en ganske lav etterklangstid som er jevn i frekvensområdet fra 125Hz til 8kHz. De andre to rommene, grupperom B113 og auditorium EL1 har en økning i etterklangstiden for lavere frekvenser. Dette gjelder særlig grupperommet, som har spesielt lang etterklangstid i 125Hz båndet.

Figur 36 til 42 viser T60 verdien til den opprinnelige auraliseringen og auraliseringen konvolvert med impulsresponsene fra rommene. Det viser seg av grafene at det stort sett er følgende sammenheng; Den impulsresponsen, være seg auraliseringen eller romresponsen, som har lengst etterklangstid vil dominere den totale etterklangstiden til produktet av de to. Sagt på en annen måte vil det si at hvis man generer en auralisering med kort etterklangstid i forhold til rommet den presenteres i, vil etterklangstiden i følge resultatene, ved lytteren være omtrent som etterklangstiden i rommet. Omvendt hvis det genereres en auralisering med en etterklangstid som er markant høyere enn den i rommet, vil den totale etterklangstiden ved lytteren være omtrent som etterklangen i auraliseringen.

Vi ser også at konvolusjonen mellom to impulsresponsen, i de fleste tilfeller er med på å øke etterklangstiden i produktet litt. F. eks fra Figur 39 til Figur 42, kan man se at kurvene legger seg hårfint over referansen i de fleste tilfeller, selv om T60 verdien til auraliseringen er høy. Reduksjon i T60 som følge av konvolusjon er dog ikke å forvente. Noen grafer viser at det konvolverte signalet legger seg hårfint under referansen og i Figur 42 ligger noen kurver noe under referansen. Disse kurvene kan snarere være med på å avdekke svakheter i måten T60 beregnes på enn å vise til at auralisering kan tape etterklangstid i rom. (WinMLS og Matlab beregninger gir samme resultat. En teori bak fenomenet går ut på at responsen fra rommene (begrenset ved målekjeden) vil degradere impulsresponsen som auralisert (og omvendt) ved konvolusjon og smøre ut pulstoppen. Dette signalet vil dermed kunne modifisere pulsen fra auraliseringen når de konvolveres på en slik måte at det gir større usikkerhet ved T60 beregning. T60 beregningen, slik den er definert, er en beregning som ikke alltid helt robust mot impulsresponsen av degradert (konvolvert) karakter.

6.4 Lateral Fraction

Figur 43, som presenterer beregningen av Lateral Fraction i Ekkofritt Rom, kan fungere som en test av nøyaktigheten av systemet. Venstre og høyre, venstre surround og høyre surround er beregnet fra like målinger. Fractional delayet på 5ms, som etter hensikten er laget for å ekskludere direktelyden for beregning av Lateral Fraction i rom, er tilstrekkelig langt nok til å fjerne direktelyden i nesten samtlige bånd, bortsett fra 125Hz båndet, der responsen ikke har rukket å bli helt attenuert. Derfor må man anta denne inkluderingen i LF(5ms) vil gjelde de andre målingene også blir tilfellet i de andre målingene av LF(5ms) også.

I neste figur som gir LF i Aura Labben, kan man lese av grafen at LF(0ms) verdien i surround høyttalerne er noe redusert i forhold til ekkofritt i frekvensbåndene fra 1kHz til 250Hz. Ellers, med de usikkerhetene i målingene som ble påvist i ekkofritt, ser det ut til at LF verdiene er bevart ved 2kHz båndet og oppover. Ved 125Hz vises det en merkelig effekt, LF(0ms) verdien går over kalibrert nivå for venstre surround kanal. En mulig forklaring på det kan være kan være effekter ved dipolvirkningen (åttetallskarakteristikken). Summeringen av mikrofonelementene kan gi konstruktiv interferens mellom noen elementer. Samtidig som det ikke oppstår mellom andre. Dvs at omni karakteristikken som består av en summasjon mellom alle elementene kan gi en annen interferensvirning en åttetallet som kun summerer to. Effekten av retningsbestemte rommoder gir derfor størst usikkerhet ved lave frekvenser. På samme måte kan LF verdien bli for lav ved lave frekvenser hvis åttetallsselementene gir destruktiv interferens, når alle de fire omnielementene ikke gir det.

Av grafen kan vi også lese at centerkanalen diffuseres noe og får høyere LF verdi på grunn av refleksjoner i rommet.

Lydrom C031 gir en betydelig reduksjon i LF(0ms) fra surround høyttalerene. Samtidig som centerhøyttaleren har økt LF(0ms) verdi. LF verdiene i centerhøyttaleren er identisk for både 0ms og 5ms, noe som tilsier at LF verdiene fra senterhøyttaleren kommer nesten utelukkende fra refleksjoner. C031 har den mest ukonvensjonelle formen av rommene, ved at det ikke er helt rektangulært. Målingen her er også unik med tanke på høyttaleroppsettet som er satt opp med lytteposisjonen pekende mot bredderetningen av rommet. Lytteren har da større avstand til sideveggene enn for- og bakvegg. Rommet har litt større absorpsjon på veggene på høyresiden av lytteren, noe man kan se av LF(5ms) responsen til høyre kanal. Den er noe redusert for høye

frekvenser.

Grupperom B113 har harde betongvegger på hver side av lytteposisjonen gir sterke siderefleksjoner. Refleksjonene gir derfor et høyt LF(5ms) nivå. Selv om rommet gir sterke laterale refleksjoner, fører rommets reflektive flater til å redusere LF(0ms) verdiene fra surroundhøytalerne. I tillegg til noe mode/fase effekter, som gir usikkerhet i verdiene fra venstre og høyre høytalerposisjon ved 125Hz båndet.

Når det gjelder Auditorium EL1, ser vi en ytterligere reduksjon av LF(0ms) verdien til surround høytalerne. Dette vil si at en stor del av lyden blir reflektert via andre retninger til målepunktet, enn retningen hvor høyttaleren er plassert. Vi kan også se at litt mindre andel av lyden fra surround høytaleren når åttetallsdirektiviteten da høytalerne var plassert 3m vekk fra mikrofonen, enn plassert ved kun 2m avstand. Plasseringen i EL1 er også den målingen der høytalerne og mikrofonene står lengst unna veggene.

Teoretisk beregnet gir en lytteplassering 60cm til venstre for sentrumsposisjonen, en vesentlig endring av LF i forhold lytteposisjonen i sentrum.

7 Konklusjon

7.1 Implikasjoner

Denne oppgaven tok utgangspunkt i å undersøke hvordan ikke-ideelle lytte-rom påvirker lydsignalet i en auralisering, der auraliseringen blir presentert ved et vanlig høyttalersystem. Det ble tatt utgangspunkt i kartleggingen av endringen i verdiene for frekvensnivåer, “Clarity”, etterklangstid og Lateral Fraction, ved en slik presentasjon i forhold spesifikasjonene til auraliseringen.

For frekvensnivåene, viste rommene en endring på 1 til 2dB i oktavbåndsverdiene med senterfrekvens 250Hz til 8kHz, der målekjeden gir en feilkilde på ihvertfall ca 0,7dB. Sett bort ifra en måling med litt uventet respons. 1dB til 2dB i disse frekvensbåndene, vil kanskje ikke være en faktor som hemmer presentasjonen i vesentlig grad. Derimot er det større forskjeller i den presenterte auraliseringen ved 125Hz båndet. Man bør derfor være oppmerksom på at en auralisering presentert i et rom blir sterkt påvirket av rommoder og derfor kan gi et avvikende inntrykk i bassområdet for lytterne.

Etterklangstiden vil i korte trekk ifølge resultatene som er beregnet, ikke påvirkes nevneverdig, så lenge etterklangstiden i rommet som er auralisert er vesentlig høyere enn etterklangstiden i rommet det presenteres i. For auralisering med lavere verdier av T60, blir det påvist at etterklangen i presentasjonsrommet vil øke den totale T60 noe.

Beregningene av C80 derimot, viser et stort sprang i verdiene fra presentasjonsrom til presentasjonsrom. I enkelte rom får forholdet mellom tidlig og sen energi høyere verdier. I andre rom svekkes den tidlige energien betraktelig i forhold til den sene energien. Med andre ord vil enkelte presentasjonslokaler aldri kunne gi lytterne et inntrykk av at auraliseringen gir god taletydighet eller tydelighet for musikk.

Et av de største problemene presentasjon med høyttalere i ikke-ideelle lytte-rom er Lateral Fraction. For å gi lytterne i presentasjonsrommet samme romfølelse som man ville hatt i en ekte sal, kreves det mye av lytterrommet og systemet. Hvis man designer et rom for auralisering med høy verdi av Lateral fraction, har man ihvertfall større muligheter for å få LF verdiene riktige med et surround oppsett enn et konvensjonelt stereo oppsett, men det krever et presentasjonsrom med svake tidlige refleksjoner.

For en person som sitter på stolen ved siden av sentrum, er det ikke påvist

at det forringer opplevelsen markant når det gjelder frekvensrespons, C80 og T60. Dette gjelder høyttalere med konvensjonell direktivitet.

Konklusjonen blir som ventet: tørre spesialdesignede lytterom gir mest nøyaktig resultat. For at endringen av akustiske parametre i en auralisering skal bli tydelige i et ikke-ideelt lytterom, må endringene være vesentlig større enn tilsvarende parametre i lytterommet.

7.2 Videre arbeid

Forslag til videre arbeid, kan være å se om ekstremt direkte høyttalere vil kunne gi mer nøyaktige verdier i samme type rom med tanke på frekvensrespons, C80, T60 og LF. Det er mulig grunn til å tro det, hvis andelen av direktelyd øker i forhold til de tidlige refleksjonene. Et kompromiss med dette kan være at det snevrer inn området der gjengivelsen er mest nøyaktig, og dermed er mindre egnet for flere lyttere.

8 Referanser

Dolby Laboratories Inc(2000). *5.1 Production Guidelines*. Dolby Laboratory Inc, 2000.

Kuttruff, H.(2000) *Room Acoustics, Fourth Edition*. Spon Press New York, 2000.

Norsk Musikkråd(2009). *Lokaler til musikkformål*. <http://www.musikklokaler.no/>, 2000.

Svensson, P., & Richter, U. (2008). *3D-Sound/Multimedia Lecture Notes*. IET, 20. august, 2008.

Svensson, P.(2007). *Audio Technology TTT4170 Lecture Notes*. IET, 22. august, 2007.

A Vedlegg

A.1 Matlab kode for beregning av akustiske parametre

A.1.1 T60

calc_T60

```
1 function T60_band = calc_T60(ir)
2
3 fs = 44100;
4
5 ir1f = oktavbandfilter(ir,2);
6 ir2f = oktavbandfilter(ir,3);
7 ir3f = oktavbandfilter(ir,4);
8 ir4f = oktavbandfilter(ir,5);
9 ir5f = oktavbandfilter(ir,6);
10 ir6f = oktavbandfilter(ir,7);
11 ir7f = oktavbandfilter(ir,8);
12
13 L1 = backint(ir1f.^2);
14 L2 = backint(ir2f.^2);
15 L3 = backint(ir3f.^2);
16 L4 = backint(ir4f.^2);
17 L5 = backint(ir5f.^2);
18 L6 = backint(ir6f.^2);
19 L7 = backint(ir7f.^2);
20
21 [T60_1,r2T60] = calT60auto(L1,fs,-5,-25); % 125Hz båndet
    regner 3*T20, som beskrevet
22 [T60_2,r2T60] = calT60auto(L2,fs,-5,-35); % 250Hz båndet og
    oppover bruker 2*T30
23 [T60_3,r2T60] = calT60auto(L3,fs,-5,-35);
24 [T60_4,r2T60] = calT60auto(L4,fs,-5,-35);
25 [T60_5,r2T60] = calT60auto(L5,fs,-5,-35);
26 [T60_6,r2T60] = calT60auto(L6,fs,-5,-35);
27 [T60_7,r2T60] = calT60auto(L7,fs,-5,-35);
28
29 T60_band = [T60_1, T60_2, T60_3, T60_4, T60_5, T60_6, T60_7];
30
31 end
```

A.1.2 C80

calc_C80

```
1 function C80 = calc_C80(ir_hele)
```

```

2
3 Fs = 44100;
4 T_early = ceil(Fs * 80 / 1000); % 80ms
5
6 peakval = max(abs(ir_hele));
7 peaksample = find(abs(ir_hele)==peakval);
8
9 trigval = 0.001;
10 belowtrigval = find(abs(ir_hele(1:peaksample))<peakval*
    trigval);
11 start_nr = belowtrigval(end);
12
13 ir = ir_hele(start_nr : (length(ir_hele) - (start_nr +1) ));
14
15 %plot(ir); %plot for kontroll
16
17 ir_early = ir(1:T_early);
18 ir_earlyfix = [ir_early;zeros(2000,1)]; % forlenger ir med
    0'er for å få med hele responsen fra filter_octave
19
20 ir_early_63 = filter_octave(ir_earlyfix,1);
21 ir_early_125 = filter_octave(ir_earlyfix,2);
22 ir_early_250 = filter_octave(ir_earlyfix,3);
23 ir_early_500 = filter_octave(ir_earlyfix,4);
24 ir_early_1k = filter_octave(ir_earlyfix,5);
25 ir_early_2k = filter_octave(ir_earlyfix,6);
26 ir_early_4k = filter_octave(ir_earlyfix,7);
27 ir_early_8k = filter_octave(ir_earlyfix,8);
28
29 if length(ir) > 33528
30     T_end = 30000;
31 else
32     T_end = length(ir);
33 end
34
35 ir_late_63 = filter_octave(ir(T_early:T_end),1);
36 ir_late_125 = filter_octave(ir(T_early:T_end),2);
37 ir_late_250 = filter_octave(ir(T_early:T_end),3);
38 ir_late_500 = filter_octave(ir(T_early:T_end),4);
39 ir_late_1k = filter_octave(ir(T_early:T_end),5);
40 ir_late_2k = filter_octave(ir(T_early:T_end),6);
41 ir_late_4k = filter_octave(ir(T_early:T_end),7);
42 ir_late_8k = filter_octave(ir(T_early:T_end),8);
43
44
45 % --- beregning av C80 ---
46
47 topp63 = sum(ir_early_63.^2);
48 topp125 = sum(ir_early_125.^2);

```

```

49 topp250 = sum(ir_early_250.^2);
50 topp500 = sum(ir_early_500.^2);
51 topp1k  = sum(ir_early_1k.^2);
52 topp2k  = sum(ir_early_2k.^2);
53 topp4k  = sum(ir_early_4k.^2);
54 topp8k  = sum(ir_early_8k.^2);
55
56 bunn63   = sum(ir_late_63.^2);
57 bunn125 = sum(ir_late_125.^2);
58 bunn250 = sum(ir_late_250.^2);
59 bunn500 = sum(ir_late_500.^2);
60 bunn1k   = sum(ir_late_1k.^2);
61 bunn2k   = sum(ir_late_2k.^2);
62 bunn4k   = sum(ir_late_4k.^2);
63 bunn8k   = sum(ir_late_8k.^2);
64
65 C80_63   = 10 * log10(toppp63 / bunn63);
66 C80_125 = 10 * log10(toppp125 / bunn125);
67 C80_250 = 10 * log10(toppp250 / bunn250);
68 C80_500 = 10 * log10(toppp500 / bunn500);
69 C80_1k   = 10 * log10(toppp1k / bunn1k);
70 C80_2k   = 10 * log10(toppp2k / bunn2k);
71 C80_4k   = 10 * log10(toppp4k / bunn4k);
72 C80_8k   = 10 * log10(toppp8k / bunn8k);
73
74 C80 = [C80_63 C80_125 C80_250 C80_500 C80_1k C80_2k C80_4k
        C80_8k];
75 end

```

A.1.3 Frekvensbåndsnivåer

```

                                calc_bandmean
1 function bandvalues = calc_bandmean(ir)
2
3 K = 8;
4 Fs = 44100;
5 NFFT = 44100*K;
6
7 fc = 125;
8 fupper = fc * 2^0.5;
9 flower = fc * 2^-0.5;
10 bandvalues = zeros(1,7);
11
12 f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
13 Y = abs(fft(ir,NFFT));
14 Z = Y(1:NFFT/2+1);
15
16 tabell = [f', Z];

```

```

17
18 n = 1;
19 b = 0;
20
21 for x = 1:length(Y)
22     g = tabell(x,1);
23
24     if flower <= g && g <= fupper
25         b = b + 1;
26         band(b) = tabell(x,2);
27     end
28
29     if g >= fupper
30         bandvalues(n) = 10 * log10(mean(band)); % 10*log10(
           mean(10.^(band/10))) % for dB
31
32         n = n + 1;
33         band = [];
34         fc = 125 * 2^(n-1);
35         fupper = fc * 2^0.5;
36         flower = fc * 2^-0.5;
37         b = 0;
38
39         if n == 8
40             break
41         end
42     end
43 end
44
45 end

```

A.1.4 Lateral Fraction

```

                                calibrate_LF
1 function cal_bands = calibrate_LF(ir)
2
3 band_125 = filter_octave(ir,2);
4 band_250 = filter_octave(ir,3);
5 band_500 = filter_octave(ir,4);
6 band_1000 = filter_octave(ir,5);
7 band_2000 = filter_octave(ir,6);
8 band_4000 = filter_octave(ir,7);
9 band_8000 = filter_octave(ir,8);
10
11 cal_bands = [mean(band_125), mean(band_250), mean(band_500),
              mean(band_1000), mean(band_2000), mean(band_4000), mean(
              band_8000)];
12

```

```
13 end
```

calc_LF

```
1 function LF_band = calc_LF(omni, fig8)
2
3 % Funksjonen regner ut Lateral fraction fra en omni og en
  fig8
4 % impulsrespons
5
6 impuls_omni = loadimp(omni); %importerer umb filene
7 impuls_fig8 = loadimp(fig8);
8
9 peakval = max(abs(impuls_omni)); % finner maks,
  setter start_nr til første
10 peaksample = find(abs(impuls_omni)==peakval); % sample med
  verdi under 0.0005 bak maks
11 trigval = 0.0005;
12 belowtrigval = find(abs(impuls_omni(1:peaksample))<peakval*
  trigval);
13
14 start_nr = belowtrigval(end);
15
16 puls_omni = impuls_omni(start_nr : (length(impuls_omni) - (
  start_nr +1) ));
17 puls_fig8 = impuls_fig8(start_nr : (length(impuls_omni) - (
  start_nr +1) ));
18
19 % --- Kontroll Plot ---
20
21 plot(puls_omni, 'b');
22 hold on;
23 plot(puls_fig8, 'r');
24 legend('omni', 'fig8');
25
26
27 % --- Oktaubåndsfiltrering + EQ konstanter ---
28
29 siste_sample = 3528; % 3528 for 80 ms
30
31 omni_125 = filter_octave(puls_omni(1:siste_sample),2); %
32 omni_250 = filter_octave(puls_omni(1:siste_sample),3);
33 omni_500 = filter_octave(puls_omni(1:siste_sample),4);
34 omni_1k = filter_octave(puls_omni(1:siste_sample),5);
35 omni_2k = filter_octave(puls_omni(1:siste_sample),6);
36 omni_4k = filter_octave(puls_omni(1:siste_sample),7);
37
38 % eq = calibrate_LF(omni) / calibrate_LF(fig8);
39
```

```

40 eq(1) = 0.79808;      % EQ for kalibrerte oktaubåndsnivåer:
    fig8
41 eq(2) = 0.77846;      % finjustert for LF = 1.00 1.00 1.00
    1.00 1.00 1.00
42 eq(3) = 0.75253;      % ved Fdelay = 1
43 eq(4) = 0.74072;
44 eq(5) = 0.69348;
45 eq(6) = 0.49788;
46
47 Fdelay = 1; % 0ms = 1 samples , 5ms = 221 samples
48
49 fig8_125 = eq(1) * filter_octave(puls_fig8(Fdelay:sistesampl)
    ,2);
50 fig8_250 = eq(2) * filter_octave(puls_fig8(Fdelay:sistesampl)
    ,3);
51 fig8_500 = eq(3) * filter_octave(puls_fig8(Fdelay:sistesampl)
    ,4);
52 fig8_1k = eq(4) * filter_octave(puls_fig8(Fdelay:sistesampl)
    ,5);
53 fig8_2k = eq(5) * filter_octave(puls_fig8(Fdelay:sistesampl)
    ,6);
54 fig8_4k = eq(6) * filter_octave(puls_fig8(Fdelay:sistesampl)
    ,7);
55
56
57 % --- beregning av LF ---
58
59 topp125 = sum(fig8_125.^2);
60 topp250 = sum(fig8_250.^2);
61 topp500 = sum(fig8_500.^2);
62 topp1k = sum(fig8_1k.^2);
63 topp2k = sum(fig8_2k.^2);
64 topp4k = sum(fig8_4k.^2);
65
66 bunn125 = sum(omni_125.^2);
67 bunn250 = sum(omni_250.^2);
68 bunn500 = sum(omni_500.^2);
69 bunn1k = sum(omni_1k.^2);
70 bunn2k = sum(omni_2k.^2);
71 bunn4k = sum(omni_4k.^2);
72
73 LF125 = topp125 / bunn125;
74 LF250 = topp250 / bunn250;
75 LF500 = topp500 / bunn500;
76 LF1k = topp1k / bunn1k;
77 LF2k = topp2k / bunn2k;
78 LF4k = topp4k / bunn4k;
79
80 LF_band = [LF125, LF250, LF500, LF1k, LF2k, LF4k];

```

```
81
82 end
```

A.1.5 Sync_start

```
                                sync_start
1 function syncet_fil = sync_start(fila)
2 % gir impulsresponsene makspunktet i samme sample
3 %
4 % konvolusjon mellom to impulsresponser med forskjellig start
  gitt ved:
5 %
6 % konvolusjon = conv(sync_start(fil_a), sync_start(fil_b));
7
8 peakval = max(abs(fila));           % finner maks, setter
  start_nr til første
9 peaksample = find(abs(fila)==peakval); % sample med verdi
  under 0.0005 bak maks
10
11 start_nr = peaksample - 20;
12
13 syncet_fil = fila(start_nr : (length(fila) - (start_nr +1) ))
  ;
14 lengde = length(syncet_fil);
15 ekstra_lengde = 200000 - lengde;
16 syncet_fil = [syncet_fil; zeros(ekstra_lengde,1)]; %gir
  filene samme lengde
17 end
```