

2. JUNI 2021



UNDERSØGELSE AF AKUSTISK INDEKLIMA FOR VARIERENDE BOLIGTYPER

KOMFORTABELT AKUSTISK INDEKLIMA I MODERNE BOLIGER

JEPPE SØRENSEN
AALBORG UNIVERSITET
10. semester



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Signal Processing and Acoustics
Aalborg University
<http://www.aau.dk>

Title:

Undersøgelse af akustisk indeklime for varierende boligtyper

Tema:

Komfortabelt akustisk indeklime i moderne boliger

Projektperiode:

Forår semester 2021

Projektgruppe:

Gruppe nummer 1070

Deltager(e):

Jeppe Sørensen

Vejleder:

Flemming Christensen

Kopier: 1

Antal sider:

Uden appendiks: 54

(Inkluderet appendiks): 130

Dato for færdiggjort:

02/06/2021

Abstrakt:

The purpose of this project has been to find a method to collect reverberation measurements from different dwellings, performed by the resident of the dwelling using equipment available in a normal Danish household.

The equipment for performing the reverberation measurement has been chosen to be a smartphone unit or tablet. Where the inbuilt microphone and loudspeaker is used as a recording device and sound source.

In the making for the measurement method, there have been conducted investigations for both the inbuilt microphone and the inbuilt loudspeaker for different smartphones and tablets. These investigations include measurements of frequency response and measurements of the dynamic range.

Lastly in the project, the measurement method has been tried out on a small group of people, where the results of the collected measurements show that the method works to a certain degree.

Forord

Denne rapport er udarbejdet som 10. semesters projekt af gruppe 1071 på Akustisk og lydteknologi på Aalborg Universitet under forår semesteret 2021.

Referencerne i rapporten er givet i IEEE format, med frikantparenteser som [0] i rækkefølge de er blevet brugt i. Bibliografien kan findes på side 49. Figurerne i rapport er udført af gruppens medlem medmindre andet er angivet i figurteksten. Rapporten er opbygget med en hoveddel i kapitelformat, efterfulgt af appendikser der har relevans for rapporten. Vedlagt i bilag er de indsamlede optagelserne og svarende fra afprøvningen af målemetoden.

Projektgruppen vil gerne takke vejleder Flemming Christensen, for hjælp med vejledning og feedback under projektudarbejdelsen, ligeledes en tak til alle deltagerne der har hjulpet med afprøvning af målemetoden udarbejdet i projektet og indsendelse af efterklangsmålinger fra deres hjem.

Aalborg Universitet, 2. juni 2021

Indholdsfortegnelse

FORORD.....	1
KAPITEL 1 INDLEDNING	4
KAPITEL 2 MÅLING AF EFTERKLANGSTIDER	6
SEKTION 2.1 STANDARDISERET METODER TIL MÅLING AF EFTERKLANGSTIDER	6
SEKTION 2.2 AFBRUDT STØJ METODEN	7
SEKTION 2.3 INTEGRERET IMPULSRESPONS METODEN.....	7
SEKTION 2.4 HVILKEN MÅLEMETODE ER MEST OPTIMAL?	8
SEKTION 2.5 KRAV TIL MÅLEUDSTYR I FORHOLD TIL STANDARDISERET EFTERKLANGSMÅLINGER.....	8
KAPITEL 3 UDARBEJDELSE AF PROBLEMFORMULERING	9
SEKTION 3.1 LØSNINGSFORSLAG TIL PROBLEMET	9
SEKTION 3.2 KVALITETSSIKRING AF DATA FRA INDSAMLEDE MÅLINGER	10
KAPITEL 4 OPSÆTTELSE AT KRAV TIL UDFØRELSE AF OPTAGELSERNE OG ANALYSE	12
SEKTION 4.1 DE TEKNISKE KRAV:	12
SEKTION 4.2 DE FUNKTIONELLE KRAV:	13
KAPITEL 5 OPSTILLING AF METODERNE TIL UDFØRELSE AF MÅLINGER OG ANALYSER	14
SEKTION 5.1 VALG AF METODEN TIL UDFØRELSE AF MÅLINGER	14
5.1.1 Valg af metode til optagelse på smartphone.....	14
5.1.2 Valg af metode til afspilning af lydssignal.....	15
5.1.3 Valg af lydssignal.....	15
SEKTION 5.2 ANALYSEMETODE TIL EVALUERING AF MÅLINGER.....	18
5.2.1 Klargøre de indsamlet optagelser til analyse.....	18
5.2.2 Udførelse af affoldning og afgrænsning af impulsresponsene.....	19
5.2.3 Beregning af frekvensrespons for hver impulsresponsene	20
5.2.4 Beregning af henfaldskurverne og estimering af efterklangstider	21
SEKTION 5.3 METODE TIL UDFØRELSE AF REFERENCE MÅLINGER TIL EVALUERING AF INDSAMLET MÅLINGER.....	22
5.3.1 Metode til udførelse af reference måling med brug af højttaler som lydkilde.....	23
5.3.2 Metode til udførelse af reference måling med brug af impulskilde som lydkilde	24
KAPITEL 6 INDLEDENDE UNDERSØGELSER AF FORESLÅET MÅLEMETODE.....	25
SEKTION 6.1 UNDERSØGELSE AF ANTAGELSE OM MÅLING AF HØJTALERRESPONS	25
SEKTION 6.2 INDFLYDELSE FRA REFLEKTERENDE OVERFLADER TÆT PÅ MIKROFON OG HØJTALER	28
SEKTION 6.3 AFPRØVNING AF FORESLÅET MÅLEMETODE	28
KAPITEL 7 UNDERSØGELSE AF EGENSKABER FOR Udstyr.....	31
SEKTION 7.1 MIKROFONER I SMARTPHONES	31
7.1.1 Undersøgelse af frekvensområde for de indbygget mikrofoner	31
7.1.2 Efterklangsmålingerne med smartphones i kontrolleret akustiske omgivelser	33
SEKTION 7.2 HØJTALER I SMARTPHONES	34
7.2.1 Undersøgelse af frekvensområde for indbygget højttaler i smartphones.....	35
7.2.2 Undersøgelse af lydtryk og lydspredning for indbygget højttaler i smartphones	37
7.2.3 Undersøgelse om mulighed for forbedring af efterklangsmålingerne ved brug af to enheder	38
KAPITEL 8 MÅLEVEJLEDNINGEN	40
SEKTION 8.1 VALG AF SPØRGESKEMA FORMAT	40
SEKTION 8.2 INDSAMLING AF DATA OM MÅLERUM.....	40

SEKTION 8.3	VEJLEDNINGEN TIL UDFØRELSE AF EFTERKLANGSMÅLINGERNE	42
KAPITEL 9	RESULTATER FRA INDSAMLEDE MÅLINGER.....	45
KAPITEL 10	KONKLUSION	49
KAPITEL 11	PERSPEKTIVERING	50
BIBLIOGRAFI		51
APPENDIKS A	SAMMENLIGNING AF OPBYGNINGSMETODE FOR SMARTPHONES	55
APPENDIKS B	OPTAGELSE OG AFSPILNING AF LYD PÅ SMARTPHONE.....	58
APPENDIKS C	SAMMENLIGNING AF HØJTALERRESPONS MÅLT UNDER DYNE OG MÅLT I LYDDØDT RUM	62
APPENDIKS D	MÅLERAPPORT TIL REFERENCE EFTERKLANGSMÅLING	65
APPENDIKS E	MÅLERAPPORT TIL AFPRØVNING AF MÅLEMETODEN	69
APPENDIKS F	MÅLERAPPORT TIL SAMMENLIGNING AF SMARTPHONE EGENSKABER	72
APPENDIKS G	MÅLERAPPORT TIL UNDERSØGELSE AF HØJTALERENHED I SMARTPHONES	79
APPENDIKS H	MÅLERAPPORT TIL EFTERKLANGSMÅLING MED TO SMARTPHONES	83
APPENDIKS I	MÅLERAPPORT TIL UNDERSØGELSE AF LYDTRYK FRA HØJTALER	87
APPENDIKS J	UDSKRIFT AF SPØRGESKEMA TIL INDSAMLING AF MÅLINGER.....	90
APPENDIKS K	MÅLERAPPORT TIL INDSAMLET OPTAGELSER.....	99

Kapitel 1 Indledning

Der er igennem de sidste år kommet et større fokus på indeklimaet, når der skal renoveres eller bygges nye huse, lejligheder og bygninger generelt. Det gælder alle fire områder inden for indeklimaet, både lys, luft, akustik og termisk. Især lydforholdene er kommet i fokus i de seneste år, både når det gælder akustikken i et rum, men også hvordan vi kan afspille musik og lignede i hjemmet. Højtaler er begyndt at fylde mere i hjemmet, om det er små trådløse højttaler eller større stereo højttaler [1] [2]. Sammen med at højttalerne er begyndt at komme mere frem i boligerne og bliver brugt mere, er der også sket en stor udvikling med højttalerne, de bliver indbygget i vægge og lofter, bliver forbundet med smart assistent og bliver en større del af indretningen [3]. Det er dog ikke kun indenfor højttaler fokuset er, der er også stort fokus på selve lydforholdene i boligerne [4] [5], hvor flere vælger boliger hvor lydforholdene allerede er gode eller selv gør noget ved det. Derfor får mange installeret lyddæpende interiør for at forbedre lydforholdene, eksempler på disse kan være lyddæpende loft- og vægpaneler med mere. Det er ikke kun de store flader der bliver tænkt absorptionsmateriale ind i, men også i møbler og dekorationselementer [6] [7]. Løsningerne bliver både brugt i private hjem og i erhvervet, som kontorer, kantiner og undervisningslokaler.

Ses der på den lovgivningsmæssig side af det akustiske indeklima, er der meget få regler i forhold til private boliger som huse, lejligheder og sommerhuse. Lovgivningen har mest fokus på støj, at der ikke kommer for meget støj ind i lejlighederne fra gangarealer eller fra naboerne [8]. Reglementerne dækker lydisolation mellem boliger og mellem bolig og fællesopholdsrum/fællesrum, med boliger forstås lejligheder og med fællesopholdsrum og fællesrum forstås rum som er tilgængeligt for alle beboerne som gangarealer, fælleskøkkener og lignede. Udover lydisolering mellem boliger og fællesrum, er der også regler for hvor meget indendørs støj der må være fra trafik og tekniske installationer inden i boligerne. De sidste regler gælder efterklangstider, dog ikke for selve boligen men kun for fællesrum og fællesopholdsrum [9]. I hus- og sommerhusområder er fokuset mere på om der er for meget støj fra veje og virksomheder i nærområdet. Lovgivningen gælder dog ikke hvor meget støj der må komme ind i et hus eller sommerhus, men kun hvor meget støj der må være i området, hvor støjkilden er en vej eller virksomhed [10] [11] [12].

Problemet ved at der ikke er nogen regler for, hvordan efterklangstiderne skal være inden i boligerne, er at der ikke findes større mængder målinger for hvordan lydforholdene endelig er i dansk hjem. Det er dog ikke kun reglerne der gør til, at der ikke er viden indenfor lydforholdene i danske boliger, men også at der er kommet mange skift i forhold til byggemetoderne. Da det tilbage i starten af 1900-tallet var normalt at bygge med mursten, mens omkring 1920'erne begyndte beton at blive brugt mere til etagebygninger, hvor betonen stadig bliver brugt i dag i stor grad til etagebygninger, men også til fritstående huse. Der er også sket mange ændringer på byggeloven siden 1850'erne, hvilket også gør at byggestilen har ændret sig [13]. Alle disse ændringer af måden der bygges bygninger, gør at det kan være svært at blot lave målinger i få boliger og ud fra disse vide hvordan lydforholdene er i danske boliger. Det er dog ikke kun byggemetoderne der har ændret sig igennem tiden, men også indretningen har ændret sig meget. Da indretningen i boliger har stor indvirkning på lydforholdene, gør det det sværere at undersøge lydforholdene, da indretningen i boliger ændres sig mere end byggemetoderne [14].

Det ovenfor nævnte problem vil kunne løses ved at udføre mange efterklangsmålinger i danske boliger, problemet med at skulle udføre efterklangsmålinger i forskellige boliger, er at der skal udføres mange målinger for at kunne få en generel ide omkring hvordan efterklangstiden er i danske boliger. Disse mange målinger vil være dyre og tidskrævende, hvis de skal udføres af akustik ingeniører eller af anden kompetent personale, derudover vil det også tage lang tid for at kunne indsamle den mængde data til at kunne bygge en nødvendige datamængde. Dette vil kunne betyde at før datamængden er opnået vil nogen af datasættende kunne være forældet, når indretningen i boligerne også ændre sig hurtigt.

Der kan udarbejdes forskellige løsninger til dette problem, nogen af løsningerne vil dog være mere krævende end andre. En løsning kan være at sende udstyret til at udføre målingen med, ud til beboerne sammen med en vejledning, dette forslag har både fordele og ulemper. En af fordelene er at målingerne vil kunne blive udført med udstyr der opfylder standarderne. Dette har dog også ulemper forbundet med sig, det vil være meget krævende at skulle sende udstyr ud til beboerne, samt samle udstyret ind igen. Metoden vil også kræve flere sæt udstyr for at gøre det muligt at sende ud til flere boliger på en gang, og den vej igennem kunne indsamle flere målinger på mindre tid.

En anden løsning kunne være at finde en metode til at udføre målingerne, med midler der er tilgængeligt allerede i en normal dansk bolig. Dette vil kunne gøre at der kan udføres mange målinger på kort tid, end hvis udstyret skal fragtes ud til beboerne. Problemet med dette er at der først skal udføres en undersøgelse af hvilket udstyr der er til stede i en normal bolig, som også om det kan bruges til at udføre en efterklangsmåling.

Før en undersøgelse af målemetode kan blive foretaget, skal det først undersøges hvilke krav der er til resultaterne fra målingerne. Skal resultaterne efterleve standarderne eller er der ikke behov for den præcision der kommer ved at følge standarderne. Før valgte om præcisionen kan tages, vil der først blive udført en undersøgelse af standarderne der benyttes til udførelse af efterklangsmålinger. Da fokuset for projektet er efterklangsmålinger i boliger, er det som udgangspunkt standarden ISO 3382-2:2008 - Akustik - Måling af rumakustiske parametre - Del 2: Efterklangstid i almindelige rum, der vil blive brugt til undersøgelsen. I det følgende kapitel vil målemetoderne i standarden blive gennemgået.

Kapitel 2 Måling af efterklangstider

Før der dykkes ned i hvordan efterklangsmålinger udføres ifølge standarden, vil der først komme en kort beskrivelse af hvordan efterklangsmålinger i basis bliver udført, samt hvad efterklangstiden endelig er. Ifølge standarden ISO 3382-2:2008 - Akustik - Måling af rumakustiske parametre - Del 2: Efterklangstid i almindelige rum, er efterklangstider defineret som den tid det tager en lyd at falde med 60 dB i et lukket rum efter lydkilden er stoppet. Hvilket vil sige den tid en lyd er om at falde fra -5 dB under maksimum lydtryk under lydudbredelsen til -65 dB under det samme lydtryk. Tiden bliver fundet ud fra henfaldet af lyd eller henfaldskurve. Når efterklangsmålinger bliver udført, kræver det i basis kun en lydkilde og en lydoptager. Lydkilden kan være flere forskellige ting der kan udsende et lydsignal, lydkilderne vil blive beskrevet mere dybdegående i den følgende sektion. Proceduren for målingen er meget enkelt, da man i basis blot optager afspilningen af lydkilden i et givent lukket rum, samt en kort periode efter lydkilden er stoppet. Efterklangstiden er derefter fundet ved at analysere henfaldet af lyden i det givende rum, analysen af henfaldet kan udføres i oktav bånd eller hele lydsignalet samlet.

Da det ikke altid er muligt at kunne opnå et lydtryk på 65 dB over støjgulvet for lydsignalet, er der også måder og estimere efterklangstiderne med et mindre dynamisk område. Det kan være et problem hvis målingerne skal udføres i meget støjende omgivelser, eller at lydkilden ikke kan genere et lydtryk der er 65 dB over støjgulvet. Derfor benyttes T_{20} og T_{30} i disse situationer, hvor efterklangstiden bliver estimeret for et mindre dynamisk område. For T_{20} bruges er det et fald på 20 dB, estimeringen bliver foretaget på baggrund af, faldet fra -5 dB til -25 dB. Mens for T_{30} er det området -5 dB til -35 dB der bruges til estimeringen, så et fald på 30 dB. For at sikker at resultaterne altid er sammenlignelige med T_{60} ganges den fundene tid med 2 for T_{30} og 3 for T_{20} .

Sektion 2.1 Standardiseret metoder til måling af efterklangstider

I standarden ISO 3382-2:2008 er der beskrevet to målemetoder; afbrudt støj og integreret impulsrespons, inden for disse to målemetoder er der tre grader nøjagtighed til målingerne; survey, engineering og precision, som kan oversættes til undersøgelse, ingeniør og præcision [15]. De tre grader er adskilt af antallet positioner for lydkilder og mikrofoner, frekvensområde og oktavbåndsfordeling. De forskellige krav til de tre grader kan ses i Tabel 2.1. Graderne bliver brugt til klassifikation af målingerne, da der er forskellige krav til målingerne i forhold til hvad målingerne skal bruges til.

Survey graden bruges når der kun er behov for en simpel måling af et givent rum, dette kan være som en indledende måling for at fastslå om der er et problem med efterklangen i et givent rum. Samt til at lave en vurdering af rumabsorption i forbindelse med støjevalueringer. Survey graden har også til formål at få udført en simpel måling fremfor at ikke at få en måling.

Engineering graden benyttes til eftersyn af bygninger med henblik på opfyldelse af krav til efterklangstider og rumabsorption. Ligeledes benyttes graden også som indledende måling til øvrige akustiske målinger som lydtransmission og vurderinger af absorptionsværdier for et givent objekt.

Precision graden vil kun blive benyttet når der er et krav om høj måle præcision, det kan være i forbindelse med lavfrekvens problemer i et rum eller udformningen af rummet, samt hvis der skal kontrolleres at efterklangstiderne for et rum overholder lovmæssige krav.

Tabel 2.1 Minimums krav for positioner, frekvensområde og oktavbåndsfordeling fra ISO 3382-2:2008.

	Survey	Engineering	Precision
Lydkilde-mikrofon kombination	2	6	12
Lyd kilde positioner	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Mikrofon positioner	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Frekvensområde	250 Hz - 2000 Hz	125 Hz - 4000 Hz	100 Hz - 5000 Hz
Oktavbåndsfordeling	1/1 oktav	1/3 oktav	1/3 oktav

Udover de tre nøjagtighedsgrader, er der ligeledes de to målemetoder, afbrudt støj metoden og integreret impulsrespons. Målemetoderne er adskilt af både målesignal brugt til målingerne og måleusikkerheder, dette vil blive beskrevet mere dybdegående i de følgende to sektioner.

Sektion 2.2 Afbrudt støj metoden

Den første metode omhandler brugen af afbrudt støj som er en ældre procedure, proceduren kan dateres helt tilbage til slutningen af det 19. århundrede [16]. Ifølge standarden skal støjsignalet være random støj, samt afbrydelserne af signalet skal ske tilfældigt, hvilket vil sige at stopningen ikke må være en gentagelses sekvens. Støjsignalet skal afspilles ved hjælp af en højttaler, for højttaleren gælder det at den skal være så omnidirektionel som muligt. Selve målingen af efterklangstiden forgår ved at analysere henfaldet fra det tidspunkt hvor støjsignalet afbrydes til at lydtrykket i rummet er faldet til niveauet for baggrundsstøjen i rummet. Dette henfald skal analyseres ved brugen af enten T_{60} , T_{30} eller T_{20} , lydtrykket for støjsignalet skal for denne metode have et lydtryk som er mindst 35 dB over støjgulvet i rummet når T_{20} benyttes. For T_{30} skal lydtrykket være minimum 45 dB over støjgulvet [15], dette er begrundet overfølsomheden overfor baggrundsstøj.

Der kan vælges mellem flere forskellige støj signaler som hvid eller pink støj, der er dog et krav omkring frekvensområdet støjsignalet skal dække og hvor lang signalet skal være. Frekvensområdet skal være større eller lige med det defineret frekvensområde for oktavbåndene brugt under analysen. Længden af signalet er bestemt ud fra efterklangstiden i rummet, da den skal som minimum have en periode på $T/2$ s, hvor T er den estimeret efterklangstid, dette er den periode som støjen som minimum skal afspilles i rummet.

Sektion 2.3 Integreret impulsrespons metoden

I den anden metode bliver der brugt et impulssignal eller et signal hvor der kan blive regnet et impulsrespons ud fra. Metoden er en nyere metode hvor impulsresponsen bruges til at regne henfaldskurverne, metoden er mere præcis end afbrudt støj metoden, da den er mere modstandsdygtig overfor baggrundsstøj.

Til målingerne kan der benyttes flere typer lydsignaler, det eneste der skal gælde for lydsignalet, er at der skal kunne findes et impulsrespons gennem testsignalet. Impulsresponsen kan findes både direkte ved afspille et impulssignal, dette kan være et pistolskud, springe en ballon eller blot støjsprængning. Impulsresponsen kan også findes ved at afspille et chirp signal (Sweep signal) eller MLS-signal (Maximum length sequence), disse kan bruges til at finde et impulsrespons ved at folde det optagede testsignal med en inverteret udgave af det oprindelige signal som blev afspillet. Denne metode bruges til begge signaltyper, ved at bruge et chirp signal eller MLS-signal vil det kunne forbedre signal-støj forholdet på målingerne.

For at kunne gøre brug af integreret impulsrespons metoden, er der nogen krav til selve lydkilden, den skal være så tæt på omnidirektionel som muligt, og kunne genere lydindhold for hele frekvensområdet der foretages analyse på. Ligeledes skal den kunne genere et lydsignal med et højt nok lydtryk, til at henfaldskurverne starter minimum 35 dB over støjgulvet for det specifikke frekvensbånd.

For at opfylde kravet om en så omnidirektionel højttaler som muligt, kan der til målingerne benyttes en specielt bygget omnidirektionel højttaler. Hvis der ikke er mulighed for at bruge en omnidirektionel højttaler kan der bruges en envejshøjttaler som bliver placeret så den spreder lyden så omnidirektionel som muligt i rummet. Dette kan gøre ved at placeret højttaleren så den udsender lyden direkte ind i et hjørne af rummet, dette vil sprede lyden mere rundt i rummet.

Sektion 2.4 Hvilken målemetode er mest optimal?

Af de to beskrevne metoder er integreret impulsrespons metoden den mest præcise når der ses på måleusikkerheder. For at kunne opnå den samme målepræcision for målinger udført med afbrudt støj, som målinger udført med integreret impulsrespons, skal målingen med afbrudt støj gentages 10 gange for hver måleposition. Disse 10 gentagelser vil svar til at lave en måling med integreret impulsrespons. Dette er grundet den store usikkerhed der er med brugen af støjsignaler, da analysen er meget følsom for andre støjkilder og korte impuls signaler som der kan forekomme under målingerne. Hertil kommer også valget af start for henfaldskurverne, for at kunne estimere en efterklangstid.

Integreret impulsrespons metoden har den fordel at målingerne kan genskabes med lignende resultater, uden behovet for at der skal regnes et gennemsnit over mange målinger som der skal ved afbrudt støj metoden. Derudover er måleprocessen kortere og mindre følsom over for støj både i rummet og fra omkring værende omgivelser. Derfor kan det være en god ide når målingen skal udføres i støjende omgivelser at bruge integreret impulsrespons metoden. Det er dog ikke kun når der er meget støjende omgivelser det giver mening at benytte integreret impulsrespons metoden, men også når signal-støj forholdene i måleudstyret er mindre gode.

Sektion 2.5 Krav til måleudstyr i forhold til standardiseret efterklangsmålinger

Når der udføres standardiseret efterklangsmålinger, er der ikke kun krav til måleprocessen men også til måleudstyret. Der er lidt forskel på kravene i forhold til hvilken præcisionsgrad der er ønsket for målingen. Der stilles krav til lydkilden, mikrofoner, filter og analyse udstyr. Lydkilden skal som tidligere nævnt være så omnidirektionel som muligt, for precision målingerne skal lydkildens retningsvirkning opfylde kravene fastsat i ISO 3382-1:-, A.3.1. For survey og engineering målinger er der ikke krav til lydkildens retningsvirkning, dog gælder det for alle tre metoder at lydkilden skal kunne genere et lydtryks niveau højt nok til at kunne genere henfaldskurver hvor kravene til det dynamiske område er overholdt og ikke er påvirket af baggrundsstøjen.

Til mikrofonerne er der ikke forskellige krav til det forskellige præcisionsgrader, mikrofonerne skal dog være omnidirektionel, og så små som muligt. Det foretrækkes at mikrofonmembranen maksimalt har en diameter på op til 14 mm. Outputtet fra mikrofonerne kan bruges på to metoder i forhold til analysedelen, enten skal målingen optages til senere analyse ellers skal analysen udføres med det samme. Dette kan gøres ved enten at vise henfaldskurverne eller beregne impulsresponsen direkte, i analysen skal oktavfilterne brugt til opdeling i oktavbånd følge kravene fastsat i IEC 61260.

Kapitel 3 Udarbejdelse af problemformulering

De standardiserede målemetoder kan være svære at følge, da det vil sætte store krav til både målingerne og dem som skal udføre målingerne. Selv hvis målingerne blot skal udføres efter standarderne vil det kræve at udstyret der benyttes, også skal kunne efterleve kravene fastsat i standarden. For at kunne opfylde kravene vil det kræve at udstyret skal fragtes ud til boligerne, hvilket betyder at det nok vil være mere simpelt at få en tekniker ud og foretage målingen fremfor at skulle introducere beboerne i at udføre målingerne. Hvilket ikke løser problemet som det er nu, da målingerne stadig vil være omkostningstunge og tidskrævende.

Hvis målingerne skal udføres på en billigere og mindre tidskrævende måde, gør det løsningsmulighederne mere begrænset, en løsning kunne være at benytte udstyr til målingerne der måske ikke følger standarderne helt. Hvis sådanne udstyr benyttes, vil målingerne muligvis kunne blive udført med udstyr som er til stede i en almindelig bolig. Som lydkilden kan der vælges blandt mange forskellige, da lydkilder både kan være en højttaler men også en impulskilde. I forhold til en mikrofon enhed er der kun et behov for at der kan foretages en optagelse med enheden, der videre kan blive analyseret. Denne mulighed vil åbne op for mange enheder da i dag har flere og flere enheder indbygget mikrofoner. Derfor er der mulighed for at kunne udarbejde en målemetode som tager udgangspunkt i måleudstyr der er allerede til stede i en almindelig bolig. Dog vil det kræve yderligere undersøgelser for at vide hvilke resultater der kan forventes at få ved at benytte udstyr der ikke kan følge standarderne.

Ud fra denne problemstilling er der blevet formuleret en problemformuleringen der lyder som følgende:

Er det muligt at udarbejde en målemetode til måling af efterklangstider med udgangspunkt i måleudstyr der tilgængeligt i en almindelig dansk bolig og der kan udføres af beboerne i boligerne? Samt i hvor høj grad er resultaterne sammenlignelige med standardiseret måleresultater?

Sektion 3.1 Løsningsforslag til problemet

Når der skal findes måleudstyr i en almindelig dansk bolig, er det som udgangspunkt kun to elementer der skal findes, en form for lydkilde og en form for lydoptager. Lydkilden kan være mange ting, da det kan være en impulskilde som en sprængt pose eller et klap, men kan også være en højttaler. Når det kommer til lydoptager enheden er der også mange muligheder, da rigtig mange elektroniske apparater har indbyggede mikrofoner, som smartphones, højttaler og computer.

Det er ikke blot de før nævnte apparater der har indbygget mikrofoner, flere og flere får også installeret smart assistens som tit er små højttaler enheder med mikrofoner indbygget i. Eksempler på disse smart assistens kan være Google Nest, Amazon Echo eller Apple HomePod [17]. Der er derfor mange mikrofoner at vælge mellem, valget kommer ene og alene an på, hvilke enheder der størst sandsynlighed for at være til stede i en almindelig bolig i dag.

Danmarks Statistik laver blandt andet undersøgelser om hvilket elektronik danskerne har hjemme ved sig, i Tabel 3.1 findes procentsatserne for nogen af de før omtalte elektroniske apparater, tallene er fra 2020. Ud fra undersøgelsen kan det ses at omkring 90 % at alle husstande i Danmark kan forventes at have en smartphone og 88 % kan forventes at have en bærbar computer. I forhold til brugervenligheden af disse to muligheder, vil smartphonen være et bedre bud end en bærbar computer. Smartphonen har den fordel at der ikke er stor forskel på hvordan de er opbygget i forhold til placering af højttaler og mikrofoner. I Appendix A fremgår en kort sammenligning af forskellige smartphones fra forskellige producenter. Smartphone har også fordelen at mange beboer tit har enheden ved hånden og skal derfor ikke først finde enheden for at

kunne udføre en måling. Ydermere har smartphonen også den fordel at den er nem at placere i forskellige positioner i et rum, da den både kan placeres på et bord, en stol eller lignede.

Tabel 3.1 Oversigt over hvilke enheder der kan findes i danske hjem fra 2020 [18].

Elektronisk styring (smart-home)	Bærbar computer, lap-top	Tablet pc, minicomputer	Smartphone
16 %	88 %	61 %	90 %

I projektet "Acoustic indoor comfort of modern dwellings" [19] blev der lavet en undersøgelse omkring måling af efterklangstider i boliger, hvor der blev brugt smartphones som mikrofon enhed og impulssignaler generet af forskellige produkter der kan forventes at være til stede i en almindelig bolig. Resultaterne fra projektet har vist at der er problemer med overestimering og underestimering når der bliver brugt impuls-signaler på grund af smartphones indbygget AGC (Automatic Gain Control). Derfor skal der enten findes en måde at komme uden om AGCen i smartphones, en mulighed kunne være at bruge et længere målesignal. Dette vil kunne blive opfyldt ved at bruge et chirp signal fremfor en kort impuls som en ballon giver. I projektet er der også lavet målinger med en smartphone og en højtaler placeret i rummet hvor det viser at der ikke er problemer med over- og under estimeringer på efterklangsestimeringen. Hvilket kan skyldes at der kommer mindre store ændringer i amplituden, der får AGCen til at interferere med optagelsen. Dette vil have behov for yderligere undersøgelse for at sikre at metoden også virker, og hvilke resultater der kan forventes at få ud fra målingerne.

Sektion 3.2 Kvalitetssikring af data fra indsamlede målinger

Kvaliteten af resultaterne kommer til at afhænge af to faktorer, den ene er afhængig af hvilket udstyr der benyttes, den anden er hvor meget der kan kræves af beboerne i forhold til udførelsen af målingerne. Disse to faktorer er ligeledes bestemt af hvilke krav der er til resultaterne, skal resultaterne blot være gode nok til at kunne give en repræsentation af, hvordan efterklangstiden er for et givent rum. Eller er kravet at resultaterne skal kunne følge standarderne, hvor måleusikkerhederne for hver af måling er den samme som for standarderne. Her kommer måleprocessen også i spil, skal resultaterne kunne følge standarderne vil det gøre processen mere krævende og tage længere tid, for at kunne foretage nok gentagelser i hver position så måleusikkerheden kommer ned på et niveau, hvor de kan følge måleusikkerhederne for hver af målemetoderne i standarden. Mens hvis resultaterne blot skal kunne give en ide om hvordan efterklangstiden er for et givent rum, vil måleprocessen kunne gøres mere simple og kortvarig.

Hvis der ses på målinger udført efter standarderne, bruges de normalt mere professionelt og i lovgivnings-sammenhæng, som det er gældende for måling af ekstern støj [20]. Derfor skal de også kunne genskabes og sikres at resultatet er præcist nok til at kunne lave godkendelser ud fra.

Der er ikke brug for den samme præcision for at kunne give en ide om hvor lang efterklangstiden er i et givent rum. Derfor er det ikke være nødvendigt at lave målinger efter standarderne, da resultaterne blot skal bruges til at kunne give en ide om efterklangstiderne for et givent rum- I denne vurdering kan informationer om indretning og rumudførelse ligeledes medtages. I denne sammenhæng vil mange målinger med lav præcision være mere givende end få målinger med høj præcision.

For at kunne indsamle mange resultater vil det sætte krav til måleprocessen, da den skal være nem og kortvarig, samt selve udstyret skal være nemt tilgængeligt. Herigennem er ønsket at flere personer vil udføre målingen, og der derved kunne indsamlet flere målinger. Til dette formål vil smartphones være oplagt, da mange har deres lettilgængelig, fordelene ved at bruge en smartphone er også at den kan kommunikere

med andre enheder som højttaler, men også har en indbygget højttaler selv. Derved er der kun behov for en enhed for at kunne udføre målingerne.

Det skal dog forventes at der vil være forskellighed i resultaterne, da smartphones variere meget fra producent til producent, på grund af forskellige mikrofon- og højttalerenheder i deres smartphones, samt designet og alderen af smartphonen også har stor indvirkning. I Appendix A er der udført en mindre undersøgelse af opbygning af forskellige smartphones, både nyere og ældre smartphones. Ud fra forskelligheden mellem modellerne kan det være svært at udarbejde en ens analysemetode for alle de indsamlede optagelser, på grund af de forskellige kvaliteter, filtyper og komprimering hver af producenterne bruger i deres smartphones. For at sikre at nogen af kvaliteterne er ens for optagelserne, vil det kræve at der benyttes en lydoptager hvor nogen af parametrene kan styres, som samplefrekvens og filformat.

Ud fra disse forventningsafstemninger og begrænsninger til resultaterne og målemetoden er det nu muligt at opsætte en kravspecifikation.

Kapitel 4 Opsættelse af krav til udførelse af optagelserne og analyse

I kravspecifikation vil de før omtalte forventninger til resultaterne blive stillet som krav til målemetoden, kravene vil både tage udgangspunkt i standarden ISO 3382-2:2008 og krav der stilles direkte til målemetoden. Kravene med udgangspunkt i standarden vil ikke følge standarden præcist, men standarden vil blive brugt som en idegiver/inspiration til kravene for målemetoden. Kravene vil først blive præsenteret og derefter blive gennemgået, kravene er delt op i to kategorier, en for tekniske krav og en for funktionelle krav. I Tabel 4.1 er kravene oplistet, hvor nogen af kravene vil have tolerancer, da meningen med kravene er at sørge for at målingerne bliver foretaget på en ens måde og bliver analyseret ens. Resultaterne vil derfor ikke blive testet op mod kravene men vil blive brugt som en måde til at teste hvor gode resultater der kan opnås med udstyr til efterklangsmålinger der er tilgængeligt i en almindelig dansk bolig.

Tabel 4.1 Liste over kravene til målemetoden, samt udførelse af målingerne.

Krav nummer	Beskrivelse	Krav	Minimum	Maksimum
Tekniske krav				
1	Filtype	.wav fil		
2	Sample frekvens		10000 Hz	
3	Frekvens område til analyse af målinger		3 sammenhængende 1/3 oktavbånd eller en 1/1 oktavbånd	100 Hz - 5000 Hz
4	Lydsignal	Chirp signal	100 Hz - 5000 Hz	
5	Efterklangstidsestimat		T_{20}	T_{30}
6	Frekvensbånds opdelingen	1/3 oktav bånd		
7	Antal målepositioner i rummet		2 position	
8	Antal gentagelser i hver måleposition		2	
Funktionelle krav				
9	Hvor lang tid må måleprocessen tage			30 minutter

Sektion 4.1 De tekniske krav:

Kravene nummer 1 og 2 er stillet for at gøre optagelserne entydige og ikke have forskellige filer der skal analyseres. Filtypen er valgt ud fra at det er en lydfil som er brugt bredt og ikke har nogen komprimering inkluderet, som er tilfældet hvis der bliver benyttet .mp3 eller .m4v fil typerne. Filtypen .wav er den rå lydoptagelse, ulempen ved at det er den rå lydoptagelse der bliver lagret, og dermed fylder mere end .mp3 og .m4v filerne. Dette er dog en nødvendighed for at sikre at lydinformationen til analysen er i optagelserne. I forhold til sample frekvensen er den valgt til at være minimum 10000 Hz, da den maksimale frekvens der skal samples er 5000 Hz, og sample frekvens skal som minimum være to gange maksimalfrekvensen for optagelsen. Dette er dog også forbundet med frekvensområdet der bruges i lydsignalet, da hvis den forhøjes skal sample frekvensen også forhøjes tilsvarende dobbelt så meget.

For kravene nummer 3 og 4 er der ligeledes en sammenhæng mellem, kravet nummer 4 er stillet som en kombination af frekvensområdet for efterklangsmålinger defineret i standarden og forventningerne til

målingerne udført med den foreslået målemetode. Frekvensområdet er valgt til at dække helt frekvensområdet defineret af precision metoden fra standarden ISO 3382-2, for ikke at aflukke mulighederne for at der kan indhentes data for hele området. Derfor er kravet nummer 3 også opstillet på den måde som det lyder, maksimumskravet er fastsat til at dække hele frekvensområdet for testsignalet. Ligeledes er der også fastsat et minimumskrav for frekvensområdet hvor analysen skal foretages ved, dette krav er stillet for at kunne skille ikke brugbare efterklangsmålinger fra, og sikrer at målinger der ikke kan dække hele frekvensområdet med pålidelige efterklangsestimeringer ikke vil blive udelukket for datasamlingen. Minimumskravet lyder dog på at efterklangsmålingen skal have tre sammenhængende 1/3 oktavbånd eller et 1/1 oktavbånd, hvor estimeringerne ikke bliver vurderet som værende tydelig overestimeret, her vil der blive foretaget en evaluering af efterklangstiderne for den pågældende måling, hvor de vil blive holdt op imod referencemålinger og viden om rummet.

Kravene nummer 5, 6, 7 og 8 bliver brugt til selve analysedelen, som det fremgår i standarden ISO 3382-2:2008 anbefaler der at bruge T_{20} til estimering af efterklangstiden, da det ikke kræver et højt lydtryk for at få en god estimering. Derfor vil T_{20} blive brugt som udgangspunkt, dog vil T_{30} også kunne bruges hvis lydtrykket er højt nok for en måling. I standarden er det også specificeret hvilke oktav opdeling frekvensområdet skal have, her vil 1/3 oktav bånd blive brugt fra engineering og precision metoderne. 1/3 oktav bånd er valgt for få mere detaljeret efterklangstider for hvert målt rum, samt det forventes ikke at alle højtalerenhederne brugt til målingerne kan dække hele frekvensområdet og derfor kan efterklangstiderne koncentreres indenfor et mindre frekvensbånd. Krav nummer 7 er valgt for at sikre at måleprocessen er så nem som muligt, derfor bruges her survey metoden fra standarden som udgangspunkt. I survey metoden bruges der som minimum to målepositioner i rummet, da der ikke er behov for at målingerne følger standarden præcist vil der ikke blive sat krav til hvordan målepositionerne vælges og placeres. For at forbedre resultaterne er det også i krav nummer 8 valgt at der skal udføres to gentagelser af målingen i hver position. Dette er valgt for at forbedre signal-støj forholdet og sikre at der er nok information fra det målte rum, til at kunne estimere efterklangstiden.

Sektion 4.2 De funktionelle krav:

Det sidste krav nummer 9 er et funktionelt krav, i kravet ligger lidt mere end beskrevet i tabellen ovenfor. Kravet lyder at hele måleprocessen ikke må tage mere end 30 minutter, dette er begrundet at målingen ikke skal være for krævende for beboerne at udføre eller tage for lang tid. I måleprocessen er der inkluderet dataindsamlingen omkring rummet og selve udførelsen af målingen. Derfor skal indsamlingen af data holdes til et minimum, hvilket betyder at den data der skal indsamles, skal være den mængde data der er behov for til analysen. Derudover skal målingen også holdes kort og nem, dette er ligeledes kort beskrevet i de tekniske krav om antallet af målepositioner, gentagelser i hver position og målesignalet.

Målesignalet skal også opbygges så der kun er behov for at afspille en lydsekvens, så gentagelserne skal bygges sammen så beboeren kun skal trykke en gang på afspil for hver måleposition.

Kapitel 5 Opstilling af metoderne til udførelse af målinger og analyser

Nu hvor problemformuleringen og kravene er beskrevet og opsat, vil løsningsprocessen påbegyndes. For at kunne finde en løsning til problemet, skal der først udarbejdes en løsningsmetode til problemet, denne løsningsmetode vil blive fundet og beskrevet over de næste sektioner. Løsningsmetoderne vil blive delt op i tre områder, det første område omhandler metoden til udførelse af målingen på en smartphone, den næste sektion vil omhandle analysemetoden til evaluering af målingerne, og den sidste sektion vil omhandle metoden til måling af referenceefterklangsmålinger.

Sektion 5.1 Valg af metoden til udførelse af målinger

I denne sektion vil metoderne til optagelse af lydsignalet, afspilning af lydsignal og opbygningen af lydsignalet blive gennemgået og valgt, som en start vil optagermetoderne blive undersøgt og bestemt.

5.1.1 Valg af metode til optagelse på smartphone

Det er kort beskrevet i Sektion 3.2 og i Sektion 4.1 at efterklangsmålingerne vil blive udføres med udstyr der er tilgængeligt i almindelige danske boliger. I Sektion 3.2 blev optagerenheden afgrænset til smartphones, da det er en lettilgængelig enhed og næsten alle danske husstande har en smartphone [18]. Problemet med at bruge en smartphone som optagerenhed er, at hver producent har hver deres bud på en optagerapplikation, hvilket gør at målingerne ikke kan forventes at komme i samme kvalitet. De fleste optagerapplikationer benytter en form for komprimeret lydfilstype, som .AAC, .mp3, .m4v eller lignede, hvor lydoptagelserne mister en del af deres data. Fordelen ved at bruge en komprimeret lydfilstype er, at optagelserne kræver mindre plads på smartphones hukommelse, og at applikationerne mest bliver brugt som diktafoner til optagelse af tale eller lignede, og derfor ikke til akustiske målinger. Det er beskrevet i Sektion 4.1, at filtypen .wav har fordelen at det er en rå lydoptagelse og derved ikke har nogen form for komprimering, hvilket gør at lydfilen er mere oplagt til akustiske målinger, da intet data vil gå tabt.

Problemet ved at bruge .wav som filtypen for optagelserne er, at filtypen ikke er en normal standard for de fleste optagerapplikationer til smartphones. Dette gør at der kun er to måder til udførelsen af optagelserne til efterklangsmålinger, enten skal der findes en applikation til smartphones der kan udføre optagelser i .wav-filer, en anden mulighed er at udarbejde en måde hvorpå det er muligt at lave en optagelse på en smartphone i .wav-filer. Den nemmeste måde vil være at finde en applikation der kan lave optagelser i .wav-filer, dog vil det kunne give udfordringer i forhold til at beboerne er nødsaget til at installere en ny applikation for at kunne foretage målingerne. For at undgå at beboerne skal installere noget nyt på deres smartphone, kunne en mulighed være at gøre brug af HTML5, hvor det er muligt at kunne udføre optagelser og afspilninger af lyd direkte i en internetbrowser, hvilket også er muligt på smartphones. Da dette projekt er et "proof of concept" for at der findes en metode til at udføre efterklangsmålinger med udstyr der er tilgængeligt i en almindelig dansk bolig, er det derfor valgt at gøre brug af den nemmere løsning hvor der vil blive fundet en optagerapplikation der kan optage i .wav-filer. Dette er valgt for at hurtigere kunne få målemetoden ud til afprøvning, og fordi at målemetoden ikke vil ændre sig i forhold til hvordan optagelserne på smartphonen bliver udført.

For at gøre målemetoden så uniform som muligt for både Android og iOS styresystemerne, er der fundet en optagerapplikation der er udviklet til begge styresystemer. Applikationen hedder "Awesome Voice Recorder" (AVR) der er skabt af Newkline Co., Ltd. Udover at applikationen er udgivet til både Android og iOS, er det også muligt at ændre filtypen, samplefrekvens og spormængden. AVR er gratis til begge styresystemer, samt simpel at navigere rundt i og har mulighed for at dele optagelserne gennem flere veje.

For at gøre målingen så nem som muligt for beboerne er det valgt at holde de fleste af indstillingerne som standard, da de fleste standardindstillingerne overholder kravene fremsat i Kapitel 4. For Android-versionen vil det betyde at optagelserne er optaget som .wav-filer, har en samplefrekvens på 44100 Hz. For iOS er samplefrekvens den samme som for Android som standard, lydfilen er dog sat til .m4v, hvilket skal ændres til .wav der kan gøres ved et tryk i indstillingerne. Samplingerne er samlet i 16 bit per spor for begge styresystemer, da optagelserne foretages i stereo, betyder det at hver sampling kommer til at være 32 bit med 16 bit til hvert spor. Optagelsen foretages på samme måde i AVR for begge styresystemer, i Appendiks B er der lavet en gennemgang af applikationen for begge styresystemer.

5.1.2 Valg af metode til afspilning af lydsignal

Nu hvor optagelsesmetoden er fundet, skal afspilningsmetoden for lydsignalet findes, som beskrevet i kravene i Kapitel 4 skal lydsignalet der bruges til målingerne være et chirp signal med et frekvensområde på 100 Hz - 5000 Hz som minimum, hvilket også sætter krav til afspillerenheden. Da lydsignalet kræver at det afspilles gennem en form for højttaler i rummet, skal denne højttalerenhed først findes. På grund af den udvidelse af elektriske apparater der er i almindelige danske boliger, er der flere muligheder for at finde en brugbar højttaler hvor der kan laves en afspilning af et lydsignal på. I Sektion 3.1 er der nævnt at der er begyndt en større udbredelse af mindre trådløse højttaler i normale boliger, hvilket vil være oplagt at bruge til afspilningen af lydsignalet. Ulempen ved at opbygge metoden om brugen af mindre højttalere eller anden form for højttaler, er at det ikke kan sikres at der er selvstående højttaler til stede i en almindelig bolig og det kan ligeledes komplicere udførelsen af målingen for beboeren.

Grundet denne usikkerhed ved at opbygge afspilningsmetoden omkring en højttaler der måske ikke er til stede i boligen, er det mere oplagt at bruge en højttaler til afspilningen som med sikkerhed er til stede i boligen ved udførelse af målingen. Smartphones har som tidligere nævnt indbygget højttaler, mængden af højttalerne er dog meget forskellig fra producent til producent som vist i undersøgelsen foretaget i Appendiks A. Problemet ved at bruge en indbygget højttaler er at de er små og det derfor kan være problematisk at afspille frekvenser ned til 100 Hz som er minimumskravet for chirp signalet. I Sektion 3.2 er det nævnt at selvom at optagelserne fra smartphonen kun dækker et mindre frekvensområde vil målingen stadig kunne bruges, det eneste er at optagelserne skal kunne opfylde kravene, her i blandt krav nummer 3, hvor minimumskravet for frekvensområdet i analysen er fastsat. Derfor er det valgt at acceptere at der er mulighed for at ikke alle indbygget højttaler i smartphone vil kunne afspille frekvenser ned omkring 100 Hz, men at de stadig vil kunne give resultater for andre frekvensområder.

Da applikationen brugt til optagelse af lydsignalet, kan optage lyd i baggrunden mens en anden applikation afspiller et lydsignal, vil det ikke være et problem at bruge samme smartphone som både afspiller- og optagerenhed. Der er dog andre aspekter der skal undersøges for at sikre at det er muligt at bruge smartphonen som både optager og afspiller enhed. Disse aspekter er belyst i Appendiks B, hvor der udføres indledende undersøgelse om det er muligt at bruge smartphonen som afspiller og optager på engang. Disse undersøgelser viser at smartphonesene kan bruges til at udføre en måling, dog med mindre måleusikkerheder for resultaterne. Måleusikkerhederne kommer i form af at det kun er en af de indbygget mikrofoner der kan bruges til at udføre målingen, da den anden mikrofon i de fleste smartphones er placeret umiddelbart ved siden af højttaleren hvilket gør, at det ikke er muligt at skelne højttalerresponset fra rumeffekterne.

5.1.3 Valg af lydsignal

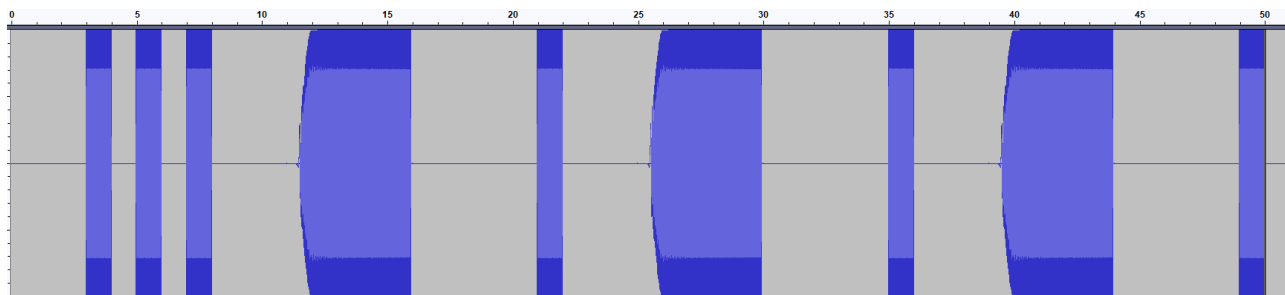
Nu hvor metoderne til optagelse og afspilning af lydsignalet er fundet, kan lydsignalet defineres som beskrevet i kravene. Lydsignalet skal følge følgende krav, lydsignalet skal være et chirp signal med frekvensområdet 100 Hz - 5000 Hz som minimum. Dette minimumskrav er også brugt i standarden [15], hvor området er defineret som minimumsområdet for centerfrekvenser i oktavbånd. Dermed vil området i praktisk

være breder end dette område. For at sikre afspilningen starter før minimumsfrekvensen vil lydsignalet have en nedre flanke ved 80 Hz, mens for at sikre at der er nok luft ved minimumskravet for den højeste frekvens vælges det at udvide den øvre flanke til 6000 Hz. Dermed vil frekvensområdet for lydsignalet være defineret til 80 Hz - 6000 Hz, dette vil dække mere end 1/3 oktavbåndene med centre frekvenser på 100 Hz og 5000 Hz.

Lydsignalet er i kravene bestemt til at være et chirp signal, hvilket kan være enten et lineær sine sweep eller et eksponentielt sine sweep. Fordelen ved at bruge et lineær sine sweep er at der bruges lige meget tid for alle frekvenser i signalet, hvilket kan være en fordel i visse situationer. Det er dog for denne situation gældende at højttaleren brugt til afspilningen med stor sandsynlighed vil have svært ved at afspille de laveste frekvenser i lydsignalet, hvilket kan give forvrængning i afspilningen, hvilket vil tale mod at bruge et eksponentielt sine sweep, da det eksponentielle sine sweep bruger mere tid i de laveste frekvenser. Det skal dog også medtages i valget af lydsignal, at det er valgt at analysen skal udført i 1/3 oktavbånd, hvilket betyder, at hvis der bruges et lineært sine sweep vil der ikke blive afsat samme mængde tid til alle 1/3 oktavbåndene, men det er situationen for eksponentielt sine sweep. Derfor vil eksponentielt sine sweep være mest oplagte at bruge til disse målinger for at give bedst mulighed for analysen.

I kravene er der ligeledes opsat et minimumskrav for hvor mange gentagelser der skal være for hver måleposition. For at gøre måleprocessen så simpel som muligt for beboeren, vil lydsignalet blive designet med disse gentagelser inkluderet. For at forberede smartphonens AGC, vil der blive udført 3 gentagelser, hvor den første afspilning af lydsignalet ikke vil blive benyttet i analysen, derimod vil kun de sidste to gentagelser blive brugt til estimeringen af efterklangtid.

I Figur 5.1 er det samlede lydsignal med de tre gentagelser illustreret, hvor det kan ses at der er blevet indsat små, bider af 500 Hz toner før og efter hver gentagelse. Disse mærker vil blive brugt som tidsstempler i optagelserne, da det ikke kan sikres at alle de tilbagemeldte optagelser er startet og sluttet på samme tidspunkt. De tre korte toner i starten af sekvensen er en indikation til operatøren om at målesignalerne starter kort efterfølgende. Den samlede længde af hele lydsignalet med de tre gentagelser samt tidsstemplerne er 48 sekunder lang, hvilket kan vurderes til at være en passende længde på målesignalet da det er et kompromis mellem længden af målingen og signal-støj forholdsforbedring i form af gentagelserne i lydsignalet.



Figur 5.1 Illustration af det samlede lydsignal med de tre gentagelser.

Valgt med et sine sweep som lydsignal medfører at skal der udføres en affoldning af det optagede lydsignal, for at kunne få et impulsrespons fra optagelserne. Problemet med en affoldning er at der kan bruges to signaler, det ene signal skal være en optagelse foretaget i målerummet, hvor signalet indeholder både højttalerresponsen og effekter fra rummet. Det andet signal skal være et højttalerrespons uden rumeffekter, normalt bliver et højttalerrespons målt i et lyddødt rum. Der er dog også alternativer til et højttalerrespons, hvilket inkluderer det rå signal som afspilles gennem højttaleren. Hvis det rå signal bruges til affoldningen er der risiko for at forstærke frekvenser hvor højttaleren ikke kan genere lyd. Risikoen kommer af, at

affoldningen fungere som er en division mellem de to signaler som vist i Ligning 5.1. Hvor $x(f)$ er signalet uden rumeffekter og $y(f)$ er signalet med rumeffekter, outputtet fra funktionen $h(f)$ er impulsresponsen fra optagelsen. Affoldningen er udført i frekvensdomænet for at simplificere beregningen, hvis affoldningen bliver udført i tidsdomænet vil divisionen være en vektordivision.

Ligning 5.1 Funktion til affoldning af sine sweep signaler for at finde impulsresponsen.

$$h(f) = \frac{y(f)}{x(f)}$$

På grund af divisionen vil en sampling meget tæt på nul i $x(f)$, kunne blive forstærket meget i $h(f)$, hvis den tilsvarende sampling er meget høj i $y(f)$. Derfor vil det være mere sikret at gøre brug af et højttalerrespons, især for dette projekt, da det ikke kan sikres at højttalerenhederne hverken er ens eller kan afspille frekvenser ned til 100 Hz. Derfor skal der udarbejdes en metode til at højttalerresponsen i en almindelig dansk bolig, der normalt ikke inkluderer et lyddødt rum. En løsning til dette problem kan være ved at finde et alternativ til et lyddødt rum, hvor effekterne kan simuleres. For høje frekvenser er effekten ikke svær at genskabe da bølgelængden af disse frekvenser er meget kortere end for lave frekvenser der har lange bølgelængder. Bølgelængden for en frekvens kan beregnes som givet i Ligning 5.2, hvor λ er bølgelængden, c er lydens hastighed i luft som er i dette tilfælde, er valgt til 343 m/s og f er frekvensen hvor bølgelængden regnes for. I Tabel 5.1 er bølgelængderne beregnet for flankefrekvenserne for både lydsignalet og frekvensområdet der analyseres over, for at kunne give en indikation af hvor lange bølgelængderne er.

Ligning 5.2 Funktion til beregning af bølgelængde.

$$\lambda = \frac{c}{f} [m]$$

Tabel 5.1 Oversigt over bølgelængder for hver af grænse frekvenserne.

Frekvens (f) [Hz]	Bølgelængde (λ) [m]
80	4,288
100	3,430
5000	0,069
6000	0,057

For at kunne opnå samme effekt som i et lyddødt rum, vil det betyde at materialet i princippet skal være minimum 2,144 meter tykt for at der ikke opstår refleksioner fra 80 Hz lydbølger, da materialet kun har behov for at være halv så tykt som bølgelængden.

Det vil ikke kunne forventes at et absorptionsmateriale med denne tykkelse kan findes i en almindelig bolig, der kan dog være mulighed for at finde et isolerende materiale have en dæmpende effekt over for både lav og høje frekvenser. Det er ikke kun et isolerende materiale der kan bruges til at give en dæmpende effekt, men også bløde materialer og materialer med lufthuller, kan give en lyddæmpende effekt. Dæmpende materialer er nemmere at finde, da større møbler som senge eller sofaer tit er bygget af dæmpende materialer, problemet med store møbler er at de ikke nemt kan bygge et lukket rum. Et andet dæmpende materiale, der benyttes til at dække reflekterende overflader i lyddøde rum under professionelle målinger, er vat, tæpper og dyner. Disse tre materialer er nemmere at konstruere et lukket rum af, hvor der kan placeres en smartphone i, samt det kan forventes at der er større sandsynlighed for at de indgår i en almindelig husholdning. Ud af de tre muligheder er en dyne det bedste bud på et godt lyddæmpende materiale, der er ligeledes stor sandsynlighed for at en dyne er inkluderet i en almindelig dansk bolig.

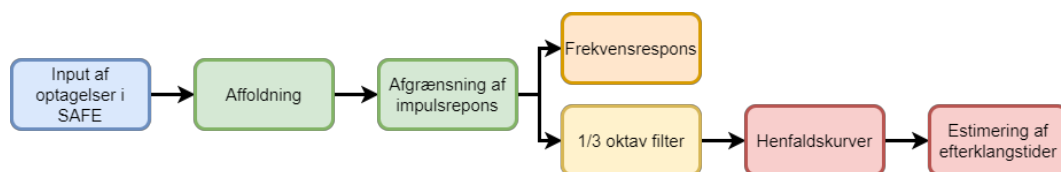
Højttalerresponset vil blive fundet på samme måde som højttalerresponser normalt bliver fundet, ved at lave en afspilning af det samme lydssignal som der benyttes til den specifikke måling, blot under en dyne frem for i et lyddødt rum. Afspilningen skal ligeledes optages, her vil der blive benyttet samme metode som under selve efterklangsmålingen, hvilket betyder at smartphonen også vil være optageenheden. Optagelsen vil herefter blive brugt som højttalerrespons eller $x(f)$ i affoldningsfunktionen.

Nu hvor metoderne til udførelse af målingerne er fundet kan metoderne til udførelse af analysedelen blive fundet og beskrevet i den følgende sektion.

Sektion 5.2 Analysemetode til evaluering af målinger

Analysen af de indsamlet optagelser vil blive udført i måleprogrammet SAFE, måleprogrammet er udviklet af Encida. SAFE kan bruges til at udføre akustiske målinger direkte i programmet, samt har mulighed for at udføres analyse på de målte akustiske målinger. Yderligere er det muligt at analysere optagelser målt udenfor programmet, den funktion vil blive benyttet til at analysere de indsamlet efterklangsmålinger. SAFE er bygget op omkring blokke som kædes sammen, hvor hver blok har en specifik funktion og har den nødvendige kodning for kunne udføre denne funktion.

Analysen vil blive delt op i mindre områder for at gøre beskrivelse mere simpelt og nemmere at følge. I Figur 5.2 er de syv analysedele illustreret, de tre første blokke bruges til at finde impulsresponserne der senere bruges til at estimere efterklangstiderne. De sidste fire blokke bruges til at finde frekvensresponsen for hver af impulsresponserne, og udføre en oktavfiltrering af impulsresponserne som derefter benyttes til at estimeringen af efterklangstiderne for hver 1/3 oktavbånd.

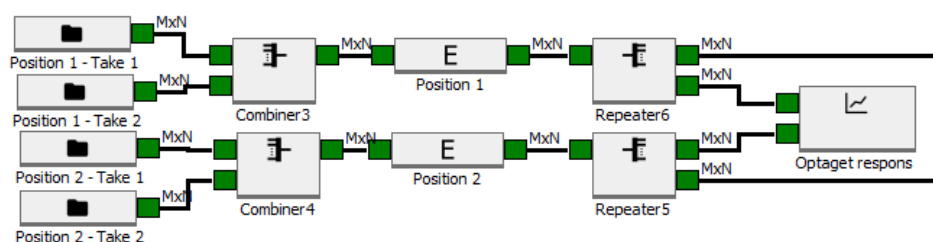


Figur 5.2 Illustration af analysemetoden.

5.2.1 Klargøre de indsamlet optagelser til analyse

Da optagelserne er opbygget omkring tre gentagelser af lydssignalet, er det nødvendigt at separere gentagelserne. Til at separeringen vil tidsstemplerne imellem gentagelserne blive brugt, da SAFE ikke har funktion til søgning af tidsstempler, vil separationen blive gjort manuelt. Til den manuelle separation vil lydredigeringsprogrammet Audacity blive brugt, i Audacity er det muligt at klippe i lydfiler, samt dele et stereospor op i to monospor. De separeret optagelser har en længde på 12 sekunder svarende til 529200 samples, to sekunder stilhed inden sine sweepet startes, fem sekunder sine sweep og fem sekunder stilhed efter sine sweepet. Når optagelserne er delt op, kan de herefter importeres til SAFE, hvor selve analysen kan påbegyndes.

I Figur 5.3 er funktionen til import af optagelserne i SAFE illustreret, først i diagrammet bliver de opdelte optagelser importeret, hvor Take 1 og Take 2 indikere de to gentagelser i hver position. I SAFE er hvert signal en vektor, hvor der er muligt for at simplificere analysen ved at kombinere vektorerne til en matrix, dette kan gøres ved at bruge blokken "Combiner#". De rå optagelserne bliver først plottet, for at kunne efterse optagelserne for uønsket artefakter hvis det vurderes nødvendigt senere i analysen, optagelserne bliver samtidig sendt videre til affoldningen. "Repeater#" blokken er her brugt for at kunne lave en kopi af indgangen, hvor det derfor er muligt at sende optagelserne videre til to blokke, affoldningsprocessen vil blive beskrevet i den følgende undersektion.



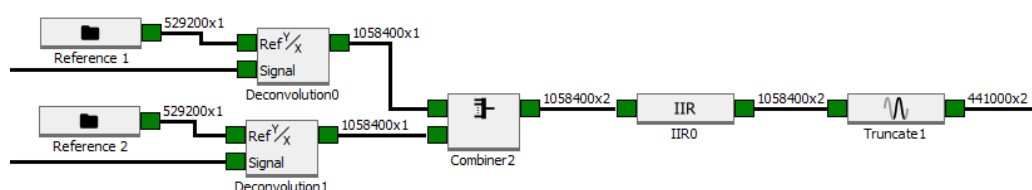
Figur 5.3 Illustration af importfasen af analysen.

5.2.2 Udførelse af affoldning og afgrænsning af impulsresponsene

Nu hvor optagelserne er importeret i SAFE kan impulsresponsene findes, dette gøres ved at bruge højttalerresponsene der optages under målingerne. Højttalerresponsene skal ligeledes separeres før de kan bruges til affoldningen, separationen er udført på samme måde som for separationen af optagelserne i hver position.

Til affoldningen har SAFE en funktionsblok kaldet "Deconvolution#", som kan udføre divisionen mellem et lydsignal og et referencesignal, der i dette tilfælde er et højttalerrespons. I Figur 5.4 er affoldningsfasen illustreret ved først i diagrammet tages signalerne fra Figur 5.3 og de to højttalerrespons kobles til affoldningsblokken, efter affoldningen sendes impulsresponsene gennem et lav pas filter for at kunne fjerne artefakterne fra højfrekvent støj. Lavpas-fileret er konstrueret som et Butterworth IIR-filter (Infinite impulse response), som har en pasfrekvens på 16000 Hz og en stopfrekvens på 20000 Hz.

Efterfølgende udføres der en trunkering for forlængelsen af affoldningen, da affoldningen af signalerne gør impulsresponsen til dobbelt længde, i form af zero padding. Det kan ske at der i denne ny tilføjede del er artefakter der interferer med den videre analysering, derfor trunkeres impulsresponsene til kun at videregende de første ti sekunder af signalet, hvilket både indeholder impulsresponsen og det efterfølgende henfald af impulsen. Grunden til at der kun bliver afgrænset til de første 10 sekunder af hvert impulsrespons på nuværende punkt i analysen, er at den mere nøjagtige afgrænsning af impulsresponsene vil blive udført i den følgende blok af analysen.



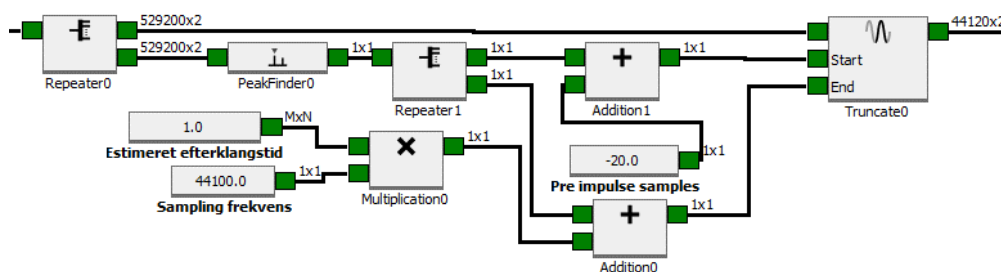
Figur 5.4 Illustration af affoldningsfasen af analysen.

Efter den første trunkering er udført vil den mere præcise afgrænsning omkring impulsresponsen blive foretaget, ved at gøre brug af søgefunktionen "PeakFinder#" der finder samlingen med det højeste peak i impulsresponsen.

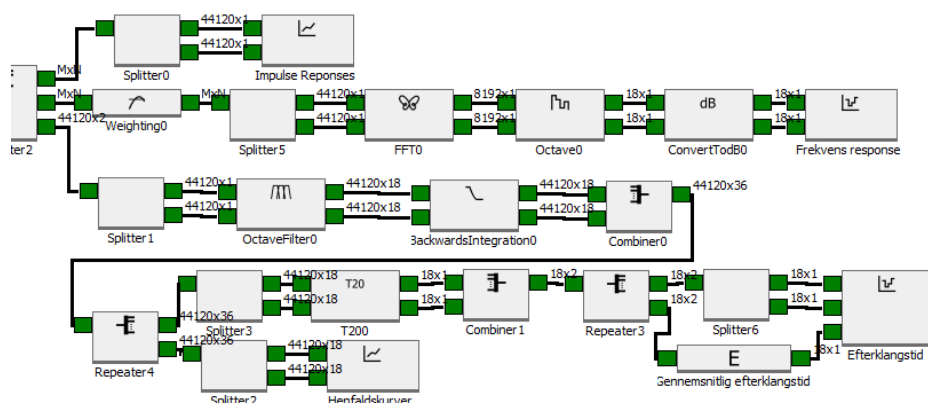
I Figur 5.5 er afgrænsningsfunktionen illustreret, hvor diagrammet starter med tilpasningsfunktionen "PeakAlignment#" der får peakene i responserne til at have samme indeks. Herefter udføres der en trunkering af impulsresponsen, hvor start og stoppunktet er bestemt ud fra et estimat af efterklangstiden og hvor peaket i responserne er placeret. For at sikre at intet data går tabt er trunkeringen sat til at starte 20 samples inden peaket. Stoppunktet bliver bestemt ud fra en teoretisk estimering af efterklangstiden, for at sikre at hele henfaldet bliver taget med, vil efterklangstiden her blive overestimeret lidt.

Ligning 5.3 Sabines formel til estimering af efterklangstid.

$$T_{60} = \frac{V \cdot 0,16}{\sum \alpha_i \cdot S_i} \text{ [s]}$$



Efter afgrænsning deles analysen i tre grene, først gren er hvor impulsresponsen bliver plottet, ad den anden gren bliver der udregnet et frekvensrespons der benyttes til at evaluere artefakter der kan ses i estimeringen af efterklangen, ad den sidste gren bliver efterklangstiden estimeret. De tre delinger er illustreret på Figur 5.6, hvor øverst er plotningen af impulsresponsen, i midten beregnes frekvensresponsen og nederst er beregningen af henfaldskurverne.

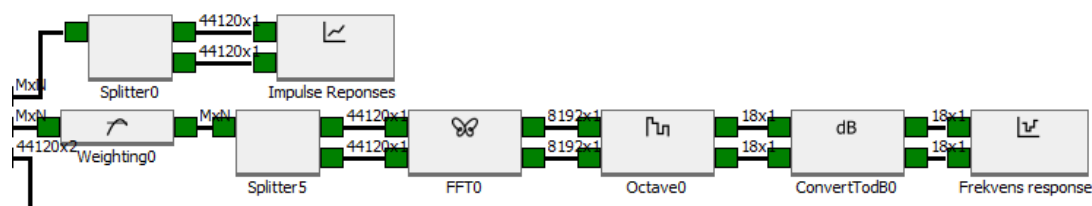


Figur 5.6 Illustration af den sidste del af analysen af hver måling.

Ad de to første grene bliver impulsresponset plottet, det er kun de afkortede impulsresponses der bliver plottet. For at få impulsresponserne plottet i hver sin farve er blokken "Splitter#" brugt, der tager en matrix

ind og splitter den op i vektorer igen. Til plotningen bruges funktionsblokken "LinePlot#", der på illustrationerne er omdøbt til "Impulsresponses", funktionen plotter blot hver vektor i tid.

Den anden gren er hvor beregningen af frekvensresponsen for hver af impulsresponsen bliver udført, til beregningen af frekvensresponsen bruges Fast Fourier transformering (FFT), for at transformere impulsresponsen fra tidsdomæne til frekvensdomæne. Ydermere er det valgt at udføre en oktavanalyse på frekvensresponsen for at simplificere plottene, samt konvertere y-aksen i plottet til dB, de to grene er illustreret i Figur 5.7.



Figur 5.7 Illustration af funktionerne til plotning af impulsresponsen og beregning af frekvensresponsen.

Til udførelsen af FFT-processen er der valgt at bruge et Hanning vindue, med 4410 taps, hvor der bruges et overlap på 552 taps. Dette er valgt da der kun er behov for et simpelt frekvensrespons, blot til at kunne give en ide om hvilke frekvenser der er til stede i hver optagelse. Da frekvensresponsen er 1/3 oktavfiltret efter FFTen er udført, er der ikke behov for en god frekvensopløsning, mens amplituden for hver frekvens er vigtigere, derfor er Hanning vinduet valgt da det har en bred hovedsløjfe og har lav amplitude for sidesløjferne [21]. Størrelsen af vindue funktionen er valgt på baggrund af den laveste frekvens der er behov for at kunne finde, hvilket er valgt til at være 50 Hz for at sikre at alle frekvenserne i impulsresponsen kan findes. Ved at bruge 50 Hz som minimumfrekvensen for FFTen giver det en vinduestørrelse på 4410 taps ved at bruge funktionen i Ligning 5.4, hvor WS er vinduestørrelsen, F_s er samplefrekvensen og f_0 er den laveste frekvens der vil kunne opfanges [22]. Overlappet af vinduerne er valgt til at være $\frac{1}{8}$ af vinduestørrelsen hvilket giver $\frac{4410}{8} = 551,25 \approx 552$.

Ligning 5.4 Funktion til bestemmelse af vinduestørrelse.

$$WS = 5 \cdot \frac{F_s}{f_0}$$

For at simplificere frekvensresponsen er det valgt at der skal udføres en oktav analyse efter FFT-funktionen, oktavanalysen er designet efter standarden DS/EN 61260-1 [23], hvor blokken fungerer i både tidsdomæne og frekvensdomæne. Frekvensresponsen vil blive delt op i 1/3 oktav bånd, for frekvensområdet 100 Hz-5000 Hz, hvilket er det samme frekvensområde der vil blive benyttet til efterklangsestimeringerne. Da optagelserne ikke er kalibreret evaluere SAFE optagelser ud fra full-scale, hvilket gør det svært at kunne sammenligne med andre optagelser af andre smartphone, da hver smartphone har forskellige forstærkninger på optagelserne. Derfor er det valgt at A-vægte impulsresponsen for at mindske effekten fra de individuelle forstærkninger for hver smartphone. dB blokken i Figur 5.7 er brugt til at få resultaterne givet i dB frem for full-scale over full-scale.

5.2.4 Beregning af henfaldskurverne og estimering af efterklangstider

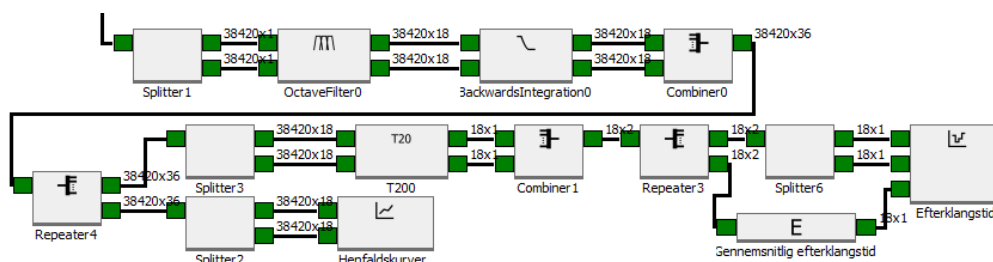
Den sidste af de tre grene er hvor efterklangstiderne bliver estimeret, hele processen er illustreret i Figur 5.8, hvor processen starter med en oktavfiltrering gennem blokken "OctaveFilter#", hvor impulsresponsen bliver filteret i 1/3 oktav bånd. Dette oktavfilter virker kun i tidsdomæne, i modsætning til det

tidligere benyttet, dette filtre er ligeledes designet efter DS/EN 61260-1 [23]. Filteret er opbygget som Butterworth pasbåndsfiltre, filtrene er opbygget med centrefrekvenserne for hver 1/3 oktavbånd, flankerne for oktavfiltret er givet ved 100 Hz og 5000 Hz. Efter oktavfiltreringen beregnes henfaldskurverne ved brug af blokken "BackwardsIntegration#", blokken bruger baglæns integration som beskrevet i standarden [15]. Funktionen for beregning af henfaldskurverne er vist i Ligning 5.5, hvor p er lydtrykket af impulsresponset som en funktion af tid, E er energien af henfaldskurven som en funktion af tid, og t er tid.

Ligning 5.5 Baglæns integrations funktion til beregning af henfaldskurver [15].

$$E(t) = \int_t^{\infty} p^2(\tau) d\tau = \int_{\infty}^t p^2(\tau) d(-\tau)$$

Efter at henfaldskurverne er beregnet for hver af 1/3 oktavbåndene, plottes henfaldskurverne og der udføres en evaluering af dem ved at bruge funktionsblokken "T20#" i SAFE. Da det ikke kan forventes at signalstøj forholdet er godt nok til udførelse af en T_{30} evaluering for alle oktavbånd, vil T_{20} blive benyttet til evalueringen. Funktionsblokken gør brug af least squares fit til at finde en linje der passer bedst til henfaldet fra -5 dB til -25 dB, som beskrevet i Sektion 2.1. Til sidst er efterklangstiderne plottet, her plottes tiderne for begge positioner, samt et regnet gennemsnit for de to positioner.



Figur 5.8 Illustration af beregningen af henfaldskurverne og estimeringen af efterklangstiderne.

Sektion 5.3 Metode til udførelse af reference målinger til evaluering af indsamlet målinger

Efter at efterklangstiderne er estimeret for hver af de indsamlet målinger, vil der blive udført en evaluering af resultaterne. Evalueringen vil blive delt op i to områder, da det ikke vil være muligt at lave reference målinger i alle de målte rum. Derfor vil der blive brugt billeder fra rummet til at kunne lave en evalueringen ud fra møbleringen i rummet samt efterklangstiderne. De steder hvor det er muligt at kunne foretage en reference måling vil der blive udført en, til referencemålingerne vil SAFE blive benyttet.

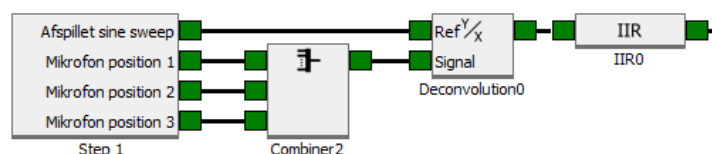
Da SAFE også har mulighed for at udføre akustiske målinger direkte i programmet, vil denne funktion blive brugt til udførelsen af referencemålingerne. Det eneste der er behov for, er en lydkilde, målemikrofoner og et lydkort. Lydkilden kan både være en højttaler hvor der afspilles et målesignal over, som et sine sweep, men kan også være en impulskilde som en ballon der springes. Til referencemålingerne vil begge metoder blive brugt, valget af metoden afhænger af mulighederne der er for den givende situation, hvis det er muligt at have en højttaler til rådighed, vil den blive brugt ellers vil der blive brugt balloner som impulskilde. Målingerne der vil blive udført på Aalborg Universitet, vil blive udført med højttaler da der er højttaler tilgængelige, referencemålingerne i rummene fra de indsamlede målinger vil blive udført med balloner for at minimere mængden af måleudstyr der skal fragtes.

Fælles for de to metoder er at de kan udføres efter standarden for efterklangsmålinger [15], det betyder også at reference målingerne kan give mulighed for at sammenligne resultaterne fra de indsamlet målinger med standardiseret målinger. Hvilket kan vise i hvor høj grad de indsamlet målinger er valide til at kunne give en indikation om hvordan lydforholdene er i de forskellige målte rum, ligeledes se om denne foreslået målemetode kan bruges til at udføre efterklangsmålinger.

5.3.1 Metode til udførelse af reference måling med brug af højttaler som lydkilde

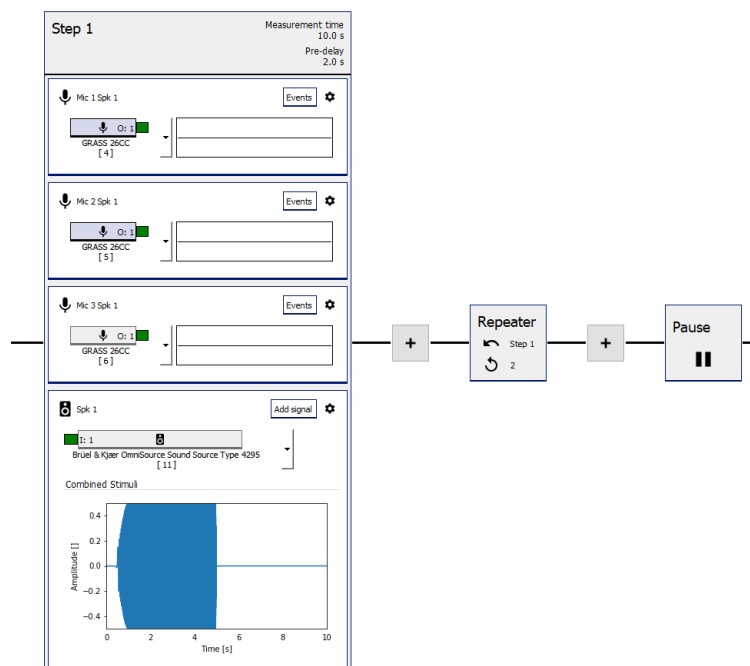
Til den første af metoderne til udførelse af referencemålingerne vil lydkilden være en højttaler. Målingen vil blive udført efter standarden for udførelse af efterklangsmålinger i boliger [15], målingerne vil blive udført efter engineering metoden, da referencemålingerne gerne må have en bedre måleusikkerhed end survey metoden. Det betyder at der minimum skal være to mikrofon positioner og minimum to højttalerpositioner i rummet, hvilket giver en mikrofon-højttaler kombination på minimum seks positioner. Dette betyder at der skal udføres minimum seks målinger for hvert rum. Ligeledes skal hver mikrofon position have en afstand på en meter til både reflekterende overflade, lydkilden og hinanden, som beskrevet i standarden.

Referencemålingerne vil gøre brug af samme målesignal som for de indsamlet målinger, hvilket betyder et eksponentielt sine sweep med frekvensområdet 80 Hz - 6000 Hz. Den eneste forskel der kommer til at være er i analysen, hvor optagelserne allerede er inkluderet. Da sine sweep bruges som lydsignal vil der stadig være behov for et signal til affoldningen, da afspilningen foretages over en højttaler der kan forventes at have et bredder dynamisk område end højttaleren i en smartphone, vil det afspillede sine sweep blive brugt til affoldningen, som illustreret i Figur 5.9.



Figur 5.9 Illustration af affoldningsprocessen for målinger udført i SAFE.

Udførelsen af målingen i SAFE er illustreret i Figur 5.10, hvor målingen fungerer som en blokopbygning med spor for højttaleren og for hver af mikrofonerne der benyttes til målingen. I illustrationen kan det ses at der er tre optagerspor for de tre mikrofoner der bliver brugt til denne demo, samt et spor til højttaleren med det eksponentielt sine sweep der har en længde på fem sekunder og fem sekunder stilhed efterfølgende. For denne metode vil der også blive foretaget en gentagelse af målingen i hver position, hvilket bliver udført ved at bruge blokken "Repeater", efterfulgt af en pause hvor mikrofoner og højttaler kan flyttes til næste opsætning i rummet.



Figur 5.10 Illustration af blok til udførelse af måling i SAFE.

Blokkene vist i Figur 5.10, er kun en af de bloksamlinger der vil blive brugt til referencemålingerne, der vil blive lavet en identisk bloksamling for hver af de forskellige højttaler- og mikrofonpositioner, der er ligeledes mulighed for at tilføje flere mikrofonspor efter behov. Da der til disse målinger skal bruges et lydkort, vil der i målingen også blive inkluderet en opvarmning til lyd kortet for at sikre at det er klar til at både afspille og optage lyd når målingen påbegyndes. Denne opvarmning foregår ved at der køres en blok magen til steppet i Figur 5.10, dog vil optagelsen ikke blive brugt til analysen, hvilket også gælder for metoden til de indsamlede målinger.

5.3.2 Metode til udførelse af reference måling med brug af impulskilde som lydkilde

Når det ikke er muligt at have en højttaler tilgængeligt til at udføre referencemålingerne vil der blive brugt en impulskilde som lydkilde. I standarden [15] er der også beskrevet muligheden for brugen af impuls kilder som lydkilden i efterklangsmålinger, dette er også beskrevet i Seksion 2.3 impuls kilden brugt til referencemålingerne er valgt til at være en ballon der springes.

Målingerne og analysen vil blive udført i SAFE, der er dog ændringer for både målemetoden og for analysen af optagelserne. I målingsprocessen vil triggerfunktionen i SAFE blive brugt, funktionen gør at optagelsen kan centres omkring en impuls i optagelserne, hvilket minimere mængden af lange impulsrespons optagelser. Triggerfunktionen skal bruge en udløser for at starte optagelsen, det er valgt at udløseren skal starte når en lydtryksmåling når et bestemt niveau. En springning af en ballon giver et højt lydtryk, derfor er grænsen sat til 50 dB, for at give mulighed for at operatøren har bevæge sig rundt i rummet uden af starte en optagelse. Afgrænsningen omkring impuls optagelserne er indstillet til at starte optagelsen et sekund inden tidspunktet hvor triggeren udløses og to sekunder efterfølgende, tiderne vil blive revurderet ved hver referencemåling, om der er behov for længere tid.

Optagelserne fra denne metode har ikke behov for en affoldning før henfaldskurverne kan beregnes. Derfor vil analysen starte med et lavpas-filtre for at sørge for at der ikke er højfrekvent støj i optagelserne, efter filtreringen forsætter analysen på samme måde som for de indsamlede målinger hvilket er beskrevet i Seksion 5.2.

Kapitel 6 Indledende undersøgelser af foreslået målemetode

I dette kapitel vil målemetoden beskrevet i Kapitel 5 blive afprøvet på en smartphone, afprøvningen vil inkludere en sammenligning af højtalerespons målt i et lyddødt rum og imellem en sammenfoldet dyne, samt udførelsen af en efterklangsmåling efter metoden beskrevet i Sektion 5.1 og analyse på målingen. Kapitlet er opbygget som indikeret med punkterne herunder:

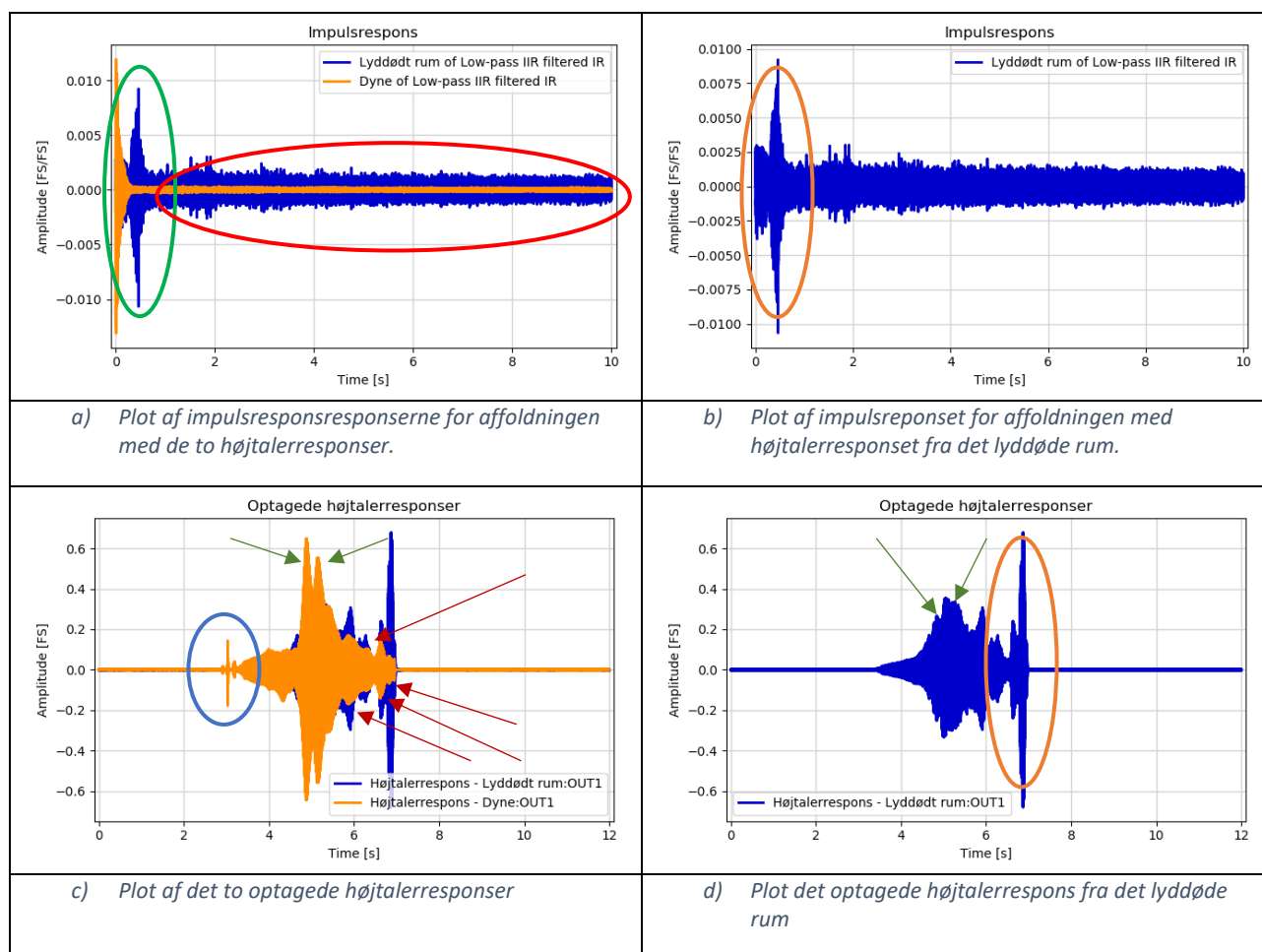
- Undersøgelse af antagelse om højtalerespons målingen
- Undersøgelse af mikrofon placeret tæt på en reflekterende overflade
- Indledende afprøvning af målemetoden

Sektion 6.1 Undersøgelse af antagelse om måling af højtalerespons

Tidligere i projektet er det blevet antaget at der kan måles et højtalerespons der kan bruges til affoldningen, ved at placere en smartphone i en dyne eller andet lyddæmpende materiale. Denne antagelse vil her blive undersøgt ved at der vil blive foretaget en måling af et højtalerespons i både en sammenfoldet dyne og i et lyddødt rum.

For at kunne lave denne sammenligning er der blevet lavet en impulsrespons måling af et rum, ved at bruge metoden beskrevet i Sektion 5.1. Impulsresponsen er målet ved at afspille det beskrevet eksponentielt sine sweep, over en smartphone, hvorefter der ligeledes er målet et højtalerespons i både et lyddødt rum og i en sammenfoldet dyne. Højtaleresponsen i det lyddøde rum er udført i et lyddødt rum på Aalborg Universitet, hvor højtaleresponsen målt i den sammenfoldet dyne er målt i rummet hvor impulsrespons målinger ligeledes er udført i. Målerapporten for målingen er inkluderet i Appendiks C, hvor målingen er udført med en OnePlus 5T smartphone som både optagerenhed og lydkilde på en gang.

Hver af målingerne er foretaget ved at lave en optagelse af en lydsekvens der indeholder tre gentagelser af et eksponentielt sine sweep, hvor der er indlagt fem sekunders stilhed mellem hver gentagelse. Målingerne er udført i både et lyddødt rum, hvor smartphonen har været placeret i hjørnet af rummet i et stativ, og i midten af en sammenfoldet dyne og i en stue. Målingerne er efterfølgende blevet delt op i mindre bider, da optagelserne er foretaget som sammenhængende optagelser for hvert målested. Efterfølgende er målingerne blevet analyseret i SAFE, hvor affoldningen er udført og der er regnet et frekvensrespons. På Figur 6.1 er de to beregnede impulsrespons plottet med henholdsvis et højtalerespons fra det lyddøde rum og højtaleresponsen målt i en sammenfoldet dyne, på figuren er de to optagede højtalerespons ligeledes plottet.



Figur 6.1 Impulsresponsen fra affoldningen med de to højttalerresponser målt i et lyddødt rum og i midten af en sammenfoldet dyne, sammen med de rå optagelser af højttalerresponserne.

Impulsresponsen er meget forskellige, både i selve impulsen til at starte med men også i henfaldet efterfølgende, impulsen for begge de to impulsresponsen er markeret på figuren med den grønne cirkel. Her kan det specielt ses da det orange impulsrespons regnet med højttalerresponset fra dynen, ligner meget mere et rigtigt impulsrespons, mens det blå impulsrespons regnet med højttalerresponset fra det lyddøde rum, der også er plottet alene i b), ikke har samme form, men at der er en senere impuls markeret med den orange cirkel, hvilket kan virke til at der måske er noget galt med responsen.

Udover selve starten af impulsresponsen, kan det også ses at det blå respons virker til at have meget mere støj, der har meget mere amplitude end det orange respons. Der kan være flere grunde til denne effekt, en kan være at det lyddøde rum har en større volumen og derfor har mikrofonerne mulighed for at forstærke meget mere støj op, samt at der i rummet under målingerne har været en operator til stede hvilket også kan have en indvirkning, den burde dog ikke være så stor som set her.

For at undersøge disse artefakter bedre er de optagede højttalerresponser også inkluderet i Figur 6.1, hvor der igen kan ses en stor forskel på de to optagede responser. Ses der på plottet i c) hvor begge de to højttalerresponser er plottet er der markeret et artefakt i den blå cirkel, hvilket kun fremgår af det orange respons, dette kan være et artefakt fra forvrængning da det er afspilningen af de lave frekvenser der sker først optagelsen, det kan også være en kort lyd der er opstået i rummet under målingerne. Det virker dog ikke til at have den store indflydelse på impulsresponsen.

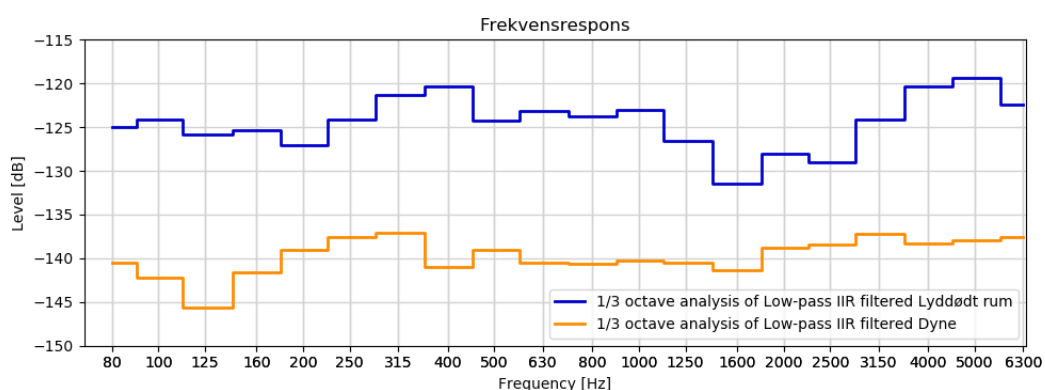
Ses der derimod på det blå respons plottet i d), hvor højtaleresponsen fra det lyddøde rum er plottet alene, her ses det at der er en meget høj impuls i den højfrekvente del, hvilket kan have sammenhæng med impulsen der også fremgår i b). Dette kan betyde at artefaktet der fremgår i impulsresponsen med stor sikkerhed, kommer fra denne impuls, da hvis højtaleresponsen sammenlignes med det orange kan det ses at det orange respons ikke har en høj impuls det samme sted.

Ligeledes er de markerede områder i c) og d), med de røde og grønne pile, de røde pile peger på områder hvor det blå respons generelt har højere impulser ved de høje frekvenser, mens det orange har højeste impulser ved de lave frekvenser, som markeret med de grønne pile i både c) og d).

Til sidst kan den støj som nævnt tidligere, der er markeret med den røde cirkel i a), komme af at der er meget stor forskel på baggrundstøjsniveauet for de to målinger, da baggrundstøjen i det lyddøde rum kan forventes at være meget mindre end ved under målingen af både højtaleresponsen i dynen, men også under impulsrespons målingen hvilket kan betyde at affoldningen har forstærket støjen i optagelserne.

På Figur 6.2 er de udregnede frekvensresponsen for hver af impulsresponsen plottet, på figuren kan det ses at frekvensresponsen hvor højtaleresponsen er fra det lyddøde rum den blå linje, er meget højere i amplitude ved højtaleresponsen målt i en sammenfoldet dyne den orange linje. Dette giver mening når det tages med i betragtningen af rummene hvor højtaleresponsen er målt i, har meget forskellige størrelser og udformninger. I det lyddøde rum havde smartphonen meget plads omkring sig og havde ikke noget materiale til at ligge lige op ad hverken højttaler eller mikrofon. Det samme er ikke gældende for højtaleresponsen i den sammenfoldet dyne, hvor rummet skabt inde i dyne både være varierende i forhold til udformningen og volumen. Ligeledes var afstanden til overfladerne i rummet mindre, hvilket kan give den effekt der kan ses på Figur 6.2, hvor det orange respons er meget mere dæmpet end det blå respons.

Denne forskel kan forklares ved at højttaleren har været placeret så den har udsendt lyd direkte ned i en dyne hvor der ikke har været afstand mellem, hvilket betyder at allerede på det tidspunkt har responsen været dæmpet meget.



Figur 6.2 Frekvensresponsen regnet ud fra impulsresponsen plottet i Figur 6.1. Frekvensresponsen er filtreret i 1/3 okt.

Ud fra impulsresponsen regnet med højtaleresponsen i den sammenfoldet dyne, virker det til at antagelsen stemmer overens, det kan endda diskuteres om højtaleresponsen fra dynen kan dæmpe noget af de effekter der måske kommer fra højttaleren i smartphones, som det lyddøde rum ikke kan dæmpe. Dette vil dog kræve yderligere undersøgelser for at kunne sikre at det er hvad der sker.

Sektion 6.2 Indflydelse fra reflekterende overflader tæt på mikrofon og højttaler

Antagelsen der i denne sektion vil blive undersøgt, lyder at effekten fra overflader tæt på både mikrofoner og højttaler ikke har stor indvirkning på resultaterne målt med den foreslået målemetode, i undersøgelsen vil effekterne fra at have reflekterende overflader tæt på både højttaler og mikrofoner bliver berørt.

Refleksioner har forskellige indvirkninger for mikrofoner og højttaler og lydkilder generelt, for lydkilderne kan reflekterende overflader tæt på kilden give en forstærkende effekt i forhold til både lydtryk og retning af lydudbredelsen. Spredningen af lyden sker ved at afspille lydsignalet i et mindre rum, hvor der er mulighed for at lyden bliver reflekteret i flere retninger og opbygger et højere tryk. Når lyden bevæger sig væk fra det mindre rum og ud i det fulde rum, vil lyden blive sendt ud i flere retninger end højttaleren kan udsende i, på grund af de flere refleksioner. Dette er grunden til at en ikke omnidirektional højttaler normalt vil blive placeret i et hjørne af rummet under akustiske målinger. Fordelen ved at have denne effekt er også at lydtrykket kan blive forstærket gennem "boundary" effekten hvor et lydsignal vil kunne få en teoretisk forstærkning på op til 3 dB for hver tilførte overflade. Det betyder at hvis lydkilden bliver placeret på en flad overflade vil lydsignalet kunne få en forstærkning på op mod +3 dB, mens for to overflader tæt på som for hjørnet hvor gulv og væg mødes vil kunne få en +6 dB forstærkning, mens i et hjørne med tre overflader tæt på vil lydsignalet kunne forstærkes med +9 dB [24].

Disse to effekter vil kunne hjælpe den indbygget højttaler i smartphones, da højttalerenheden kan få en forstærkning ved at blive placeret op ad en overflade, men også kan få en forstærkning i forhold til spredning af lydsignalet i hele rummet.

For mikrofoner er effekt dårligere, da reflekterende overflader tæt på mikrofonen kan give en "comb-filter" effekt, da mikrofonen opfanger det samme lydsignal fra to eller flere retninger med lille tidsforskel mellem lydsignalernes indtrædelse ved mikrofonen. Dette comb-filter vil kunne virke forvrængende for en mikrofon, da nogen frekvenser kan blive overtrumfet. For at minimere denne effekt kan mikrofonen placeret længere væk fra overfladerne så tidsforskellen mellem de forskellige refleksioners ankomst ved mikrofonen bliver forlænget [25].

Da mikrofonen og højttalerenheden for denne målemetode er placeret i samme enhed med omkring 12 centimeter mellem dem, gør det placeringen af smartphonen mere besværlig, hvis effekten for højttaleren er ønsket og effekten for mikrofonen er uønsket. For at imødekomme begge effekter er det valgt at placere smartphonen halvt ud over en kant, hvor mikrofonen brugt til optagelse af målingen er placeret udover kanten for at minimere reflekterende overflader foran mikrofonen, mens højttaleren har en overflade tæt på hvor der kan komme en forstærkning af både lydtryk og spredning i rummet.

Sektion 6.3 Afprøvning af foreslået målemetode

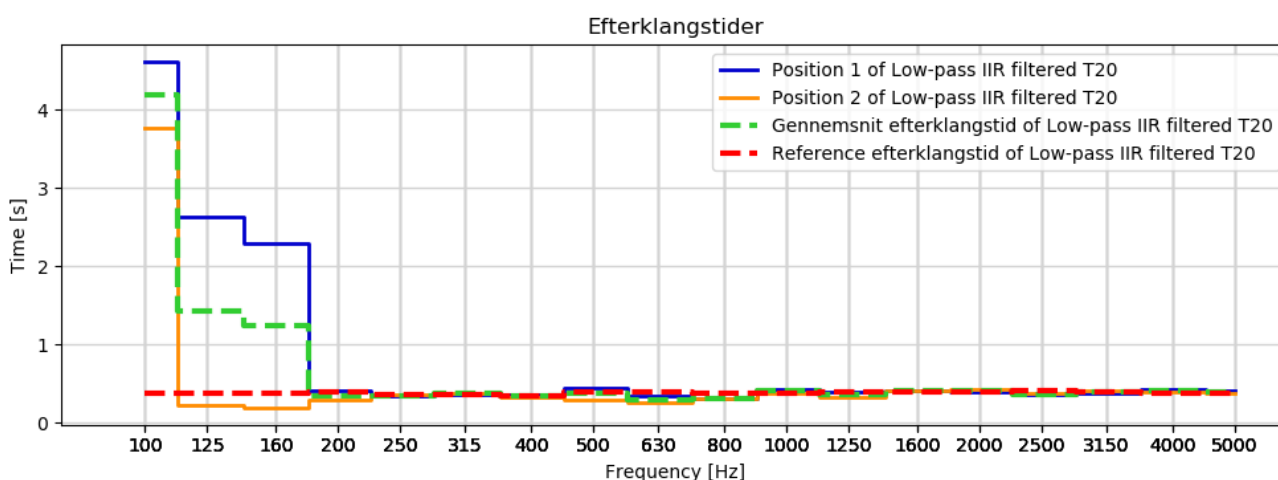
Afslutningsvis på dette kapitel er der blevet udført en efterklangsmåling, hvor målemetoden beskrevet i Kapitel 5 blevet brugt. Til målingen er der blevet brugt en OnePlus 5T smartphone, samme som brugt under undersøgelserne foretaget i Sektion 6.1. Efterklangsmålingen er udført i en stue/køkken i en lejlighed i Aalborg, der er brugt to positioner i rummet, hvor smartphonen har været placeret udover en kant på to borde i rummet. Målingen er udført med signalet valgt i undersektion 5.1.3 og optagelsen er foretaget ved at bruge applikationen AVR. Målerapporten for målingen er inkluderet i Appendiks D målerapporten er udarbejdet efter standarden ISO 3382-2 [15], hvor der er givet en guide til hvordan efterklangsmålinger skal rapporteres.

Analysen af målingerne er udført i SAFE ved at bruge analysemetoden beskrevet i Sektion 5.2, hvor optagelserne først er separeret i Audacity, og er efterfølgende importeret til SAFE. I analysen er der udført en

affoldning hvor højttalerresponser er målt i en sammenfoldet dyne som beskrevet tidligere, ligeledes er der regnet et frekvensrespons og henfaldskurver for impulsresponserne fra optagelserne. Efterklangstiderne er estimeret efter T_{20} -estimeringsmetoden, hvilket betyder at efterklangstiderne er estimeret fra -5 dB til -25 dB på henfaldskurverne.

De estimerede efterklangstider er plottet i 1/3 oktavbånd hvor centrefrekvenserne er markeret på figuren, efterklangstiderne er plottet i Figur 6.3. På figuren er der ligeledes plottet efterklangstiderne for de to positioner samt et gennemsnit for de to positioner. På figuren er efterklangstiderne for en referencemåling også plottet, målerapporten for referencemålingen er inkluderet i Appendiks D, referencemålingen er udført efter metoden beskrevet i undersektion 5.3.2.

I Tabel 6.1 er efterklangstiderne ligeledes inkluderet for referencemålingen og for efterklangstiderne for gennemsnittet beregnet for de to målepositioner, i tabellen er afvigelserne også regnet til sammenligningen mellem de to målemetoder.



Figur 6.3 Plot af efterklangstiderne fundet ved brug af den foreslået målemetode. I plottet er der også givet resultaterne fra referencemålingen udført i samme rum.

Fra resultaterne på Figur 6.3 og i Tabel 6.1 kan det ses at den foreslået målemetode ikke afvigere meget fra referencen over 1/3 oktavbåndet 200 Hz. Standardafvigelser fra referencen for disse 1/3 oktavbånd ligger på 10%, hvilket ikke vurderes til at være en stor afvigelse mellem målinger. Mens for 1/3 oktavbåndene 100 Hz - 160 Hz, er afvigelsen meget større, hvis disse 1/3 oktavbånd inkluderes i beregningen af afvigelserne, ligger standardafvigelsen på 244%. Denne forstørrelse af afvigelserne i de lavere frekvenser (mindre end 200 Hz) kan skyldes den indbygget højttaler i smartphonen, som tidligere nævnt kan være en udfordring for afspilningen af lydsignalet, da højttalerenhederne i smartphones er små og derfor har sandsynlighed for ikke at kunne afspille lyde så langt ned i frekvens. Frekvensområdet for højttalerne vil blive undersøgt nærmere senere i rapporten.

Undersøges resultaterne over 1/3 oktav båndet 160 Hz, kan efterklangstiderne for målingen udført med smartphonen sammenlignes med resultaterne fra referencemålingen, da afvigelserne mellem disse efterklangstider er meget lille som nævnt tidligere. Denne afvigelse vil også kunne opleves som forskel mellem normale efterklangsmålinger i et rum. Derfor er det også vurderet at målemetoden kan virke, dog kan det forventes at der skal tages højde for et begrænset eller mindre frekvensområde, da det kan formodes at højttalerenheden afvigere fra producent til producent.

Tabel 6.1 Efterklangstiderne for hver 1/3 oktavbånd for gennemsnitsberegningen af de to målepositioner fra den foreslået målemetode og efterklangstiderne for referencemålingen, samt afvigelserne fra referencen.

Frekvens [Hz]	Efterklangstid [s] fra foreslået metode	Efterklangstider [s] fra reference måling	Afvigelse [%]
100	4,19	0,37	410%
125	1,43	0,38	116%
160	1,24	0,38	93%
200	0,35	0,40	-79%
250	0,35	0,36	-68%
315	0,37	0,36	-60%
400	0,33	0,33	-67%
500	0,37	0,40	-71%
630	0,29	0,39	-105%
800	0,31	0,38	-92%
1000	0,40	0,37	-53%
1250	0,36	0,39	-72%
1600	0,41	0,39	-54%
2000	0,41	0,39	-54%
2500	0,36	0,41	-78%
3150	0,39	0,40	-64%
4000	0,41	0,38	-52%
5000	0,39	0,38	-58%

Kapitel 7 Undersøgelse af egenskaber for udstyr

Nu hvor der er blevet foretaget en undersøgelse om antagelserne taget i projektet er gældende i et vist omfang, og der er udført en indledende test af målemetoden beskrevet i Sektion 5.1. Det er også vist i den indledende test, at det virker til at smartphonen brugt under målingen har lidt problemer med at afspille de lave frekvenser. Derfor vil der blive udført undersøgelser på både de indbygget mikrofoner og højttaler i forskellige smartphones. For at få en ide om hvilket frekvensområde mikrofonerne indbygget i smartphones har, er der blevet udført en undersøgelse af mikrofonerne. Undersøgelsen er udført for at sikre at mikrofonerne kan optage hele frekvensområdet påkrævet for efterklangsmålingerne. Ligeledes vil der blive testet om frekvensområdet defineret i databladene er gældende, i Appendiks A viser databladene at frekvensområdet er opgivet til at være 100 Hz - 10000 Hz for de fleste mikrofoner til smartphones.

Det første område der vil blive undersøgt, vil være mikrofonerne i forskellige smartphones for at sikre om de kan dække et tilstrækkeligt frekvensområde for at kunne udføre efterklangsmålingerne. Efterfølgende vil der blive udført undersøgelser af højtalerenhederne i forskellige smartphones og tablets.

Sektion 7.1 Mikrofoner i smartphones

For de indbygget mikrofoner er der udført to målinger, en efterklangsmåling magen til målingen udført i Sektion 6.3, blot med forskellige smartphones og i et standardlytterum på Aalborg Universitet. Den anden målinger er en undersøgelse af frekvensområdet for de indbygget mikrofoner for de samme smartphones som brugt under efterklangsmålingerne. Målerapporten til de to målinger er inkluderet i Appendiks F hvor de to målinger er udført, og der ligeledes er udført en reference efterklangsmåling i rummet efter engineering metoden beskrevet i ISO 3382-2 [15].

7.1.1 Undersøgelse af frekvensområde for de indbygget mikrofoner

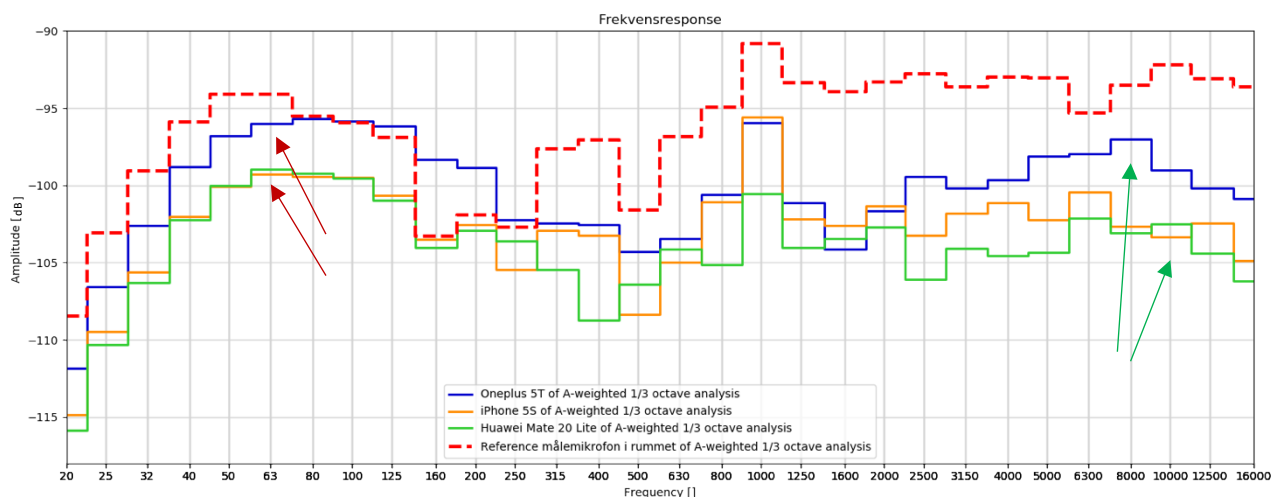
Rummet der er brugt til begge målinger, er et standardlytterum på Aalborg Universitet, rummet er let møbleret med fire stole og et lille bord. På væggene og i loftet er der placeret en kombination reflekterende og absorberende materiale, hvilket kan simulere det akustiske miljø for en almindelig stue. I Figur 7.1 er der inkluderet billeder fra rummet der viser opbygningen og de inkluderet møbler i rummet.



Figur 7.1 Billeder fra målerummet B2-107.

For at kunne udføre en undersøgelse af hvilket frekvensområde de indbygget mikrofoner kan dække, er der foretaget en optagelse og analyse af et højtalerespons fra en omnidirektional højttaler, hvilket kan producere lydsignaler for et større frekvensområde end højtalere indbygget i smartphonesene, beskrivelsen og analysen af målingen er inkluderet i målerapporten i Appendiks F.

Målingen er udført ved at de tre smartphones har været placeret på bordet i lytterummet, hvor de blev placeret ud over kanten for at give mest muligt frirum omkring den ene mikrofon hvor optagelsen er brugt fra. Højtaleren brugt til målingerne er valgt til at være en omnidirektional højttaler, testsignalet til målingerne er et eksponentielt sine sweep med frekvensområdet 20 Hz - 16000 Hz. Efter målingerne er optagelserne analyseret i SAFE, hvor frekvensresponsen der er fundet, hvilket er inkluderet i Figur 7.2, hvor responserne er opdelt i 1/3 oktavbånd.



Figur 7.2 Frekvensrespons fra undersøgelsen af frekvensområdet for de indbygget mikrofoner i de valgte smartphones. Frekvensresponsen er opdelt i 1/3 oktavbånd, for at gøre responset nemmere at sammenligne.

Ud fra frekvensresponsen i Figur 7.2, kan det ses at der ikke er stor forskel mellem de tre responser målt af de tre smartphones. Målingen er udført på alle tre smartphones på samme tid, derved har de alle målt det samme lydssignal fra højtaleren. Frekvensresponsen er regnet som et gennemsnit over to positioner i rummet hvor optagelsen er gentaget to gange for hver position.

I forhold til frekvensresponsen kan de ses at mikrofonerne begynder at måle lige omkring 1/3 oktavbåndet 63 Hz, markeret med de røde pile, hvor det ifølge referencemikrofonen i rummet, er hvor højtaleren er startet lige inden. Mens at den øvre flanke for frekvensområdet er sværere at fastlægge da alle tre smartphones begynder at rulle af i dette område, for Oneplusen virker frekvensområdet til at stoppe omkring 1/3 oktavbåndet 8000 Hz, mens for de to øvrige stopper enten ved 1/3 oktavbåndet 10000 Hz eller 12500 Hz, begge punkter er markeret med de grønne pile.

Ud fra frekvensresponsen fra de tre smartphones virker det til at de indbygget mikrofoner kan forventes af dække frekvensområdet for test signalet, dog med afvigelser fra hinanden som også er forventet da der er stor forskel på hvilke mikrofoner der bliver brugt af de forskellige producenter.

Resultaterne fra denne undersøgelse kan ikke garanteres at være helt korrekte, da målingen er blevet udført i et standardlytterum frem for et lyddødt rum hvilket ville give et mere pålideligt resultat sammenlignet med resultaterne fra denne måling. Forskellene på resultaterne er at der for denne måling indgår rumeffekter som antinoder i rummet der kan have en indvirkning på lydtrykket i visse placeringer i rummet. Fejlen er først blevet opdaget da der ikke var tid til at kunne foretage en ny måling, dog kan det forventes at resultaterne for frekvensområdet fundet gennem målingen burde være gældende for mikrofonerne indbygget i smartphonesene.

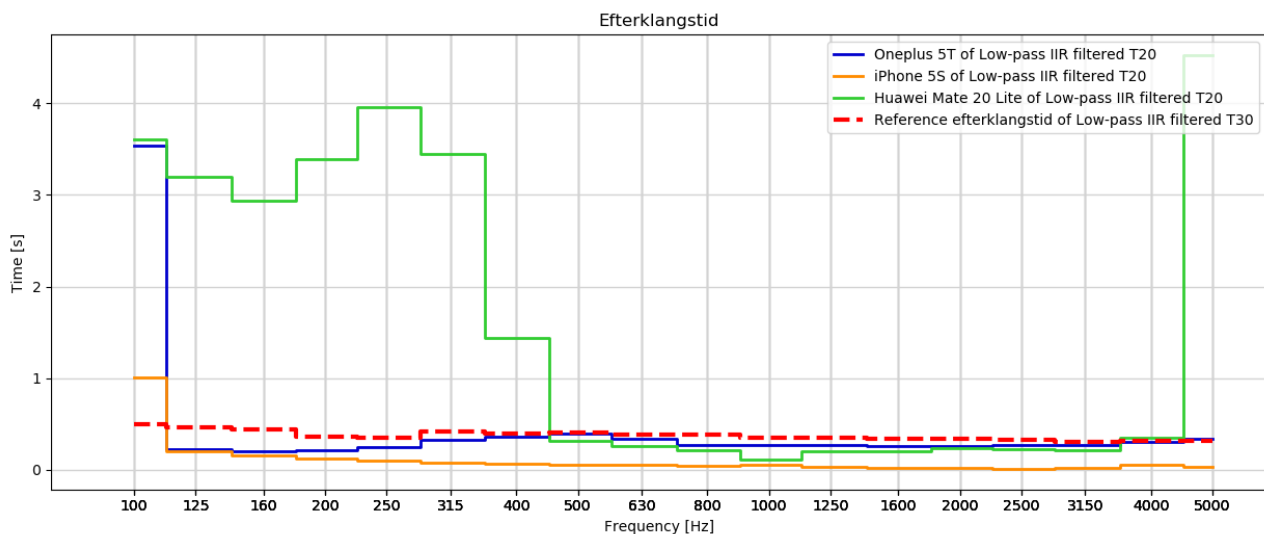
7.1.2 Efterklangsmålingerne med smartphones i kontrolleret akustiske omgivelser

Den anden undersøgelse der er udført for mikrofonerne, er en kombinationsundersøgelse af både de indbygget højtalere og mikrofoner i forskellige smartphones, målingen er en gentagelse af den indledende måling udført i Sektion 6.3, denne gang er målingerne dog blevet udført i mere kontrolleret omgivelser og med forskellige smartphones fra forskellige producenter. Før efterklangsmålingerne med smartphonesene er der blevet udført en referenceefterklangsmåling i målerummet, rummet brugt til efterklangsmålingerne er det samme som brugt under undersøgelsen af frekvensområdet for de indbygget mikrofoner i smartphonesene. Målerapporten for målingerne er inkluderet i Appendiks F, hvor både referencemålingen og målingen udført med smartphonene er inkluderet.

Referenceefterklangsmålingen er udført som beskrevet i undersektionen 5.3.1 der følger engineering metoden fra standarden ISO 3382-2 [15], der er under målingen blevet brugt seks mikrofon positioner og to højttaler positioner i rummet. Målingen er udført med målemikrofoner og en omnidirektionel højttaler, hvor der er brugt tre mikrofon positioner for hver højttaler position. Testsignalet brugt til målingen blev valgt til at være det samme testsignal som beskrevet i undersektionen 5.3.1, hvilket er et eksponentielt sine sweep med frekvensområdet 80 Hz - 8000 Hz, med en varighed på fem sekunder. Der er ligeledes udført to gentagelser af test signalet for hver mikrofon-højttaler kombination. Målingerne af referenceefterklangsmålingen er udført i SAFE, hvor både målingen og analysen er udført, resultaterne fra referencemålingen er inkluderet i Figur 7.3, hvor gennemsnittet for rummet er plottet sammen med efterklangstiderne for efterklangsmålinger udføre med de forskellige smartphones.

Efterklangsmålingerne udført med smartphonesene følger samme metode som brugt til målingen i Sektion 6.3, den eneste forskel på målingerne er at i denne bruges der tre smartphones frem for en. Under målingen har smartphonesene været placeret udover kanten på det lille bord i rummet, og de indbygget mikrofoner og højttaler er brugt som optagerenhed og lydkilde. Testsignalet til målingen er valgt igen til at være et eksponentielle sine sweep, med frekvensområdet 80 Hz - 6000 Hz, der også er brugt i de øvrige efterklangsmålinger med smartphones.

Målingerne med smartphonesene er udført en ad gangen, for to positioner i rummet hvor bordet er flyttet til hver position. Målingerne er analyseret i SAFE ved at bruge samme metode brugt til målingen i Sektion 6.3, hvor affoldningen af optagelserne er udført med et højttalerrespons optaget i en sammenfoldet dyne. Herefter er impulsresponsen brugt til at estimere T_{20} efterklangstiderne i 1/3 oktav bånd, resultaterne fra efterklangsmålingerne er inkluderet i Figur 7.3, hvor referencemålingen fra rummet også er plottet.



Figur 7.3 Resultater fra efterklangsmålingerne udført i standard lytterum på Aalborg Universitet. Plottene på figuren er fra efterklangsmålinger med tre smartphones og en referenceefterklangsmåling.

Ud fra de fundene efterklangstider i Figur 7.3 kan det ses at alle smartphonesene har problemer i de lave 1/3 oktavbånd fra omkring 500 Hz båndet, hvor enten overestimeres efterklangstiden meget ellers underestimeres den, både iPhonen og Oneplussen underestimerer efterklangstiden meget tydeligt. Huawei smartphone overestimerer efterklangstiden meget indtil 500 Hz båndet med omkring 3-4 sekunder, hvor det kan virke som om at højttaleren i smartphonen ikke kan producere lydsignaler for frekvenserne i dette område. Generelt underestimerer smartphonesene efterklangstiderne, hvilket kan være fordi at der er for kort mellemrum mellem mikrofonenheden og højttaleren i smartphonen.

I analysen er optagelserne taget fra mikrofonen længst væk fra højttaleren, da hvis optagelserne bruges fra mikrofonen ved siden af højttalerne fås resultater som vist for iPhonen. Da iPhonen virker til at have dedikeret mikrofoner til bestemt opgaver, hvilket betyder at til disse målinger bruges mikrofonen placeret nederst på smartphone, hvilket er placeret lige ved siden af højttaleren, hvilket også er beskrevet i Appendiks A. Resultaterne fra iPhonen er stadig medtaget for at kunne se effekten af at bruge en optagelse foretaget lige ved siden af højttaleren til at estimere efterklangstider og hvor stor underestimeringen der er tale om når efterklangstiderne sammenlignes med referencen.

Efterklangstiderne plottet i Figur 7.3 giver en indikation om at målingerne udført med smartphones kan give en ide om hvor efterklangstiderne ligger indenfor et begrænset frekvensområde, dog skal det forventes at efterklangstiderne kan være underestimeret i sammenligning med en referencemåling. Målemetoden vil dog ikke blive forkastet endnu, da som beskrevet i Appendiks A er der stor forskel på smartphonesenes opbygning og udformning, hvilket også indbefatter både højttalerenhederne og mikrofonerne i smartphonesene.

Da det virker til at de fleste problematikker der er forbundet med den foreslået målemetoder ligger ved højttaleren indbygget i smartphones, vil der i den følgende sektion blive udført målinger og undersøgelser af højttaleren indbygget i forskellige smartphones.

Sektion 7.2 Højttaler i smartphones

Da det på baggrund af undersøgelsen af frekvensområdet for mikrofonerne kan blive konkluderet at mikrofonerne kan dække frekvensområdet der er krævet til efterklangsmålingerne beskrevet i undersektion

5.1.3, vil der derfor blive forsat med en undersøgelse af de indbygget højtalere i smartphones. Dette er begrundet resultaterne fra den indledende efterklangsmåling og målingen udført med flere smartphone, hvor de viser at den indbygget højttaler i smartphones kan have svært ved at afspille de laveste frekvenser i test-signalet. Derfor vil der blive udført en måling på frekvensområdet for forskellige smartphones, i et lyddødt rum samt undersøge lydtrykket smartphonesene kan producere umiddelbart ved højttaleren og i midten af et rum, til sidst vil der blive afprøvet en anden metode til udførelsen af efterklangsmålingen.

7.2.1 Undersøgelse af frekvensområde for indbygget højttaler i smartphones

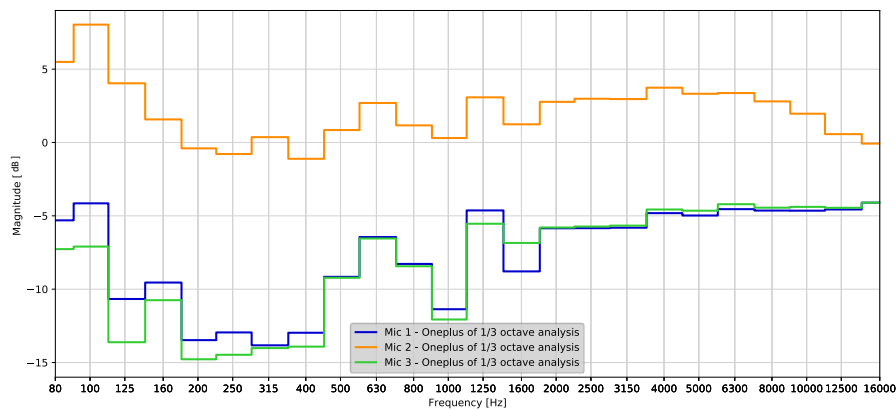
Frekvensundersøgelsen er udført med de samme tre smartphones som brugt under undersøgelserne af frekvensområdet for de indbygget mikrofoner. Denne måling er udført i et lyddødt rum på Aalborg Universitet, hvor der er lavet en opsætning med tre målemikrofoner placeret rundt om smartphonepositionen i rummet. Lydsignalet brugt under målingerne er valgt til at være et eksponentielt sine sweep med frekvensområdet 50 Hz - 16000 Hz for at test hvilke frekvenser højttalerne kan afspille.

Til opsætningen er der brugt tre målemikrofoner, hvor en af mikrofonerne var placeret umiddelbart foran højttaleren, en var placeret en meter væk fra højttaleren i udbredelsesretningen og den sidste var placeret en halv meter på den anden side af smartphonen. Opsætningen er illustreret i målerapporten for målingen der er inkluderet i Appendiks G.

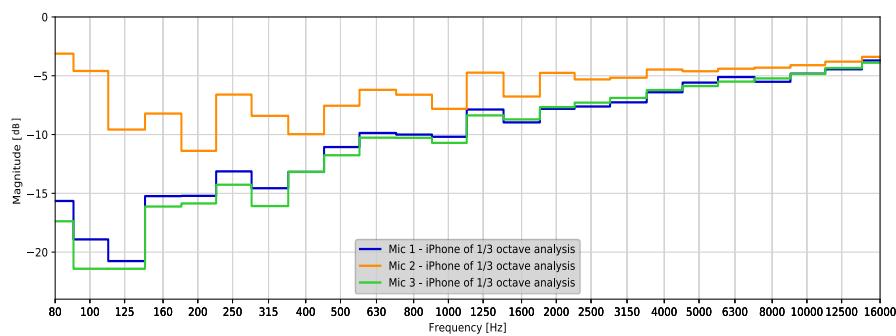
Placeringerne for målemikrofonerne er valgt således for at kunne måle lydtrykket umiddelbart foran højttalerudgangen på smartphonen, for at få en indikation af hvor højt et lydtryk smartphonen kan producere lige ved udgangen. De øvrige to mikrofoner har været placeret så det har været muligt at få en ide om hvordan lyden udbreder sig omkring smartphonen, samtidig med at mikrofonerne har været placeret tæt på enheden.

Frekvensresponsen for de tre undersøgte smartphones kan ses i Figur 7.4, hvor frekvensresponsen er plottet i 1/3 oktavbånd. På hver af plottene er den orange linje mikrofonen placeret lige foran højttaleren, den blå linje er mikrofonen placeret en meter fra højttaleren og den grønne linje er mikrofonen placeret en halv meter på den anden side af smartphonen. Ud fra responsen virker det til at smartphonen udbreder lyden lige godt om mikrofonen er placeret i retningen af højttalerudgangen på smartphonen eller er placeret i den modsatte ende af smartphonen. Dette kan betyde at smartphonesene til et punkt udsender nogenlunde omnidirektionel, hvilket også kan forklare hvorfor der ikke er stor dæmpning i de høje frekvenser for iPhone og Huawei. Problemet med målingerne er at det virker til at smartphonen bliver mere omnidirektionel desto højere frekvenser den afspiller, dette kan være fordi at højttaleren i smartphonesene er opbygget på en måde så den spreder højfrekvent lyd mest, og at der ikke er udført yderligere tiltag til spredning af lavfrekvent lyd.

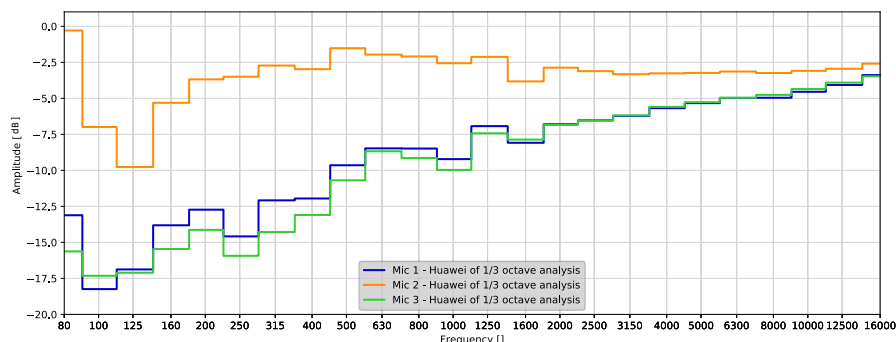
Spredningen af de høje frekvenser vil også give mening hvis der tænkes på hvad højttaleren normalt bliver brugt til, hvilket er at afspille ringetoner og alarmer, hvilket begge normalt indeholder mere højfrekvent lyde. Begge disse to signaler skal gerne kunne spredes mest muligt i et rum så det kan høres når smartphonen ringer for et telefonopkald eller en alarm ringer. Derfor vil det give mening at smartphonens højttaler er designet så højfrekvent lyd bliver spredt mere omnidirektionel.



a) Frekvensrespons for den indbygget højttaler i Oneplusen, for de tre målemikrofoner placeret omkring smartphone



b) Frekvensrespons for den indbygget højttaler i iPhone, for de tre målemikrofoner placeret omkring smartphone



c) Frekvensrespons for den indbygget højttaler i Huawei, for de tre målemikrofoner placeret omkring smartphone

Figur 7.4 Frekvensresponserne for de tre smartphones der er undersøgt.

Ud fra responserne kan de ses at alle de tre undersøgte smartphones har svært ved at producere frekvenser langt ned i frekvens helt ned til 1/3 oktavbåndet med centrefrekvens 500 Hz. Hvis resultaterne sammenholdes med resultaterne fra efterklangsmålingerne udført med samme smartphones, kan det også ses at selvom at frekvensbåndene er ikke har et højt lydtryk kan de stadig være nok til at kunne give en indikation af hvor efterklangstiderne er for et givent rum.

Alle de tre målte smartphones har et overvejende fladt frekvensrespons direkte foran højttalerne, ned til omkring 1/3 oktavbåndet 160 Hz, hvor lydtrykket ikke variere mere end $\pm 2,5$ dB over 1/3 oktavbåndene fra 160 Hz og op til 16000 Hz. Da denne måling er udført med smartphonen placeret i et stativ, vil det også kunne blive forventet at lydtrykket i de laveste 1/3 oktavbånd (100 Hz - 500 Hz) vil kunne opnå en forstærkende effekt fra boundary-effekten. Derfor vil det også give mening af disse frekvensresponser vil vise et lavere lydtryk for 1/3 oktavbåndene under 1/3 oktavbåndet med centrefrekvens på 630 Hz.

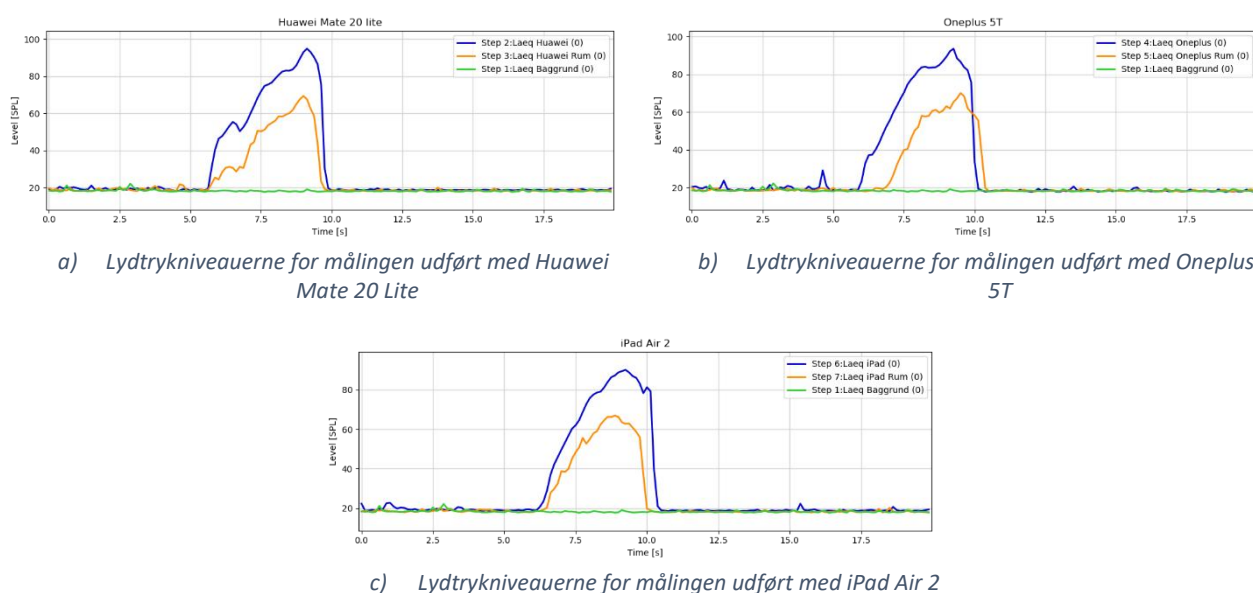
7.2.2 Undersøgelse af lydtryk og lydspredning for indbygget højttaler i smartphones

For at undersøge hvor højt et lydtryk der kan forventes fra en indbygget højttaler i en smartphone, er der blevet udført en undersøgelse af hvor højt et lydtryk der kan måle umiddelbart ud for højttalerudgangen og hvor højt et lydtryk der kan forventes i rummet hvor afspilningen foregår. Målingen er udført på baggrund af spekulationerne fra målingerne af frekvensområdet for de indbygget højttalere, derfor er denne målingen blevet udført på et bord hvor der vil kunne være mulighed for en forstærkning fra boundary-effekten.

Målingen er udført i en møbleret stue i en lejlighed, hvor der er mulighed for at kunne få refleksioner i overflader i rummet. Målingen er opbygget omkring to målepunkter i rummet, en umiddelbart foran højttaleren i smartphonen og en position placeret midt i rummet. Der er til målingen blevet valgt at bruge to smartphones og en iPad, for at undersøge muligheden for at bruge en tablet til efterklangsmålingerne, da det kan forventes at tablets har større højttalerenheder indbygget. Lydsignalet brugt til målingerne er et eksponentielt sine sweep med frekvensområdet 80 Hz - 6000 Hz, hvor der kun er udført en afspilning af lyd-signalet for hver position. Til udførelse af målingen er SAFE blevet brugt, hvor målingen er sat til at lave en lydtryksmåling af sine sweeps i hver position for hver enhed. Målerapporten for målingen er inkluderet i Appendiks I hvor både måleopsætning og udførelsesmetoden er beskrevet.

Resultaterne fra de tre målinger er plottet i Figur 7.5, hvor det kan ses at generelt så er lydtrykniveauet lige udfor højttalerne 20-25 dB over det lydtrykniveau der er målt i midten af rummet. Dog opnår lydtrykniveauet i midten af rummet stadig et niveau der ligger omkring 40-50 dB over baggrundsstøjen hvilke betyder at der burde være nok frirum mellem niveauerne til at der kan estimeres en efterklangstid i rummet med en indbygget højttaler fra en smartphone eller tablet som lydkilde.

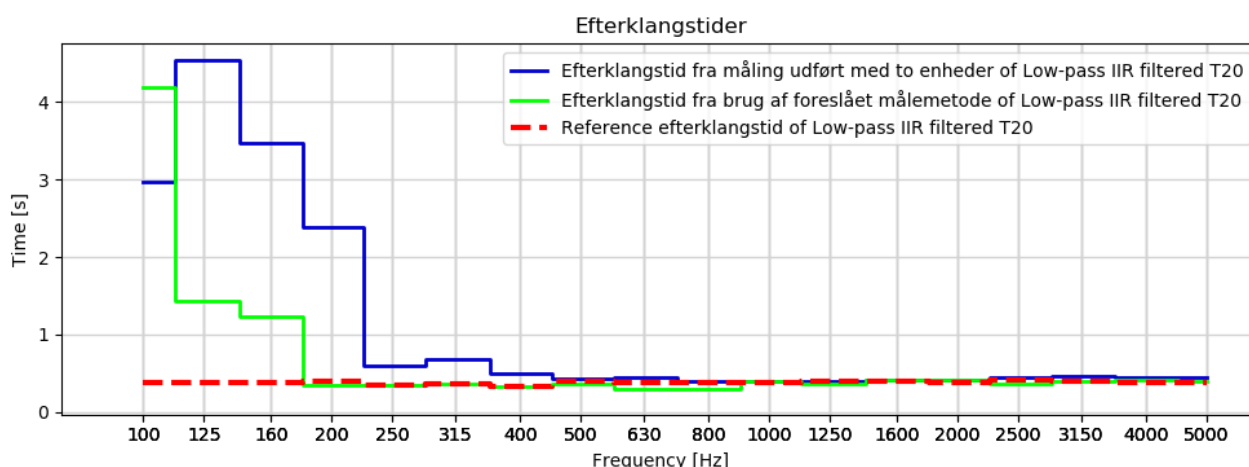
Problemet med disse målinger er at de er udført med en målemikrofon som har en højere følsomhed sammenlignet med mikrofonerne i smartphones og tablets. Hvilket kan føre til at lydtrykket opnået i disse målinger ikke vil have samme niveau, hvis de blev udført med en smartphone som måleenhed, da AGC'en i smartphone kan regulere på dette niveau på grund af det store spring fra baggrunds niveau til peak-niveauet for en afspilning af lydsignalet.



Figur 7.5 Plot af lydtrykniveauerne for de tre målte enheder. Den blå linje er lydtrykniveauet lige udfor højttaleren, den orange linje er lydtrykniveauet fra midten af rummet og den grønne linje er lydtrykniveauet for baggrundsstøjen i rummet.

7.2.3 Undersøgelse om mulighed for forbedring af efterklangsmålingerne ved brug af to enheder
 Denne måling er udført for at kunne bekræfte eller afkræfte antagelsen taget i undersektion 7.2.2, hvor det foreslås at bruge to enheder for muligvis at kunne forbedre efterklangsmålingerne ved at have større afstand mellem mikrofon- og højtalerenhederne. Derfor vil der i denne måling blive udført en efterklangsmåling efter målemetoden beskrevet i Kapitel 5, den eneste forskel kommer til at være at i stedet for at bruge en smartphone vil der blive brugt to enheder, en som mikrofon og en som højttaler. Til dette formål er det valgt at bruge en iPad som højtalerenheden og en Huawei som mikrofonenheden. Målingen vil blive udført i en møbleret stue i en lejlighed, hvor der vil blive brugt to højttalerpositioner i rummet og fire mikrofonpositioner fordelt i rummet. Målerapporten for denne måling er inkluderet i Appendiks H.

Denne måling vil blive sammenlignet med efterklangstiderne fundet ved en referenceefterklangsmåling i samme rum og den indledende efterklangsmåling der også er udført i samme rum. Dette vil blive gjort for at kunne sammenligne ydeevnen for hver af målemetoderne og kunne sammenligne dem direkte. Resultaterne for målingerne er samlet i Figur 7.6, hvor gennemsnittene fra hver af målingerne er plottet sammen.



Figur 7.6 Efterklangstiderne for de tre målemetoder. Den blå linje er efterklangstiderne for målingen hvor der er brugt to enheder, den grønne linje er efterklangstiderne for den indledende test af målemetoden hvor der bruges en smartphone, og den stiplede røde linje er referenceefterklangsmålingen udført i målerummet.

Som det kan ses på figuren, er efterklangstiderne for målingen udført med to enheder overestimeret i de laveste 1/3 oktavbånd fra 400 Hz af og ned. Hvor efterklangsmålingen udført efter målemetoden foreslået i Sektion 5.1, kun er overestimeret fra 1/3 oktavbåndet 160 Hz.

Ses der på resultaterne i figuren, er der meget stor forskel på efterklangstiderne især i de lavere 1/3 oktavbånd, dette kan der være flere grunde til, den mest indlysende er at der er brugt forskellige enheder til målingerne. Den grønne linje er udført med kun en enhed, dette er en OnePlus 5T, hvilket også tidligere har vist at den giver et godt estimat af efterklangstiderne. Hvor målingen udført med to enheder er der brugt en iPad Air 2 som højtalerenheden, hvilket også har et meget godt frekvensområde for den indbygget højttaler. Frekvensområdet for iPaden er bredere end for Oneplusen, hvilket betyder at der må være en anden grund til forskellen mellem de to målinger.

En anden mulighed for hvad der sker, er at fordi mikrofonen er placeret så tæt på højttaleren i målingen med kun en enhed, kan gøre så AGC'en i enheden ikke forstærker optagelsen, og derfor hellere ikke forstærker baggrundsstøjen mere op. Dette vil betyde at der måske kan være et bedre signal-støj-forhold under denne måling, mens hvis der er større afstand mellem højttaler og mikrofon vil AGC'en begynde og

forstærke optagelsen op, hvilket også inkludere baggrundsstøjen. Hvilket vil gøre at den lavfrekvent støj der sikkert er til stede i rummet, ødelægger målingerne med to enheder.

Ud fra resultater fra denne måling og den indledende måling virker det til at efterklangsmålingerne udført med kun en enhed rammer tættere på referencen end hvis afstanden mellem mikrofonen og højttaleren forøges. Derfor er det valgt ikke at ændre målemetoden, men arbejde videre med målingerne udført på kun en enhed, hvilket også sikre at målingerne er nemme og simple for deltagerne i indsamlingen af optagelser-

Kapitel 8 Målevejledningen

Resultaterne fra Kapitel 7 er dog også kun indsamlet for en mindre mængde smartphones og tablets, hvilket gør at det ikke kan konkluderes om målemetoden vil virke som en metode til at indsamle efterklangsmålinger, da som nævnt tidligere er der stor forskel på opbygningen af smartphone fra producent til producent, men også på alderen af smartphonesene.

Derfor vil der blive lavet en afprøvelse af målemetoden, hvor metoden vil blive formuleret på en måde så det er muligt at få afprøvet målemetoden i den virkelige verden. Til dette vil et spørgeskema blive brugt, hvor de nødvendige informationer om målerummet kan blive indsamlet og der kan udarbejdes en guide til hvordan målingerne skal udføres. Spørgeskemaet er inkluderet i Appendiks J, hvor skemaet er i udskrevet version og derfor ikke opdelt i de forskellige adskilte sider, spørgeskemaet kan også findes i den udstedte version ved at følge linket givet i [26].

Sektion 8.1 Valg af spørgeskema format

Før valget af spørgeskemaformatet kan blive valgt, vil der være nogen krav til hvad spørgeskemaet skal kunne, kravene til spørgeskemaet er listet herunder:

1. Spørgeskemaet skal kunne åbnes og udfyldes på en smartphone, da der ikke skal være krav om brugen af flere enheder.
2. Spørgeskemaet skal være et online spørgeskema hvor det er muligt at indtaste data direkte ind
 - Der skal ikke være behov for at downloade et dokument og svare på dette eller anden form for online dokument hvor der er behov for yderligere applikationer
3. Spørgeskemaet skal kunne distribueres gennem sociale medier
4. Deltagerne skal kunne svare anonymt på spørgeskemaet

Ud fra kravene til spørgeskemaet giver det stadig mulighed for flere forskellige udbydere, det er dog valgt at bruge undersøgelsesværktøjet "Survey-Xact" udviklet af Ramboll. Undersøgelsesværktøjet giver flere muligheder for indsamling af data, og er opbygget omkring et lukket og sikret system, hvor studerende fra Aalborg Universitet har adgang til servicen.

Spørgeskemaet er opbygget omkring tre delområder, en introduktion til hvad projektet går ud på og hvad der er behov for, for at kunne udføre målingerne, en indsamling af data om rummet, som dimensioner og opbygning. Den sidste del i spørgeskemaet er en guide til udførelsen af målingen, samt metode for tilbagemeldingen af optagelserne. I slutningen af introduktionen bliver deltagerne bedt om at skrive et ID-nummer som de skal bruge under tilbagemeldingen af optagelserne for at kunne kode besvarelsen og optagelserne sammen.

Sektion 8.2 Indsamling af data om målerum

Efter der er givet en introduktion til projektet og til målingen der skal udføres, kan selve spørgeskemaet blive opbygget. Før spørgsmålene kan blive formuleret skal det først bestemmes hvilke informationer der er behov for om rummet målingen bliver udført i, i Tabel 8.1 er der en liste over informationer der kunne være brugbare at vide om omgivelserne målingen udføres i.

Tabel 8.1 Liste over informationer der kunne blive spurgt om i spørgeskemaet som data om rummet.

Informationsnummer	Beskrivelse af informationen	Nødvendighed for resultaterne
1	Deltagerens køn	Ikke nødvendigt
2	Aldersgruppe	Ikke nødvendigt
3	Hvor mange bor i boligen	Ikke nødvendigt
4	Hvor lang tid deltageren har boet i boligen	Ikke nødvendigt
5	Vurdering af støjniveauet i rummet og boligen	Kan være nødvendigt
6	Apparater i rummet (Radiator, ventilationsudgang, køleskab eller lignede)	Kan være nødvendigt
7	Vurdering af hvor meget støj der kommer fra apparaterne markeret	Kan være nødvendigt
8	Vurdering af hvor støjende omgivelserne omkring boligen er	Kan være nødvendigt
9	Vurdering af hvor meget støj der kan høres i rummet	Kan være nødvendigt
10	Dimensioner af rummet	Nødvendigt
11	Materialer i rummet (Vægge, loft og gulv)	Ikke nødvendigt
12	Vurdering af møbleringen	Kan være nødvendigt
13	Vurdering af efterklangen i rummet	Ikke nødvendigt

Informationsnummer 1 til 4 er ikke direkte nødvendige for at kunne finde ud af hvordan efterklangen i rummet er, dette er informationer der er brugbare hvis støjniveauet i boligen skulle iscenesættes. Det er dog valgt at til efterklangsmålingerne udført i denne dataindsamling, vil informationerne ikke være nødvendige da de ikke vil give yderligere brugbare informationer omkring efterklangstiden i rummet.

Nummer 5 til 9 hænger lidt sammen, da de vil kunne give information omkring hvor niveauet af baggrundsstøjen i rummet ligger, samt om der muligvis er apparater eller lignede der kan interferere med efterklangsmålingerne. Derfor er det valgt at kombinere indsamlingen af disse tre informationer til to spørgsmål som fremgår i Tabel 8.2 som spørgsmål 3 og 4.

For nummer 10 til 13 er der ligeledes en sammenhæng da det er informationer direkte omkring rummet hvor målingen vil blive udført i. Derfor er dette også informationer der er nødvendige i et vist omfang, nummer 13 kan være svært at vurdere, hvilket er hvorfor informationen er markeret med ikke nødvendigt. Ligeledes kan det ikke forventes at informationerne omkring materialerne brugt i rummet vil være meget givende for vurderingen af efterklangstiderne i rummet, da møbleringen i rummet vil have den største indvirkning på efterklangstiderne. Mens de to andre informationer vil være gode at have for at kunne lave en god evaluering af efterklangstiderne og hvad tiderne viser om rummet.

Nu hvor nogen af informationerne er udvalgte skal de også formuleres på en måde der gør det muligt at indsamle informationerne nemt og ubekvem for deltagerne i indsamlingen. Informationerne for rummets opbygning vil nemt kunne klares ved at bede deltagerne tegne en skitse af rummet, hvor der markeres vægge, udformning og eventuelt døre og vinduer. På sådan en skitse vil det også være muligt at få deltagerne til at indikere hvor målingerne cirka er foretaget i rummet. I forhold til møbleringen i rummet kan en løsning til indsamlingen af dataene være et eller flere billeder af rummet, på disse billeder vil det være

muligt at se møbleringen, samt kunne lave en vurdering om der er materialer i rummet som kan have stor indvirkning på efterklangstiden, som akustisklofter. Den eneste information der kan være svært at få fra et billede, er dimensionerne af rummet, derfor vil der være et behov for at få deltagerne til at udfylde dem.

De sidste informationer der kunne være gode at have til vurderingen af efterklangsmålingerne, er om der er apparater der udsender lavfrekvent støj under målinger og derved kunne interferere med estimeringen af efterklangstiderne. Det kan dog være svært at vurdere hvor støj kommer fra, derfor vil det være nemmere blot at få deltagerne til at lave en vurdering af støjniveauet i rummet generelt. Denne vurdering vil have stor usikkerhed, da vurderingen vil blive taget i forhold til deltagerens vurdering og tolerance. De endelige spørgsmål kan ses i Tabel 8.2, hvor graderne for vurderingerne også er indikeret, spørgsmålene er også inkluderet i udskriften af spørgeskemaet i Appendiks J

Tabel 8.2 Liste over spørgsmålene brugt til spørgeskemaet og forklaring til hvert spørgsmål.

Spørgsmålsnummer	Spørgsmålet	Indikering for spørgsmålet
1	Dimensionerne for væggene i rummet	Her vil deltageren blive bedt om at udfylde længderne af rummets vægge til nærmeste 10 cm
2	Højde i rummet	Her vil deltageren blive bedt om at udfylde højden af rummet (fra gulv til loft)
3	Apparater i rummet	Her vil deltageren blive bedt om at tjekke apparater af på en liste hvis apparatet er i rummet, på listen fremgår nogen af de mest gængse apparater der kan finde i en almindelig bolig
4	Vurdering af støjniveauet i rummet	Her vil deltageren blive bedt om at vurdere støjniveauet i rummet på en skala fra 0-10, fra ikke hørbart til meget tydelig

Sektion 8.3 Vejledningen til udførelse af efterklangsmålingerne

Nu hvor spørgsmålene til spørgeskemaet er fundet, kan vejledningen til udførelse af efterklangsmålingerne blive formuleret. Inden vejledningen vil blive påbegyndt, vil deltageren først blive bedt om at vælge hvilket styresystem enheden de vil bruge til målingen har, da som forklaret i Appendiks B er der forskel på AVR for Android og iOS. Derfor er det også valgt at lave en vejledning til hver af styresystemerne, vejledningen starter med at give en introduktion til AVR, om hvordan applikationen installeres og fungere. For iOS vil det være nødvendigt at få deltagerne til at lave en ændring i indstillingerne da filtypen brugt til optagelserne som standard er sat til .m4a, hvilket skal vælges til .wav. Det er kun nødvendigt at lave denne ene ændring for indstillingerne for begge styresystemerne, da de øvrige standardindstillinger stemmer overens med kravene for optagelserne.

Efter at AVR er installeret på enheden, vil der blive givet en introduktion til hvordan målingerne skal udføres, som tidligere nævnt i Sektion 6.3 er målingen opbygget om tre målinger, to målinger i rummet hvor enheden er placeret udover kanten på et bord eller lignede, samt en måling i midten af en sammenfoldet dyne. Lydsignalet der skal bruges til målingerne, er vedlagt i vejledningen som et link, linket fungere som en fildeling hvor afspilningen af lydsignalet kan foretages direkte i browseren der åbnes på enheden. Dette sikrer at lydsignalet ikke skal downloades og findes på enheden, da det kan være besværligt at forklare. Lydsignalet er også blevet inkluderet en introduktion hvor deltageren bliver bedt om at starte en optagelse og placere enheden i en af målepositionerne, når målesignalet er færdig afspillet og optagelsen kan stoppes vil der blive afspillet en meddelelse om at målingen er slut og optagelsen kan stoppes.

Vejledningen til målingen af højttalerrespons kan ses i Liste 8.1 og vejledningen til udførelse af målingen i de to målepositioner i rummet kan ses i Liste 8.2.

Liste 8.1 Vejledning til deltagerne til måling af højttalerrespons i midten af en sammenfoldet dyne.

1. Sikre dig at alle døre og vinduer i rummet er lukket
2. Sluk for meget støjende apparater som du kan høre når du står i rummet (Kan være et køleskab, vaskemaskine eller lignede, et ur er ikke nødvendigt at slukke)
3. Du skal bruge en dyne eller lignede til den første måling
4. Start med at åbne "AVR X" applikationen så du er klar til at lave en optagelse og skrue helt op for enhedens højttaler
5. Fold dynen i halv så du kan lægge enheden ind i mellem de to halvdele af dynen
6. Start afspilningen af lydfilen, (linket hertil kommer lidt senere nede da det er samme lydfil du skal bruge til alle målingerne og derved kan udføre dem på en gang)
7. Når afspilningen starter, skal du gå hen og starte en optagelse i "AVR X", optagelsen startes ved at trykke på den røde knap
8. Placer nu enheden med skærmen nedad og lig dynen over
9. I afspilningen vil det blive sagt når afspilningen er slut og du kan stoppe optagelsen, for at stoppe optagelsen trykkes der på knappen med firkanten på ved siden af den i midten, for at komme tilbage til guiden her trykker du blot på tilbage knappen i din browser

Liste 8.2 Vejledning til deltagerne til udførelse af efterklangsmålingen i de to målepositioner i rummet.

1. Igen skal du sørge for at døre og vinduer er lukket i rummet, samt at der ikke er nogen apparater som støjer hørbart i rummet.
2. Start med at placere enheden i din første placering som beskrevet herover.
3. Start afspilningen igen og start også en optagelse i "AVR X" applikationen
4. Når du har stoppet optagelsen igen, flytter du blot enheden til næste placering og gentage punkt 3.
5. Når du er færdig med de to optagelser, forsætter du blot til næste side, hvor der vil blive beskrevet hvordan tilbagemeldingen af optagelser og billeder skal ske.

Når optagelserne er udført, skal optagelserne indsendes til evaluering hvilket det er valgt at bruge mail til, da det er et mere sikkert system og nemmere end at skulle uploade optagelserne og billederne til en fillagringsenhed som en server. For at sikre at deltagerne kan finde optagelserne og vælger de rigtige filer til sendingen er det valgt at lave en vejledning til både sendingen af optagelserne og af billederne af rummet samt skitsen de har lavet af rummet. Vejledningen til tilbagemelding af optagelserne kan ses i Liste 8.3, og vejledningen til tilbagemeldingen af billederne fra rummet og af skitsen kan ses i Liste 8.4.

Liste 8.3 Vejledning til tilbagemelding af optagelserne og billederne via mail.

1. Start med at finde de tre optagelser, dette sker igennem applikationen "AVR X"
2. Her skal du trykke på ikonet nederst i venstre hjørne
3. Her skulle de tre optagelser gerne ligge, her trykker du på de tre prikker i øverst højre hjørne og vælge "SHARE"
4. For at sikre at alle filerne kommer frem bedes du sende hver lydfil i en mail for sig. Dette gør du ved at markere en af de tre optagelser og trykke på "SHARE" igen, her får du nogen delings muligheder hvor du skal vælge mail
5. Du skal sende mailen til følgende mailadresse: revb2021@outlook.dk
6. I mailen skal du indskrive dit ID-nummer i emnefeltet og blot sende mailen
7. Gentag processen for de øvrige to lydfiler.

Liste 8.4 Vejledning til tilbagemelding af billederne fra rummet og af skitsen via mail

1. Gå ind hvor du normalt ser dine billeder på telefonen
2. Vælg billederne du har taget af rummet og den skitse du har tegnet af rummet
3. Vælg del via mail
4. Send mailen til samme mailadresse som overstående
5. Skriv dit valgte ID-nummer igen i emnefeltet

Nu hvor spørgeskemaet og vejledningen til efterklangsmålingerne er færdig formuleret og opbygget i Survey-Xact, er spørgeskemaet blevet delt via sociale medier og til en udvalgt gruppe mennesker, hvor der er blevet indsamlet efterklangsmålinger fra rum i forskellige boliger. Målingerne er efter indsamlingen blevet analyseret efter metoden beskrevet i Sektion 5.2 i SAFE, udover de indsamlet efterklangsmålinger er der også foretaget referenceefterklangsmålinger i nogen af de målt rum efter at beboerne har udført en efterklangsmåling ved at følge metoden beskrevet i dette kapitel. I det følgende kapitel vil resultaterne for de indsamlede målinger blive undersøgt og vurderet, samt sammenholdt med de indsamlet informationer om målerummene.

Kapitel 9 Resultater fra indsamlede målinger

Der er blevet indhentet 15 målinger fra forskellige deltager i dataindsamlingen, hvor målingerne er udført i forskellige rum og med forskellige enheder, målerapporterne for de 15 indsamlet målinger er inkluderet i Appendiks K. I Tabel 9.1 er der givet en oversigt over efterklangstiderne for hver af de indsamlet målinger, efterklangstiderne er givet i 1/3 oktavbånd, hvor centrefrekvenserne for hver 1/3 oktavbånd er indikeret.

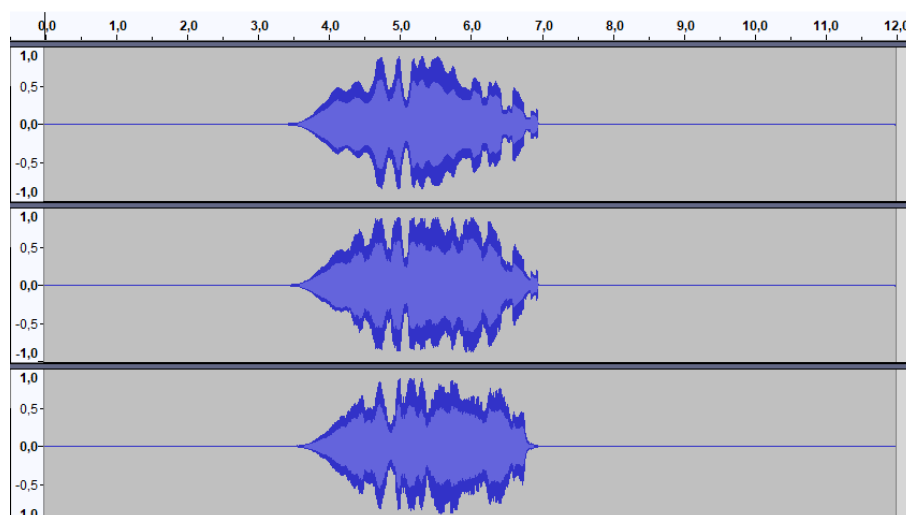
Tabel 9.1 Oversigt over alle efterklangstiderne fra de indsamlede målinger givet for 1/3 oktavbånd. De grønne markeret felter er efterklangstider som er vurderet til ikke at være en tydelige overestimering.

Frekvens [Hz]	Efterklangstiderne for hver af de indsamlede målinger														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
100	3,93	4,04	1,03	2,80	3,63	3,90	4,48	0,30	3,61	4,12	4,47	3,76	4,78	3,27	3,19
125	4,30	3,79	0,20	0,78	2,33	4,55	4,22	0,25	3,28	4,14	3,95	2,13	3,91	2,32	0,20
160	4,02	4,40	0,15	0,14	0,95	2,49	2,61	0,18	1,51	0,16	4,33	1,38	4,60	0,17	0,23
200	3,66	4,45	0,12	0,14	0,12	0,14	0,43	0,15	0,39	0,14	3,36	0,35	4,25	0,13	1,29
250	4,42	4,62	0,10	0,21	0,10	0,10	0,51	0,17	0,32	0,15	2,75	0,34	3,66	0,23	0,21
315	3,44	4,86	0,09	0,22	0,08	0,09	0,48	0,38	0,22	0,17	1,39	0,37	4,19	0,32	0,29
400	3,32	4,00	0,09	0,43	0,07	0,09	0,49	0,31	0,26	0,24	1,77	0,33	3,52	0,27	0,26
500	3,03	3,40	0,08	0,23	0,05	0,09	0,50	0,23	0,31	0,20	3,55	0,37	0,34	0,33	0,31
630	2,94	0,15	0,09	0,23	0,04	0,09	0,51	0,28	0,36	0,27	0,52	0,29	0,39	0,34	0,38
800	2,86	0,17	0,13	0,17	0,05	0,06	0,59	0,31	0,42	0,24	0,50	0,31	0,39	0,36	0,32
1000	4,31	0,18	0,27	0,18	0,03	0,06	0,58	0,23	0,40	0,25	0,45	0,40	0,39	0,37	0,30
1250	3,45	0,16	0,41	0,23	0,03	0,15	0,65	0,33	0,40	0,29	0,53	0,36	0,38	0,36	0,36
1600	3,04	0,15	0,29	0,25	0,04	0,12	2,36	0,29	0,45	0,28	0,54	0,41	0,43	0,40	0,29
2000	2,61	0,15	0,21	0,28	0,05	0,07	3,78	0,17	0,34	0,30	0,45	0,41	0,42	0,39	0,35
2500	2,79	0,15	0,18	0,26	0,04	0,07	0,71	0,18	0,43	0,31	0,44	0,36	0,33	0,35	0,34
3150	2,66	0,18	0,18	0,27	0,01	0,16	0,72	0,21	0,47	0,32	0,55	0,39	0,27	0,42	0,34
4000	3,27	0,20	0,24	0,28	0,01	0,06	5,15	0,17	0,44	0,33	0,59	0,41	0,34	0,38	0,40
5000	2,91	0,23	0,21	0,27	0,01	2,47	4,77	0,15	0,41	0,35	0,45	0,39	0,36	0,36	0,37

I tabellen er efterklangstiderne der ikke er en tydelig overestimering og derved overholder kravet fastsat i Kapitel 4. Disse efterklangstiderne er markeret med grønt, hvilket ikke betyder det er gode resultater til vurderingen af målemetoden. Før resultaterne kan blive vurderet som værende gode, skal der først undersøges om nogen af efterklangstiderne er underestimering da det virker til at nogen af tiderne har den mulighed. Målingerne hvor der er mistanke om underestimering af efterklangstiderne er målingerne nummer 3 og 5, for at kunne give en bedre ide om efterklangstiderne er underestimeret de blive vurderet i forhold til billederne fra målerummene, billederne kan findes i målerapporterne i Appendiks K under de samme numre for målingerne. Ud fra billederne vil en umiddelbar vurdering være at efterklangstiden burde være længere end det fremgår af Tabel 9.1. Der er en sammenhæng mellem de to målinger, hvilket er at målingerne er lavet på en iOS enhed, mere præcist en iPhone. Det er også i de tidligere forsøg vist at målingerne udført på iPhone kan have problemer i forhold til underestimering af efterklangstiderne. Mistanken fra tidligere er at mikrofonen brugt til optagelserne er placeret umiddelbart ved siden af højttaleren, hvilket vil give et optaget respons som der er set for de to målinger omtalt her. Derfor kan der ikke være sikkerhed for at målingerne stemmer overens med de endelige efterklangstider for rummet.

Det er dog ikke kun de to før omtalte målinger der virker til at have problemer med underestimering, målingerne nummer 2 og 6 virker også til at have meget korte efterklangstider, begge disse to målinger er udført på Android enheder. Undersøges de to målinger mere grundigt, vises det at målingen nummer 2 er foretaget i et mindre rum, hvor en stor del af overfladearealet er dækket af absorptionsmaterialer der inkluderende et bøjlestativ fyldt med tøj og en seng der tager en stor del af gulvarealet. Disse to større absorptionsmaterialer vil kunne betyde at efterklangstiden i dette rum er meget kort for dele eller hele frekvensområder der er analyseret for i disse målinger. Derfor kan det også forventes at se meget korte efterklangstider især for frekvensområdet startende ved 500 Hz cirka og opefter i frekvens.

For målingen nummer 6 er rummet af en større størrelse, hvilket kan betyde at enheden brugt til målingerne muligvis har haft højttaler placeres ved siden af mikrofonerne brugt til optagelserne, hvilket giver samme problem som for målingerne nummer 3 og 5. Denne opbygning er også vist i undersøgelsen udført i Appendiks A, hvor især de nyere smartphones har placeret højttaler i både top og bund af smartphone, hvor der også er placeret mikrofoner. Undersøges optagelserne fra målingen viser disse også responser der virker til at være optaget lige ved siden af en højttaler, da responserne ligner meget højttalerresponser, de optagede responser for højttalerresponset og de optagede responser fra top og bund mikrofonerne under målingerne er vist i Figur 9.1.



Figur 9.1 Plot af de tre optagede responser fra den indsamlede måling nummer 6. Øverste respons er det optagesede højttalerrespons, det midterste respons er det optagelsen fra mikrofonen i bunden af smartphonen under målingen, og det nederste respons er optagelsen fra den nederste mikrofon under målingerne.

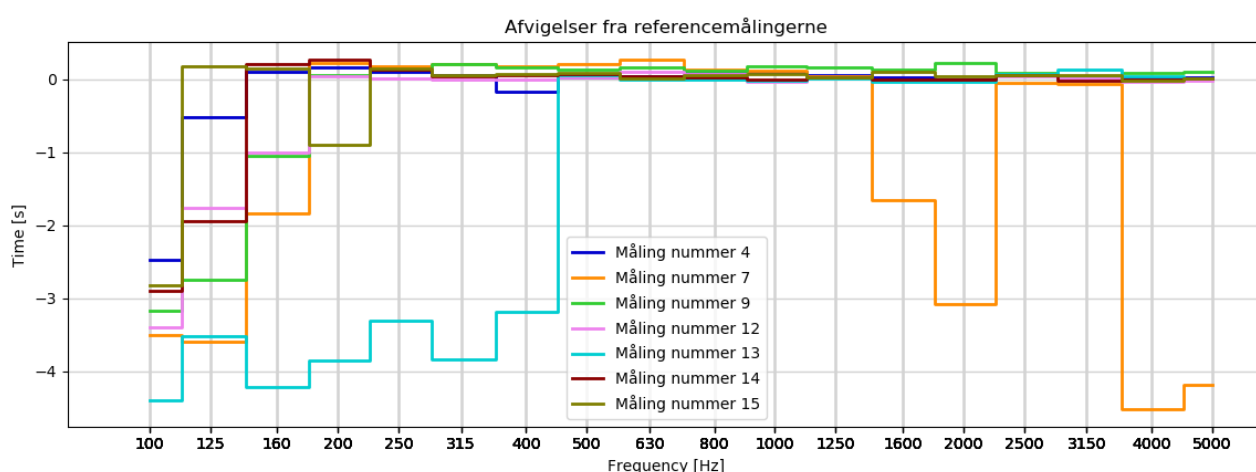
Det er dog ikke kun underestimering der er et problem i målingerne, målingen der er værst i forhold til overestimering, er målingen nummer 1, hvor hele optagelsen er vurderet som værende overestimeret. Sammenlignes resultaterne med billederne fra rummet vil der forventes at efterklangsmålingerne er meget lavere, dette kan betyde at muligvis har der været meget baggrundsstøj i rummet eller så har højttaleren ikke kunne afspille lydsignalet højt nok til at udføre målingen. Deltageren har markeret at støjniveauet i rummet ligger på 5 hvilket er mellem stedet for skalaen over støjniveauerne, dette kan betyde at problemer med baggrundsstøj kan forventes at være en mindre sandsynlighed. På grund af denne overestimering hvor grunden ikke kan fastlægges, er målingen markeret som ikke brugbar til vurdering af målemetoden.

Undersøges de brugbare 1/3 oktavbånd fra de indsamlede målinger, kan frekvensområdet på 200 Hz - 3150 Hz godkendes for 80 % af de indsamlede målinger, hvor der i undersøgelsen er set bort fra målinger hvor der er underestimering for efterklangstiderne. Dette frekvensområde kan følge frekvensområdet krævet

for survey metoden i standarden ISO 3382-2, hvor kravet til frekvensområdet lyder 250 Hz - 2000 Hz. Hvilket kan betyde at målingerne på en vis måde kan sammenlignes med resultater fundet ved brug af survey metoden, da standarden har et minimum af to målepositioner i et rum og det bestemt frekvensområde for lydsignalet, hvilket begge er overholdt i den foreslået målemetode. Det er dog ikke helt forsvarligt at lave en direkte sammenligning af disse to metoder, da survey metoden også har yderligere krav stillet til sig som den foreslået målemetode ikke kan leve op til, som krav til afstand mellem mikrofon og lydkilde og afstand til reflekterende overflader.

Det før omtalte frekvensområde er dog hellere ikke uden problemer for målemetoden, da der som vist i Tabel 9.1 er der smartphones der ikke kan dække hele frekvensområdet, selvom at det er en lille mængde kan det stadig betyde at højtalene generelt ikke kan afspille så lave frekvenser eller ikke kan producere lydtrykket der er behov for til målingerne. Dette kan give problemer som forvrængning i de øvrige frekvensområder og mindre sikkerhed for at estimeringerne for de lave frekvensområder er estimeret rigtigt. Det er ligeledes ud fra de indsamlede målinger, vist at resultaterne for de fleste målinger ikke kan dække længere ned i frekvens end ved 250 Hz 1/3 oktavbåndet, hvilket give god mening da højtalenehederne i smartphones er meget små. Det kan derfor også diskuteres om resultaterne for 1/3 oktavbåndene under 250 Hz 1/3 oktavbåndet er pålidelige. Hvis først højtaleneheden kan producere frekvenser herunder skal de også kunne producere nok energi i lydsignalet til at efterklangstiderne kan estimeres korrekt. Af de indsamlede målinger er det kun seks af målinger, hvor det har været muligt at kunne estimeres en efterklangstid under 200 Hz 1/3 oktavbåndet, hvor det ikke har været en tydelige overestimering. Dette vil også begrænse forventningerne til at kunne estimere efterklangsmålinger for de laveste 1/3 oktavbånd, derfor er spørgsmålet om det er nødvendigt at lave analysen og målingen så langt ned i frekvens, hvis det kun kan forventes af cirka 1/3 af de indsamlet målinger kan give resultater for disse frekvensområder, og samtidig risikere at der opstår forvrængning i de øvrige indsamlede målinger.

Det er tidligere nævnt at der er blevet udført referenceefterklangsmålinger i nogen af rummene fra de indsamlede målinger, mere præcist er der udført en referencemåling i syv af disse rum, i Figur 9.2 er afvigelserne til referencemålingerne regnet.



Figur 9.2 Plot af afvigelserne fra referencemålingerne, for de målinger hvor der er målt en referencemåling i rummene. Regnet så overestimering er negativ tid, mens underestimering er positiv tid.

Ud fra afvigelserne kan det ses at specielt fra omkring 200 Hz 1/3 oktavbåndet er de fleste af målingerne indenfor et sekund afvigelse fra referencemålingen. Der er dog også meget underestimering for de syv

målingerne, specielt målingen nummer 9 har omkring afvigere med cirka -26 % fra referencen for de fleste af 1/3 oktavbåndene, dette er en underestimering svarende til cirka 0,27 sekunder.

Afviselserne viser dog også at specielt målingen nummer 12 passe meget godt til referencemålingen hvor afviselserne er meget tætte på 0 sekunder for flere af 1/3 oktavbåndene, ligeledes har målingerne nummer 4, 13, 14 og 15 meget få 1/3 oktavbånd hvor der er over eller underestimering. Det skal dog også tages med i betragtningen at det er normalt at der er afviselser mellem udført efterklangsmålinger i samme rum, derfor kan en afvigelse på 0,1 sekund omkring referencen stadig være omkring den rigtige efterklangstid. Dette er scenariet for flere af målingerne vist her, hvor afvigelsen ligger omkring 0,1 sekund fra referencen, derfor kan disse også blive brugt som værende den endelige efterklangstid for det specifikke 1/3 oktavbånd.

Det kan dog ses ud fra afviselserne at de lave frekvenser er svære for målemetoden at ramme, da ingen af de indsamlede målinger kan dække det laveste 1/3 oktavbånd med centrefrekvens 100 Hz, dog kan to af målingerne dække 1/3 oktavbåndet 125 Hz med en afvigelse inden for cirka 0,5 sekunder, dog har de større afvigelse ved 1/3 oktavbåndene 160 Hz og 200 Hz, hvilke kan antyde at det måske er mere held at afvigelsen er så lille for de to målinger ved 1/3 oktavbåndet 125 Hz.

Ses der kun på afviselserne vil et frekvensområde for analysen af målingerne starter ved 200 Hz 1/3 oktavbåndet frem for det med centrefrekvens 100 Hz, da afviselserne fra dette frekvensbånd ligger inden for 1 sekund overestimering og 0,2 sekunders underestimering for seks af de syv målinger. Kun målingen nummer 13 har problemer for de lave frekvensbånd, op til 630 Hz 1/3 oktavbåndet, dette kan også tydeligt ses ud fra resultaterne i Tabel 9.1, hvor efterklangstiderne op til dette 1/3 oktavbånd er indikeret som tydeligt overestimeret, dette blive blot bekræftet ved sammenligningen med referencemålingen i samme rum.

Kapitel 10 Konklusion

Tages der udgangspunkt i hvordan problemformuleringen lyder og resultaterne fra de indsamlede målinger vil det kunne konkluderes at målemetoden lever op til det ønskede resultat. Da der er blevet udarbejdet en målemetode til udførelse af efterklangsmålinger i danske boliger med remedier der er tilgængeligt i en almindelig dansk bolig. Dette betyder dog ikke at målemetoden er færdigudviklet, da som vist i både de indledende målinger, samt for de indsamlede målinger kan der være udfordringer med at bruge iOS enheder til udførelsen af målingerne, da det mistænkes at iOS enhederne har dedikerede mikrofoner til forskellige opgaver.

Ligeledes skal det også tages med i vurderingen at det kan konkluderes at flere af de indsamlede målinger viser at flere smartphones ikke kan producere det lavfrekvente indhold i det brugte lydsignal. På grund af denne hindring vil det være mere oplagt at gøre lydsignalets frekvensområde mindre for at undgå forvrængning af andre frekvensområder. Et forslag udarbejdet fra resultaterne fra de indsamlede målinger, kunne være at bruge et frekvensområde for lydsignalet og analysen efterfølgende på 200 Hz - 4000 Hz, da der med større sandsynlighed vil være flere smartphones der vil kunne afspille hele frekvensområdet, ved et brugbart lydtryk.

Det kan ligeledes ses ud fra afvigelserne for sammenligningen af de indsamlede målinger og reference-målingerne fra de forskellige rum, at frekvensområdet 200 Hz - 4000 Hz, er hvor de indsamlede målinger afviger mindst fra referencen. Derfor kan det også konkluderes at målemetoden kan give en god ide om hvor efterklangstiderne ligger omkring for de specifikke 1/3 oktavbånd, dog med mindre eller større afvigelser afhængig af hvilken smartphone der bruges til målingerne.

For kravene opsat i Kapitel 4 overholder målemetoden alle kravene, dog vil nogen af kravene kunne diskuteres om de er overholdt, specielt kravene nummer 3, 4 og 9. I forhold til kravet nummer 3 kan det diskuteres om målemetoden overholder kravet, da nogen af de indsamlede målinger ikke kan dække hele området, dog overholder de minimumskravet for frekvensområdet. Det 4. krav er svære da det afhænger meget af hvilken smartphone der bruges til målingerne, om den kan afspille hele lydsignalet, dog kan det også tages med i konklusionen at kravet til lydsignalet er overholdt, det er blot udstyret brugt til målingerne der muligvis ikke kan overholde kravet.

Det sidste krav der kan være svært at fastsætte om målemetoden overholder, er kravet nummer 9, da det er svært at lave en vurdering på baggrund af resultaterne, om målingerne har taget mere end 30 minutter at udføre for deltagerne. Det skal dog taget med i betragtning at målemetoden er udarbejdet med henblik på at være nem og simple for deltagerne i indsamlingen og derfor også holde udførelsen så kort som muligt.

Det kan dog på baggrund af resultaterne fra de indsamlede målinger og de indledende målinger kunne blive konkluderet at målemetode kan opfylde problemformuleringen, der vil dog skulle tages andre foranstaltninger før metoden kan bruges til større indsamlinger af målinger. Dette er begrundet mængden af manuelt arbejde med de indsamlede optagelser, men som et prof-of-concept vil målemetoden kunne blive brugt og har mulighed for at blive videreudviklet så mængden af indsamlede optagelser kan blive større og ikke kræver meget arbejde efter at målingerne er indsamlet.

Kapitel 11 Perspektivering

Der er flere måder hvorpå målemetoden kan videreudviklet så der er mindre arbejde med de indsamlede optagelser, samt med analysen af optagelserne. Herunder kan målemetoden også udføres på en mere simpel måde for deltagerne i indsamlingen, hvilket kan gøre det muligt at udføre målingerne uden behov for at skulle installere en applikation på deres smartphone.

En metode til at gøre målemetoden nemmere for deltagerne kunne være at opbygge målesystemet op omkring mulighederne i HTML5, hvor det er muligt at kunne lave en afspilning og en optagelse gennem en hjemmeside. Heri vil det også kunne være muligt at inkludere spørgeskemaet hvor der kan indhentes informationer om rummet målingen udføres i, som dimensioner på rummet og udformningen samt billeder af rummet. Det vil også være muligt at samle optagelserne, informationerne om rummet og billederne i en samlet fil. Hvis sådan et system kunne opbygges, vil det kunne gøre måleprocessen nemmere for deltagerne og for analyseringsprocessen, da optagelserne og afspilningerne kan times sammen og derved ikke har behov for at blive separeret efterfølgende.

En anden måde hvor der hvorpå måleresultaterne muligvis vil kunne blive forbedret vil være ved at undersøge muligheden for at bruge flere enheder til at udført målingen med, hvor en enhed kan være højttaleren og en kan være mikrofon, som under forsøget i undersektion 7.2.3. Dette vil også kunne åbne op for muligheden for at bruge en ekstern højttaler som lydkilden, og derved kunne forhåbentlig levere et højere lydtryk i rummet. Problemet med denne metode er at måleprocessen sikkert vil blive mere kompliceret da der skal etableres kommunikation mellem to enheder, for ikke at gøre målingen svære at udføre for deltageren i indsamlingen.

En løsning til at gøre målingen mere simple men måske også kunne give en bedre måling ved at minimere reflekterende overflader tæt på mikrofonen, vil være at undersøge om der er andre muligheder for placeringen af smartphonen under målingerne. Et forslag kunne være at deltageren skulle holde smartphonen ud i stræk arm i forskellige positioner i rummet, dette vil kunne minimere reflekterende overflader tæt på mikrofonen. Det vil dog også fjerne den forstærkende effekt overfladen har for højttaleren, denne vil dog måske også kunne forbedres ved at placere smartphonen tættere på et hjørne i rummet. Derfor vil det måske være en god ide at undersøge nærmere hvilken placering der er optimal for smartphonen for at højttaleren har mulighed for at få en forstærkende effekt, samt at comb-filtre effekten bliver minimeret for mikrofonen.

En løsning til at minimere mængden af forvrængning i afspilningen af lydsignalet, kunne være at gøre frekvensområdet til lydsignalet til en adaptiv proces, hvor lydsignalet bliver specielt dannet til den specifikke smartphone. Dette kunne gøres ved at undersøge højttalerresponset efter det er målt og herigennem kunne sortere frekvenser fra som smartphonen ikke kan producere. Det vil dog også gøre at målingerne der bliver indsamlet, kommer til at have forskellige frekvensområder, dette er dog også scenariet for den nuværende målemetode.

En sidste ting der vil være en god ide at undersøge videre, vil være at finde en måde hvorpå det er muligt at bruge mikrofonen placeret ved siden af højttaleren til at udføre målingerne på også. Dette kan for eksempel være ved at bruge et længere lydsignal, eller et andet målesignal som MLS eller Pink-støj da frekvenserne ikke kommer i rækkefølge. Her kan det også undersøges om indvirkningen fra comb-filtret på målingerne, da mikrofonen på nuværende tidspunkt i målemetoden er placeret med en reflekterende overflade tæt på sig.

Bibliografi

- [1] A. Raabæk, »Musikken spiller trådløst med et enkelt klik,« *DinBolig*, pp. 12-13, 24 August 2014.
- [2] P. Hyldahl, »Den trådløse lyd skal kastes rundt,« *Alt om Data*, pp. 48-53, April 2016.
- [3] A. Limkilde, »Hej Google, jeg er hjemme,« *Viborg Folkeblad*, pp. 20-22, 16 August 2019.
- [4] A.-M. B. Jensen, »Vi forlanger ekstra for god lyd i boliger,« *Boligsiden.dk*, p. 12, 20 Marts 2016.
- [5] S. F. Mathiasen, »Renovér rigtig: Få et hjem... Anno 2012,« *Bo Bedre*, pp. 84-90, Nr. 3 2012.
- [6] Byggeri+arkitektur, »Byggeri+arkitektur,« 2021. [Online]. Available: <https://byggeri-arkitektur.dk/vi-bekaemper-stoej-som-aldrig-foer>. [Senest hentet eller vist den 22 April 2021].
- [7] Skive Folkeblad, »Stor interesse for mindre støj i hjemmet,« *Skive Folkeblad*, p. 12, 24 Februar 2021.
- [8] Bolig- og Planstyrelsen, »Bygningsreglementet.dk,« 2020. [Online]. Available: <https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/17/Krav>. [Senest hentet eller vist den 23 April 2021].
- [9] Bolig- og Planstyrelsen, »Bygningsreglementet.dk - 17 - Lydforhold (§ 368 - § 376) - Vejledning til boliger og andre bygninger til overnatning,« 2020. [Online]. Available: <https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/17/Vejledninger/Boliger>. [Senest hentet eller vist den 23 April 2021].
- [10] Miljøstyrelsen, Ekstren støj fra virksomheder, Vejledning nr. 5 red., København: Miljøstyrelsen, 1984.
- [11] Miljøstyrelsen, Støj fra veje, Nr. 4 red., Miljøstyrelsen, 2007.
- [12] Miljøstyrelsen, Trafikstøj i boligområder, Vejledning nr. 3 red., København: Miljøstyrelsen, 1984.
- [13] J. Engelmark, Dansk Byggeskik: Etagebyggeriet gennem 150 år, 1. red., Realdania Byg., 2013.
- [14] L. Jensen og T. R. Sode, »Hvordan har indretning ændret sig gennem tiden,« 6 Marts 2017. [Online]. Available: <https://www.bolius.dk/hvordan-har-indretning-aendret-sig-gennem-tiden-17456>. [Senest hentet eller vist den 23. April 2021].
- [15] Dansk Standard, *Akustik - Måling af rumakustiske parametre - Del 2: Efterklangstid i almindelige rum*, DS/EN ISO 3382-2, 2008.
- [16] W. C. Sabine, »Reverberation,« i *Collected papers on acoustics*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1923, pp. 3-68.
- [17] O. Tambini, »Amazon Echo (2020) vs Apple HomePod mini vs Google Nest Audio: the top smart speakers compared,« 6. Dec. 2020. [Online]. Available: <https://www.techradar.com/news/amazon-echo-2020-vs-apple-homepod-mini-vs-google-nest-audio-the-top-smart-speakers-compared>. [Senest hentet eller vist den 28. Apr. 2021].

- [18] Danmarks Statistik, »Priser og forbrug - Elektronik i hjemmet,« 7. April 2021. [Online]. Available: <https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/priser-og-forbrug/forbrug/elektronik-i-hjemmet>. [Senest hentet eller vist den 16. April 2021].
- [19] J. Sørensen, »Acoustic indoor comfort of modern dwellings,« Aalborg University, 2020.
- [20] Miljøministeriet, Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger, Miljøministeriet, 2020, p. Bilag 4.
- [21] National Instruments, »Understanding FFTs and Windowing,« [Online]. Available: <https://download.ni.com/evaluation/pxi/Understanding%20FFTs%20and%20Windowing.pdf>. [Senest hentet eller vist den 29. maj. 2021].
- [22] C. Diatkine, »Window Size,« 2011. [Online]. Available: <https://support.ircam.fr/docs/AudioSculpt/3.0/co/Window%20Size.html>. [Senest hentet eller vist den 29. maj. 2021].
- [23] Dansk Standard, *Elektroakustik - Hel- og deloktavbåndpasfiltre - Del 1: Specifikation*, DS/EN 61260-1, 2014.
- [24] P. Brown, »How Do Boundaries Affect Loudspeakers?,« 29. Aug. 2011. [Online]. Available: <https://www.prosoundtraining.com/2011/08/29/how-boundaries-affect-loudspeakers/>. [Senest hentet eller vist den 23. Maj. 2021].
- [25] DPA Microphones, »The basics about Comb filtering (and how to avoid it),« 3. Sep. 2019. [Online]. Available: <https://www.dpamicrophones.com/mic-university/the-basics-about-comb-filtering-and-how-to-avoid-it>. [Senest hentet eller vist den 23. Maj. 2021].
- [26] J. Sørensen, »Survey-xact,« Ramboll, 2021. [Online]. Available: <https://www.survey-xact.dk/LinkCollector?key=U7N35V6JLPCP>.
- [27] Apple Inc., »Apple - Brugerhåndbog til iPhone,« 10. Marts 2014. [Online]. Available: https://manuals.info.apple.com/MANUALS/1000/MA1681/da_DK/iphone_ios7_brugerhandbog.pdf. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [28] Apple, »iPhone 8 - Technical Specifications - Apple,« Apple Inc., 12 August 2017. [Online]. Available: <https://images-eu.ssl-images-amazon.com/images/I/91ZfdDGF9qS.pdf>. [Senest hentet eller vist den 12 August 2017].
- [29] Apple Inc., »iPhone 12 - Tech Specs - Apple,« Apple Inc., 26. April 2021. [Online]. Available: <https://www.apple.com/iphone-12/specs/>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [30] Samsung, »Samsung Galaxy S7 Edge Device Layout,« Samsung, 23. November 2020. [Online]. Available: <https://www.samsung.com/nz/support/mobile-devices/samsung-galaxy-s7-edge-device-layout/>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [31] Samsung, »Galaxy A51: Device Layout & Functions,« Samsung, 20. Oktober 2020. [Online]. Available: <https://www.samsung.com/au/support/mobile-devices/a51-device-layout-and-functions/>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].

- [32] Samsung, »Galaxy S10 5G: Device Layout,« Samsung, 15. December 2020. [Online]. Available: <https://www.samsung.com/au/support/mobile-devices/s10-5g-device-layout/>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [33] DeviceSpecifications, »OnePlus 5T Review,« 10. Januar 2018. [Online]. Available: <https://www.devicespecifications.com/en/editor-review/689960/2>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [34] OnePlus, »OnePlus 7 User Manual,« 4. Juni 2019. [Online]. Available: <https://www.oneplus.com/dk/support/manuals>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [35] OnePlus, »OnePlus 9 User Manual,« 23. Marts 2021. [Online]. Available: <https://www.oneplus.com/dk/support/manuals>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [36] GSMArena team, »Huawei Mate 20 Lite review,« GSMArena, 21. September 2018. [Online]. Available: https://www.gsmarena.com/huawei_mate_20_lite-review-1826p2.php. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [37] GSMArena team, »Huawei P Smart 2019 reveiw,« GSMAerna, 25. Januar 2019. [Online]. Available: https://www.gsmarena.com/huawei_p_smart_2019-review-1881p2.php. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [38] Huawei Device Co., »Know Your Device (Huawei P40),« Huawei Device Co., 2021. [Online]. Available: <https://consumer.huawei.com/en/emui10-1/tips/get-familiar-list/article1/>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [39] Sony, »Xperia XZ3 - Brugervejledning - Oversigt,« 23. December 2019. [Online]. Available: <https://helpguide.sony.net/mobile/xperia-xz3/v1/da/contents/overview.html>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [40] Sony, »Xperia 5 - Brugervejledning - Oversigt,« 23. December 2019. [Online]. Available: <https://helpguide.sony.net/mobile/xperia-5/v1/da/contents/overview.html>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [41] Sony, »Xperia 1 II - Brugervejledning - Oversigt,« 11. December 2020. [Online]. Available: <https://helpguide.sony.net/mobile/xperia-1m2/v1/da/contents/TP0003102163.html>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [42] Apple Inc., »iPhone 12 - Oversigt,« 2021. [Online]. Available: <https://www.apple.com/dk/iphone-12/>. [Senest hentet eller vist den 26. April 2021].
- [43] B. Rose, »Comparing MEMS and Electret Condenser (ECM) Microphones,« 2021. [Online]. Available: <https://www.cuidevices.com/blog/comparing-mems-and-electret-condenser-microphones>. [Senest hentet eller vist den 18. Maj. 2021].
- [44] AKUSTICA - Bosch Group, »AKU340 - Data Sheet,« 2015.
- [45] infineon, »IM69D130 - Data Sheet,« 2017.

[46] CUI DEVICES, »CMM-2718AB-38108-TR - Data Sheet,« 2020.

Appendiks A Sammenligning af opbygningsmetode for smartphones

I dette appendiks vil der blive lavet en kort sammenligning af forskellige smartphones, og deres opbygning med fokus på placering af mikrofoner og højttaler. Der vil være fokus på nogen af de mest udbredte producenter, som Samsung, Huawei, Apple, Oneplus og Sony. For at simplificere sammenligningen er placeringen af både mikrofon og højttaler givet i Tabel A.1, i tabellen vil det være indikeret om den specifikke smartphone har en mikrofon placeret i toppen af enheden, i bunden af enheden eller på bagsiden af enheden. Mikrofonen på bagsiden er normalt placeret ved siden af kameraet for at optimere optagekvaliteten under filmning. På Tabel A.1 er der en illustration af hvor mikrofonerne kan være placeret på en smartphone. I tabellen er det også indikeret hvor der er placeret højttaler i smartphonen, normalt bliver disse placeret i bund og top af smartphonen også. Placeringen af højttalerne i smartphonerne er ligeledes illustreret på Figur A.1. For at gøre sammenligningen så præcis som muligt vil det også kun blive indikeret at smartphonen har mikrofonen eller højttaleren hvis de bliver benyttet under optagelse eller afspilning af lyd. Det vil sige at mikrofonen og højttaleren ikke vil blive talt med hvis de kun bliver benyttet til telefonopkald eller lignende. For også at tage højde for ændringerne af designede gennem tiden, er der undersøgt smartphones fra forskellige årgang.

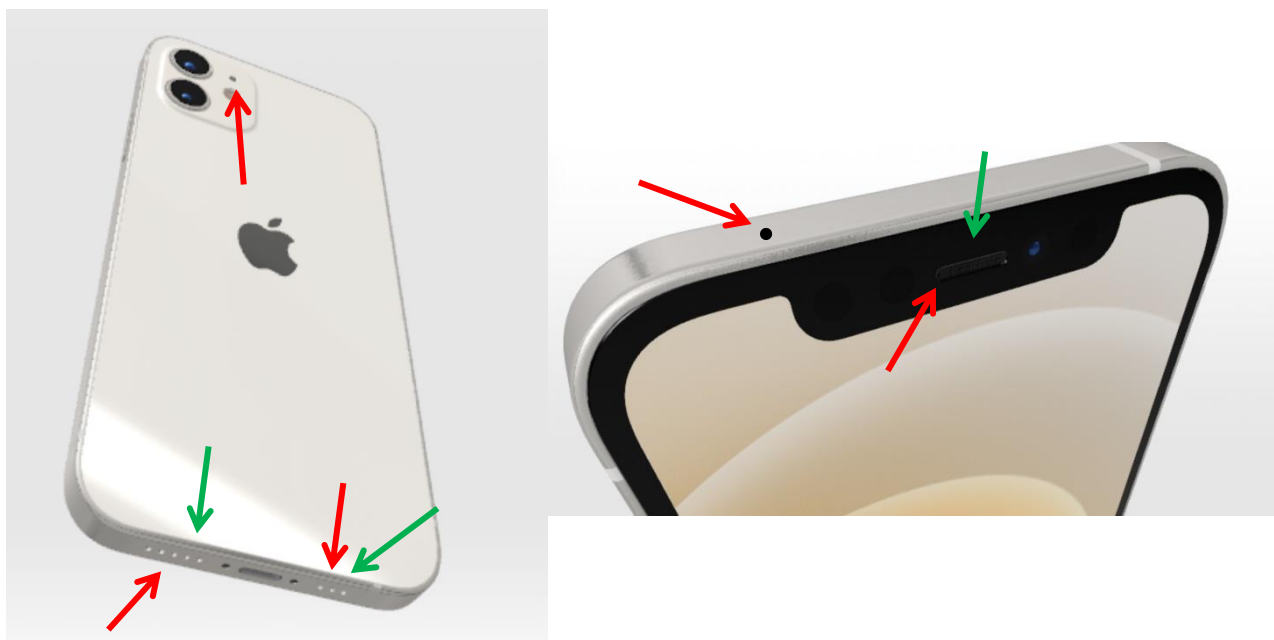
Tabel A.1 Oversigt over placering for både mikrofoner og højttaler i forskellige smartphones fra forskellige producenter

Producent	Model	Årgang	Mikrofon placering			Højttaler placering		Kilde
			I toppen	I bunden	På bagside	I bunden	I toppen	
Apple	iPhone 5S	2013			x	x		[27]
Apple	iPhone 8	2017	x	x	x	x	x	[28]
Apple	iPhone 12	2021	x	x		x	x	[29]
Samsung	Galaxy S7 edge	2016	x	x		x		[30]
Samsung	Galaxy A51	2019	x	x		x	x	[31]
Samsung	Galaxy S10 5G	2020	x	x		x	x	[32]
OnePlus	5T	2017		x	x	x		[33]
OnePlus	7	2019	x	x		x	x	[34]
OnePlus	9	2021	x	x		x	x	[35]
Huawei	Mate 20 Lite	2018	x	x		x		[36]
Huawei	P Smart 2019	2019	x	x		x		[37]
Huawei	P40	2020	x	x		x		[38]
Sony	Xperia XZ3	2018	x	x		x	x	[39]
Sony	Xperia 5	2019	x	x		x	x	[40]
Sony	Xperia 1 II	2020	x	x		x	x	[41]

Ud fra resultaterne fra Tabel A.1 kan de ses at den mest brugte placering af mikrofoner er i bunden og toppen af enheden. Den i bunden bliver også brugt under opkald, men er også den primære mikrofon i de fleste undersøgte enheder. Når fokuset drejes til højttaleren, har alle de undersøgte enheder højttaler placeret i bunden af smartphonen, det skal dog også bemærkes at flere producenter også er begyndt at bruge en højttaler i toppen af smartphonen. Den øverste højttaler benyttes som en sekundær højttaler som kan bruges til at give en mindre version af et stereo opsætning.

Ud fra undersøgelsen kan det også konkluderes at nogen af de mest populære smartphoneproducenter følger en sammenlignelig opbygningsmetode, med en mikrofon placeret i både top og bund. Og at de har en

højttaler placeret i bunden af smartphonen, nogen har dog udvidet med også at placere en højttaler i toppen af smartphonen.

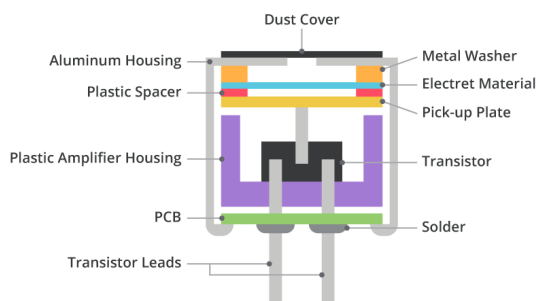


Figur A.1 Illustration af hvor der er placeret mikrofoner og højttaler på smartphones. Til illustrationen er der benyttet en iPhone 12. På figuren viser de røde pille hvor der kan være placeret mikrofoner og de grønne pile viser hvor der kan være placeret højttaler [42].

A.1 - De indbygget mikrofoner i smartphones

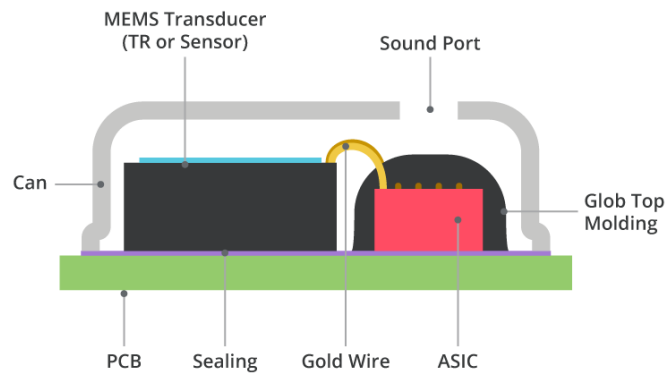
I smartphones i dag, bliver der hovedsageligt kun brugt to forskellige mikrofoner, MicroElectrical-Mechanical System (MEMS) mikrofoner og electret kondenser mikrofoner (ECM). Electret mikrofoner tidligere brugt meget til mobiltelefoner og smartphones, men er begyndt at blive udskiftet med MEMS mikrofoner [43].

Electret mikrofonerne er opbygget som den traditionelle mikrofon med en membran og en transistor som vist på Figur A.2. Electret mikrofonerne er analoge mikrofoner som MEMS-mikrofonerne også er, de har dog ikke en analog til digital konverter (ADC) indbygget i sig, og deres opbygning betyder at mikrofonen optager mere plads end MEMS-mikrofonen, både omkring mikrofon hullet men også på boardet de er koblet til da der er behov for en ADC og en forstærker.



Figur A.2 Illustration af opbygningen af en electret kondenser mikrofon [43].

MEMS-mikrofonerne derimod er mindre mikrofoner der er opbygget med en membran som electret mikrofonen, blot i mindre størrelse. På Figur A.3 er opbygningen af mikrofonen illustreret, mikrofonen har indbygget ADC og forforstærker, hvilket betyder at mikrofonen optager meget mindre plads i enheden end electret mikrofonerne. MEMS-mikrofonerne har også fordelene at de er omnidirektionel hvilket gør at de er mere brugervenlige end electret mikrofonerne.



Figur A.3 Illustration af opbygningen af en MEMS-mikrofon [43].

Ses der mere på de tekniske egenskaber for MEMS-mikrofoner er de fleste kun opgivet til at have et fladt frekvensrespons fra 100 Hz - 10000 Hz, da der er større forstærkning over dette niveau og mikrofonerne har meget stor tolerance for områderne uden for dette frekvensområde [44] [45] [46].

Appendiks B Optagelse og afspilning af lyd på smartphone

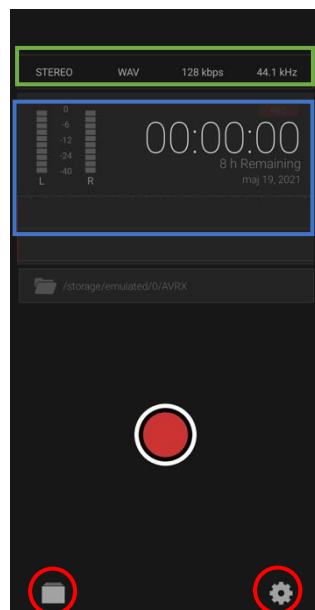
Dette appendiks vil blive delt op i to dele, første del vil være en guide til hvordan optagelserne skal udføres i AVR for både Android og iOS. Her vil guiden både inkludere hvordan optagelserne startes og stoppes, hvor de færdige optagelser kan findes og hvordan indstillingerne kan ændres.

I den anden del vil der blive foretaget en kort test af om det er muligt at foretage en optagelse af lyd samtidig med at der afspilles en lydsekvens på samme smartphone. Denne test vil blive udført på både Android og iOS styresystemerne.

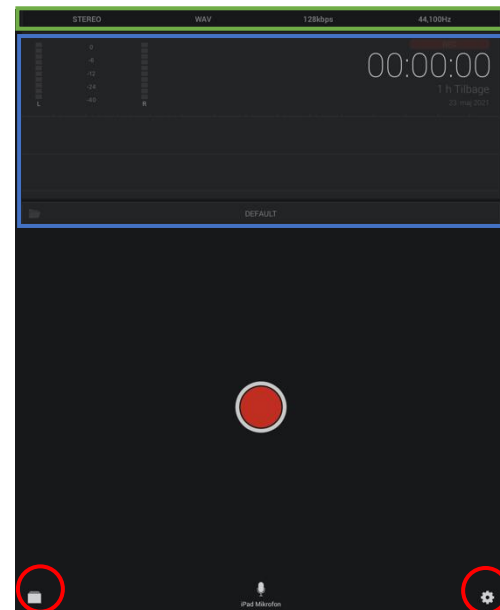
B.1 - Guide til at foretage en optagelse i AVR

Når der skal udføres målinger med smartphones i dette projekt, hvor smartphonen skal være optagerenhed, vil applikationen "Awesome Voice Recorder" (AVR) blive brugt. Applikationen findes til både Android og iOS, hvor funktionerne er sammenlignelige for begge styresystemer. I denne sektion vil der blive givet en guide til hvordan optagelserne foretages i applikationen, samt hvor de færdige optagelser kan findes og hvordan indstillingerne kan ændres.

På Figur B.1 er opstart siderne i AVR for både Android og iOS vist, i toppen af skærmen kan de valgte indstillinger ses, markeret i den grønne firkant. I den blå kasse vises det hvor lang optagelsen er, det vises ligeledes hvordan lydtrykket er for højre og venstre kanalerne, samt et plot af responsen af optagelsen. Nederst markeret i de to røde cirkler findes knapperne til indstillingerne og aktivet hvor optagelserne kan findes efter de er stoppet. Den røde knap på midten af skærmen starter en optagelse, herefter kommer skærmen til at se ud som vist på Figur B.2.

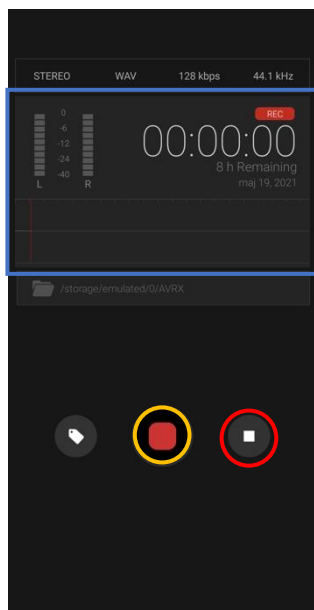


a) Opstart siden på Android

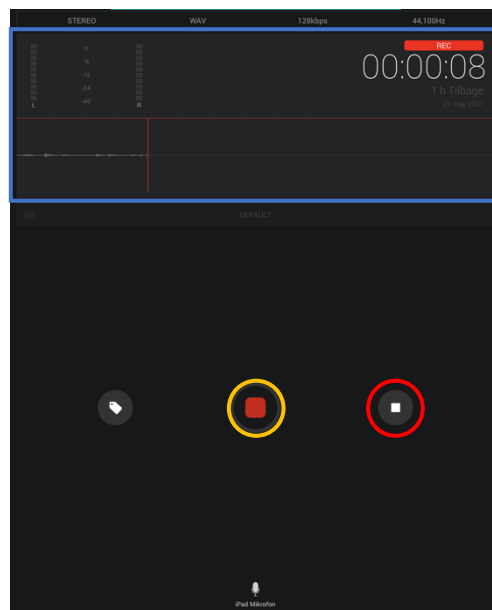


b) Opstart siden på iOS

Figur B.1 Opstart siderne i AVR for både Android og iOS.



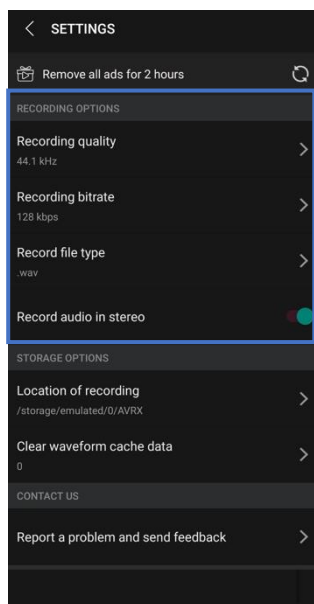
a) Skærm under optagelse på Android smartphone



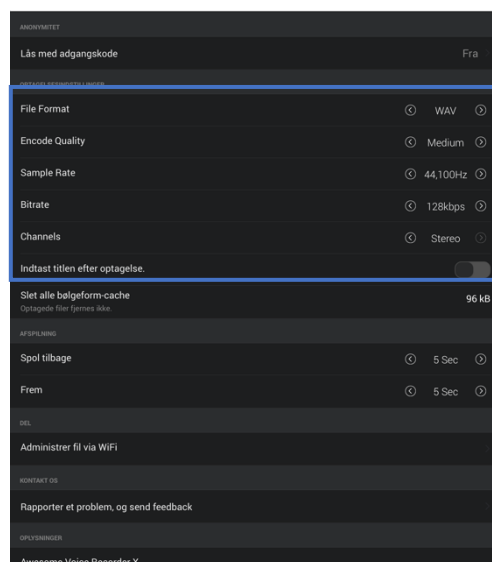
b) Skærm under optagelse på iOS smartphone

Figur B.2 Skærmen i AVR når en optagelse er påbegyndt, for både Android og iOS.

På Figur B.2 er skærmen hvis når en optagelse i AVR er startet, I den blå firkant markeret på skærmene vises en tidstæller på hvor lang optagelsen er på alle tidspunkter, lige under tidsvisningen bliver et respons af optagelsen plottet løbende. Knappen markeret i den gule cirkel pauser optagelsen og giver mulighed for at starte den igen, mens knappen markeret med den røde cirkel stopper optagelsen. Når optagelsen er stoppet, kommer man tilbage til start skærmen vist i Figur B.2, klikkes her på knappen til indstillingerne kommer man ind til en skærm som vist på Figur B.3. På figuren er indstillingerne markeret, hvor filtypen, sample frekvensen og muligheden for skifte fra stereo til mono.



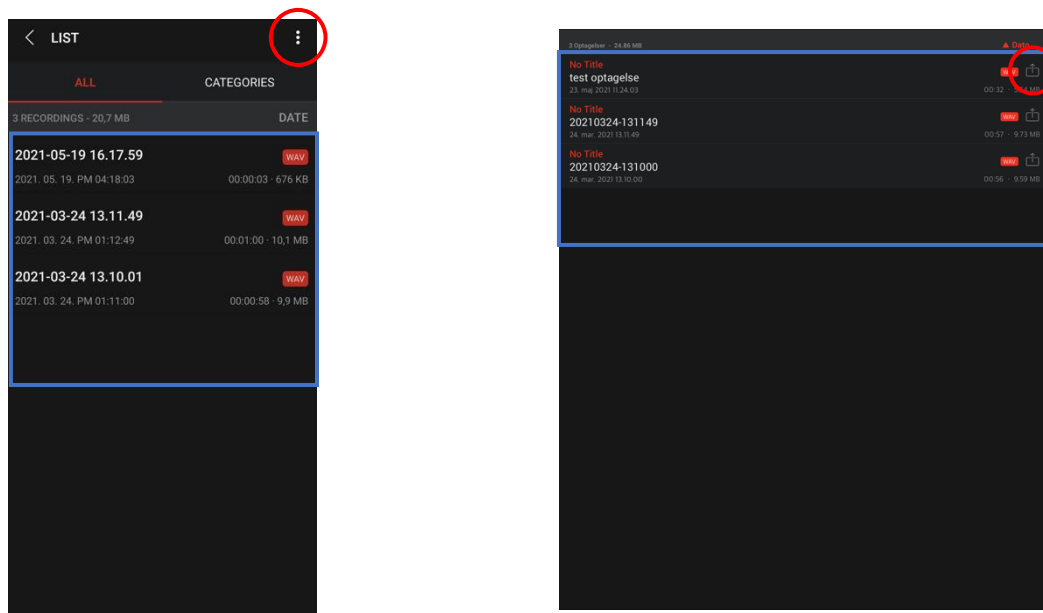
a) Skærm med indstillingerne på Android smartphone



b) Skærm med indstillingerne på iOS smartphone

Figur B.3 Skærmen i AVR der viser indstillingerne, for både Android og iOS.

Til sidst når optagelserne er foretaget kan de findes ved at trykke på den sidste knap i højre kommer man ind i arkivet hvor optagelserne bliver lagret efter de er stoppet, skærmen man kommer til, er illustreret i Figur B.4, hvor optagelserne er markeret i den blå firkant, og ved at trykke på knappen markeret med den røde cirkel giver der mulighed for at ændre navnet på optagelsen, redigere optagelsen, dele optagelserne, slette optagelserne og så videre.



a) Skærm fra arkivet på Android smartphone

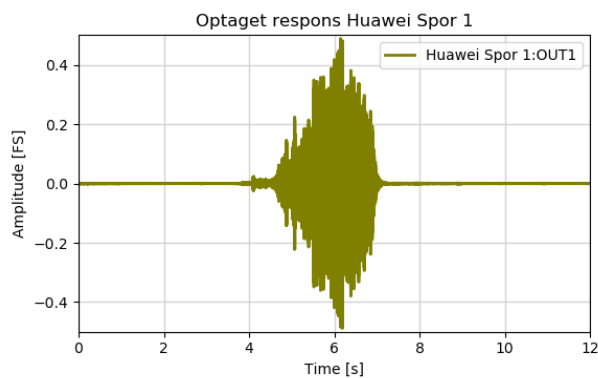
b) Skærm fra arkivet på iOS smartphone

Figur B.4 Skærmen fra AVR der viser arkivet hvor optagelserne lagres efter det er stoppet, for både Android og iOS.

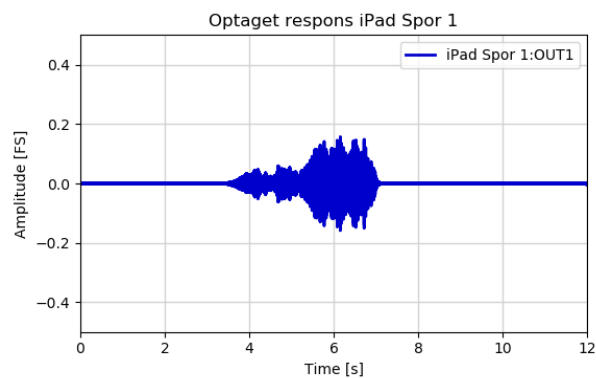
B.2 - Test af mulighed for at optage og afspille lyd på smartphone samtidig

For at sikre at det er muligt at foretage en optagelse samtidig med at der bliver afspillet et lydsignal gennem højttaleren. For at kunne undersøge om dette er en mulighed er der udført en test på både en Android enhed og en iOS enhed, det er valgt at bruge en Huawei Mate 20 Lite og en iPad Air 2 til denne test. Optagelserne er foretaget i en stue, hvor enhederne har været placeret ud over en kant på et bord for at give mulighed for rum omkring mikrofonerne.

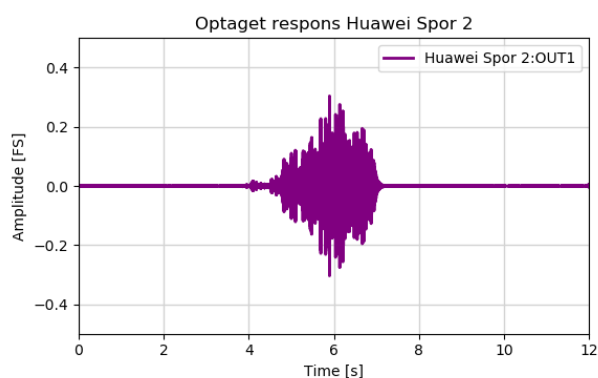
Lydsignalet der vil blive afspillet, er et enkelt eksponentielt sine sweep, med en længde på fem sekunder og et frekvensområde på 80 Hz - 6000 Hz. Optagelsen vil blive udført ved at bruge AVR applikationen, hvor optagelserne vil blive optaget i stereo for at muliggøre at optagelsen bliver foretaget på to mikrofoner frem for en kombination af mikrofonerne. De optagede responser er plottet i Figur B.5, hvor begge enheder er plottet for hver af sporene i optagelserne.



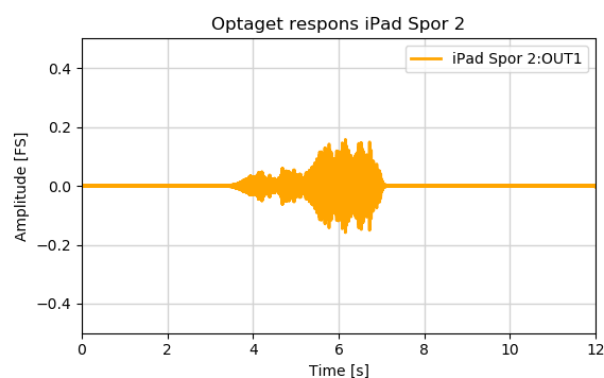
a) Respons fra Huawei spor 1 (Nederst mikrofon ved siden af højttaler)



b) Respons fra iPaden spor 1



c) Respons fra Huawei spor 2 (Øverste mikrofon i toppen af smartphonen)



d) Respons fra iPaden spor 2

Figur B.5 De optaget responser fra begge enheder. Responserne er plottet for hver spor i optagelsen, hvilket vil sige optagelserne for hver mikrofon i enheden.

Som det kan ses på Figur B.5, er det muligt at foretage en optagelse samtidig med at der bliver afspillet et lydsignal, det kan dog også ses at der er stor forskel på de optagede responser. Ved Huawei virker responset optaget fra den nederste mikrofon til at være meget højt og det derfor ikke er helt muligt at kunne adskille rumeffekterne fra højttalerresponset, men dette er der måske mere mulighed for med optagelsen fra top mikrofonen hvor det ikke er det direkte højttalerrespons der bliver optaget.

For optagelserne foretaget på iPaden er de to spor ens, hvilket er undersøgt yderligere hvor det kan blive konkluderet at iPaden kun har foretaget optagelsen fra en af mikrofonerne der er indbygget i sig, selvom at der er to mikrofoner. På trods af kun et optaget respons er der større afstand mellem de mikrofoner og højttaler og derved kan det være muligt at bruge optagelsen her til at kunne beregnet et impulsrespons med rumeffekterne.

Appendiks C Sammenligning af højttalerrespons målt under dyne og målt i lyddødt rum

C.1 - Formål

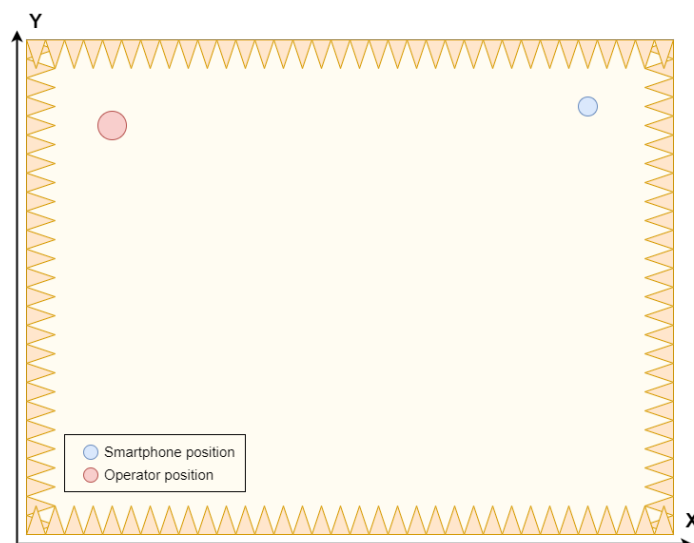
Formålet med dette appendiks er at undersøge forskelle mellem at måle et højttalerrespons af den indbygget højttaler i en smartphone, i et lyddødt rum og imellem en sammenfoldet dyne. Er der stor forskel på impulsresponserne der regnes ved at bruge et højttalerrespons målt ved begge metoder, eller er der stor forskel på de to impulsrespons der regnes ved at bruge disse to højttalerrespons.

C.2 - Udførelse af målingerne

Målingerne er blevet udført ved at bruge den samme metode til alle tre målinger der er udført, de tre målinger er udført i to rum, et lyddødt rum og en stue i en lejlighed. Der er målt et højttalerrespons i hver af rummene, i det lyddøde rum er målingen blevet foretaget i et af hjørnerne i rummet, mens højttalerresponsen i stuen er målt imellem en sammenfoldet dyne. Den sidste måling er en afspilning i et rum hvor der kan optages rumeffekter, derfor er der udført en normal impulsrespons måling.

Lydsignalet valgt til målingerne er det samme lydssignal som valgt i Sektion 5.1, hvilket er et eksponentielt sine sweep med frekvensområdet 80 Hz - 6000 Hz. Udover frekvensområdet og signaltypen, har lydssignalet samme længde på fem sekunder med fem sekunders stilhed efterfølgende. Der er udført tre gentagelser i hver position, hvor kun de sidste to sine sweeps er brugt til analysen. Til målingerne er udført på en OnePlus 5T smartphone, hvor optagelserne er udført i AVR, med brug af de indbygget mikrofoner og den indbygget højttaler i smartphonen.

Målingen er blevet udført i to rum, i en stue og i et lyddødt rum. Målingen i det lyddøde rum er foretaget i det store lyddøde rum på Aalborg Universitet Fredrik Bajers Vej 7B 9220 Aalborg Øst i lokale B4-111. Opsætningen til målingen er illustreret på Figur C.1, hvor smartphonen var placeret i hjørnet af rummet, hvor højttaleren pegede mod hjørnet. Under målingen var der en operator til stedet i rummet placeret i det modsatte hjørne også indikeret på illustrationen. Højttalerresponsen er målt ved at afspille lydssignalet over den indbygget højttaler i smartphonen og optage responsen ved at bruge de to indbygget mikrofoner i smartphone og AVR som optager system. Under målinger var smartphonen placeret i et stativ for at minimere mængden af refleksioner i responsen.



Figur C.1 Skitse af måleopsætningen i det lyddøde rum, hvor operatør- og smartphone-positionerne er indikeret i rummet.

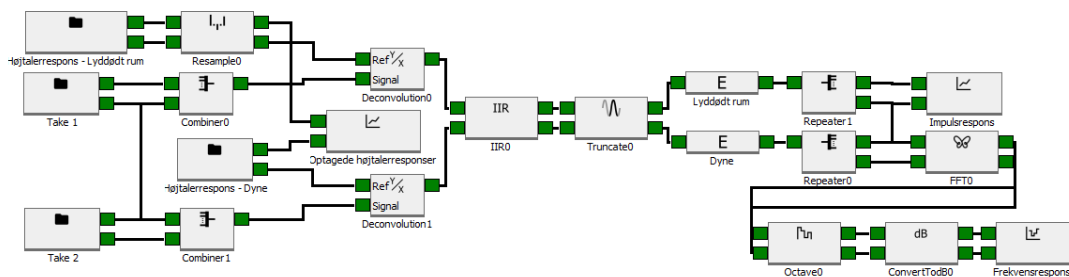
Beddingen

C.3 - Analyse af målingerne

Der er udført to analyser på resultaterne, den ene er udregningen af impulsresponsen for de to forskellige højttalerresponsen, udover impulsresponsen er der regnet et frekvensrespons for hver impulsresponsen.

Analysen er udført i SAFE, analysen er illustreret i Figur C.2, hvor affoldningen er udført som beskrevet i undersektionen 5.2.2, hvor impulsresponserne er blevet lavpasfiltreret og afgrænset til en længde på 10 sekunder for hver impulsrespons. Lavpasfiltret er konstrueret som et IIR Butterworth filter med en cutoff-frekvens på 10000 Hz og en stopfrekvens på 12000 Hz, efter afgrænsningen er impulsresponserne blevet plotet sammen for at kunne sammenligne responserne.

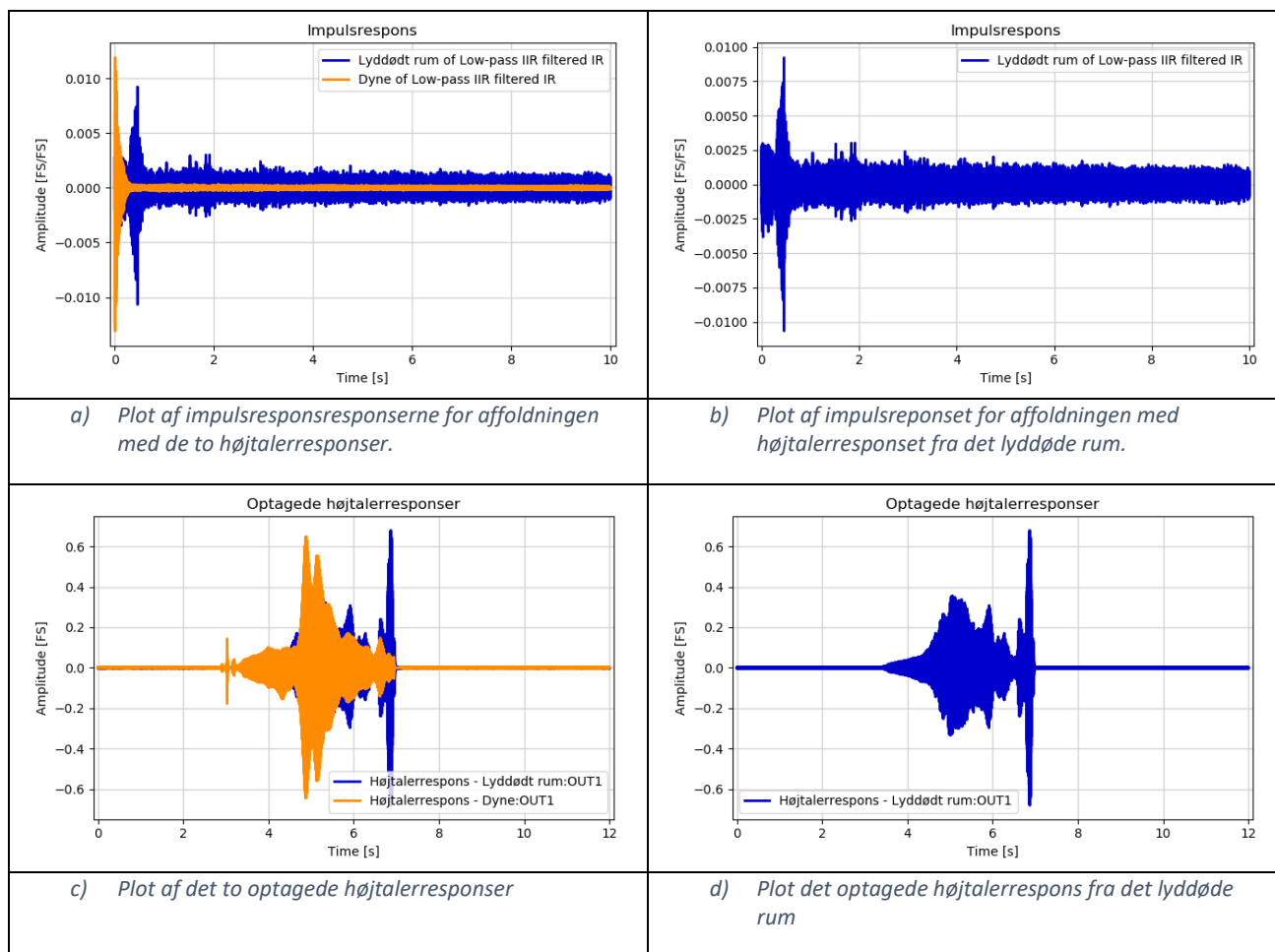
Efter affoldningen er der regnet et frekvensrespons for hver af impulsresponserne, dette gøres ved at bruge en Fast Fourier transformation (FFT) til at få responserne fra tidsdomæne til frekvensdomæne. FFT-beregningen er udført som et Hanning vindue med 4410 punkter, hvor der bruges et overlap på 552 punkter. Efterfølgende er frekvensresponserne blevet oktavanalyseret for at få responserne i 1/3 oktavbånd for at gøre undersøgelsen af frekvensresponserne nemmere. Til sidst er responserne konverteret til dB fra full-scale.



Figur C.2 Illustration af analysen udført i SAFE.

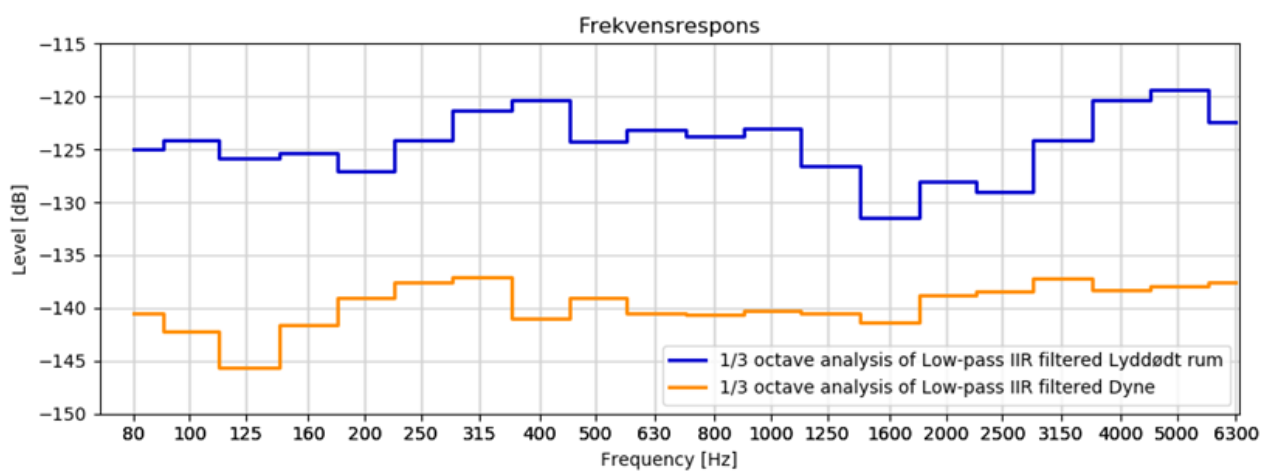
C.4 - Resultater af målingerne

Resultaterne fra de tre analyseret optagelser er vist på Figur C.3 og Figur C.4, på Figur C.3 er impulsresponserne regnet med de to højttalerrespons. Begge impulsrespons har brugt samme impulsrespons optagelse, det er kun højttalerresponsen der er ændret for de to respons.



Figur C.3 Impulsresponsen ved brug af de to højttalerresponser til affoldningen, det blå respons er regnet med højttalerresponset fra det lyddøde rum og det orange respons er regnet med højttalerresponset målt i midten af en sammenfoldet dyne. Plottene inkluderer ligeledes de rå optagelser af højttalerresponserne i c) og d)

På Figur C.4 er frekvensresponsen for de to impulsresponsen vist, frekvensresponsen er plottet i 1/3 oktavbånd fra 80 Hz til 6300 Hz, frekvenserne vist er centrefrekvenserne for hver af oktavbåndene.



Figur C.4 Frekvensresponsen fra hver af impulsresponsen.

Appendiks D Målerapport til reference efterklangsmåling

D.1 - Formål med målingen

Denne efterklangsmåling er udført for at have en reference efterklangsmåling for rummet, hvor de indledende målinger i projektet vil blive udført i. Målingen vil blive udført efter standarden ISO 3382-2 [15], hvor engineering metoden vil blive brugt til udførelsen af målingen, til målingen vil impulsilder blive brugt som lydkilde. Målingen er udført den 14. maj 2021.

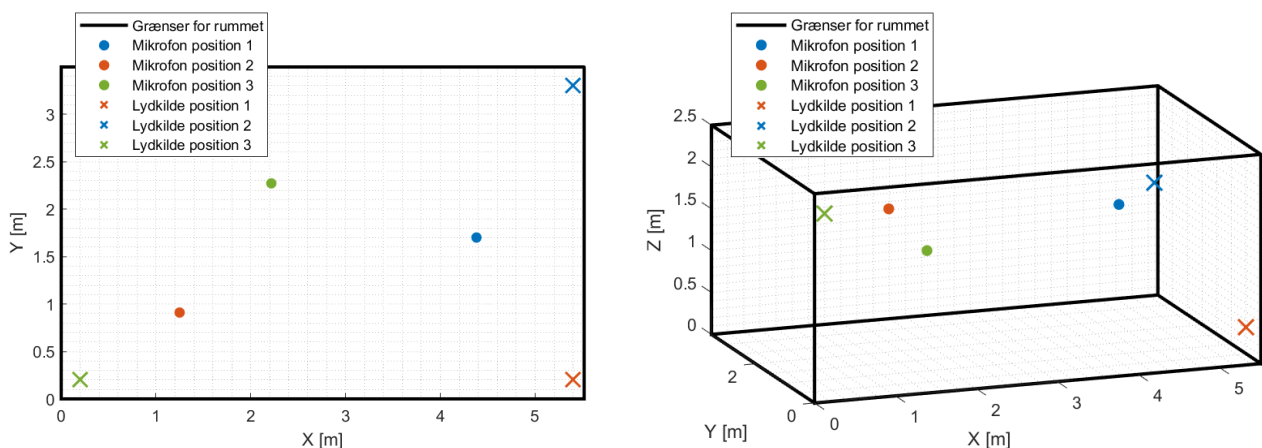
D.2 - Beskrivelse af omgivelser og udstyr brugt til målingen

Efterklangsmålingen er udført i en møblet stue/køkken i en lejlighed i Aalborg, på adressen Beddingen [REDACTED], på Figur D.1 er der inkluderet billeder af rummet. I rummet er der vinduer, ventilationsudgang og køleskabe, hvilket under målingen alle har været lukket og slukket for at minimere baggrundsstøjen under målingen.



Figur D.1 Billeder fra rummet hvor efterklangsmålingen er udført i.

Opsætningen af målingen i rummet er illustreret på skitsen på Figur D.2, der er brugt tre mikrofon positioner og tre lydkilde positioner. Hvor hver mikrofon position er kombineret med to lydkilde positioner hvilket giver seks mikrofon-lydkilde kombinationer, der følger minimumskravet fra standarden for engineering metoden.



Udstyret brugt til målingen er listet i Tabel D.1, som lydkilde til målingen er det valgt at bruge impulsilder, som beskrevet i undersektion 5.3.2 til denne målinger et impulsilden valgt at være balloner der springes.

Tabel D.1 Liste over udstyr brugt til efterklangsmålingen.

Beskrivelse af udstyr	Antal	Serienummer (AAU-nummer)
Ballon	6 stk.	
miniDSP UMIK-1 målemikrofon	1 StK	aau2176-25
USB-kabel	1 stk.	
PC med SAFE installeret	1 StK	

D.3 - Udførelse af målingen

Målingen er udført efter metoden beskrevet i undersektionen 5.3.2, hvor mikrofonen er opsat i en af de valgte målepositioner, hvorefter der er sprunget en ballon i to af lydkilde positionerne, kombinationerne mellem mikrofoner og lydkilder er illustreret i Tabel D.2. SAFE udføre en måling af hver kombination, ved at bruge trigger funktionen indbygget i SAFE som beskrevet i undersektionen 5.3.2.

Tabel D.2 Mikrofon-lydkilde position kombinationerne for efterklangsmålingerne.

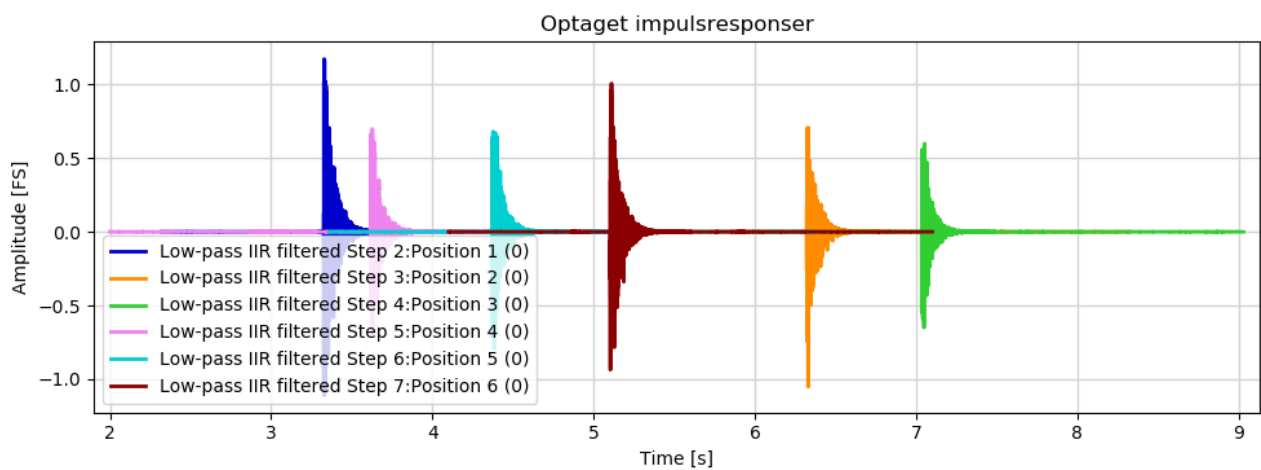
	Lydkilde position 1	Lydkilde position 2	Lydkilde position 3
Mikrofon position 1		X	X
Mikrofon position 2	X	X	
Mikrofon position 3	X		X

D.4 - Analyse af målingen

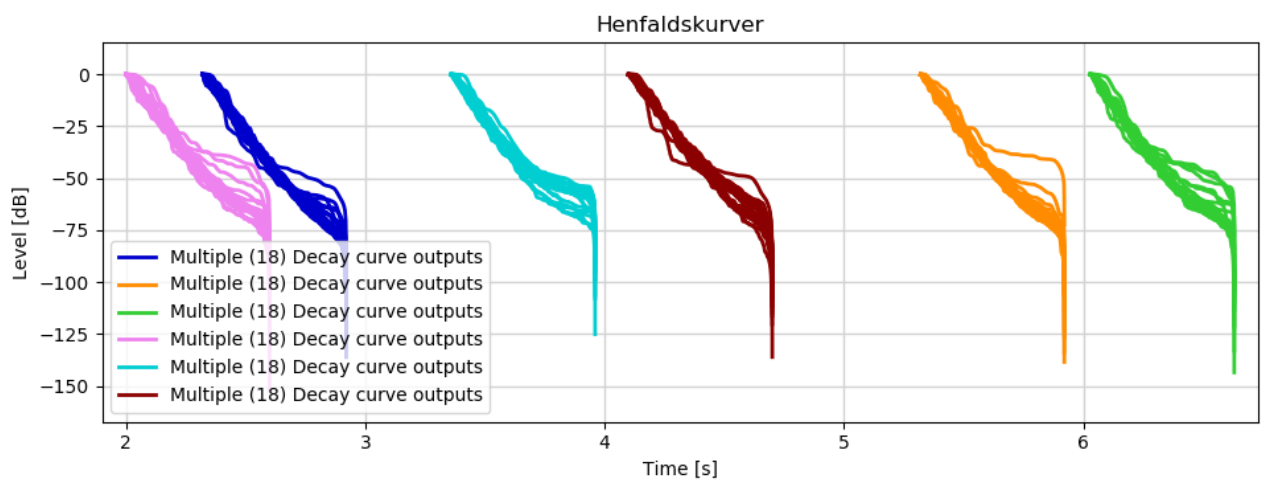
Analysen for målingerne er udført i SAFE ved at bruge analysemetoden beskrevet i Sektion 5.2, hvor der ikke vil blive udført en affoldning da lydsignalet brugt til målingerne allerede er et impulsrespons. Før henfaldskurverne er beregnet er impulsresponserne opdelt i 1/3 oktavbånd, henfaldskurverne er evalueret ved at bruge "least-squares" metoden for T_{20} , hvor der evalueres fra -5 dB til -25 dB fra steady state på henfaldskurverne. Afslutningsvis er der regnet et gennemsnit over alle seks position kombinationer.

D.5 - Resultaterne fra målingen

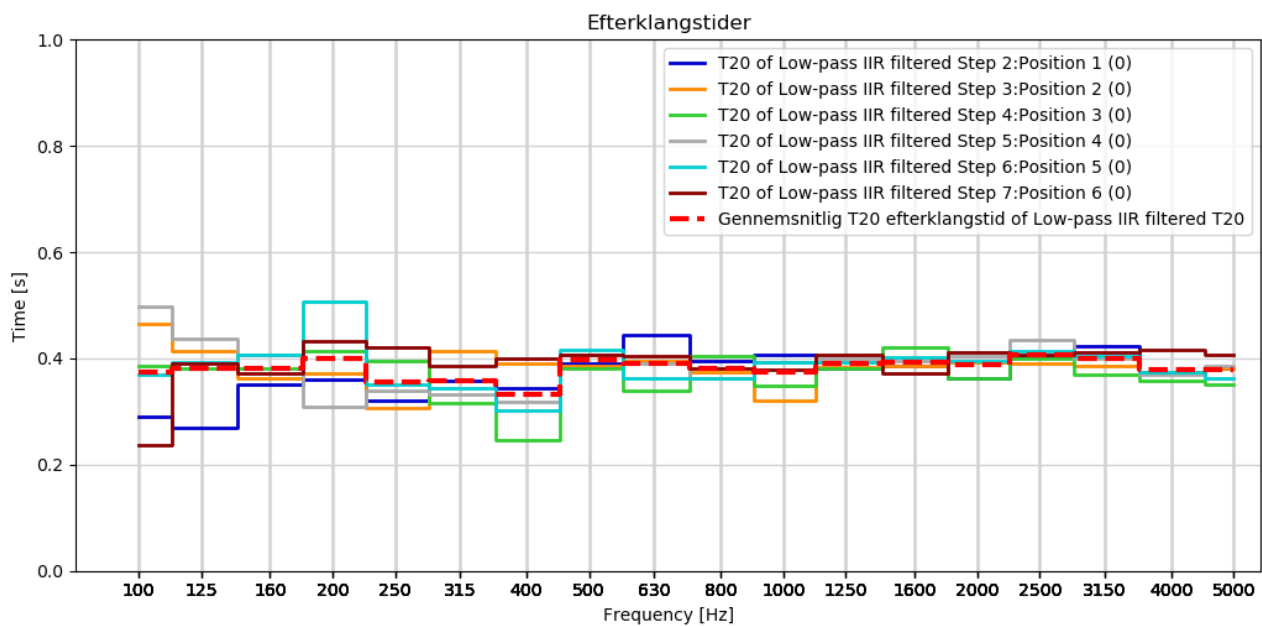
På Figur D.3 er impulsresponserne optaget i hver af de seks positionskombinationer er plottet, hvor optagelsen er startet to sekunder inden starten af impulsen og to sekunder efterfølgende. På Figur D.4 er henfaldskurverne for hver af impulsresponserne blevet plottet, i 1/3 oktavbånd, afslutningsvis er efterklangstiderne plottet i Figur D.5, hvor det beregnet gennemsnit ligeledes er plottet. I Tabel D.3 er efterklangstiderne for gennemsnittet givet for hver af de 1/3 oktavbånd, hvor centrefrekvenserne for hver 1/3 oktavbånd er indikeret som frekvensen.



Figur D.3 Plot af de optaget impulsresponser for de seks kombinationer af målepositioner.



Figur D.4 Plot af henfaldskurverne for hver af impulsresponserne opdelt i 1/3 oktavbånd.



Figur D.5 Plot af efterklangstider for hver af de seks positionskombinationer, på plottet er gennemsnittet regnet over de seks målinger ligeledes plottet.

Tabel D.3 Efterklangstiderne for hver af de 1/3 oktavbånd regnet som gennemsnittet over hele rummet

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s] fra reference måling
100	0,37
125	0,38
160	0,38
200	0,40
250	0,36
315	0,36
400	0,33
500	0,40
630	0,39
800	0,38
1000	0,37
1250	0,39
1600	0,39
2000	0,39
2500	0,41
3150	0,40
4000	0,38
5000	0,38

Appendiks E Målerapport til afprøvning af målemetoden

E.1 - Formål med måling

Formålet med målingen er at afprøve den indledende målemetode, hvor målingen udføres over en smartphone. Målingen vil følge metoden beskrevet i Sektion 5.1 med to målepositioner hvor målingen gentages 3 gange i hver position, samt måling af højtalerespons som beskrevet. Målingen vil fungere som en test om det er muligt at udføre en efterklangsmåling ved at gøre brug af denne målemetode, som undersøgt i Appendix B er det muligt at udføre en afspilning og optagelse af et lydsignal på samme tid på en smartphone.

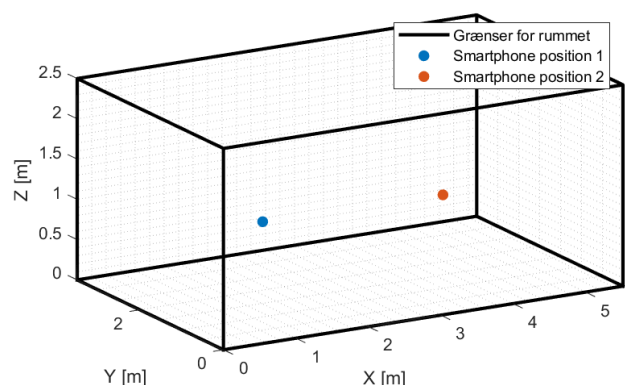
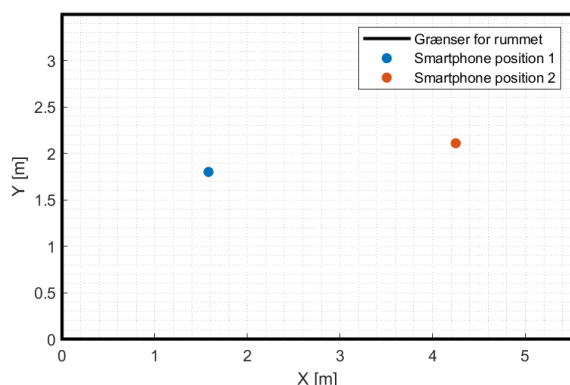
E.2 - Beskrivelse af målerum og udstyr

Målingen er udført i en stue/køkken i en lejlighed i Aalborg, adresse Beddingen [REDACTED], i rummet er der ventilationsudgange, køleskab, vindue og radiator, hvilket alle var lukket og slukket under målingerne. Rummet var normalt indrettet med sofa, spisebord og køkken, som kan ses på billederne i Figur E.1, hvor indretningen i rummet også kan ses. Målingen var udført 14. maj 2021.



Figur E.1 Billeder fra rummet hvor målingen er foretaget i.

Dimensionerne af rummet er $5,517\text{ m} \times 3,499\text{ m} \times 2,5\text{ m}$ ($L \times B \times H$)/($X \times Y \times Z$), som også er vist på Figur E.2, på skitsen er de to målepositioner i rummet også illustreret, volumen på rummet er $48,26\text{ m}^3$.



Figur E.2 Skitser af rummet hvor målingen er foretaget i, på skitsen er de to målepositioner i rummet.

Til målingen er der kun benyttet en smartphone som både mikrofon og højttaler, som beskrevet i beskrivelsen af målemetoden i Sektion 5.1. Smartphonen der vil blive brugt under målingerne, er en OnePlus 5T, på smartphonen vil AVR blive brugt som optagerenhed. Lydkilden til målingerne er den indbygget højttaler i smartphonen, som mikrofonenheder vil de to indbygget mikrofoner blive brugt.

E.3 - Udførelse af måling

Målingerne er udført efter målemetoden beskrevet i Kapitel 5, hvor der er blevet afspillet et eksponentielt sine sweep med frekvensområdet 80 Hz - 6000 Hz. I hver af målepositionerne er der udført tre gentagelser af afspilningen af testsignalet.

Undermålingerne var en operator i rummet til at starte optagelser og afspilningerne samt afslutte optagelser efter lydsignalet sluttede.

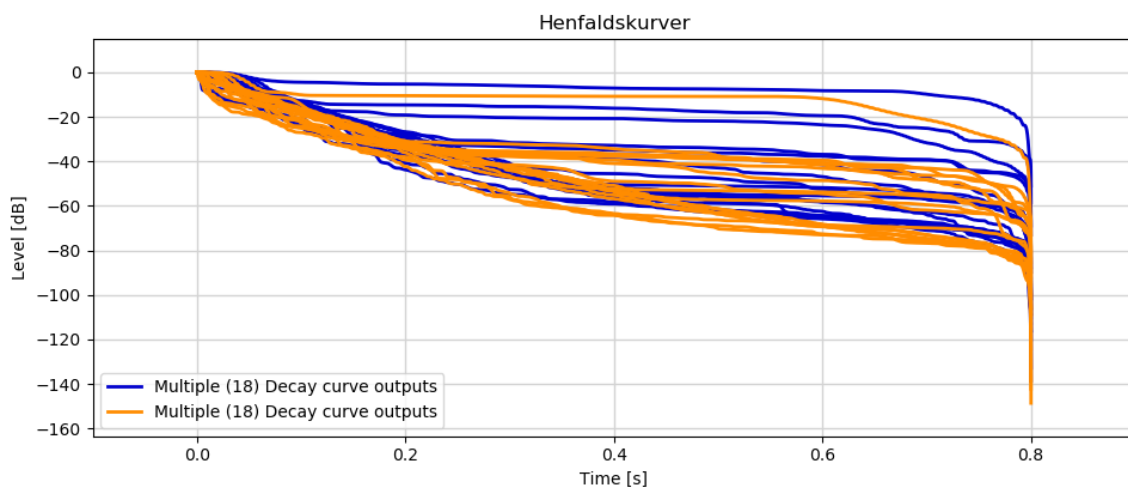
E.4 - Analyse af måling

Analysen af målingerne vil blive udført i SAFE, hvor analysen vil blive udført som beskrevet i Sektion 5.2, hvor målingerne først er separeret ved at bruge Audacity, her er det både optagelserne i de to målepositioner i rummet samt optagelsen af højttalerresponset.

I analysen starter med at regne et gennemsnit for hver af positionerne over de to gentagelser, efterfølgende er målingerne filtret i 1/3 oktavbånd, hvorefter henfaldskurverne beregnes, til evalueringen af henfaldskurverne bruges blokken T_{20} i SAFE. Efter at efterklangstiderne er fundet for hver af impulsresponsene, regnes der et gennemsnit over begge positioner i rummet.

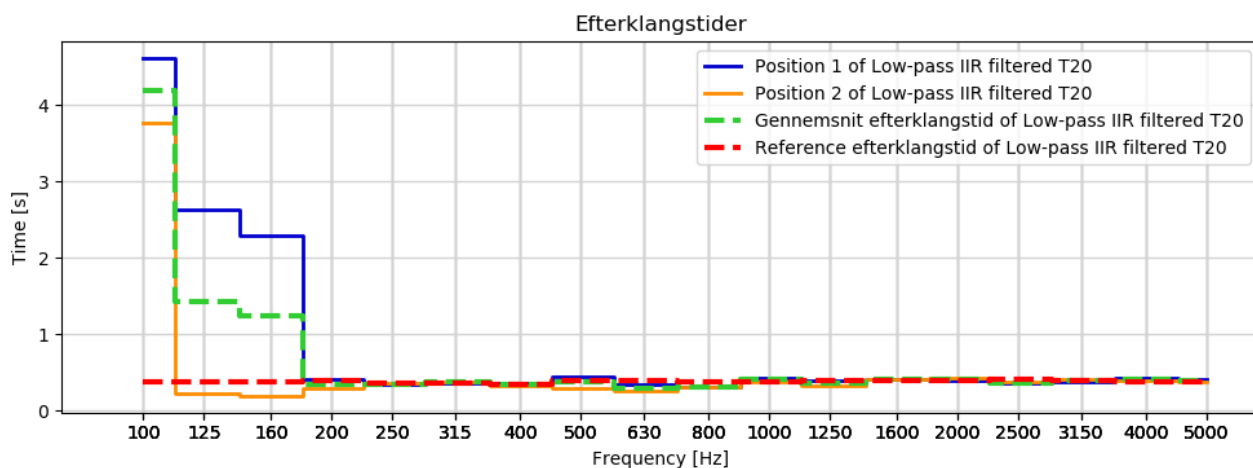
E.5 - Resultater fra måling

Resultaterne for målingerne er delt op i to plots, i Figur E.3 er henfaldskurverne for hver af de to positioner er plottet for hver 1/3 oktavbånd.



Figur E.3 Plot af henfaldskurverne for de to positioner i 1/3 oktavbånd. De blå kurver er position 1 og de orange kurver er position 2.

I Figur E.4 og Tabel E.1 er efterklangstiderne evalueret fra henfaldskurverne, efterklangstiderne er givet for hver 1/3 oktavbånd. I figuren er efterklangstiderne for hver position plottet, sammen med et gennemsnit regnet over de to positioner, værdier i Tabel E.1 er efterklangstiderne for gennemsnittet.



Figur E.4 Plot af efterklangstiderne for hver af de to positioner, med regnet gennemsnit over de to positioner.

Tabel E.1 Efterklangstider for hver af 1/3 oktavbåndene, regnet som gennemsnit over de to målepositioner.

Centre frekvenser [Hz]	Efterklangstider [s]
100	4,191
125	1,425
160	1,2405
200	0,345
250	0,345
315	0,3675
400	0,3345
500	0,3705
630	0,2925
800	0,306
1000	0,4005
1250	0,36
1600	0,4125
2000	0,4125
2500	0,3645
3150	0,39
4000	0,4065
5000	0,39

Appendiks F Målerapport til sammenligning af smartphone egenskaber

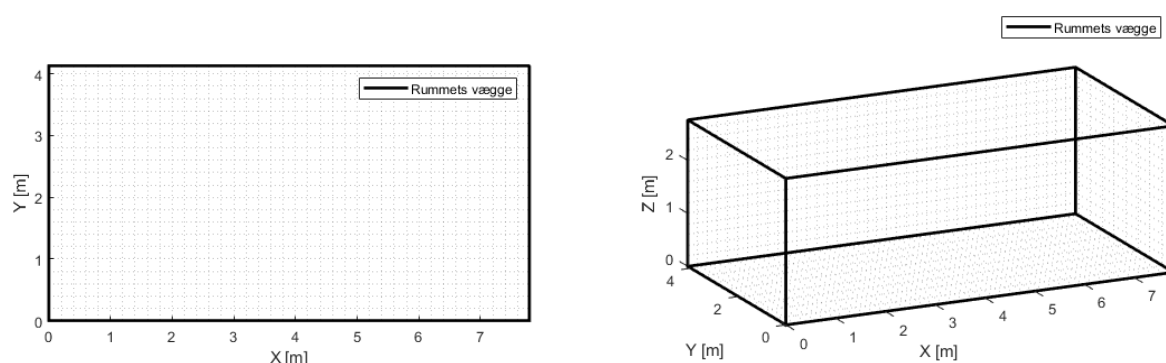
F.1 - Formål

Formålet med denne måling er at afprøve den foreslået målemetode til udførelse af efterklangsmålinger i kontrollerede omgivelser. Ligeledes vil resultaterne blive sammenlignet med målinger udført efter standarden ISO 3382-2:2008, hvor målingerne vil blive udført efter engineering-metoden.

For at undersøge hvordan egenskaberne er for mikrofonerne i smartphonesne, vil disse også blive undersøgt ved at måle et mikrofonrespons ved at bruge en ekstern højttaler til at genere lydsignalet.

F.2 - Beskrivelse af måleomgivelser og måleudstyr

Målingen er udført i akustiklaboratoriet på Aalborg universitet, i lokalet Fredrik Bajers Vej 7 B2-107, der er opbygget som et standardlytterum til stereo opsætning. Rummet er ligeledes opbygget til at kunne give de samme lydforhold som kan forventes af et rum i en standard bolig. Rummet er indrettet med en kombination af absorptionsmateriel og reflekter på både vægge og loft, i Figur F.1 er der en skitse af rummet. Dimensionerne for rummet er opgivet som $L \times B \times H$, dimensionerne 7,791x4,132x2,765 ($X \times Y \times Z$).



Figur F.1 Skitser af rummet B2-107

I Figur F.2 kan billeder fra rummet ses, på billederne kan det også ses at under målingerne har rummet været tømt på nær af fire stole og et lille bord.



Figur F.2 Billeder fra målerummet B2-107.

Målingen er bygget op om tre målinger, en efterklangsmåling hvor den foreslået målemetode vil blive brugt, en reference efterklangsmåling der vil blive udført efter engineering-metoden i ISO 3382-2:2008, samt en evaluering af egenskaberne for mikrofonerne indbygget i udvalgte smartphones.

Måleudstyret til udførelsen af målingen er oplistet i Tabel F.1, udstyret i tabellen er samlet så der er udstyret til alle tre målinger.

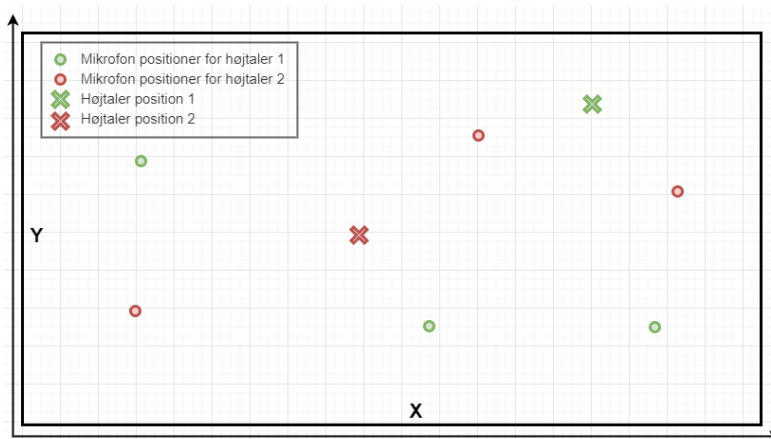
Tabel F.1 Liste over udstyr brugt til udførelsen af efterklangsmålingerne.

Navn på udstyr	Antal	Serienummer
Huawei Mate 20 Lite	1	
Oneplus 5T	1	
iPhone 5S	1	
RME Audio Fireface II lydkort	1	
GRAS 40AZ 1/2" Prepolarized Free-field Microphone	3	75552, 75553, 75554
GRAS 26CC 1/4" CCP Standard Preamplifier with SMB Connector	3	75552, 75553, 75554
GRAS SMB to XLR adaptor	3	75552, 75553, 75554
B&K Type 4231 Sound Calibrator	1	
BNC-kabel - 5 meter	3	
PC med SAFE målesystem	1	
Pioneer A-616 Stereo Power Amplifier	1	
B&K OmniSource 4295	1	86831
XLR kabel - 6 meter	1	

F.3 - Måleproces

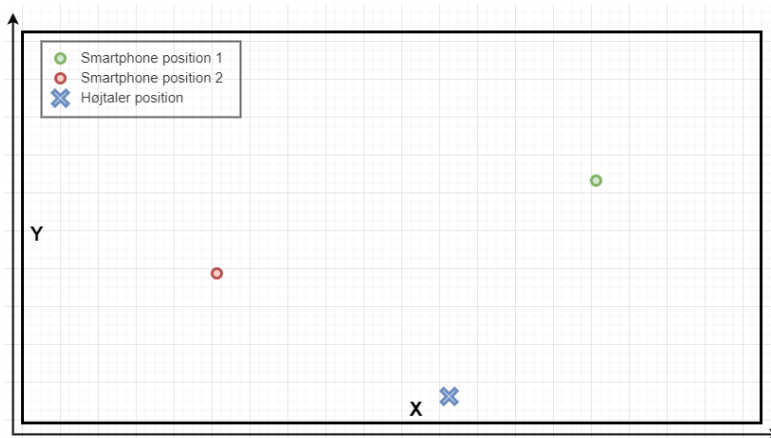
De tre målinger der skal udføres, har hver deres metode dog vil metoderne til efterklangsmålingerne have det samme udgangspunkt. Før målingerne blev udført blev de tre målemikrofoner kalibreret ved at bruge kalibreringsfunktionen i SAFE sammen med kalibratoren fra udstyr listen i Tabel F.1, da det ikke har været muligt at kalibrere smartphonene, vil disse blive brugt uden kalibrering.

Referencemålingen vil blive udført efter engineering-metoden fra ISO 3382-2:2008, hvor der er blevet brugt seks mikrofon positioner og to højttaler positioner i rummet. I Figur F.3 kan der ses en skitse af rummet hvor højttaler- og mikrofonpositionerne også er indikeret. Målingen vil blive udført ved at bruge et eksponentielt sine sweep som testsignalet med frekvensområdet 80 Hz - 8000 Hz og en længde på 5 sekunder, testsignalet er afspillet gennem den omnidirektionel højttaler. Hver af målingerne er udført med to gentagelser i hver position, afskilt af fem sekunder stilhed efter hver afspilning.



Figur F.3 Illustration af målerummet med markeret mikrofon- og højttalerpositioner, til udførelse af reference efterklangsmåling.

Til målingen med smartphones blev højttaleren og mikrofonerne indbygget i smartphonene brugt som lydkilde og mikrofon. Målingen blev der udført for to positioner, hvor smartphonene var placeret på det lille bord placeret i rummet der kan ses på Figur F.4 . Mellem positionerne vil bordet blive flyttet så målingerne udføres med samme præmisser som for målingerne beboerne vil udføre i deres boliger. Til målingen er der brugt et eksponentielt sine sweep som testsignal med et frekvensområde på 80 Hz - 6000 Hz med en længde på fem sekunder, efterfulgt af fem sekunder stilhed. Målingen er gentaget to gange for hver position, som for reference måling også.



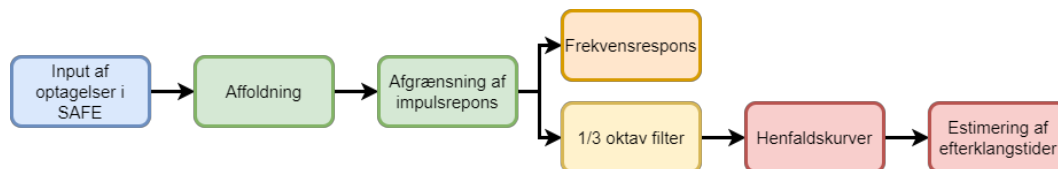
Figur F.4 Illustration af målerummet med markeret smartphone- og højttalerposition, til udførelsen af efterklangsmåling med smartphone og undersøgelse af egenskaber for de indbygget mikrofoner i smartphones.

Den sidste måling der er blevet udført, er en undersøgelse af egenskaberne for mikrofonerne i smartphonene, til dette er den omnidirektionel højttaler blevet brugt som lydkilde. Smartphonene var placeret på bordet i samme positioner som under efterklangsmålingen, hvilket kan ses på skitsen i Figur F.4. Lydsignalet til målingen er valgt til at være et eksponentielt sine sweep med frekvensområdet 50 Hz - 16000 Hz med en længde på fem sekunder.

F.4 - Analyseproces

Til analysen vil der blive brugt samme metode til både referencemålingen og målingen udført med smartphonene, denne metode er også beskrevet i Sektion 5.2. Til analysen vil SAFE blive brugt, hvor der først udføres en affoldning af målingerne for at regne impulsresponsen der bruges til beregningen af efterklangstiderne. Til referencemålingen bruges det afspillede lydsignal til affoldningen, mens til optagelserne udført

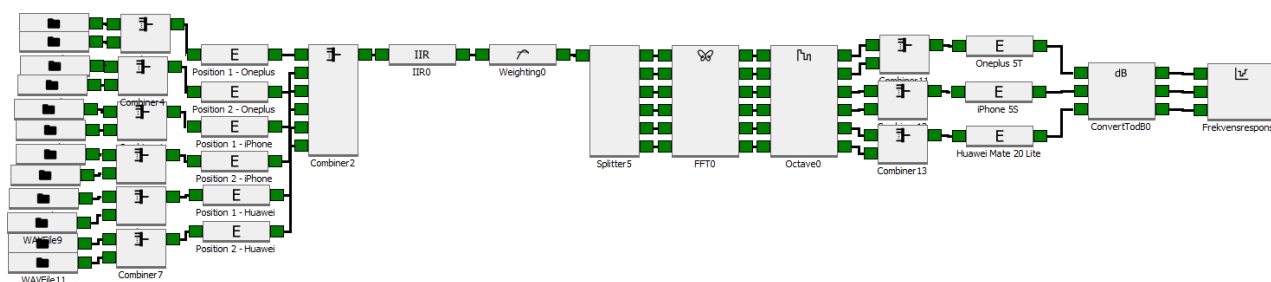
på smartphone vil affoldningen gøre brug af et optaget højtalerespons, der er optaget i et lyddæmpet rum. Dette lyddæmpet er valgt til at være en lille rum i en sammenfoldet dyne, hvor der udføres en måling af lydsignalet der også bruges under efterklangsmålingerne i rummet. Processen er illustreret i Figur F.5, hvor for referencemålingen er optagelserne allerede importeret i SAFE.



Figur F.5 Illustration af analyseprocessen til efterklangsmålingerne.

Til undersøgelsen af frekvensområdet for de indbygget mikrofoner i smartphonene, vil analysen ligeledes blive udført i SAFE. Analysen er bygget op omkring en Fast Fourie Transformation (FFT), en oktav filtrering og en konvertering fra Full-scale til dB, hvilket er illustreret på Figur F.6.

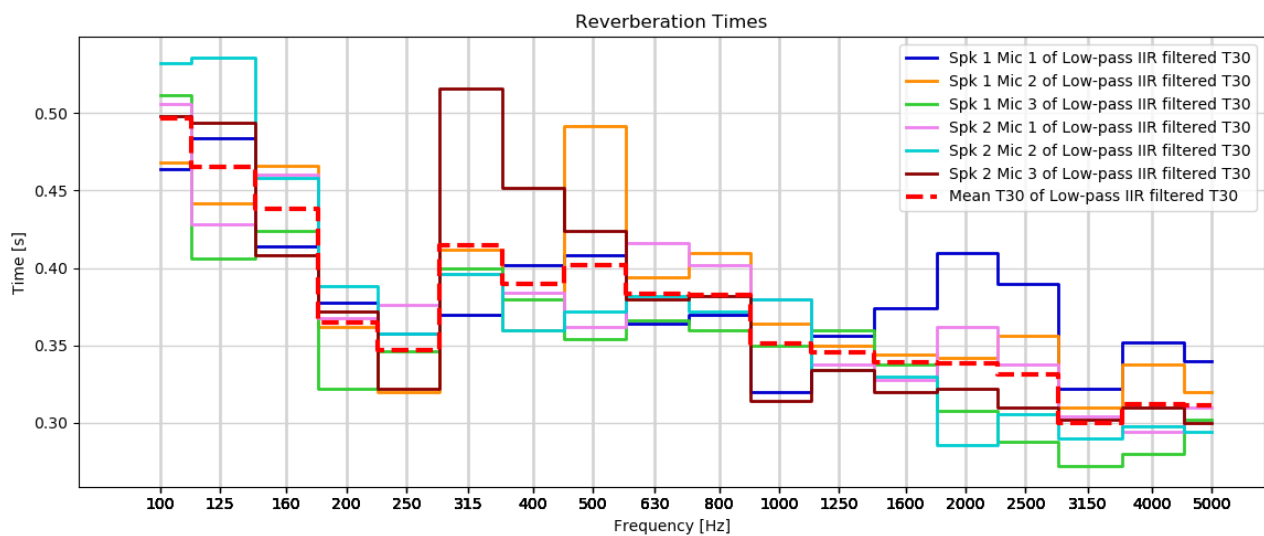
I FFT-blokken foretages der en transformation fra tidsdomæne til frekvensdomæne, ved at bruge et Hanning vindue med 4410 taps og 552 taps overlap. I oktav-blokken udføres der en oktav filtrering i 1/3 oktaver for frekvensområdet 20 Hz- 16000 Hz, oktavfilteret der bruges, er konstrueret efter standarden DS/EN 61260-1 - Elektroakustik - Hel- og deloktavbåndpasfiltre - Del 1: Specifikation [23].



Figur F.6 Illustration af analyseprocessen i SAFE til undersøgelse af egenskaber for de indbygget mikrofoner i de undersøgte smartphones.

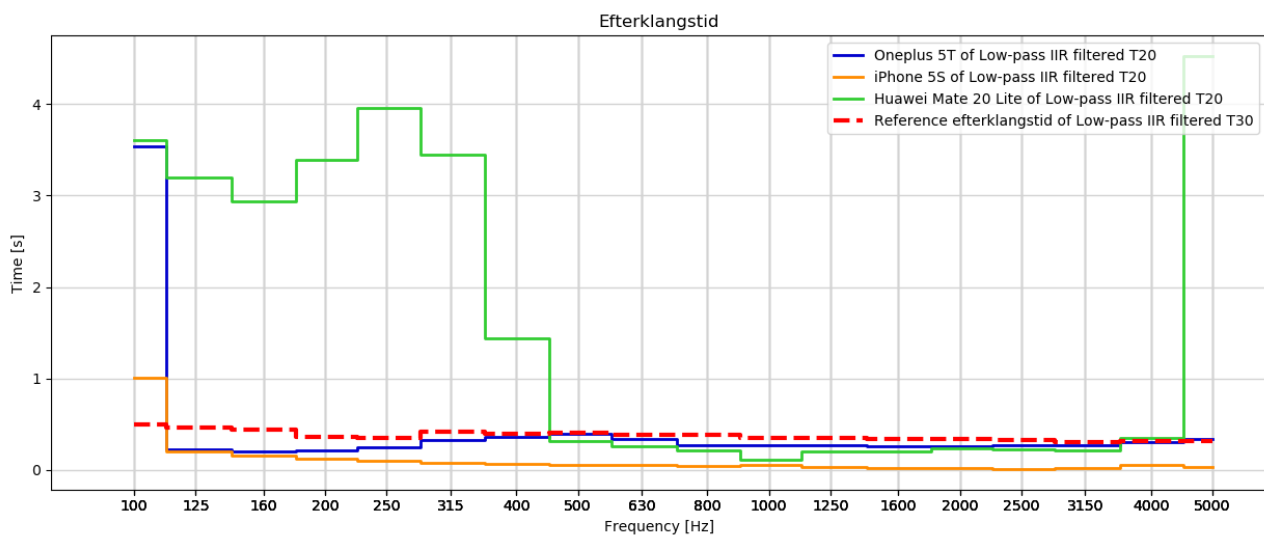
F.5 - Måleresultater

Resultaterne for referencemålingen i rummet kan ses på Figur F.7, hvor efterklangstiderne for hver af højttaler-mikrofon kombinationerne er plottet, samt et gennemsnit for hele rummet. Tiderne fra gennemsnittet kan også ses i Tabel F.2.

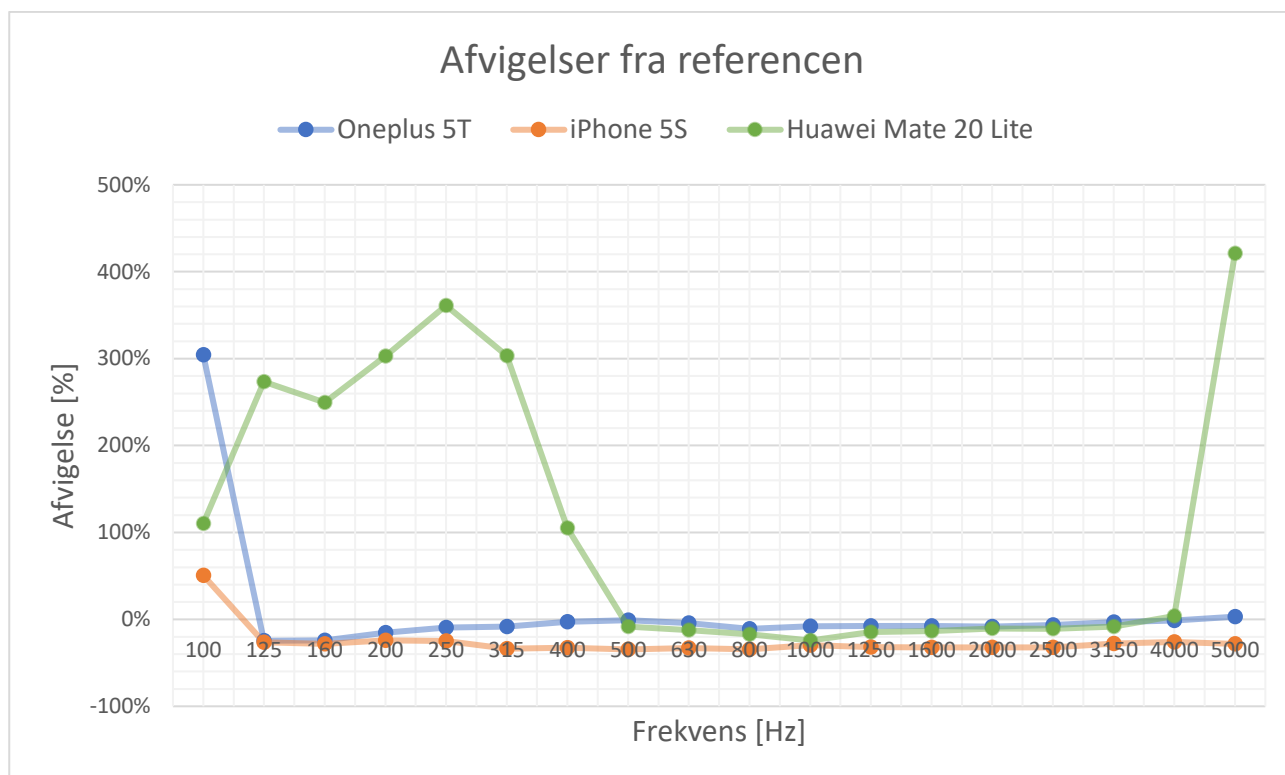


Figur F.7 Resultater for efterklangstiderne ved brug af engineering metoden fra ISO 3382-2.

Resultaterne fra efterklangsmålingerne udført med smartphones kan ses i Figur F.8, hvor gennemsnittet for hver af telefonerne er fundet over de to målepositioner. På figuren er referencemålingen også plottet, for at kunne se afvigelserne fra referencen, for at tydeliggøre afvigelserne er disse ligeledes også beregnet og plottet i Figur F.9. Efterklangstiderne for hver af 1/3 oktavbåndene kan ses i Tabel F.2 sammen med efterklangstiderne for referencen.

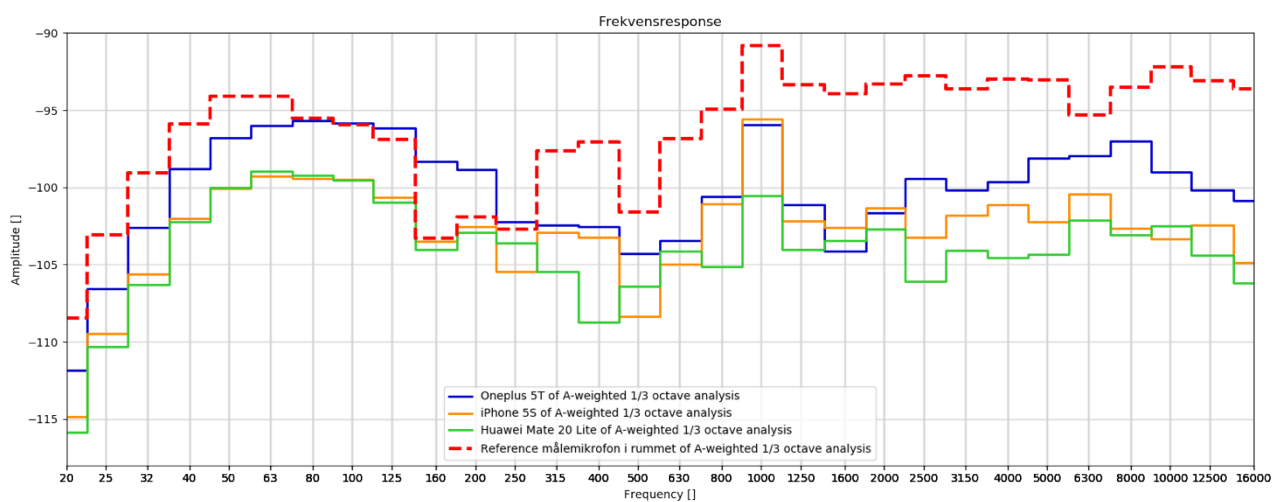


Figur F.8 Resultater for efterklangsmåling ved brug af alternative målemetode, samlet med referencemålingen i samme rum fra Figur F.7.



Figur F.9 Afvigelse for resultaterne fra Figur F.8 til referencemålingen.

Resultaterne for undersøgelse af frekvensområdet for de indbygget mikrofoner kan ses på Figur F.10, hvor frekvensresponsen over optagelserne er plottet, responserne er regnet som et gennemsnit for de to positioner i rummet, samt inddelt i 1/3 oktavbånd.



Figur F.10 Frekvensrespons fra undersøgelse af frekvensområde fra de indbygget mikrofoner i de undersøgte smartphones, samt for en reference mikrofon i samme måling.

Tabel F.2 Efterklangstiderne for de tre smartphones og gennemsnit efterklangstiderne for referencen, opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Oneplus 5T [s]	iPhone 5S [s]	Huawei Mate 20 Lite [s]	Reference [s]
100	3,542	1,003	1,601	0,497
125	0,219	0,201	3,198	0,465
160	0,198	0,156	2,932	0,438
200	0,213	0,123	3,393	0,365
250	0,252	0,098	3,958	0,347
315	0,332	0,078	3,447	0,415
400	0,363	0,064	1,443	0,39
500	0,394	0,056	0,318	0,402
630	0,34	0,053	0,26	0,384
800	0,274	0,039	0,213	0,383
1000	0,271	0,056	0,108	0,351
1250	0,27	0,027	0,2	0,345
1600	0,264	0,018	0,204	0,339
2000	0,255	0,015	0,234	0,338
2500	0,265	0,01	0,222	0,331
3150	0,267	0,02	0,217	0,3
4000	0,298	0,051	0,351	0,312
5000	0,342	0,028	4,523	0,311

Appendiks G Målerapport til undersøgelse af højtalerenhed i smartphones

G.1 - Formål:

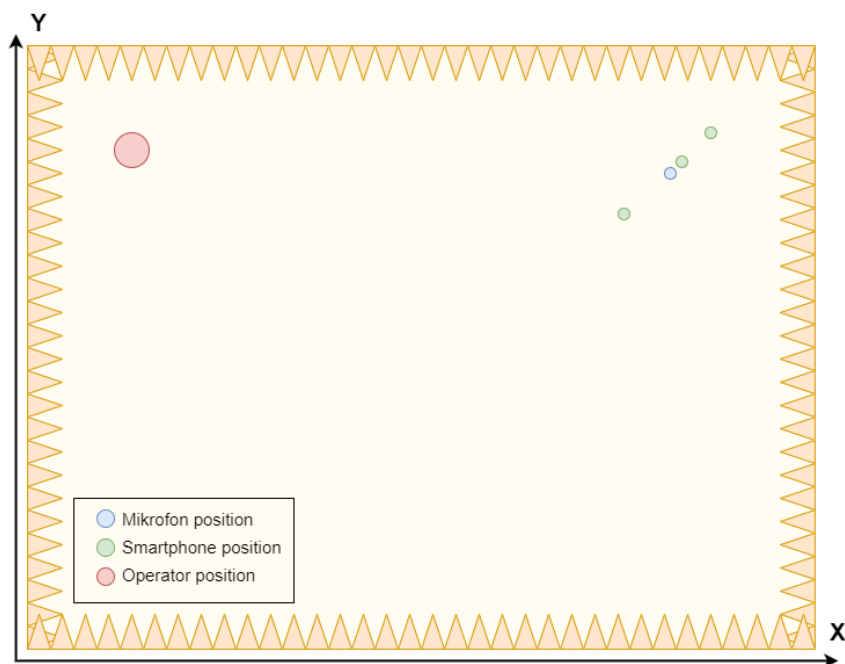
Formålet med testen er at undersøge ydeevnerne for de indbygget højtalerenhederne i forskellige smartphones, i undersøgelsen er de blevet benyttet tre forskellige smartphones. Herunder finde en liste med de tre smartphones modeller.

- Huawei Mate 20 Lite
- Oneplus 5T
- iPhone 5s

G.2 - Beskrivelse af målerummet:

Målingen er udført i et lyddødt rum for at sikre at der ikke er lyd og støj elementer fra andre lyd kilder end højtaleren i smartphonesne. Der er til denne måling blevet benyttet lokalet placeret på adressen Fredrik Bajers vej 7B lokale B4-111 i 9220 Aalborg Øst.

Under målingen var rummet tomt, og hvor reflektions overflader var begrænset meget. Dog var der en person til stede i rummet med en computer til at styre målingen, for at sikre at effekten fra personens tilstedeværelse i rummet var smartphone og mikrofoner placeret i et hjørne mens personen var placeret i det modsatte hjørne, hvilket er illustreret i Figur G.1. Rummet har dimensionerne 6,2 m x 5,0 m x 5,8 m (BxLxH), og er lyddødt ned til 65 Hz.



Figur G.1 Skitse af måleopsætning i lyddødt rum.

G.3 - Beskrivelse af måleudstyr og målesignal

Målingen er blevet udført for tre forskellige telefoner, der fremgår i Tabel G.1, de tre telefoner er af forskellige mærker og perioder. Hver af telefonerne er i dette forsøg kunne blevet benyttet som højttaler enhed og ikke som mikrofon, de er testet en ad gangen hvor lydstyrken har været skruet helt op på maksimum.

Målesignalet der er blevet benyttet til målingerne, har været et eksponentielt sinussignal (ESS), med en start frekvens på 50 Hz og en slut frekvens på 16 kHz. Signalet er blevet generet gennem SAFE af Encida, som også er blevet brugt til at udføre selve målingen. I Tabel G.1 er der inkluderet en liste over udstyret der er blevet brugt under målingerne.

Tabel G.1 Liste med udstyr brugt under målingerne.

Navn på udstyr	Antal	Serienummer (AAU-nummer)
GRAS 40AZ 1/2" Prepolarized Free-field Microphone	3	75552, 75553, 75554
GRAS 26CC 1/4" CCP Standard Preamplifier with SMB Connector	3	75552, 75553, 75554
GRAS SMB to XLR adaptor	3	75552, 75553, 75554
RME Audio Fireface UFX II lydkort	1	
B&K Type 4231 Sound Calibrator	1	
BNC-kabel - 5 meter	3	
PC med SAFE målesystem	1	
iPhone 5S smartphone	1	
Huawei Mate 20 lite smartphone	1	
Oneplus 5T smartphone	1	

G.4 - Måle- og analyseproces

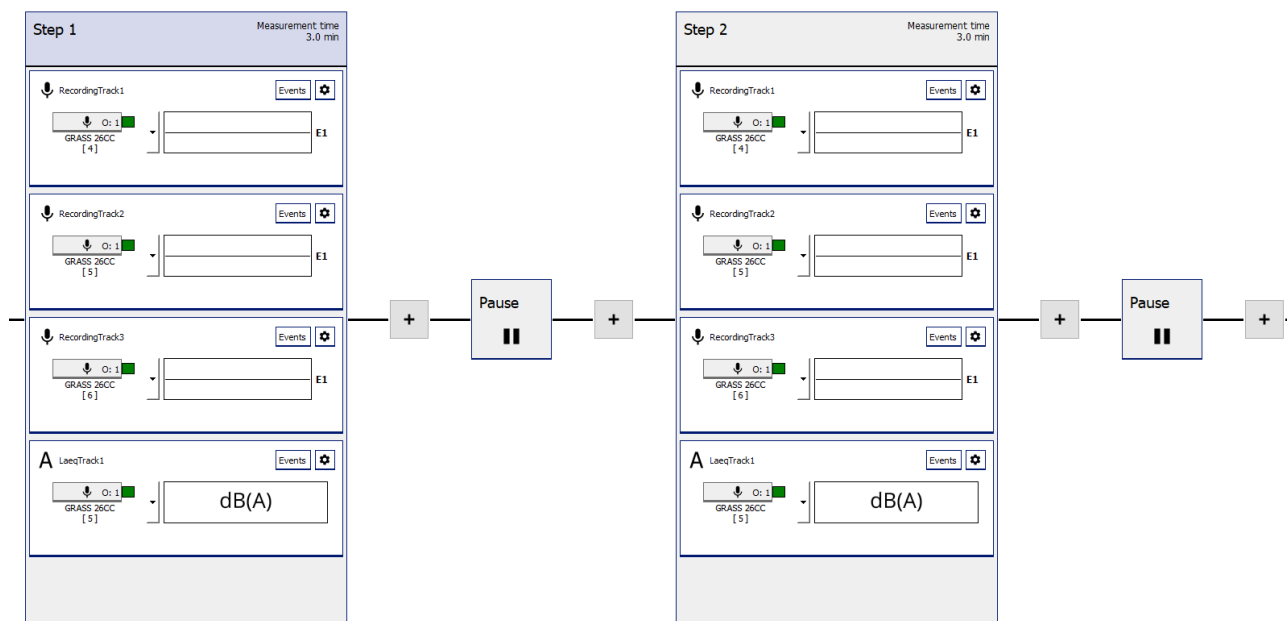
For at sikre at refleksionerne er beholdt på et minimum, er både mikrofoner og smartphones placeret i stativer placeret i et af hjørnerne i det lyddøde rum. Smartphonene var placeret cirka en meter fra hjørnet med højttaleren pegende mod hjørnet, som det også er vist på billederne herunder. Mikrofonerne var placeret rundt om telefonen, en lige ved siden af højttalerudgangen på smartphonen, en cirka halvvejs mellem hjørnet af rummet og smartphonen, og en på den anden side af smartphonen som vist på billederne i Figur G.2.



Figur G.2 Billeder af måleopsætningen i det lyddøde rum.

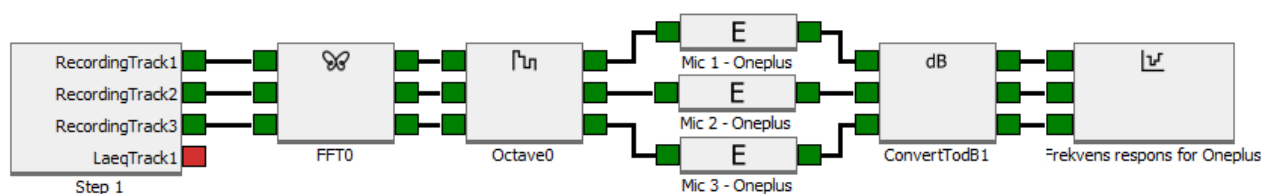
Selve måleprocessen er bygget op omkring tre sekvenser af ESS-signalet som bliver afspillet med 10 sekunders mellemrum. For at sikre at lydkortet i smartphonen er klar til at afspille signalet, bliver den første

sekvens altid kasseret så det endelig kun er to sekvenser der bliver analyseret for. Målingen er udført gennem SAFE, hvor hver af de tre mikrofoner er sat til at optage hele lydsekvensen for hver af smartphonene, måleprocessen er illustreret i Figur G.3, hvor hver blok er separeret af en pause hvor smartphonen blev udskiftet.



Figur G.3 Illustration af måleprocessen i SAFE.

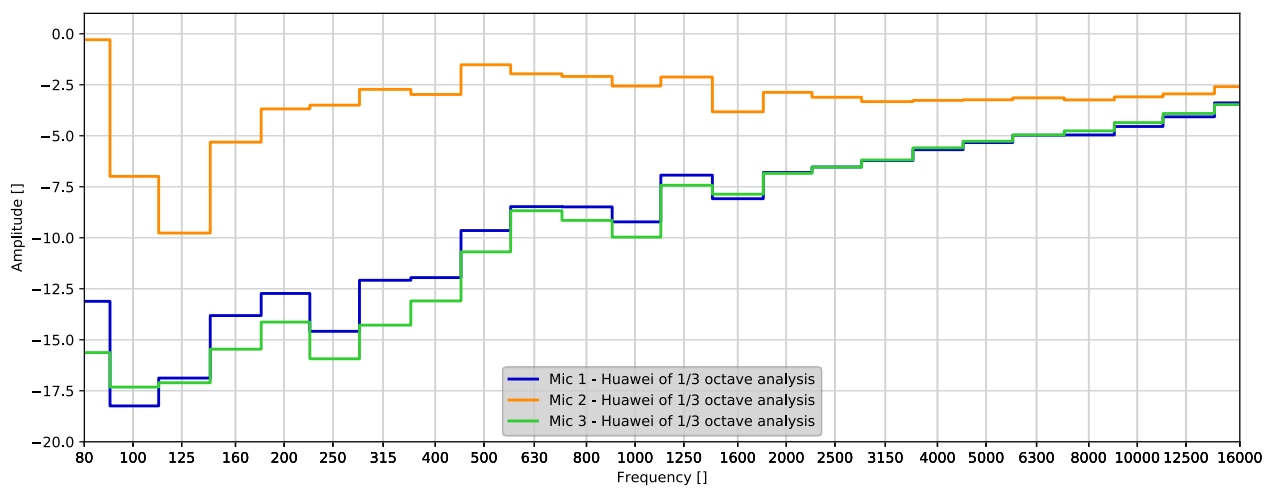
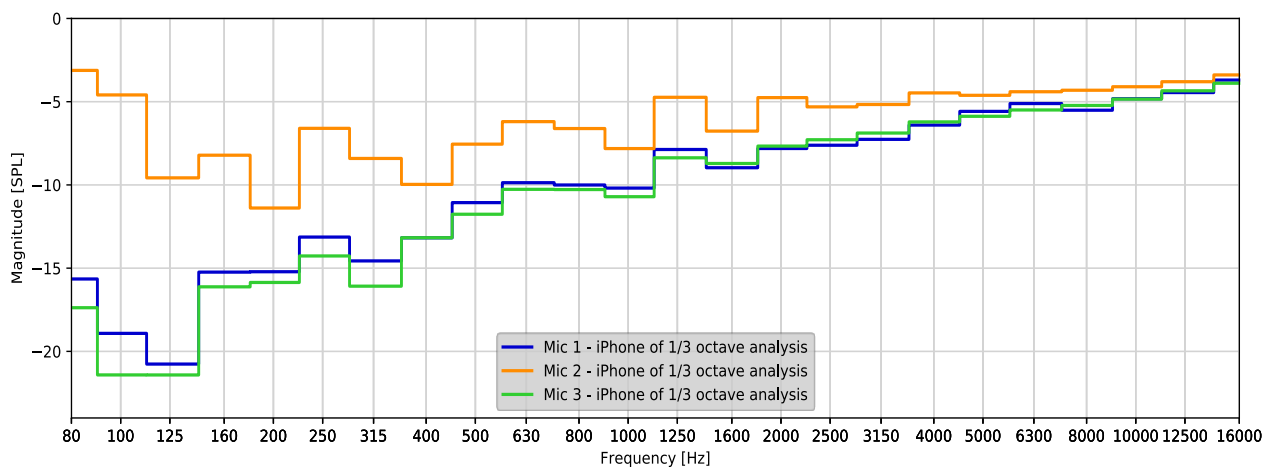
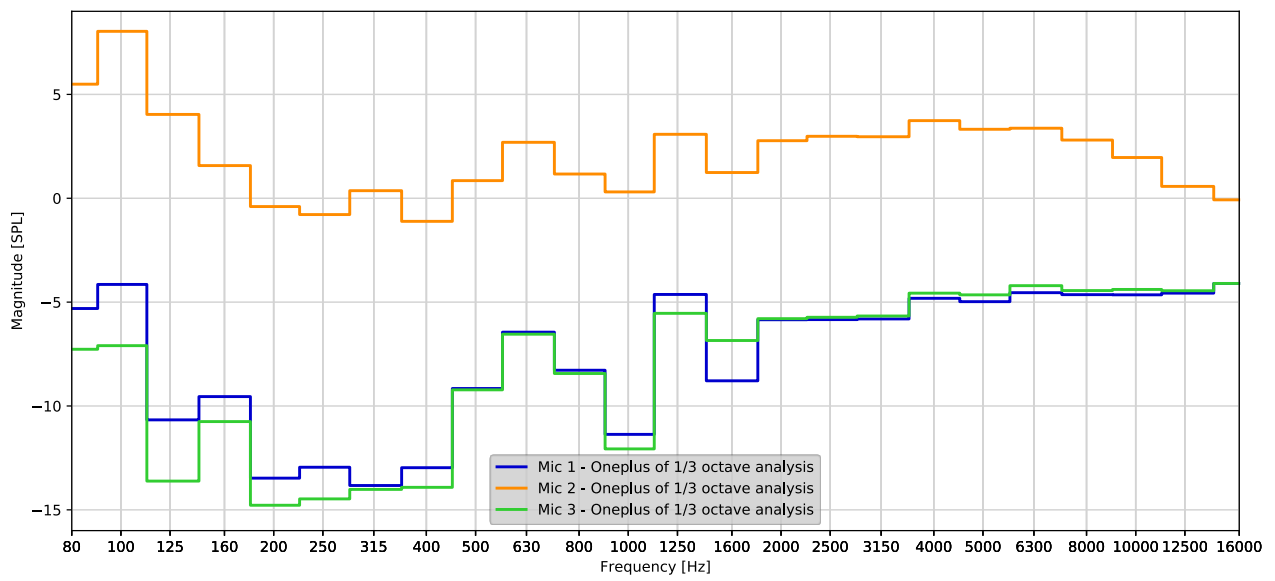
I analyseprocessen er inputtet i processen de rå optagelser fra målingen, til at starte med er der blevet udført en Fast Fourier Transformering for at få optagelserne fra tidsdomæne til frekvensdomæne. Dette er blevet gjort med et Hanning vindue med 4410 taps og 552 taps overlap. Herefter er der blevet udført en 1/3 oktavfiltrering for at gøre selve frekvensresponsen mere overskueligt, oktavfilteret har en start frekvens på 80 Hz og en slut frekvens på 16 kHz, dette er begge centre frekvenser så filtret er lidt bredere end dette område. Efter oktavfilteret regnes der et gennemsnit for hver af mikrofonerne over de to optagede ESS-signaler. Som en afslutning bliver resultaterne omregnet fra Pascal til lyd tryks niveau (SPL) eller decibel (dB). Hele analyseprocessen er også vist i figuren herunder, som processen ser ud i SAFE.



Figur G.4 Illustration af analyseprocessen for frekvensrespons gennem SAFE. Her er kun for en af smartphonene, men processen er ens for de øvrige to smartphones.

G.5 - Måleresultater

Herunder kan frekvensresponsen fra analyseprocessen ses, der er plot for alle tre testet smartphones. Som vist i analyseprocessen er frekvensresponsen givet i 1/3 oktaver for hver af de tre mikrofonpositioner.



Appendiks H Målerapport til efterklangsmåling med to smartphones

H.1 - Formål med målingen

Formålet med denne måling er at undersøge om der kan opnås mere præcise efterklangsmålinger ved at have mere afstand mellem mikrofon- og højttalerenhederne. Denne måling vil blive udført som en blanding af den forestået målemetode og engineering metoden fra ISO 3382-2, hvor der er krav til minimum afstand mellem højttaler og mikrofon. Målingen er udført den 23. maj 2021.

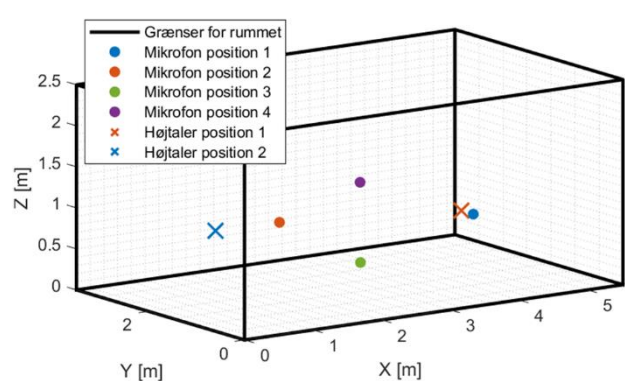
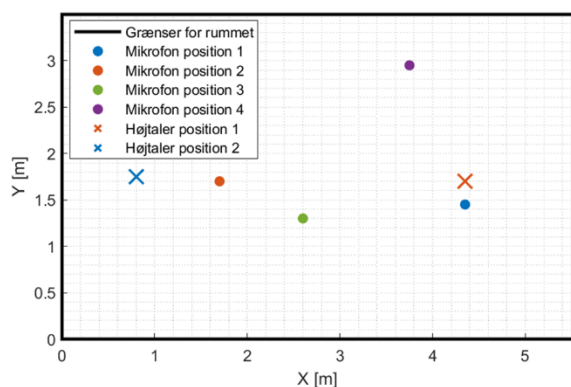
H.2 - Beskrivelse af omgivelser og udstyr brugt til målingen

Målingen er udført i en stue/køkken i en lejlighed i Aalborg, adresse Beddingen [REDACTED], i rummet er der ventilationsudgange, køleskab, vindue og radiator, hvilket alle var lukket og slukket under målingerne. Rummet var normalt indrettet med sofa, spisebord og køkken, som kan ses på billederne i Figur H.1, hvor indretningen i rummet også kan ses.



Figur H.1 Billeder fra rummet hvor målingen er foretaget i.

Dimensionerne af rummet er $5,517\text{ m} \times 3,499\text{ m} \times 2,5\text{ m}$ ($L \times B \times H$)/($X \times Y \times Z$), som også er vist på Figur H.2, volumen på rummet er $48,26\text{ m}^3$.



Figur H.2 Skitser af rummet hvor målingen er foretaget i, på skitsen er de to målepositioner i rummet.

Til målingen er der brugt en smartphone som mikrofon og en iPad som højttaler, til målingen er der brugt fire mikrofonpositioner og to højttalerpositioner. Dette giver en kombination af seks mikrofon-højttalerpositioner, hvilket følger minimumskravene fra engineering metoden fra standarden ISO 3382-2. De seks positioner for mikrofoner og højttaler er skitseret på Figur H.2, kombinationerne mellem de fire

mikrofonpositioner og de to højttalerpositioner kan ses i Tabel H.1. Udstyret brugt til udførelse af målingen er oplistet i Tabel H.2.

Tabel H.1 Mikrofon-højttaler kombinationer mellem de fire mikrofonpositioner og de to højttalerpositioner

	Mikrofonposition 1	Mikrofonposition 2	Mikrofonposition 3	Mikrofonposition 4
Højttalerposition 1		X	X	X
Højttalerposition 2	X		X	X

Tabel H.2 Liste over udstyr brugt til udførelse af målingen.

Beskrivelse af udstyr	Antal	Serienummer
Huawei Mate 20 Lite smartphone	1	-
iPad Air 2 tablet	1	-

H.3 - Udførelse af målingen

Målingen er udført efter samme metode som beskrevet i Sektion 5.1, hvor den eneste forskel til den metode beskrevet i sektionen og målingen er at der bruges en enhed til højttalerenhed og en anden enhed brugt til mikrofonenhed.

Målesignalet brugt til målingerne er valgt som værende et eksponentielt sine sweep med frekvensområdet 80 Hz - 6000 Hz. Målesignalet er gentaget tre gange for hver måleposition, hvor den første gentagelse bruges som en opvarmning for hver afspilning af målesignalet. De sidste to gentagelser vil blive brugt til analysen af målingen.

Udover efterklangsmålingen i rummet er der ligeledes blevet målt et højttalerrespons i midten af en sammenfoldet dyne, hvor iPaden og smartphonen har været placeret i dynen samtidig hvor der udføres en optagelse på smartphonen samtidig med at iPaden afspiller testsignalet.

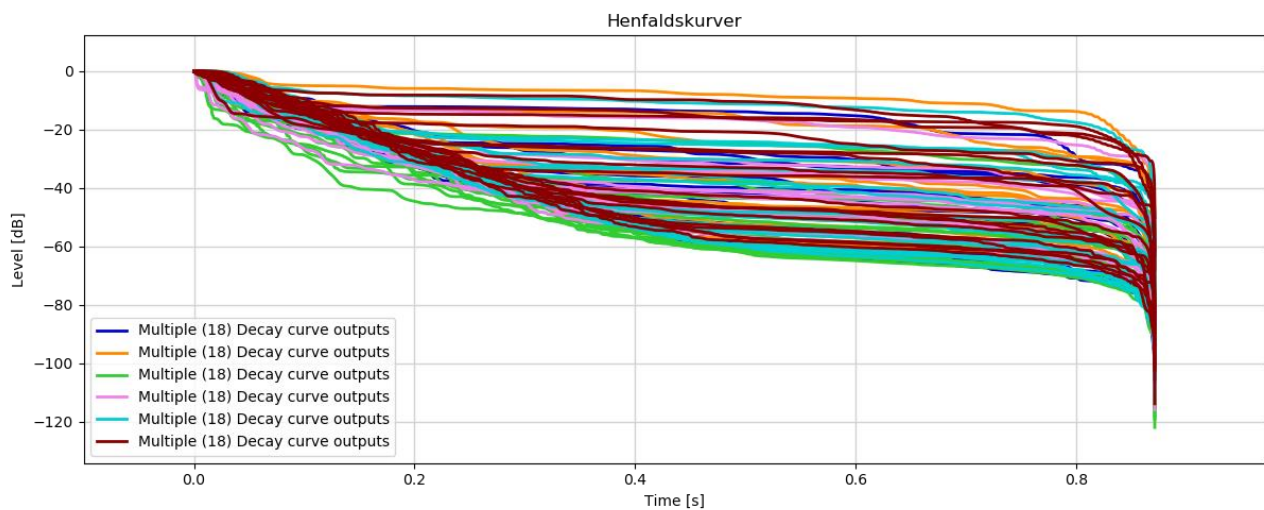
H.4 - Analyse af målingen

Analysen af målingerne vil blive udført i SAFE, hvor analysen vil blive udført som beskrevet i Sektion 5.2, hvor målingerne først er separeret ved at bruge Audacity, her er det både de seks optagelser fra rummet samt optagelsen af højttalerresponsen.

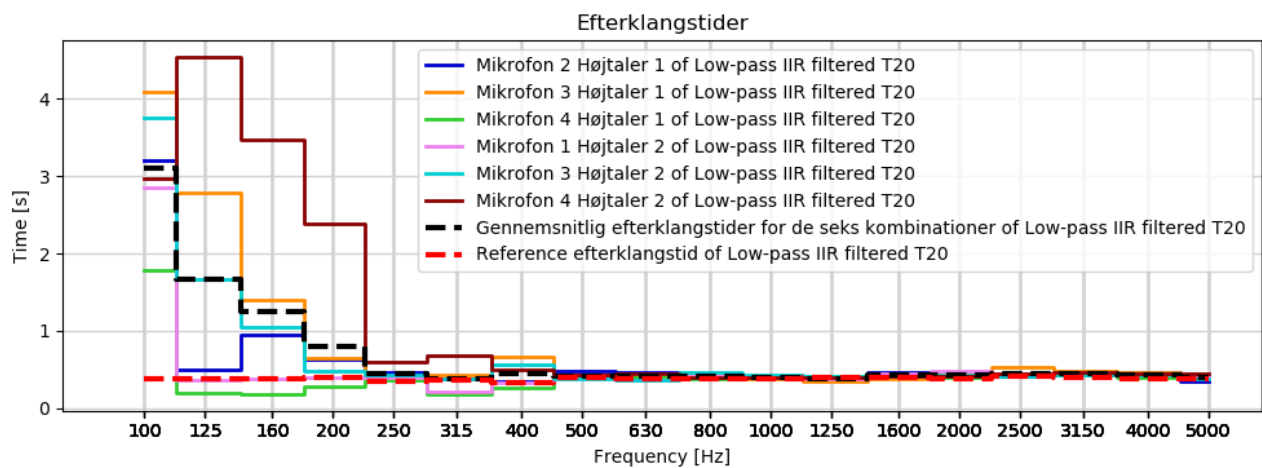
I analysen starter med at regne et gennemsnit for hver af positionerne over de to gentagelser, efterfølgende er målingerne filtret i 1/3 oktavbånd, hvorefter henfaldskurverne beregnes, til evalueringen af henfaldskurverne bruges blokken T_{20} i SAFE. Efter at efterklangstiderne er fundet for hver af impulsresponsene, regnes der et gennemsnit over de tre målepositioner i rummet.

H.5 - Resultaterne fra målingen

På Figur H.3 er henfaldskurverne for hver af de seks målekombinationer plottet, hver af positionerne har en henfaldskurve for hver 1/3 oktavbånd, afslutningsvis er efterklangstiderne plottet i Figur H.4, hvor det beregnede gennemsnit ligeledes er plottet. Efterklangstiderne for både referencen og efterklangsmålingen med to enheder kan ses i Tabel H.3.



Figur H.3 Henfaldskurverne fra de seks målekombinationerne.



Figur H.4 Efterklangsmålingerne for de seks målekombinationer med regnet gennemsnit over de seks kombinationer og efterklangstiderne for referencemålingen.

Tabel H.3 De gennemsnitlige efterklangstider for de seks målekombinationer, sammen med efterklangstiderne fra referencemålingen.

Frekvens [Hz]	Gennemsnitlige efterklangstider for de seks kombinationer [s]	Efterklangstider [s] fra reference måling
100	3,105	0,37
125	1,672	0,38
160	1,242	0,38
200	0,805	0,40
250	0,446	0,36
315	0,379	0,36
400	0,447	0,33
500	0,419	0,40
630	0,407	0,39
800	0,422	0,38
1000	0,405	0,37
1250	0,388	0,39
1600	0,424	0,39
2000	0,436	0,39
2500	0,446	0,41
3150	0,456	0,40
4000	0,439	0,38
5000	0,398	0,38

Appendiks I Målerapport til undersøgelse af lydtryk fra højttaler

I.1 - Formål med målingen

Formålet med denne måling er at undersøge lydtrykket umiddelbart ved siden af den indbygget højttaler i en smartphone og lydtrykket i midten af rummet. For at kunne undersøge om højttaleren kan genere et lydtryk tilstrækkeligt til at kunne udføre en efterklangsmåling i hele rummet. Målingen blev udført den 23. maj 2021.

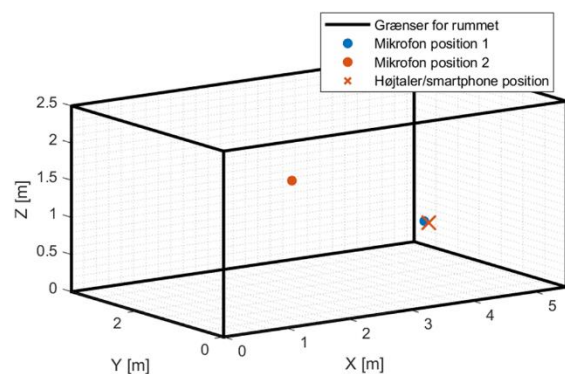
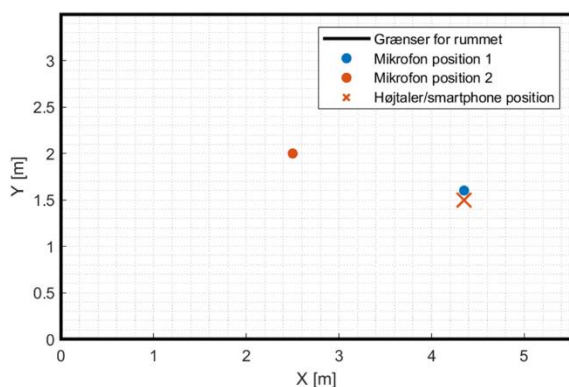
I.2 - Beskrivelse af omgivelser og udstyr brugt til målingen

Målingen er udført i en stue/køkken i en lejlighed i Aalborg, adresse Beddingen [REDACTED], i rummet er der ventilationsudgange, køleskab, vindue og radiator, hvilket alle var lukket og slukket under målingerne. Rummet var normalt indrettet med sofa, spisebord og køkken, som kan ses på billederne i Figur I.1, hvor indretningen i rummet også kan ses.



Figur I.1 Billeder fra rummet hvor målingen er foretaget i.

Dimensionerne af rummet er $5,517\text{ m} \times 3,499\text{ m} \times 2,5\text{ m}$ ($L \times B \times H$)/($X \times Y \times Z$), som også er vist på Figur I.2, volumen på rummet er $48,26\text{ m}^3$.



Figur I.2 Skitser af rummet hvor målingen er foretaget i, på skitsen er de to målepositioner i rummet.

Til målingen er der brugt to smartphones og en iPad som højttaler, og en målemikrofon som placeret i de to mikrofonpositioner illustreret på Figur I.2. Enhederne var placeret på et bord hvor højttalerenden vente ind mod bordets midte, hvor den ene mikrofon var placeret 10 centimeter fra højttaleren. Hver af enhederne afspillede et eksponentielt sine sweep med frekvensområdet 80 Hz - 6000 Hz, der er ikke blevet afspillet en gentagelse til denne måling. Udstyret brugt til udførelse af målingen er oplyst i Tabel I.1.

Tabel I.1 Liste over udstyr brugt til udførelsen af målingen.

Beskrivelse af udstyr	Antal	Serienummer
Huawei Mate 20 Lite smartphone	1	-
Oneplus 5T smartphone	1	-
iPad Air 2 tablet	1	-
miniDSP IMIK-1 målemikrofon	1	aau2176-25
PC med SAFE installeret	1	-
USB-kabel	1	-

I.3 - Udførelse af målingen

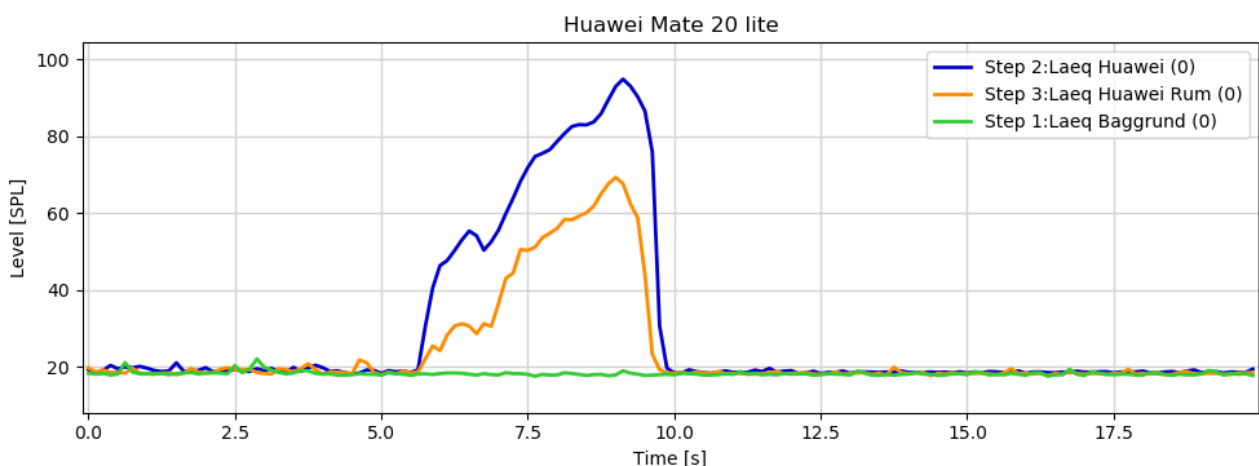
Målingen er udført i SAFE, hvor der er blevet taget en måling i to positioner, en ved siden af højttaleren og en i midten af rummet. Målingen er opbygget omkring en måling af baggrundsstøjen og en måling for hver af afspiller enhederne. Målingerne er lavet som lydtryksmåler over måleperioden, hvor der er blevet afspillet et eksponentielt sine sweep på en af enhederne og SAFE har optaget det A-vægtet lydtryk i de to målepositionerne.

Baggrundsstøjen er målt før målingen af lydtrykkende blev påbegyndt, hvor efter at målingerne med smartphonene blev påbegyndt. Ved at lave målingen i den ene position før og derefter flytte mikrofonen til position to hver afspilningen af testsignalet blev gentaget.

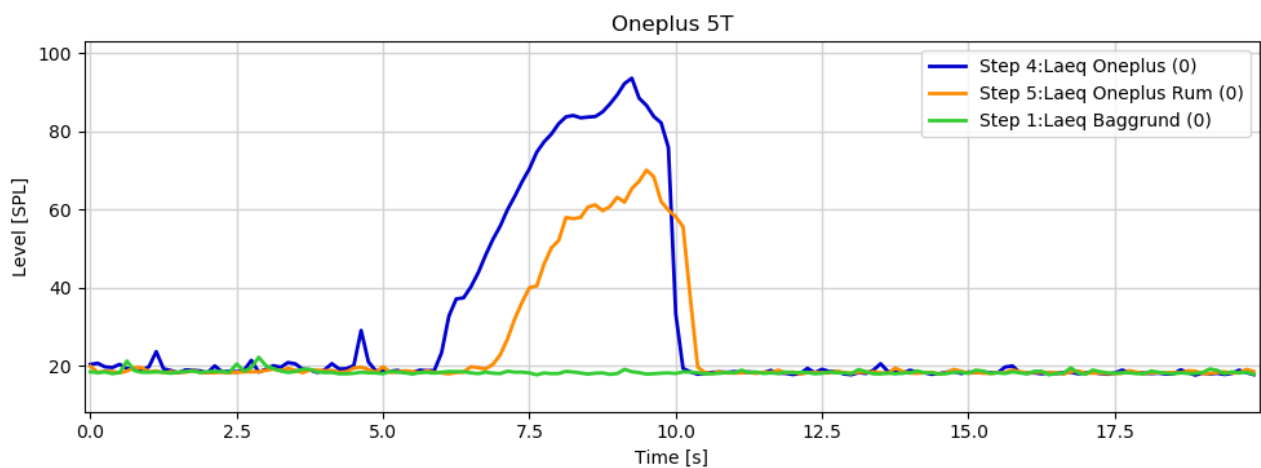
Da SAFE kan måle lydtrykket direkte uden nogen brug for efterfølgende analyse kan resultaterne plottes direkte fra målingerne.

I.4 - Resultaterne fra målingen

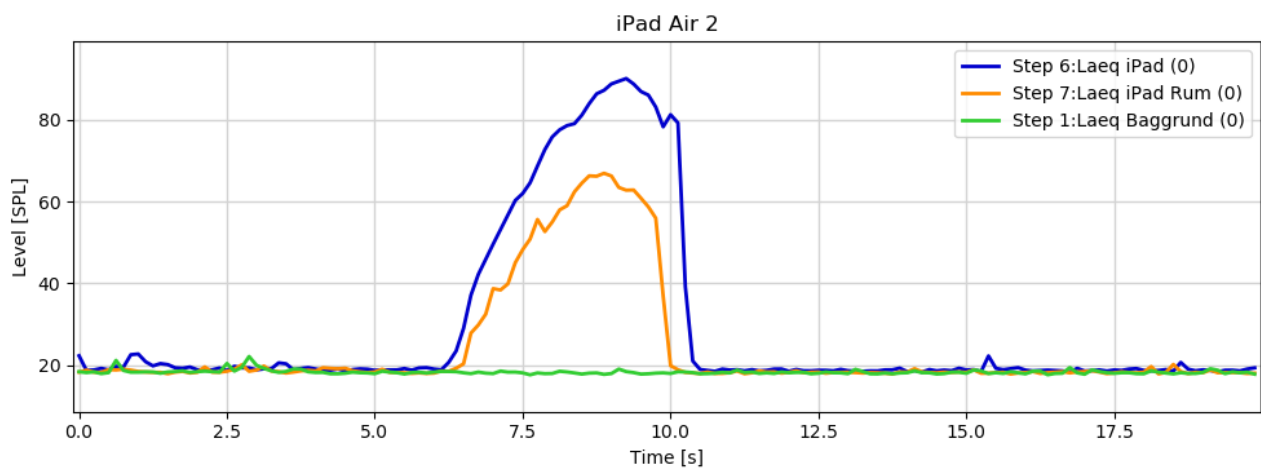
På Figur I.3 er lydtrykniveauerne for de to positioner plottet for målingen af Huawei smartphonen, samt lydtrykniveauet for baggrundsstøjen målt inden målingen. På Figur I.4 er lydtrykniveauet for Oneplus smartphonen blevet plottet, ligeledes for de to målepositioner og baggrundsstøjen. På Figur I.5 er lydtrykniveauet målt for iPaden plottet for begge målepositioner og baggrundsstøjen.



Figur I.3 Plot af lydtrykniveauet for Huawei smartphonen i de to målepositioner. Den blå linje er lydtrykket lige ved siden af højttalerne, den orange linje er for målingen i midten af rummet og den grønne linje er baggrundsstøjen i rummet.



Figur I.4 Plot af lydtrykniveauet for Oneplus smartphonen i de to målepositioner. Den blå linje er lydtrykket lige ved siden af højttalerne, den orange linje er for målingen i midten af rummet og den grønne linje er baggrundsstøjen i rummet.



Figur I.5 Plot af lydtrykniveauet for iPaden i de to målepositioner. Den blå linje er lydtrykket lige ved siden af højttalerne, den orange linje er for målingen i midten af rummet og den grønne linje er baggrundsstøjen i rummet.

Appendiks J Udskrift af spørgeskema til indsamling af målinger

Kort om denne undersøgelse

Tak fordi du har lyst til at hjælpe mig med mit projekt.

Først en lille kort intro til hvad mit projekt omhandler:

Formålet med projektet er at finde en metode til at indsamle akustisk data fra forskellige boliger, hvor der ikke er behov for at en akustik ingeniør skal udføre målingerne. I dette projekt er fokuset at indsamle data for efterklangstider for forskellige rum, efterklangstider giver en indikation for hvor lang tid en lyd er hørbar i et specifikt rum.

I sidste ende vil de indsamlede målinger kunne blive brugt til at give et indblik i hvordan lydforholdene er i de danske boliger.

Selve målingen er bygget op omkring to dele, et kort spørgeskema og en guide til hvordan målingen skal udføres. Spørgeskemaet vil have fokus på hvordan rummet er opbygget. Både spørgeskema og måling skulle gerne kunne klares på 10-15 minutter.

Før du begynder, skal du vælge et rum i din bolig hvor du gerne vil udføre målingen i, det kan være hvilket som helst rum i boligen som, et soveværelse, en stue, et køkken, et kontor eller andet rum. Hvis du har lyst, må du også meget gerne udføre målinger i flere rum. Rummet skal gerne være i den stand som det normalt er i, dog skal alle døre og vinduer lukkes for at isolere rummet mest muligt for lyd og støj fra andre rum og omgivelser.

Hvad skal du bruge til målingen?

- En smartphone eller tablet som kan afspille og optage lyd
- Et målebånd, en tommestok eller andet der kan måle afstande
- Et papir og noget at skrive med
- En dyne eller lignende

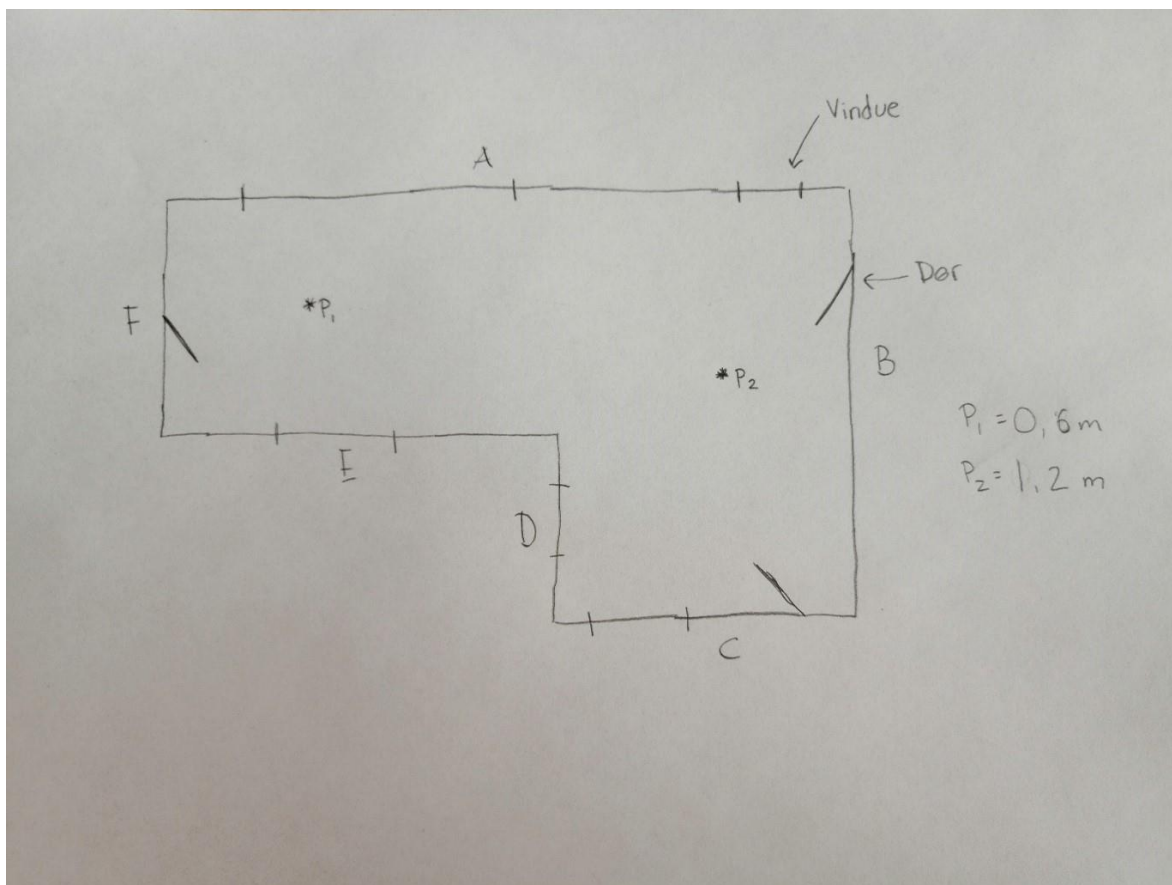
Vælg 4 tilfældige tegn som ID-nummer

Disse fire tegn skal huskes da de skal bruges igen senere. Kan med fordel skrives ned.

Rummets dimensioner og udformning

Spørgeskemaet starter med at udfyldning af informationer omkring rummets dimensioner udformningen af rummet.

I forlængelse disse spørgsmål vil jeg gerne bede dig om at lave en skitse af rummet. Der er kun behov for at få en ide omkring hvordan rummet cirka ser ud så det behøves ikke være i rig ge målestoksforhold. På skitsen vil jeg gerne bede om at du marker hvor der cirka er placeret vinduer og døre, og marker hvilken væg der er tale om når dimensionerne for rummet skal indtastes. Herunder kan du se et eksempel på en skitse som den kan se ud. I forlængelse af skitsen bedes du tage to eller flere billeder der viser rummets indretning og udformning.



Rummets dimensioner (Her skal der kun udfyldes længderne for væggene)

Angivet i meter, du kan runde af til nærmeste 10 cm, du skal blot udfylde mål for den mængde vægge du har markeret på den skitse.

Væg A	_____
Væg B	_____
Væg C	_____
Væg D	_____
Væg E	_____
Væg F	_____
Væg G	_____
Væg H	_____
Væg I	_____
Væg J	_____

Hvilken højde er der fra gulv til loft i rummet?

Hvis rummet ikke har samme højde i hele rummet, vælges der en middel højde som er et sted mellem det lavest og højeste punkt.

Hvis mere end halvdelen af loftet har samme højde indtastes denne højde i stedet for.

Hvilke af følgende apparater er til stede i det valgte rum?

- ☐ Køleskab
- ☐ Vaskemaskine
- ☐ Opvaskemaskine
- ☐ Ovn
- ☐ Ventilationsanlæg/-udgang
- ☐ Varmepumpe
- ☐ Radiator
- ☐ Brændeovn/fyr
- ☐ Ingen af de overstående

Hvor tydeligt vil du vurdere at støjen fra de valgte apparater i rummet og lyde udenfor rummet er i det valgte rum?

Med lyde udenfor rummet tænkes der herpå lyde som kommer fra andre steder i boligen eller helt udenfor boligen.

- ☐
- ☐ Ikke hørbart
- ☐
- ☐
- ☐
- ☐
- ☐
- ☐
- ☐
- ☐ Meget tydeligt
- ☐

Nu til selve målingen, inden målingen begynder, bedes du vælge hvilken af de følgende enheder du ønsker at benytte

- ☐ iOS (iPhone eller iPad)
- ☐ Android

Selve målingen på iOS enhed (Det kan være en god ide og læse vejledningen helt igennem før du starter målingen)

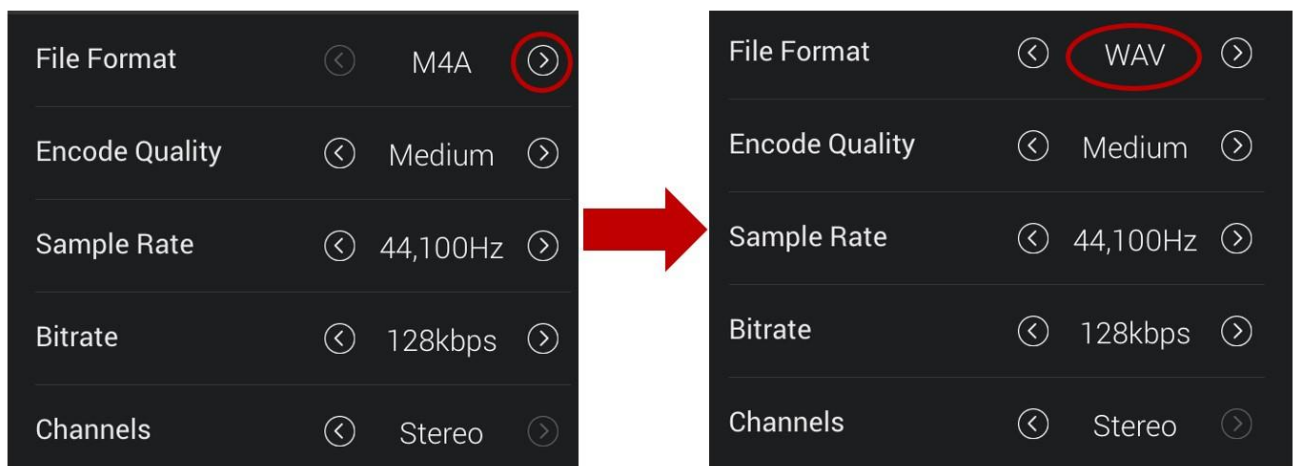
Nu til selve målingen, til at starte med skal målingen udføres ved at bruge en specifik applikation til at lave optagelsen med. Herunder finder du linket til applikationen. Applikationen kan også findes ved at søge i App Store, efter navnet "AVR X" Ikonet på applikationen kan også ses herunder.

Link til AVC X: <https://apps.apple.com/app/id1344740222>



Når applikationen er installeret, er der nogen få ændringerne i indstillingerne der skal laves, før du er klar til at udføre målingen. Herunder finder du en vejledning der guider dig i hvad der skal ændres og hvordan det gøres.

1. Start med at åbne applikationen, den ligger under navnet "AVR X"
2. Når applikationen er klar vælger du indstillinger nederst i højre hjørne
3. Her skal du ud for "File Format" trykke på pilen til højre til der står ".wav" i midten, dette er også vist herunder på billederne



Du kan du trykke på pilen i øverst venstre hjørne hvor du kommer tilbage til startsiden af applikationen

Selve målingen er delt op i to, den første måling er en måling som skal udføres under en dyne, den anden del er måling i to positioner i det valgte rum. De to positioner skal gerne opfylde de følgende punkter:

- Placeret på et bord eller en stol
-

Minimum 1,5 meter mellemrum mellem de to positioner

Selve placeringen af enheden på bordet eller stolen er vigtig, da enheden skal gerne være placeret som på billede herunder. Hvor enheden er placeret delvis over kanten på bordet eller stolen, højttaleren i enheden skal vende ind mod bordet eller stolen. Enhedens højttaler er normalt placeret i bunden af enheden, den anden ende af enheden skal være placeret så kameraet er placeret udover kanten.



Herunder finder du en vejledning til hvordan du udfører selve målingen, under målingen skal du være til stede i det valgt rum:

1. Sikre dig at alle døre og vinduer i rummet er lukket
2. Sluk for meget støjende apparater som du kan høre når du står i rummet (Kan være et køleskab, vaskemaskine eller lignede, et ur er ikke nødvendigt at slukke)
3. Du skal bruge en dyne eller lignede til den første måling
4. Start med at åbne "AVR X" applikationen så du er klar til at lave en optagelse og skrue helt op for enhedens højttaler
5. Fold dynen i halv så du kan lægge enheden ind i mellem de to halvdele af dynen
6. Start afspilningen af lydfilen, (linket hertil kommer lidt senere nede da det er samme lydfil du skal bruge til alle målingerne og derved kan udføre dem på en gang)
7. Når afspilningen starter, skal du gå hen og starte en optagelse i "AVR X", du starter en optagelse ved at trykke på den røde knap
8. Placer nu enheden med skærmen nedad og lig dynen over
9. I afspilningen vil der blive sagt når afspilningen er slut og du kan stoppe optagelsen, for at stoppe optagelsen trykkes der på knappen med firkanten på ved siden af den i midten, for at komme tilbage til guiden her trykker du blot på tilbage knappen i din browser.

I den anden del af målingen skal du bruge de to positioner som du valgte tidligere, du bedes indikere disse to positioner på din skitse af rummet, og indikere hvilken højde enheden er placeret i. Herunder er der en vejledning til hvordan den anden del af målingen skal udføres:

1. Igen skal du sørge for at døre og vinduer er lukket i rummet, samt at der ikke er nogen apparater som støjer hørbart i rummet.
2. Start med at placere enheden i din første placering som beskrevet herover.
3. Start afspilningen igen og start også en optagelse i "AVR X" applikationen
4. Når du har stoppet optagelsen igen, flytter du blot enheden til næste placering og gentage punkt 3.
5. Når du er færdig med de to optagelser, forsætter du blot til næste side, hvor der vil blive beskrevet hvordan tilbagemeldingen af optagelser og billeder skal ske.

Dette link som indeholder lydfilen <https://1drv.ms/u/s!AoaSfxOPNQsda1qe2NKtYY2Dulw?e=nfKRGB> , lyd-filen er den samme der skal bruges til alle målingerne, for at komme tilbage til guiden her trykker du blot på tilbage knappen i din browser. Skulle gerne være nederst på skærmen.

Tilbage melding af optagelser og billeder

Når målingerne er færdige bedes du sende følgende via mail til mailadresse: revb2021@outlook.dk

- Dit valgte ID-nummer (Der er valgt til at starte med)
 -
 - De tre optagelser
 -
- Billede af den tegnede skitse over rummet Billeder af rummet

De behøves ikke blive sendt som en mail, kan godt deles op i flere mails, det eneste er at i emnefeltet skal du skrive dit valgte ID-nummer

I vejledningen herunder kan du se hvordan du finder de optagelserne og hvad du skal skrive i mailen.

1. Start med at finde de tre optagelser, dette sker igennem applikationen "AVR X"
 2. Her skal du trykke på ikonet nederst i venstre hjørne.
 3. Nu skulle du gerne se tre mapper her skal du vælge mappen "Default", her skal dine optagelser gerne ligge.
 4. Her skal du vælge ikonet helt til højre udfor hver fil og vælge del via mail.
 5. For at sikre at alle filerne kommer frem bedes du sende filerne i hver sin mail.
 6. Mailen skal sendes til følgende mailadresse: revb2021@outlook.dk
 7. I mailen skal du indskrive dit ID-nummer i emnefeltet For at sende billederne:
-
1. Gå ind hvor du normalt ser dine billeder på telefonen
 2. Vælg billederne du har taget af rummet og den skitse du har tegnet af rummet
 3. Vælg del via mail
 4. Send mailen til samme mailadresse som overstående
 5. Skriv dit valgte ID-nummer igen i emnefeltet

Selve målingen på Android enhed (Det kan være en god ide og læse vejledningen helt igennem før du starter målingen)

Nu til selve målingen, til at starte med skal målingen udføres ved at bruge en specifik applikation til at lave optagelsen med. Herunder finder du linket til applikationen. Applikationen kan også findes ved at søge i din App Store/Google Play efter "Awesome Voice Recorder X" eller blot "AVR X".

Link til applikationen i Google Play:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.newkline.avrx>



Selve målingen er delt op i to, den første måling er en måling som skal udføres under en dyne, den anden del er måling i to positioner i det valgte rum. De to positioner skal gerne opfylde de følgende punkter:

- Placeret på et bord eller en stol
- Minimum 1,5 meter mellemrum mellem de to positioner

Selve placeringen af enheden på bordet eller stolen er vigtig, da enheden skal gerne være placeret som på billede herunder. Hvor enheden er placeret delvis over kanten på bordet eller stolen, højttaleren i enheden skal vende ind mod bordet eller stolen. Enhedens højttaler er normalt placeret i bunden af enheden, den anden ende af enheden skal være placeret så kameraet er placeret udover kanten.



Herunder finder du en vejledning til hvordan du udfører selve målingen, under målingen skal du være til stede i det valgte rum:

1. Sikre dig at alle døre og vinduer i rummet er lukket
2. Sluk for meget støjende apparater som du kan høre når du står i rummet (Kan være et køleskab, vaskemaskine eller lignende, et ur er ikke nødvendigt at slukke)
3. Du skal bruge en dyne eller lignende til den første måling

4. Start med at åbne "AVR X" applikationen så du er klar til at lave en optagelse og skrue helt op for enhedens højttaler
5. Fold dynen i halv så du kan lægge enheden ind i mellem de to halvdele af dynen
6. Start afspilningen af lydfilen, (linket hertil kommer lidt senere nede da det er samme lydfil du skal bruge til alle målingerne og derved kan udføre dem på en gang)
7. Når afspilningen starter, skal du gå hen og starte en optagelse i "AVR X", optagelsen startes ved at trykke på den røde knap
8. Placer nu enheden med skærmen nedad og lig dynen over
9. I afspilningen vil det blive sagt når afspilningen er slut og du kan stoppe optagelsen, for at stoppe optagelsen trykkes der på knappen med firkanten på ved siden af den i midten, for at komme tilbage til guiden her trykker du blot på tilbage knappen i din browser

I den anden del af målingen skal du bruge de to positioner som du valgte tidligere, du bedes indikere disse to positioner på din skitse af rummet, og indikere hvilken højde enheden er placeret i. Herunder er der en vejledning til hvordan den anden del af målingen skal udføres:

1. Igen skal du sørge for at døre og vinduer er lukket i rummet, samt at der ikke er nogen apparater som støjer hørbart i rummet.
2. Start med at placere enheden i din første placering som beskrevet herover.
3. Start afspilningen igen og start også en optagelse i "AVR X" applikationen
4. Når du har stoppet optagelsen igen, flytter du blot enheden til næste placering og gentage punkt 3.
5. Når du er færdig med de to optagelser, forsætter du blot til næste side, hvor der vil blive beskrevet hvordan tilbagemeldingen af optagelser og billeder skal ske.

Dette link som indeholder lydfilen <https://1drv.ms/u/s!AoaSfxOPNQsda1qe2NKtYY2Dulw?e=nfKRMB>, lydfilen er den samme der skal bruges til alle målingerne, for at komme tilbage til guiden her trykker du blot på tilbage knappen i din browser. Skulle gerne være nederst på skærmen.

Tilbagemelding af optagelser og billeder på Android enhed

Når målingerne er færdige bedes du sender følgende via mail til mailadresse: revb2021@outlook.dk

- Dit valgte ID-nummer (Der er valgt til at starte med)
- De tre optagelser
- Billede af den tegnede skitse over rummet Billeder af rummet

De behøves ikke blive sendt som en mail, kan godt deles op i flere mails, det eneste er at i emnefeltet skal du skrive dit valgte ID-nummer

I vejledningen herunder kan du se hvordan du finder de optagelserne og hvad du skal skrive i mailen.

1. Start med at finde de tre optagelser, dette sker igennem applikationen "AVR X"
2. Her skal du trykke på ikonet nederst i venstre hjørne
3. Her skulle de tre optagelser gerne ligge, her trykker du på de tre prikker i øverst højre hjørne og vælge "SHARE"

4. For at sikre at alle filerne kommer frem bedes du sende hver lydfil i en mail for sig. Dette gør du ved at markere en af de tre optagelser og trykke på "SHARE" igen, her får du nogen delings muligheder hvor du skal vælge mail
5. Du skal sende mailen til følgende mailadresse: revb2021@outlook.dk 6. I mailen skal du indskrive dit ID-nummer i emnefeltet og blot sende mailen
7. Gentag processen for de øvrige to lydfiler.

For at sende billederne:

1. Gå ind hvor du normalt ser dine billeder på telefonen
2. Vælg billederne du har taget af rummet og den skitse du har tegnet af rummet
3. Vælg del via mail
4. Send mailen til samme mailadresse som overstående
5. Skriv dit valgte ID-nummer igen i emnefeltet

Her til sidst vil jeg gerne takke dig mange gange for at hjælpe mig med mit projekt. Hvis du kan komme til at tænke på nogen som måske også kunne have lyst til at hjælpe mig med mit projekt, må du meget gerne dele linket til denne spørgeundersøgelse, som du også fulgte for at komme ind til undersøgelsen.

Lige en lille påmindelse så husk at skrue ned for lydstyrken på din telefon her efter så den ikke er skruet helt op og forskrækker dig næste gang du skal afspille noget lyd.

Appendiks K Målerapport til indsamlet optagelser

Denne målerapport har til formål at samle alle de indsamlet målinger i en målerapport, derfor er det også valgt at dele rapporten op i to sektioner, første sektion kommer til at indeholde de generelle informationer om målerapporterne, hvordan de er opbygget samt hvordan analysen af målingerne er foretaget. Den anden sektion kommer til at være rapporteringen af de forskellig indsamlet målinger.

K.1 - Generelt information om målerapporteringen

Når optagelserne er indsamlet, er de kategoriseret sammen med svarende fra spørgeskemaet og billederne af rummet er samlet. Herefter er optagelserne opdelt i de forskellige gentagelser for hver måling, dette er gjort i Audacity som beskrevet i undersektionen 5.2.1. Efter at optagelserne er klargjort kan analysen af optagelserne blive udført, til dette er SAFE brugt som beskrevet i Sektion 5.2.

For nogen af rummene der er udført målinger i, er der udført en referenceefterklangsmåling for at kunne sammenholde resultaterne fra de indsamlet optagelser. Disse referencemålinger er udført efter metoden beskrevet i undersektionen 5.3.2, hvor målingerne er udført efter engineering metoden fra standarden ISO 3382-2 [15], lydkilden brugt til referencemålingerne har været balloner der er blevet sprunget. Reference-målingerne vil blive inkluderet i repræsentationen af resultaterne i målerapporterne for hver indsamlet optagelse.

K.2 - Opsætning af målerapporterne

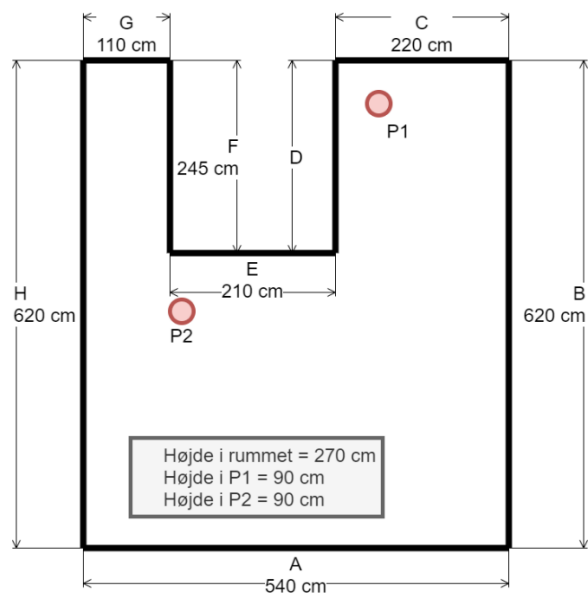
Målerapporterne vil inkludere en skitse af målerummet, hvor målepositionerne i rummet er indikeret sammen med højderne for målepositionerne og højden fra gulv til loft i rummet. Sammen med skitsen vil der blive inkluderet billederne indsamlet af rummene målingerne er udført.

Dernæst vil der komme en tabel hvor de indikerede apparater i rummet er markeret, vurderingen af niveauet for baggrundsstøjen er indtastet og valgt af hvilket styresystem målingen er udført på. Efter denne tabel vil resultaterne fra efterklangsestimeringerne blive præsenteret, både i plottet version og i tabel version opdelt i 1/3 oktavbånd. For at kunne dække hele frekvensområdet defineret i kravene Kapitel 4, hvilket lyder 100 Hz - 5000 Hz, er analysen udført for hele frekvensområdet og efterklangsværdierne i målerapporterne er givet for hele området opdelt i 1/3 oktavbånd.

Hver af de indsamlet optagelser er omdøbt for at gøre målingerne anonyme derfor er de inddelt efter en tal række hvor den første starter ved nummer 1 og forsætter derefter. Der er indsamlet 15 målinger fra forskellige boliger, hvor nogen af målingerne er udført i samme rum, dog med forskellige smartphones som optager- og afspillerenhed.

K.3 - Rapportering af indsamlet målinger

K.3.1 1



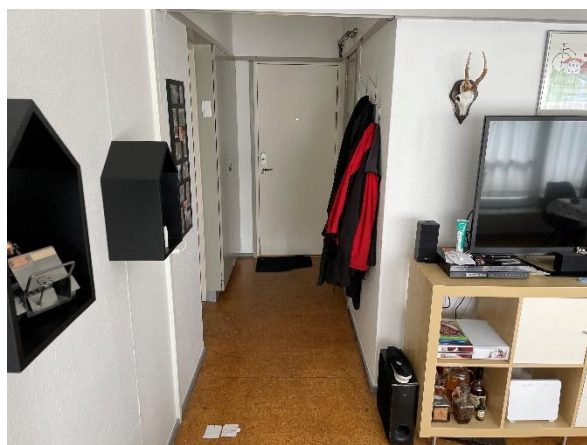
Figur K.1 Skitse af målerummet.



a)



b)

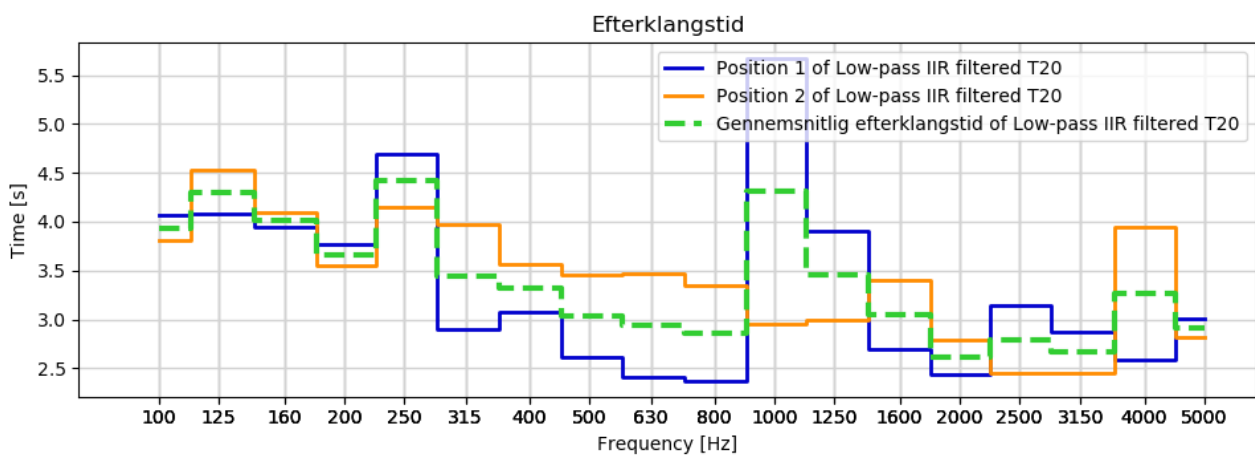


c)

Figur K.2 Billeder af målerummet.

Tabel K.1 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

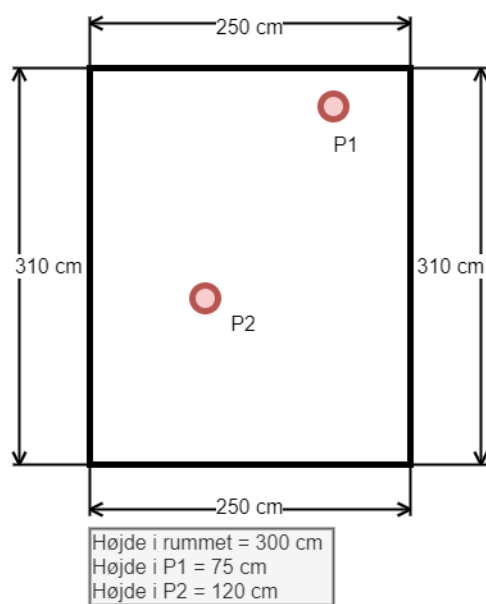
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	X
Opvaskemaskine	X
Ovn	X
Ventilationsudgang	X
Varmepumpe	
Radiator	
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	5
Hvilken enhed er målingen udført på	iOS



Figur K.3 Efterklangtiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.2 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	3,93
125	4,30
160	4,02
200	3,66
250	4,42
315	3,44
400	3,32
500	3,03
630	2,94
800	2,86
1000	4,31
1250	3,45
1600	3,04
2000	2,61
2500	2,79
3150	2,66
4000	3,27
5000	2,91



Figur K.4 Skitse af målerummet.



a)



b)

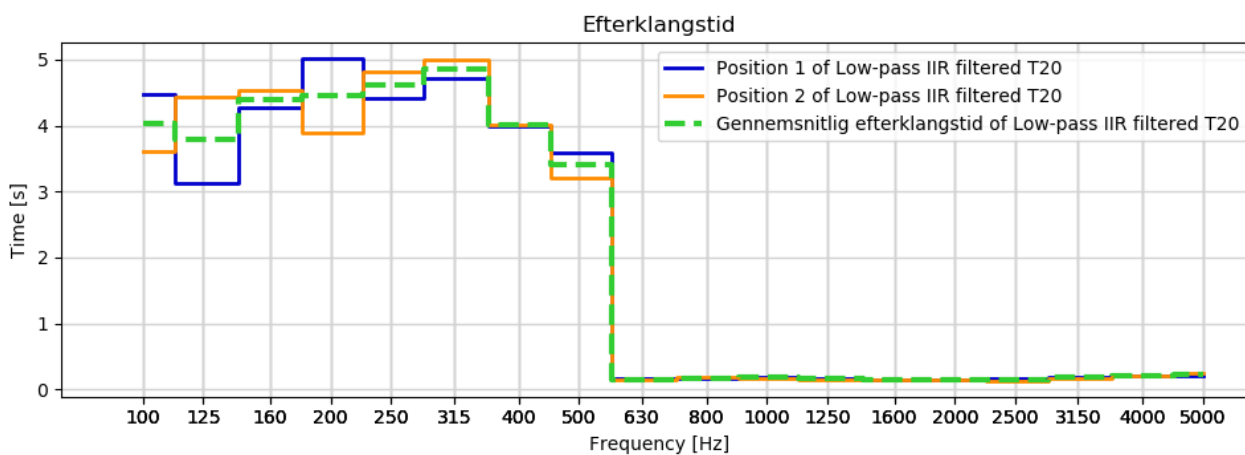


c)

Figur K.5 Billeder af målerummet.

Tabel K.3 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

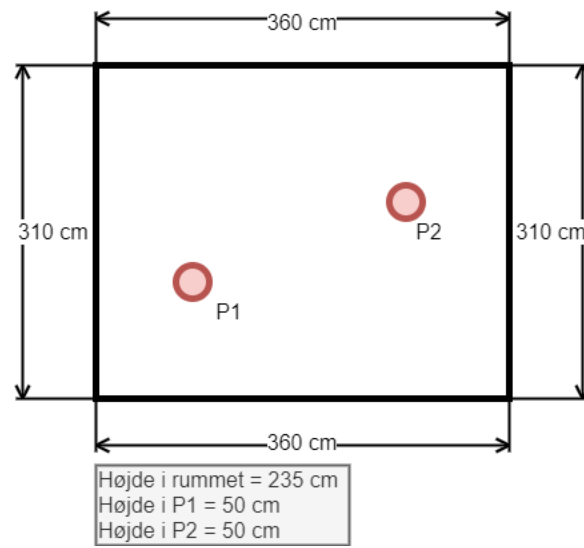
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	X
Varmepumpe	
Radiator	
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	7
Hvilken enhed er målingen udført på	Android



Figur K.6 Efterklangtiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.4 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	4,04
125	3,79
160	4,40
200	4,45
250	4,62
315	4,86
400	4,00
500	3,40
630	0,15
800	0,17
1000	0,18
1250	0,16
1600	0,15
2000	0,15
2500	0,15
3150	0,18
4000	0,20
5000	0,23



Figur K.7 Skitse af målerummet.



a)

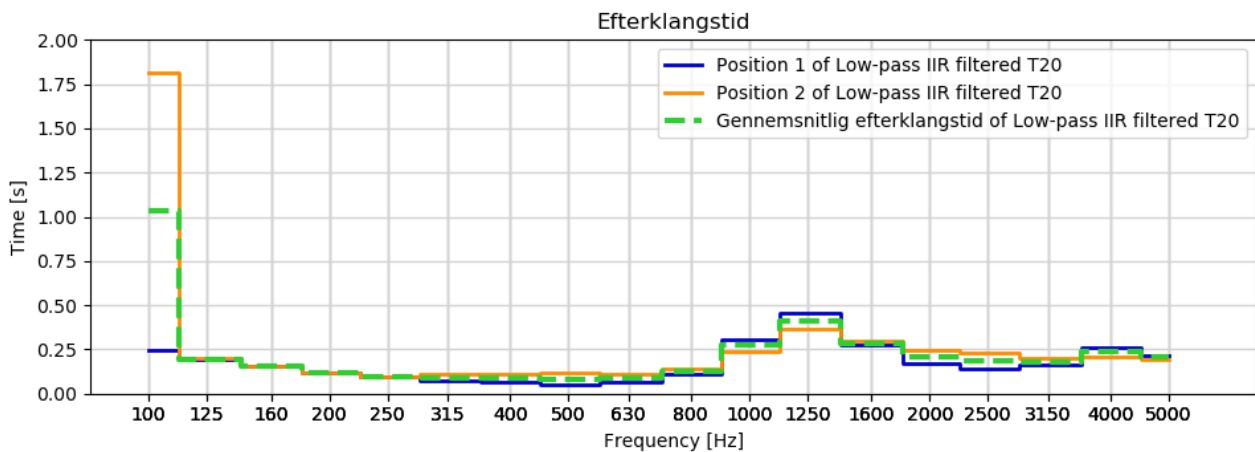


b)

Figur K.8 Billeder af målerummet.

Tabel K.5 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

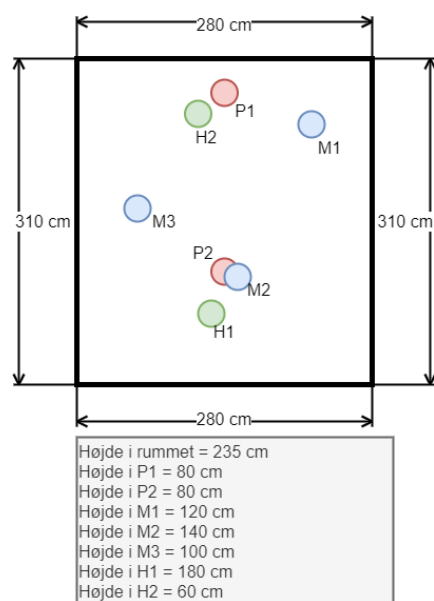
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	
Varmepumpe	
Radiator	X
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	0
Hvilken enhed er målingen udført på	iOS



Figur K.9 Efterklangtiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.6 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	1,03
125	0,20
160	0,15
200	0,12
250	0,10
315	0,09
400	0,09
500	0,08
630	0,09
800	0,13
1000	0,27
1250	0,41
1600	0,29
2000	0,21
2500	0,18
3150	0,18
4000	0,24
5000	0,21



Figur K.10 Skitse af målerummet.



a)

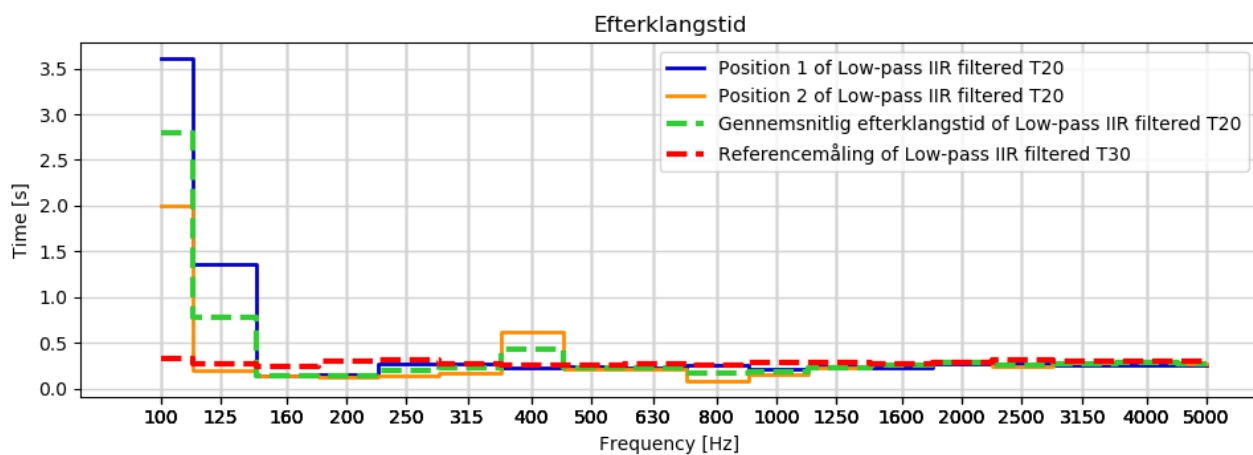


b)

Figur K.11 Billeder af målerummet.

Tabel K.7 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

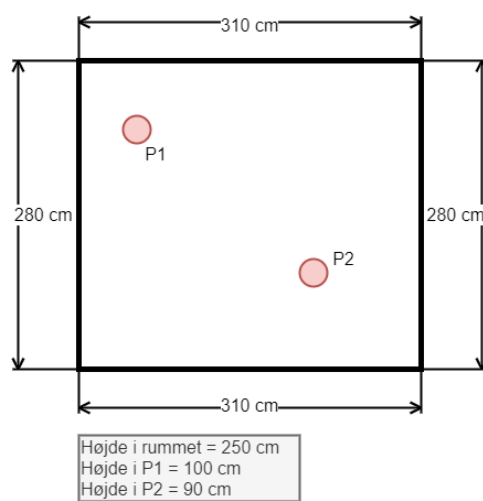
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	
Varmepumpe	
Radiator	X
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	3
Hvilken enhed er målingen udført på	Android



Figur K.12 Efterklangtiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.8 Gennemsnit efterklangtiderne opdelt i 1/3 oktavnåb.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	2,80
125	0,78
160	0,14
200	0,14
250	0,21
315	0,22
400	0,43
500	0,23
630	0,23
800	0,17
1000	0,18
1250	0,23
1600	0,25
2000	0,28
2500	0,26
3150	0,27
4000	0,28
5000	0,27



Figur K.13 Skitse af målerummet.



a)



b)



c)

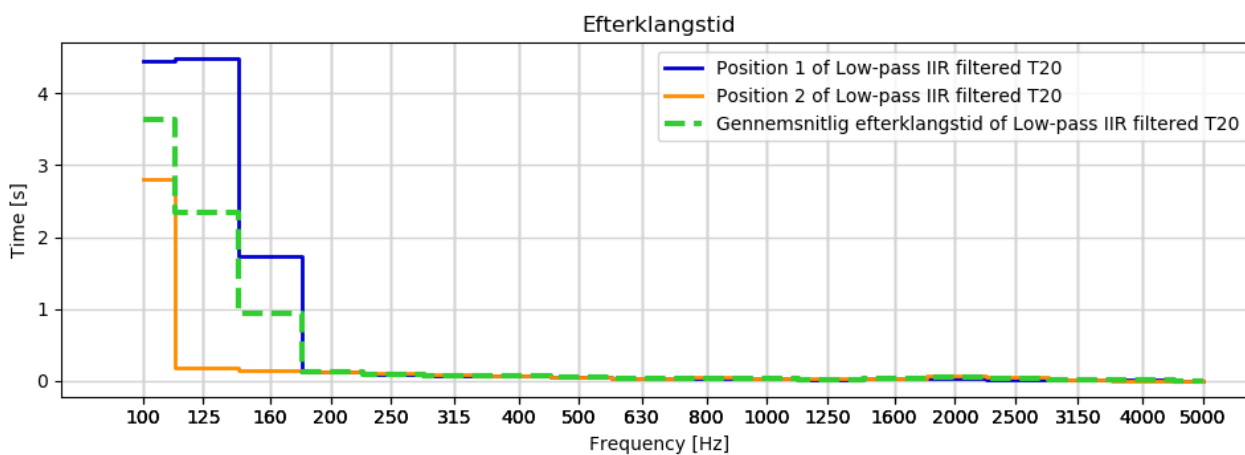


d)

Figur K.14 Billeder af målerummet.

Tabel K.9 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

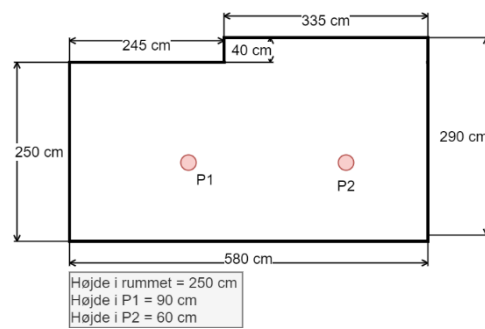
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	
Varmepumpe	
Radiator	X
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	1
Hvilken enhed er målingen udført på	iOS



Figur K.15 Efterklangtiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.10 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	3,63
125	2,33
160	0,95
200	0,12
250	0,10
315	0,08
400	0,07
500	0,05
630	0,04
800	0,05
1000	0,03
1250	0,03
1600	0,04
2000	0,05
2500	0,04
3150	0,01
4000	0,01
5000	0,01



Figur K.16 Skitse af målerummet.



a)

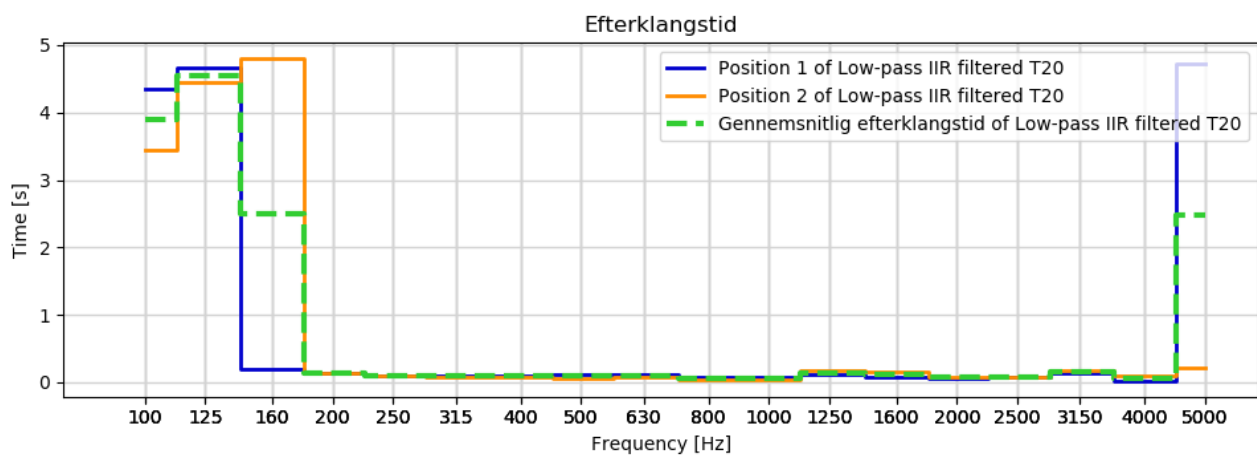


b)

Figur K.17 Billeder af målerummet.

Tabel K.11 Indtastninger fra deltageren i spørgeskemaet.

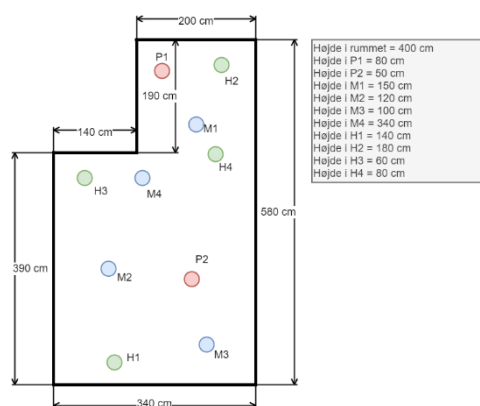
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	X
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	X
Varmepumpe	
Radiator	X
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	3
Hvilken enhed er målingen udført på	Android



Figur K.18 Efterklangstiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.12 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	3,90
125	4,55
160	2,49
200	0,14
250	0,10
315	0,09
400	0,09
500	0,09
630	0,09
800	0,06
1000	0,06
1250	0,15
1600	0,12
2000	0,07
2500	0,07
3150	0,16
4000	0,06
5000	2,47



Figur K.19 Skitse af målerummet.



a)



b)

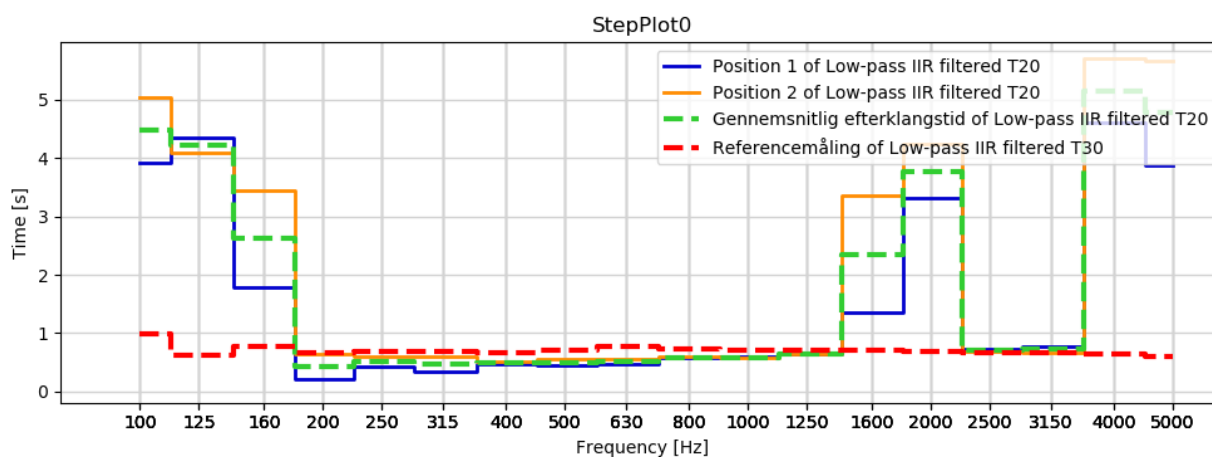


c)

Figur K.20 Billeder af målerummet.

Tabel K.13 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

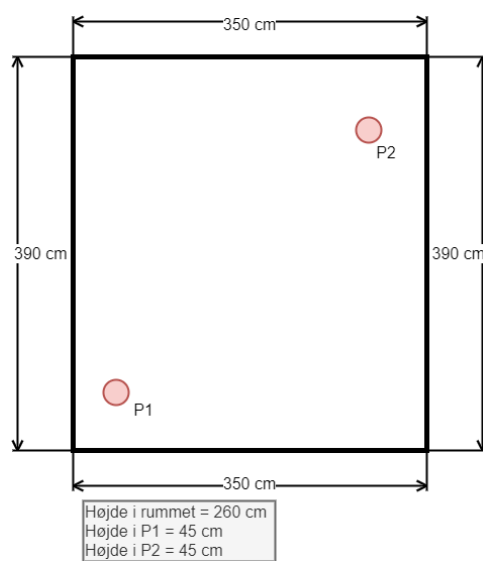
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	X
Opvaskemaskine	
Ovn	X
Ventilationsudgang	
Varmepumpe	
Radiator	X
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	7
Hvilken enhed er målingen udført på	Android



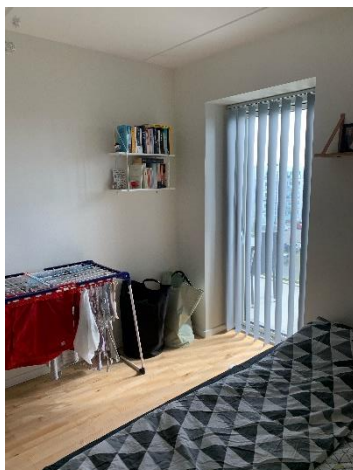
Figur K.21 Efterklangtiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.14 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	4,48
125	4,22
160	2,61
200	0,43
250	0,51
315	0,48
400	0,49
500	0,50
630	0,51
800	0,59
1000	0,58
1250	0,65
1600	2,36
2000	3,78
2500	0,71
3150	0,72
4000	5,15
5000	4,77



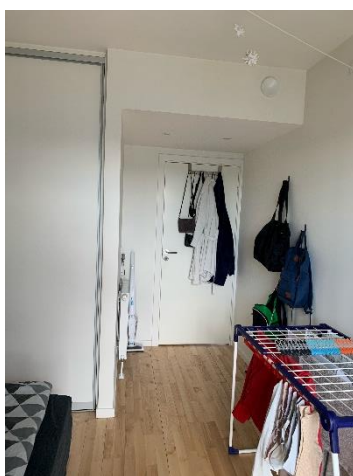
Figur K.22 Skitse af målerummet.



a)



b)

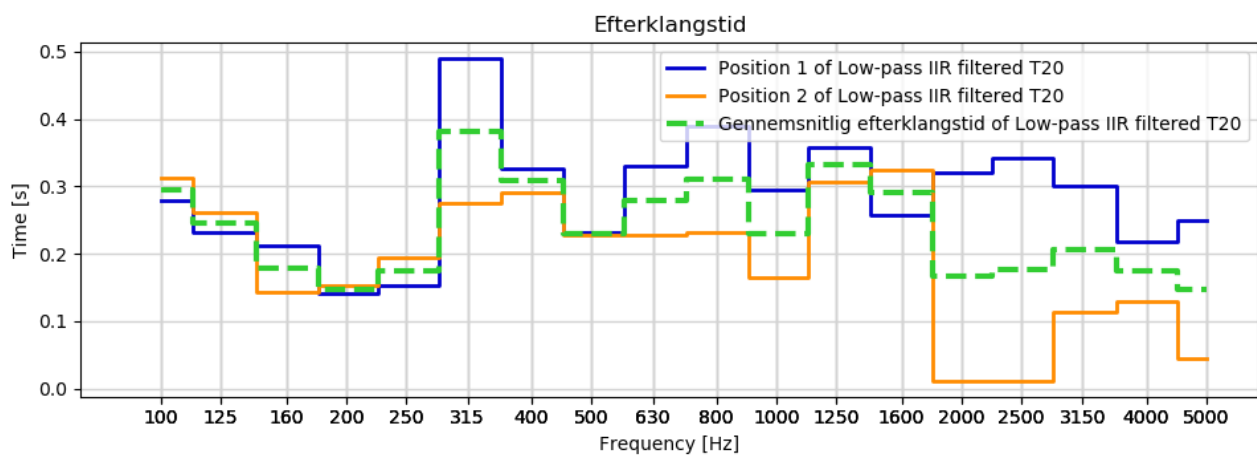


c)

Figur K.23 Billeder af målerummet.

Tabel K.15 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

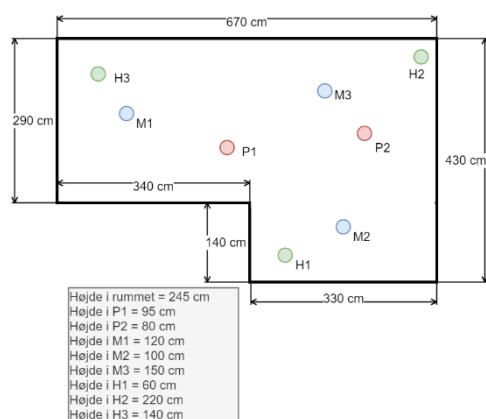
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	X
Varmepumpe	
Radiator	
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	0
Hvilken enhed er målingen udført på	iOS



Figur K.24 Efterklangtiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.16 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

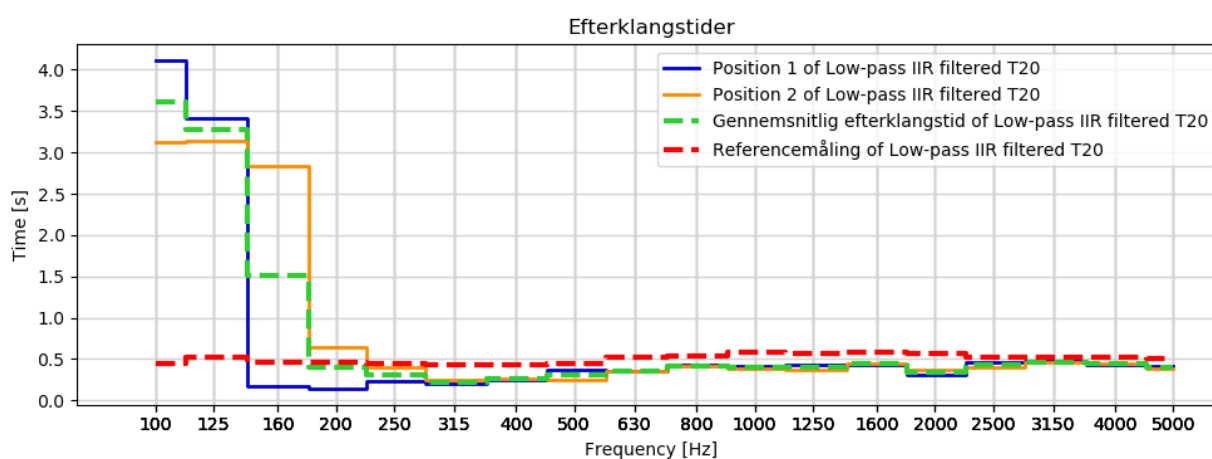
Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	0,30
125	0,25
160	0,18
200	0,15
250	0,17
315	0,38
400	0,31
500	0,23
630	0,28
800	0,31
1000	0,23
1250	0,33
1600	0,29
2000	0,17
2500	0,18
3150	0,21
4000	0,17
5000	0,15



Figur K.25 Skitse af målerummet.

Tabel K.17 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

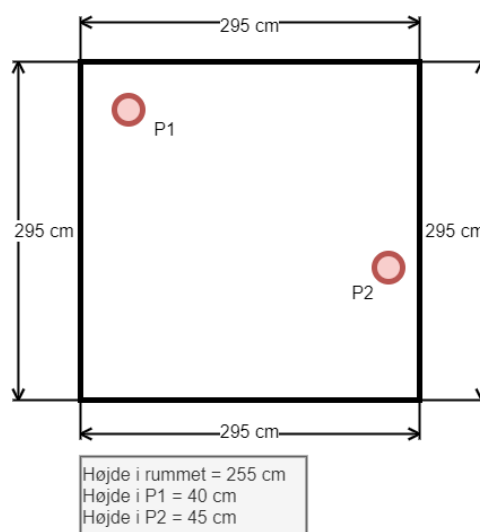
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	X
Opvaskemaskine	X
Ovn	X
Ventilationsudgang	
Varmepumpe	
Radiator	
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	2
Hvilken enhed er målingen udført på	Android



Figur K.26 Efterklangstiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.18 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	3,61
125	3,28
160	1,51
200	0,39
250	0,32
315	0,22
400	0,26
500	0,31
630	0,36
800	0,42
1000	0,40
1250	0,40
1600	0,45
2000	0,34
2500	0,43
3150	0,47
4000	0,44
5000	0,41



Figur K.27 Skitse af målerummet.



a)



b)

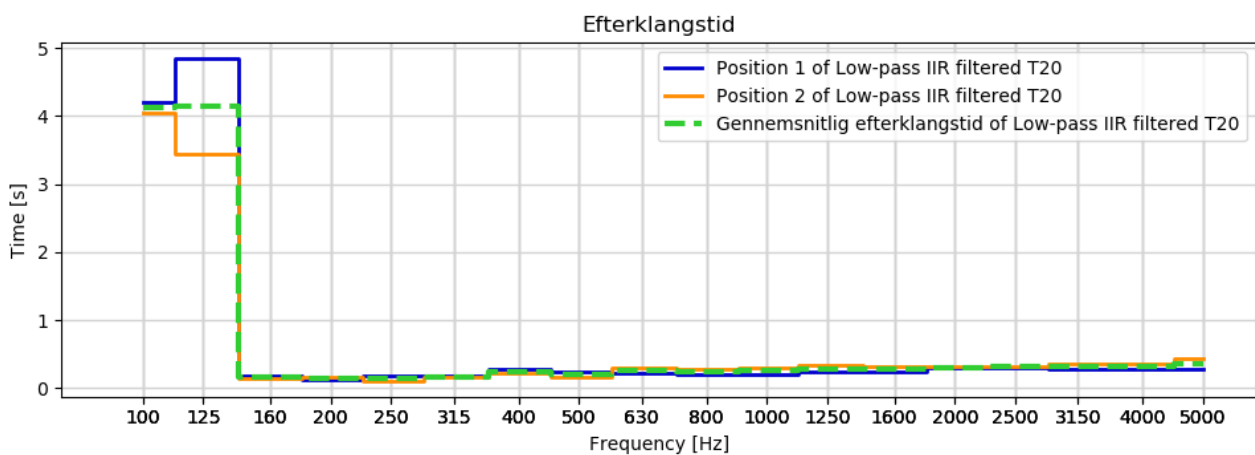


c)

Figur K.28 Billeder af målerummet.

Tabel K.19 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

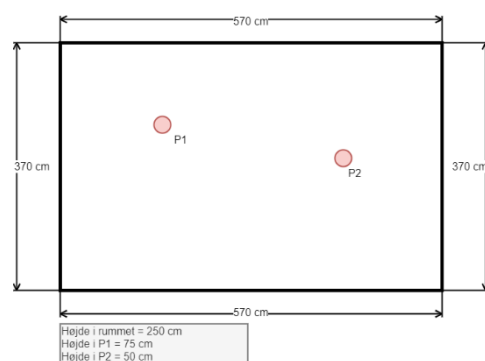
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	
Varmepumpe	
Radiator	
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	X
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	3
Hvilken enhed er målingen udført på	Android



Figur K.29 Efterklangtiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.20 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	4,12
125	4,14
160	0,16
200	0,14
250	0,15
315	0,17
400	0,24
500	0,20
630	0,27
800	0,24
1000	0,25
1250	0,29
1600	0,28
2000	0,30
2500	0,31
3150	0,32
4000	0,33
5000	0,35



Figur K.30 Skitse af målerummet.



a)



b)

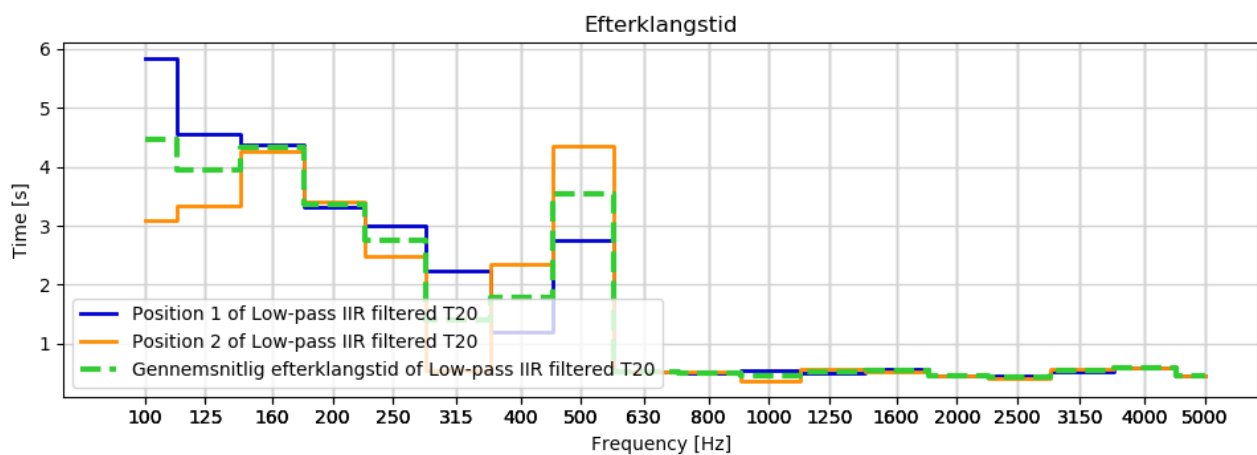


c)

Figur K.31 Billeder af målerummet.

Tabel K.21 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

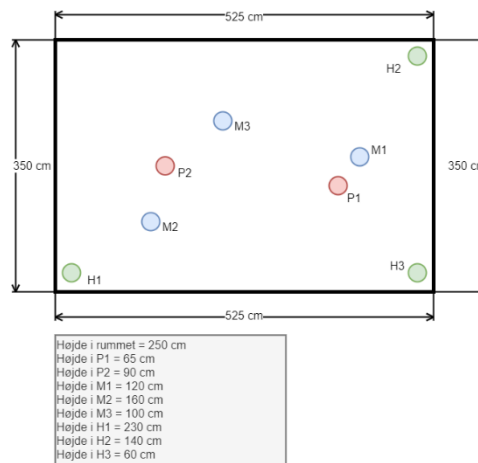
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	
Varmepumpe	
Radiator	X
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	7
Hvilken enhed er målingen udført på	Android



Figur K.32 Efterklangtiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.22 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	4,47
125	3,95
160	4,33
200	3,36
250	2,75
315	1,39
400	1,77
500	3,55
630	0,52
800	0,50
1000	0,45
1250	0,53
1600	0,54
2000	0,45
2500	0,44
3150	0,55
4000	0,59
5000	0,45



Figur K.33 Skitse af målerummet.



a)

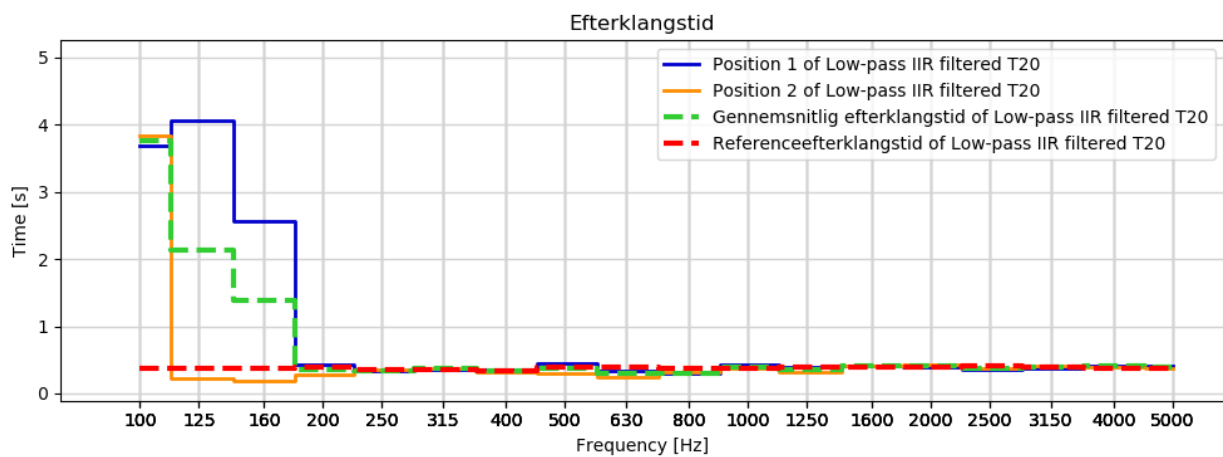


b)

Figur K.34 Billeder af målerummet.

Tabel K.23 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

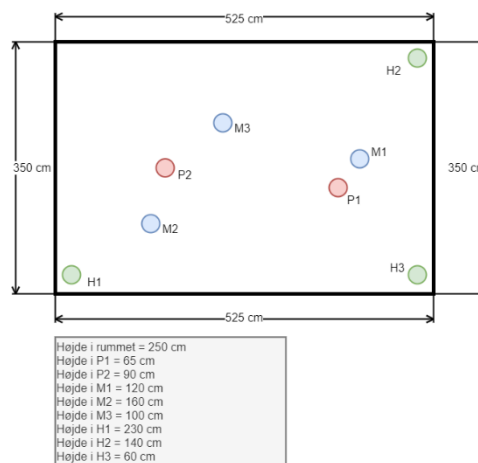
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	X
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	X
Varmepumpe	
Radiator	
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	3
Hvilken enhed er målingen udført på	Android



Figur K.35 Efterklangtiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.24 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	3,76
125	2,13
160	1,38
200	0,35
250	0,34
315	0,37
400	0,33
500	0,37
630	0,29
800	0,31
1000	0,40
1250	0,36
1600	0,41
2000	0,41
2500	0,36
3150	0,39
4000	0,41
5000	0,39



Figur K.36 Skitse af målerummet.



a)

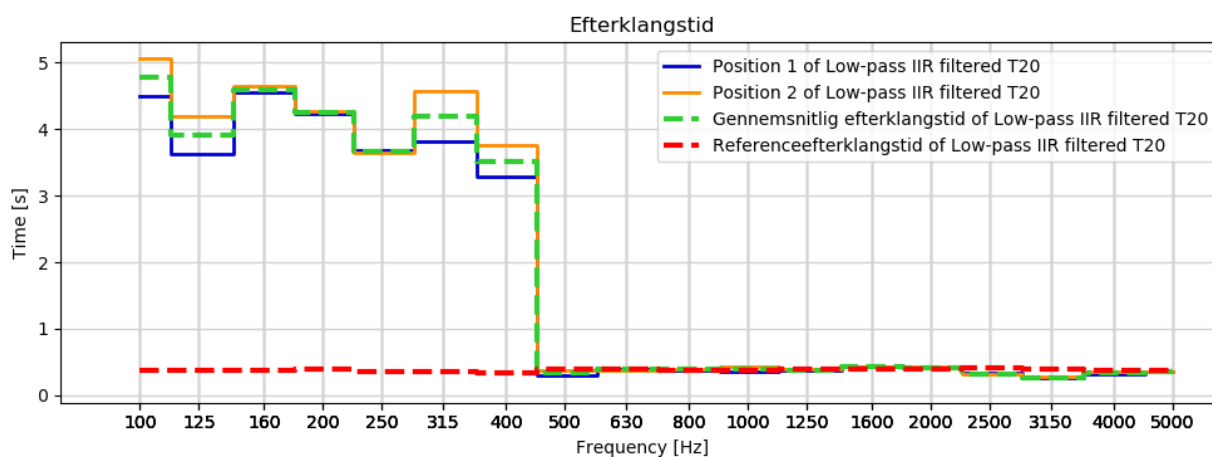


b)

Figur K.37 Billeder af målerummet.

Tabel K.25 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

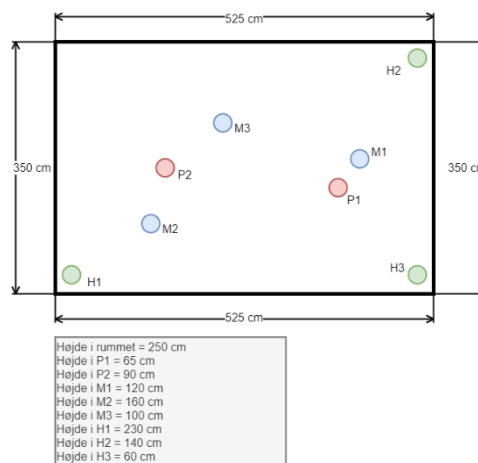
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	X
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	X
Varmepumpe	
Radiator	
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	3
Hvilken enhed er målingen udført på	Android



Figur K.38 Efterklangstiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.26 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	4,78
125	3,91
160	4,60
200	4,25
250	3,66
315	4,19
400	3,52
500	0,34
630	0,39
800	0,39
1000	0,39
1250	0,38
1600	0,43
2000	0,42
2500	0,33
3150	0,27
4000	0,34
5000	0,36



Figur K.39 Skitse af målerummet.



a)

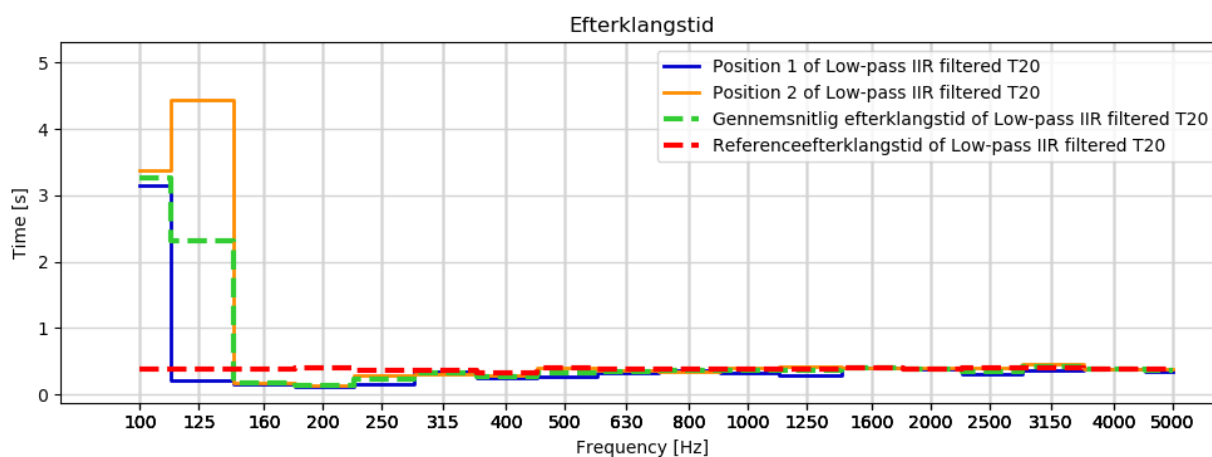


b)

Figur K.40 Billeder af målerummet.

Tabel K.27 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

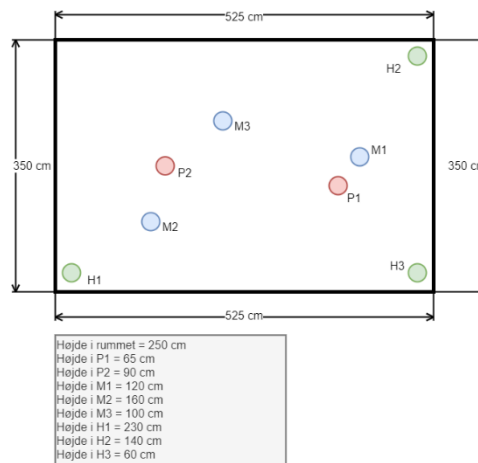
Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	X
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	X
Varmepumpe	
Radiator	
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	3
Hvilken enhed er målingen udført på	Android



Figur K.41 Efterklangstiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.28 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	3,27
125	2,32
160	0,17
200	0,13
250	0,23
315	0,32
400	0,27
500	0,33
630	0,34
800	0,36
1000	0,37
1250	0,36
1600	0,40
2000	0,39
2500	0,35
3150	0,42
4000	0,38
5000	0,36



Figur K.42 Skitse af målerummet.



a)

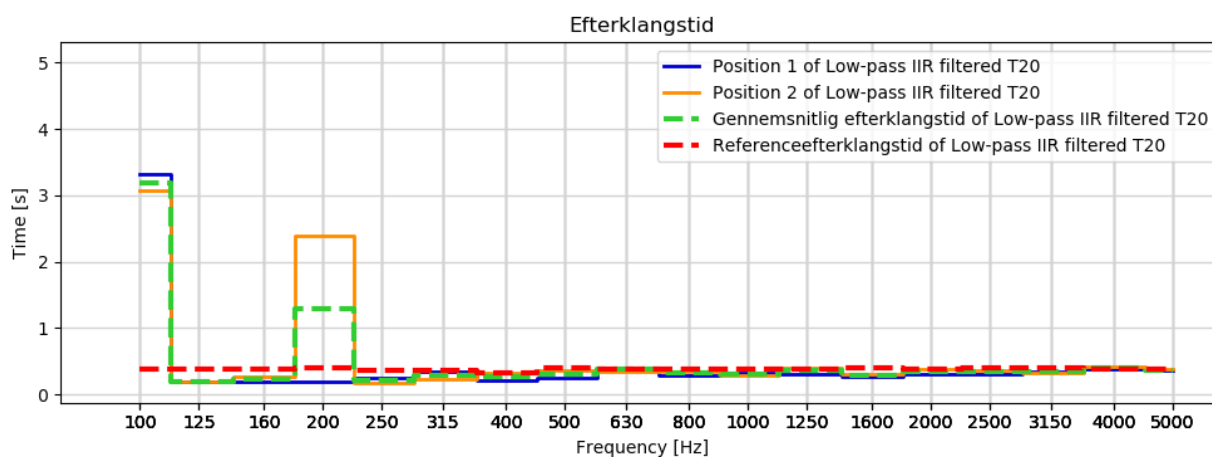


b)

Figur K.43 Billeder af målerummet.

Tabel K.29 Indtastningerne fra deltageren i spørgeskemaet.

Apparater i rummet:	Indtastninger fra deltageren
Køleskab	X
Opvaskemaskine	
Ovn	
Ventilationsudgang	X
Varmepumpe	
Radiator	
Brændeovn eller lignende	
Ingen af de overstående	
Vurdering af niveauet for baggrundsstøjen i rummet	3
Hvilken enhed er målingen udført på	Android



Figur K.44 Efterklangtiderne regnet fra optagelserne.

Tabel K.30 Gennemsnit efterklangstiderne opdelt i 1/3 oktavbånd.

Frekvens [Hz]	Efterklangstider [s]
100	3,19
125	0,20
160	0,23
200	1,29
250	0,21
315	0,29
400	0,26
500	0,31
630	0,38
800	0,32
1000	0,30
1250	0,36
1600	0,29
2000	0,35
2500	0,34
3150	0,34
4000	0,40
5000	0,37