



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Hvor høy taletydighet kan vi forvente i klasserom prosjektert i henhold til TEK10?

Speech Transmission Index Assessments in
Classrooms Built According to the Technical
Requirements in TEK10

Nina Lu

Master / Teknologi (sivilingeniør) - Byggeteknikk og arkitektur

Dokumentinformasjon

Master i byggeteknikk og arkitektur, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Oppgaven levert: Mai 2017

Skoleveileder: Leif D. Houck (Associate Professor, NMBU)

Ekstern veileder: Trond Norén (Asplan Viak AS)

Abstract

Transmission quality of speech is based on the "Speech Transmission Index" (STI). While stipulated minimum values for STI exists for office environments in Norway, there are no such criteria for educational facilities such as classrooms at the time of this writing. In this paper STI values are measured in twenty classrooms from ten different schools in the Oslo area. The measurements were performed after hours and without pupils present in the room. Background noise, reverberation time, and STI were measured according to current measurement guidelines. These classrooms are all from schools built according to the technical regulations known as TEK10, which refers to NS 8175:2012. This regulation stipulates criteria for maximum level of background noise and reverberation time, but not for speech transmission quality. This paper seeks to find out which STI values one might expect from a given classroom built after these technical regulations. The STI results are interpreted in their relationship with background noise, reverberation time, room geometry and reflecting surfaces to determine if there are correlations between any of these variables. The measurements did not show any significant correlation between background noise and STI, but there were some correlation between STI and average room reverberation time, especially reverberation time in the higher frequency bands (2000-8000 Hz). In the control measurements in the two classrooms with pupils present during the day, the STI values dropped due to increased background noise, but also reduced reverberation time, compared with the measurements executed in the same rooms without pupils present in the evening. These results indicate that the correlation between STI values and background noise/reverberation time is not sufficiently stable to have a predictive quality. Based on the findings in this paper, including minimum values for STI in the regulations for educational facilities is highly recommended.

Keywords: STI, speech transmission index, transmission quality of speech, reverberation time, background noise, school, classroom, room geometry, acoustics, technical regulations, Norway.

Sammendrag

Taletydighet måles basert på "Speech Transmission Index" (STI). Mens det eksisterer krav til STI-verdier i et kontorlandskap er det ingen slike krav til undervisningsrom i Norge per dags dato. I denne oppgaven måles STI-verdiene på utvalgte posisjoner i 20 klasserom fra 10 skoler i Oslo-området. Målingene ble utført på kveldstid i møblerte klasserom uten elever. Det ble målt bakgrunnsstøy, etterklangstid og STI i henhold til gjeldende målestANDARDER. Felles for disse klasserommene er at alle er prosjektert i henhold til TEK10, nærmere bestemt i henhold til NS 8175:2012 lydklasse C. NS 8175:2012 angir krav til etterklangstid og bakgrunnsstøy, men ikke taletydighet. Oppgaven undersøker hvor god taletydighet man kan forvente i slike typer klasserom til tross for dette. STI-resultatene er knyttet opp mot etterklangstid, bakgrunnsstøy, romform og reflekterende flater for å vurdere om det er en korrelasjon mellom disse parameterne. De ordinære målingene på kveldstid viste liten sammenheng mellom bakgrunnsstøy og STI, men det ble funnet sammenhenger mellom STI og rommidlet etterklangstid. Dette var spesielt gjeldende i de høye frekvensbåndene (2000-8000 Hz). I stikkprøvene i klasserom med elever på dagtid reduserte STI-verdiene i takt med økt bakgrunnsstøy, men også med lavere etterklangstid, sammenliknet med målinger gjort i samme rom uten elever på kveldstid. Resultatene tyder på at det ikke er tilstrekkelige korrelasjoner mellom STI-verdier og bakgrunnsstøy/etterklangstid til å ha en predikativ egenskap. Basert på funnene i denne oppgaven anbefales det å inkludere STI-verdier som et eget krav ved prosjektering av nye klasserom.

Nøkkelord: STI, taletydighet, etterklangstid, bakgrunnsstøy, skole, klasserom, romgeometri, akustikk, TEK10.

Forord

I mitt yrke som akustiker fattet jeg interesse for taletydighet i klasserom, noe som vekket stort engasjement hos mange. Dette er dessuten et felt under utvikling og jeg tenkte at her kunne jeg bidra med noe.

Jeg vil takke skoleveilederen min Leif D. Houck som fikk meg til å se ting fra et arkitektur-perspektiv. Han stilte alltid opp med god veiledning og tips og hjalp til og med meg å koble opp mot hans kontakter.

Trond Norén fortjener en stor takk for at han har vært min mentor, ikke bare under masteroppgaven, men også på arbeidsplassen. Han har vært generøs med å dele sine erfaringer og har mye faglig tilskudd å komme med. Han stiller kritiske spørsmål, utfordrer og vekker min interesse for temaet og har konstant vist stort engasjement for denne oppgaven. Han har alltid funnet tid til å hjelpe meg, selv inn i de små timer og på røde dager.

Kjæresten min Alexander Lundberg har vist tålmodighet uten sidestykke gjennom hele dette studieløpet som jeg tok ved siden av min fulltidsstilling. Han har stilt opp som forskningsassistent og hjalp meg mye med databehandlingen. I tillegg har han vært min sparringspartner og har hatt en imponerende evne til å sette seg inn i et komplisert fagfelt i løpet av kort tid. Han har hatt ordene i sin makt og bistått med å finne riktige begrep og formuleringer når alt RAM i hjernen min var brukt opp.

Jan Eirik Jakobsen er ikke helten jeg fortjener, men definitivt den jeg trenger. Uten tanke på egen fritid har han meldt seg frivillig til å være min måle- og bæreassistent på nesten alle målingene. Uten deg hadde denne oppgaven tatt ett år.

Marsvinet mitt Leif (ikke relatert til veilederen min) har stilt opp som stressball og holdt meg med selskap gjennom mange sene kvelder. Du er ikke helt ubrukelig.

Takk til alle vennene mine som har støttet meg mentalt og oppmuntret meg på alle tider i døgnet, og foreldrene og søsknene mine som har vist forståelse for at jeg har vært mer eller mindre fraværende det siste halve året.

Takk til Undervisningsbygg og Undervisningsetaten for å ha hjulpet meg med å lete etter skoler og for å bidra med plantegninger.

Asplan Viak fortjener en stor takk for å ha stilt opp med måleutstyr og en fleksibel arbeidshverdag mens jeg gjennomførte denne feltstudien. Kollegaene mine som har støttet meg og kommet med oppmuntring og gode diskusjoner - de må heller ikke glemmes.

Takker Phonak for å ta meg med på soundsafari over flere timer i Oslo sentrum hvor jeg fikk innblikk i hvordan det oppleves å ha nedsatt hørsel. Dette var veldig givende og ga meg ytterligere motivasjon for å skrive denne oppgaven.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til alle rektorene som har stilt skolene sine til rådighet – jeg kunne virkelig ikke gjort dette uten dere. Takk spesielt til Manglerud skole som har latt meg komme tilbake for å måle i to fullsatte klasserom og for muligheten til å være gjesteforeleser og undervise elevene i akustikk.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Problemstilling	2
1.2.1	Hva	2
1.2.2	Hvordan	2
1.2.3	Hvorfor	3
1.2.4	Avgrensninger	4
1.3	Oppgavens struktur	6
2	Teori	7
2.1	Lydbølger	7
2.2	Desibel-skalaen	7
2.3	Menneskets hørsel	8
2.4	Direktivitet	9
2.5	Støy	10
2.6	Romakustikk	10
2.7	Etterklang	11
2.8	Bakgrunnsstøy	12
2.9	Taletydighet	13
2.10	Nedsatt hørsel og hørselstap	14
2.11	TEK10	15
2.12	Kriterier for god akustikk i et rom	16
2.13	Tiltak for å redusere bakgrunnsstøy og etterklangstid	17
2.14	Tidligere forskning	18
3	Metode	19
3.1	Bakgrunn for valg av metode	19
3.2	Forberedelsesarbeid	19
3.3	Fastsetting av variabler	20
3.4	Utstyrliste	20
3.5	Fremgangsmåte	21
3.6	Måling av bakgrunnsstøy	21
3.6.1	Målebetingelser	22
3.6.2	Måleposisjoner	22

3.6.3	Måleprosedyre.....	22
3.7	Måling av etterklangstid	22
3.7.1	Målebetingelser	22
3.7.2	Måleposisjoner	23
3.7.3	Måleprosedyre.....	23
3.8	Måling av taletydighet.....	24
3.8.1	Målebetingelser	25
3.8.2	Måleposisjoner	25
3.8.3	Måleprosedyre.....	25
3.9	Databehandling	26
3.10	Stikkprøve	26
3.11	Utfordringer	26
4	Resultater	28
4.1	Klasserommene.....	28
4.1.1	#1 Fagerborg - Tysk	29
4.1.2	#2 Fagerborg - Spansk	30
4.1.3	#3 Manglerud - 3B.....	31
4.1.4	#4 Manglerud - 7A	33
4.1.5	#5 Munkerud - 4C	34
4.1.6	#6 Rykkinn - 6C	36
4.1.7	#7 Edvard Munch - 222B	37
4.1.8	#8 Edvard Munch - 221	39
4.1.9	#9 Stasjonsfjellet - 14.....	40
4.1.10	#10 Stasjonsfjellet - 12.....	41
4.1.11	#11 Granstangen - 2023.....	42
4.1.12	#12 Granstangen - 2020.....	43
4.1.13	#13 Tokerud - Åsen 3	44
4.1.14	#14 Tokerud - Åsen 5	46
4.1.15	#15 Haugenstua - 10D	47
4.1.16	#16 Haugenstua - 10C	48
4.1.17	#17 Rykkinn - 4C	49
4.1.18	#18 Frydenhaug - Baserom F	50
4.1.19	#19 Frydenhaug - Baserom H	52
4.1.20	#20 Munkerud - 4A	53
4.2	Hovedfunn	55
4.2.1	Gjennomsnittlig dypt klasserom	55
4.2.2	Gjennomsnittlig bredt klasserom	56
4.2.3	Gjennomsnittlig kvadratisk klasserom	57
4.2.4	Gjennomsnittlig spesialklasserom.....	58
4.2.5	Trapez klasserom	59
4.2.6	Taletydighet vs. romform oppsummert	61
4.2.7	Taletydighet vs. bakgrunnsstøy.....	62
4.2.8	Taletydighet vs. etterklangstid.....	63
4.3	Stikkprøve	63

5	Diskusjon.....	65
5.1	Dype klasserom	65
5.1.1	#1 Fagerborg - Tysk	65
5.1.2	#2 Fagerborg - Spansk	66
5.1.3	#3 Manglerud - 3B.....	66
5.1.4	#4 Manglerud - 7A	67
5.1.5	#5 Munkerud - 4C	67
5.1.6	#6 Rykkinn - 6C	67
5.1.7	#7 Edvard Munch - 222B	68
5.1.8	#8 Edvard Munch - 221	68
5.1.9	Gjennomsnittlig dypt klasserom	68
5.2	Brede klasserom.....	69
5.2.1	#9 Stasjonsfjellet - 14.....	69
5.2.2	#10 Stasjonsfjellet - 12.....	69
5.2.3	#11 Granstangen - 2023.....	69
5.2.4	#12 Granstangen - 2020.....	70
5.2.5	#13 Tokerud - Åsen 3	70
5.2.6	#14 Tokerud - Åsen 5	70
5.2.7	Gjennomsnittlig bredt klasserom	71
5.3	Kvadratiske klasserom.....	72
5.3.1	#15 Haugenstua - 10D	72
5.3.2	#16 Haugenstua - 10C	72
5.3.3	#17 Rykkinn - 4C	72
5.3.4	Gjennomsnittlig kvadratisk klasserom	73
5.4	Spesialklasserom	74
5.4.1	#18 Frydenhaug - Baserom F	74
5.4.2	#19 Frydenhaug - Baserom H.....	74
5.4.3	Gjennomsnittlig spesialklasserom.....	74
5.5	Trapec klasserom.....	75
5.5.1	#20 Munkerud - 4A	75
5.5.2	Trapec klasserom oppsummert.....	75
5.6	Taletydighet vs. romform oppsummert	76
5.7	Taletydighet vs. bakgrunnsstøy.....	77
5.8	Taletydighet vs. etterklangstid.....	78
5.9	Stikkprøve med elever	80
5.10	Oppsummering	81
6	Konklusjon	86
6.1	Hvor høy taletydighet kan man forvente i klasserom prosjektert etter TEK10?86	
6.2	Hvilken, om noen, romform gir høyest taletydighet?	86
6.3	Har reflekterende flater på vegger og møblering en effekt på STI?	87
6.4	Er det en sammenheng mellom bakgrunnsstøy, etterklangstid og taletydighet?87	

6.5	Bør STI inkluderes ved prosjektering av klasserom?	88
7	Videre arbeid.....	89
8	Vedlegg.....	90
8.1	Detaljerte resultater fra ordinære målinger	90
8.2	Detaljerte resultater fra stikkprøvene	90
8.3	Bilder av måleutstyr målehøyder	94
8.4	Bilder fra målinger på skolene.....	97
8.5	Bilder fra stikkprøvene	117
9	Liste over tabeller og figurer	118
9.1	Tabeller	118
9.2	Figurer	118
10	Litteratur	121

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Trender innen arkitekturen medfører mye glass og harde flater i skolebygg. Selv om estetiske kvaliteter er viktig, kan de føre til at det går på bekostning av akustikken.

Dårlig lydforhold er et såkalt usynlig problem som ser ut til å bli nedprioritert i byggetekniske forskrifter som Teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven (TEK10 2011) som i større grad vektlegger forhold som går ut på syn og bevegelse. TEK10 henviser til gjeldende Norsk Standard (NS 8175:2012 "Lydforhold i bygninger - Lydklassifisering av ulike bygningstyper"), med tallfestede grenseverdier for ulike akustiske parametere som omfatter bakgrunnsstøy og etterklangtid. Standarden setter ingen krav som går direkte på taletydelighet i undervisningsrom, men har derimot supplerende krav til kontorlandskap.

Taletydelighet måles etter "Speech Transmission Index" (STI). Det er verdt å merke at STI-skalaen tar hensyn til normalt hørende brukere (IEC-60268-16 2011). Hverken hørselen eller ordforrådet er fullutviklet i skolealder (Bradley and Sato 2004), derfor er det viktig å sørge for best mulig akustiske forhold i et undervisningsrom slik at alle får muligheten til å utnytte deres fulle potensial. Dårlig akustikk i rom generelt fører til Lombard-effekten (Lane and Tranel 1971). Dette er en ufrivillig tendens til å heve stemmeleiet for å kompensere for støynivået i omgivelsene. Resultatet av dette kan bli slitne lærere som må bruke krefter på å prate høyt og elever som må konsentrere seg for å høre etter.

Flere får nytte av gode lytteforhold, ikke bare elever med nedsatt hørsel, men også de normalt hørende. Elever med nedsatt hørsel vil likevel merke nedgangen i taletydelighet i størst grad. Høreapparat-teknologien alene er ikke god nok og fungerer optimalt kun i 1.5 m radius fra brukeren i stille omgivelser (Kim and Kim 2014). Omgivelsene kan ha bakgrunnsstøy som maskerer taleinformasjon (Everest and Pohlmann 2009). Det å sette på høreapparat er derfor ikke som å ta på seg briller. Støy som tilhører samme frekvensbånd som tale blir også fremhevet. Det finnes teknologi som bedrer taletydeligheten utover ordinære høreapparater. Dette fikk undertegnede demonstrert på en lydsafari i Oslo (05/05/2017) i regi av høreapparatprodusenten Phonak, hvor høreapparat-teknologiens fortrinn og begrensninger ble demonstrert.

Siden klasserom ikke har spesifikke krav til taletydelighet, blir en av denne oppgavens fokusområder hvorvidt faktorer som bakgrunnsstøy og etterklangtid kan predikere taletydelighet.

1.2 Problemstilling

1.2.1 Hva

Oppgavens vitenskapelige hovedmål er å undersøke de viktigste akustiske parameterne som definerer et rom og hvor høy taletydelighet man kan forvente i klasserom prosjektert i henhold til TEK10. Det undersøkes også hvilke predikative egenskaper variabler som bakgrunnsstøy og etterklangstid har for taletydeligheten i et klasserom. Det sees altså på om det er korrelasjon mellom romgeometrien til et klasserom og taletydeligheten. Andre faktorer som veggflater, vinduer og møblering vil vurderes der det ser ut til å ha effekt på STI.

Denne oppgavens hovedfokus er basert på STI (Speech Transmission Index) som er en målenhet for å vurdere taleoverføringskvaliteten. I denne oppgaven er "STI", "STI-verdier", "STI-målinger" og "taletydelighet" brukt om hverandre. I likhet er "senderen" (her: høyttaleren) og "læreren" brukt om hverandre, da senderen er plassert ved en gitt lærerposisjon. Ordet "mottaker", "elever" og "måleposisjon" er også ofte brukt om hverandre.

Forskningsspørsmålene er som følger:

- Hvor høy taletydelighet kan man forvente i klasserom prosjektert etter TEK10?
- Hvilken, om noen, romform gir høyest taletydelighet?
- Har reflekterende flater på møblering, vegger etc. en effekt på STI?
- Er det en sammenheng mellom etterklang, bakgrunnsstøy og taletydelighet?
- Bør STI inkluderes ved prosjektering av klasserom?

1.2.2 Hvordan

STI-verdier ble målt i 20 klasserom fra 10 skoler i Oslo-området. Kriteriet for å bli inkludert i denne undersøkelsen var at klasserommene er prosjektert, eller forsøkt prosjektert, etter TEK10. Utover dette ble de valgt ut ifra hvilke skoler som var tilgjengelig og de klasserommene de stilte til disposisjon.

For å være best forberedt til målingene har det blitt sett på tidligere forskning, byggeforskrifter, standarder og regler som omhandler undervisningsrom og lyd, herunder taletydelighet.

Måleprosedyrene er forklart i detalj i kapittelet for metode. For måling av STI er det benyttet STIPA som er en metode for å bedømme STI ut ifra en 5 stegs-skala. Kort fortalt er det blitt målt slik akustikerne har prosjektert - i et tomt rom uten mennesker. I

tillegg til dette er det inkludert en stikkprøve med elever i 2 av klasserommene for å undersøke hvordan målte verdier i et tomt rom forholder seg til verdiene målt i en nærmere reell brukssituasjon.

TEK10 henviser som nevnt til NS 8175:2012 hvor minstekravet er lydklasse C som igjen angir øvre grense for etterklangstid, T , på 0.5 s i klasserom og en øvre grense for gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå på $L_{p,A,T}$ 28 dB. Disse to kravene er i dag de eneste akustiske krav til klasserom, sett bort fra krav til lydisolasjon mot andre rom i skolen. Dette er brukt som basis for å finne sammenhenger mellom disse parameterne og tale tydelighet. Ordene "NS", "norsk standard" og "standard" er brukt om hverandre i denne studien.

1.2.3 Hvorfor

Under forarbeidet til oppgaven kom det frem at selv om det eksisterer veiledende verdier for minstekrav til tale tydelighet i kontorlandskap, er det ingen slike krav til undervisningsrom (NS-8175 2012). Dette er bemerkelsesverdig da klasserom blir i større grad enn kontorlandskap brukt til å formidle verbal informasjon, og gjerne til yngre subjekter som ikke har fullt utviklet auditivt system. Barn med begrenset vokabular må fra før konsentrere seg mer for å oppfatte ord enn voksne personer. Mindre barn har ofte nedsatt hørsel uten å være klar over det. Dette kan for eksempel være mellomøreproblematikk som kan føre til forbigående hørselstap i perioder. Selv om det som regel ikke er vedvarende, faller det inn under nedsatt hørsel (Store medisinske leksikon 2015). Basert på dette er det desto viktigere å legge opp til best mulig lytteforhold i klasserom.

Å ha tydelige krav til tale tydelighet i undervisningsrom er viktig fordi den fundamentale hensikten med klasserom er at læreren skal kunne formidle sin kunnskap til flest mulig elever samtidig. Tale tydelighet er imperativt for at elevene skal kunne rette oppmerksomheten sin på selve innholdet, og ikke måtte konsentrere seg for å tyde hva som blir sagt. Målingene søker å belyse om tale tydelighet er en akustisk parameter som bør inngå i underlaget ved prosjektering av klasserom. Uansett utfall er det viktig å vite om dette har en direkte sammenheng med kravene til etterklang og bakgrunnsstøy, og om dette er nok til å garantere god tale tydelighet i fremtidige klasserom.

1.2.4 Avgrensninger

Denne oppgaven tar for seg taletydighet i et utvalg klasserom i Oslo-området som er prosjektert i henhold til TEK10. Klasserom prosjektert etter eldre TEK vil ikke bli vurdert. Det er heller ikke tatt stilling til om klasserommene faktisk oppfyller kravene til TEK10.

Klasserommene er valgt basert på tilgjengelighet og det har ikke vært mulig å garantere at alle romformene blir like godt representert. Rommene blir likevel kategorisert etter romform. Det måles 2 klasserom per skole og samtlige rom er målt og vurdert basert på klassisk undervisningsstil hvor læreren står ved tavlen og prater. Orientering av sitteplassene i de fleste klasserommene tilsier at det er lagt opp til denne undervisningsstilen. Det er valgt å ekskludere klasserom der elevene sitter i grupper hvor noen sitter med ryggen mot læreren. Heller ikke baseskoler er blitt inkludert i denne studien. Alle STI-målinger er gjort i forhold til én lyd kildeposisjon hvilket er en stående lærerposisjon foran tavlen. Målingene er basert på plassering av elevenes pulter og det er ikke tatt hensyn til avstand fra sender. Dette er gjort for å nærmest mulig simulere de faktiske forhold. Det er målt ved forskjellig antall målepunkter per klasserom da størrelsene for klasserommene varierte. Det er imidlertid forsøkt å benytte et rutenett på 9 posisjoner for å dekke alle ytterpunktene samt midten av hver kolonne og rad.

Et utvalg av 20 klasserom fra 10 forskjellige skoler ble vurdert som et godt kompromiss mellom statistisk grunnlag og arbeidsomfang da hver skole á 2 klasserom tar opptil 6 timer for 2 personer å måle opp, lage figur og utføre lyd målingene. Antallet rom regnes som tilstrekkelig og dessuten representativt da det var tilfeldig hva slags rom og hvilken romform skolene stilte til rådighet.

Parameterne som er undersøkt er i hovedsak romform, etterklangstid og bakgrunnsstøy. Det er utvilsomt andre variabler som kan påvirke resultatene, men det er valgt å fokusere på de variablene man til stor grad kan kontrollere under prosjektering av klasserommene. Det kan argumenteres for at det må tas høyde for høyst varierte brukssituasjoner og planlegge for rom med robuste akustiske løsninger. Oppsettet til målingene er valgt for å gjenspeile den praktiske bruken av klasserommene. Det er derfor valgt å se bort fra romradiusen og avstandsdemping per meter. Det er heller ikke gitt at opplevelsen av oppfattet lyd er direkte proporsjonal med STI-verdiene.

For å begrense oppgavens omfang og for å undersøke relasjonen til enkle, overordnede parametere, er det kun ettallsverdien av lydtryknivået, i.e., det ekvivalente kontinuerlige lydtryknivået $L_{A,eq}$ [dB], fra tekniske installasjoner som er vurdert i denne oppgaven. Støynivået fra tekniske installasjoner er ikke nødvendigvis representative for en reell brukssituasjon da målingene er gjennomført på kveldstid etter skolens åpningstider. Siden

dette er utført på likt grunnlag i alle klasserommene vurderes dette å gi et valid sammenlikningsgrunnlag.

Selv om frekvensbåndene på 63 Hz og 8000 Hz ikke er med i kravene til etterklangstid i NS 8175 er de likevel tatt med i vurderingen av etterklangstidene fordi de er med i talefrekvensområdet.

Det er hovedsakelig målt i tomme klasserom uten mennesker. Stikkprøver i to klasserom er likevel tatt med for å undersøke hvordan alle de målte verdiene påvirkes i en tilnærmet reell situasjon. Stikkprøvene ble gjennomført på dagtid med de støyforhold det medfølger. For best kontroll av variablene ble elevene instruert til å være stille under måling. Dette er den eneste delen av studiet som kan si noe om en kausal effekt da noen variabler i disse klasserommene ble forandret, mens resten ble forsøkt holdt konstant. Resten av målingene kan ikke si noe om en kausal sammenheng med samme validitet som dette da måleresultatene fra ordinære målinger i tomme rom baseres på observasjoner og forteller mer om korrelasjoner.

Det ble ikke sett nøye på effekten av bordplassering i denne oppgaven. Dette fordi klasserom er dynamiske og sitteposisjoner kan endre seg fra tid til annen. Det ble heller fokusert på de viktigste akustiske parameterne som definerer klasserommet: romform, etterklangstid og bakgrunnsstøy. Nettopp på grunn av at pultene er flyttbare og sitteposisjonene kan endre på seg ble det vurdert å måle der pultene stod, in situ, for å få en praktisk tilnærming til en reell brukssituasjon. STI per meter fra sender ble derfor vurdert som irrelevant i denne studien da elevene ikke får utdelt plass i xy-koordinater.

Selv om målingene kan gi en pekepinn på mulige tiltak for forbedring av tale tydelighet er denne studien i hovedsak en feltstudie for å kartlegge tilstanden i utvalgte klasserom.

Det er verdt å merke at STI tar hensyn til normalt hørende brukere. Hørselen er som regel ikke fullutviklet i skolealder. En studie utført av Bradley og Sato viser at barn uten fullutviklet auditivt system trenger ca. 10 dB høyere lyd enn bakgrunnsstøyen i rommet for å høre tydelig i forhold til voksne, og barn nede i 6-årsalderen må ha 15 dB høyere signal-støy-forhold (Bradley and Sato 2004). Dette har også sammenheng med lavere ordrepertoar. Dette er faktorer som heller ikke er tatt høyde for.

1.3 Oppgavens struktur

Denne oppgaven er delt inn i 7 hovedkapitler. Kapittel 2 gjennomgår grunnleggende lydteori som er relevant for denne oppgaven, deriblant tidligere forskning. Målemetoden med utstyrsliste og måleprosedyrer presenteres i kapittel 3 og skal gjøre det mulig for andre å reprodusere undersøkelsene som er gjort. Resultatene fra målingene presenteres i kapittel 4, diskuteres i kapittel 5 og konkluderes i kapittel 6. Oppgaven rundes av med forslag til videre arbeid i kapittel 7. Bilder fra målingene og detaljerte resultater fra stikkprøvene er å finne under vedlegg i kapittel 8.

2 Teori

2.1 Lydbølger

Som mye annet vi har rundt oss er lyd også en form for bølge. Bølger er svingninger og partikkelforskyvninger som frakter energi og informasjon fra et sted til et annet. Bølgene kan bli utsatt for mange ytre påvirkninger. De kan bli spredt, brutt og reflektert. På fagspråk omtales disse fenomenene som diffraksjon (spredning av lyd), refraksjon (brytning av lyd) og refleksjon (gjenspeiling av lyd) (Rossing et al. 2002).

Lydbølger krever et elastisk medium å bre seg i. Dette mediet kan være faste stoffer, væsker eller gasser som for eksempel luft (Løchstør 1996). Lydhastigheten avhenger av hva slags medium lyden forplanter seg i. Desto mer kompakt struktur det er i et medium, desto enklere er det for molekylene å overføre lydenergi. Sammenliknet med luft beveger lyden seg raskere i væsker og faste stoffer. Temperatur og luftfuktighet vil også bidra til økt lydhastighet (Everest and Pohlmann 2009). Lydbølger er longitudinale bølger der forskyvningene i partiklene beveger seg i bølgenes retning. Når lydbølgene forflytter seg gjennom luften oppstår det endringer i lufttrykket i omgivelsene. Det er disse lufttrykkvariasjonene mot ørets trommehinne vi oppfatter som lyd (Løchstør 1996).

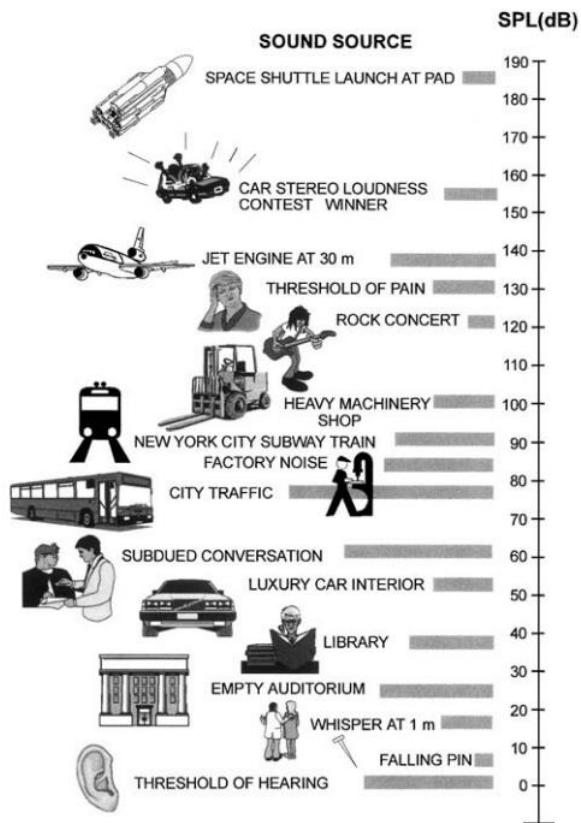
2.2 Desibel-skalaen

Desibel-skalaen angir lydstyrke på en logaritmisk skala som dekker spennet fra nedre til øvre terskel for hørbar lyd. Lydtrykknivået (SPL) angis i dB og er gitt av følgende formel:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (1)$$

der p er effektivverdien av lydtrykket og p_0 er referanseverdien for den svakeste lyden menneskeøret kan høre ved $20 \mu\text{Pa}$ (Raichel 2006).

Fordi desibel-skalaen er logaritmisk vil en økning på 10 dB oppleves som dobbelt så sterkt. Det vil si at en lydkilde på 40 dB vil oppleves dobbelt så høyt som en lydkilde på 30 dB. Den nedre grensen for en merkbar endring i lydtrykknivå er ca. 3 dB med individuelle forskjeller (Dammerud 2013). Figur 2-1 viser eksempler på lydtrykknivå fra ulike dagligdage lydkilder.



Figur 2-1 Lydtrykknivå fra ulike lydtkilder (Raichel 2006).

Lydtrykknivået kan måles direkte med en lydmåler. Ved å bruke frekvensfiltre kan man få det fysiske lydtrykknivået ved ulike frekvenser til å samsvare med det opplevde lydnivået (Dammerud 2013). Veiefilter A er den mest brukte fordi den korresponderer til menneskets hørsel. Verdiene oppgis i dB(A) (Everest and Pohlmann 2009).

2.3 Menneskets hørsel

Frekvensspekteret for hørbar lyd går fra ca. 20 - 20 000 Hz. Barn hører gjerne i hele dette spekteret, men allerede i 20-års alderen er det normalt at øvre terskel har blitt redusert til 16 000 Hz. Tendensen fortsetter med alderen. Dette følger gjerne en nedgang i følsomheten for alle frekvenser, mens sensitiviteten for lave frekvenser (bass) er mindre påvirket av alder enn de høye frekvensene (diskant). Hørselstap kan akselereres av å bli eksponert for høye lyder over en lengre tidsperiode. I dagens samfunn har blant annet lytting til musikk med hodetelefoner litt av skylden for dette (Howard and Angus 2009).

Øret i sin helhet er mest følsomt for midtfrekvensene (2000-5000 Hz) enn for de høye og lave frekvensene. Det ytre øret fanger opp lydbølgene og hjelper til å bedømme retningen lyden kommer fra. Mellomøret har tre små bein som sender lydtrykket fra trommehinnen til det indre øret. Den viktigste komponenten av det indre øret kalles sneglehuset.

Flimmerhårene inne i sneglehuset oversetter trykkvariasjonene til nerveimpulser (Rossing et al. 2002).

Mesteparten av vår evne til å bedømme retningen til en lydkilde avhenger av binaural hørsel med forskjellige lokaliseringmekanismer som jobber ved høye og lave frekvenser (Rossing et al. 2002). Binaural hørsel (retningshørsel) er mulig på grunn av en liten tidsforskjell og styrkeforskjell på lyden som treffer hvert av ørene (Løchstør 1996).

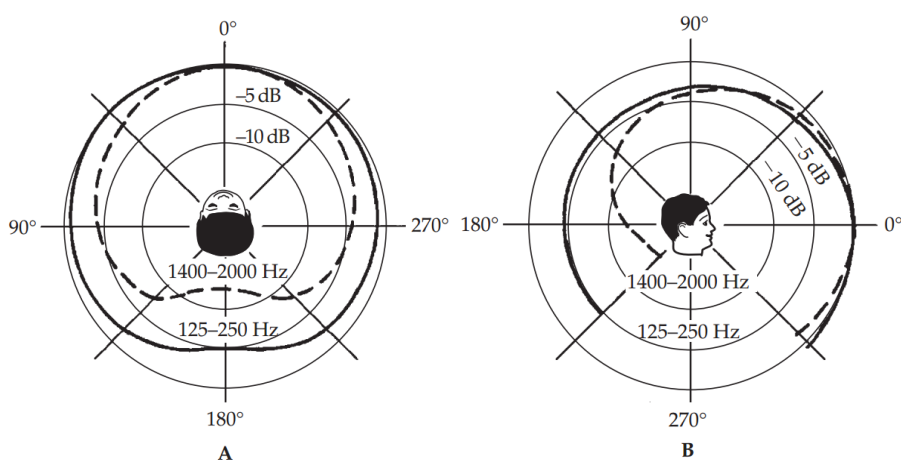
2.4 Direktivitet

Direktiviteten forteller retningsfordelingen til en lydkilde. Retningskarakteristikken er avhengig av spredningsvinkelen og frekvensinnholdet til lydilden. Direktiviteten varierer med ulike lydilder og er definert som:

$$D = \frac{I_{\theta}}{I_{average}} \quad (2)$$

der I_{θ} er styrken til lydilden i en bestemt retning og $I_{average}$ er den gjennomsnittlige lydstyrken til en omnidireksjonell lydilde som avgir samme lydeffekt fordelt likt i alle retninger (Løchstør 1996).

Menneskets stemme er retningsbestemt og er fysisk begrenset av størrelsen på munnen og dens åpningsgrad i øyeblikket man produserer en lyd. Hodet og kroppen kaster i tillegg lydskygge og sprer lyden slik at lydstyrken blir ujevnt fordelt rundt taleren. Bassen i stemmen (lave frekvenser på 125-250 Hz) kan høres like godt bak taleren som foran. Diskantdelen av stemmen (høye frekvenser på 1400-2000 Hz) som bringer konsonanttydelighet derimot høres best kun foran taleren (Løchstør 1996).



Figur 2-2 Menneskestemmens direktivitet varierer i ulike retninger ut fra munnen. Figur A viser retningsfordelingen i horisontalplanet. Figur B viser retningsfordelingen i vertikalplanet (Everest and Pohlmann 2009).

2.5 Støy

Støy blir ofte definert som uønsket lyd. I dagliglivet er det vanlig å beskrive høy lydstyrke som støy. I mange sammenhenger har lydets karakter like stor betydning som lydets styrke (Løchstør 1996).

I de siste årene har støy fått større anerkjennelse som et av våre kritiske miljøproblemer. Støy kan påvirke mennesker på mange måter. En av de mest alvorlige påvirkningene er midlertidig eller permanent hørselstap forårsaket av støyeksponering. Høreterskelen endrer seg vanligvis ved 4000 Hz i mengder som avhenger av både støynivået og varigheten av støyen. Støyeksponering over tid vil resultere i skade i flimmerhårene inne i øret. Oppgaver som krever fysisk eller mental fokus kan påvirkes av støy ved at det kan føre til forstyrret tidsforståelse, økt stress og angst. (Rossing et al. 2002).

2.6 Romakustikk

Læren om lyd kalles akustikk og er et felt som er inkludert innen mange vitenskapelige disipliner, deriblant fysikk, psykologi, audiologi og arkitektur (Rossing et al. 2002). Romakustikk omfatter alt om hvordan lyden oppfører seg i et rom. Når man dimensjonerer et rom må man vite hvordan materialeegenskaper, dimensjoner og romform påvirker lydfeltet, men samtidig ha kjennskap til hvordan de målbare parameterne for lydfelt har sammenheng med de faktisk opplevde lydinntrykk (Vigran 2002).

Lydfelt i et rom kan blant annet deles inn i frittfelt og diffust felt. Ved et gitt punkt i rommet vil noe av lyden komme direkte fra lydkilden (direktelyd) og noe av lyden har vært reflektert en eller flere ganger fra romflatene eller gjenstandene i rommet (refleksjonslyd). Når lydbølgene brer seg direkte fra kilden til mottaker, uten å reflekteres, betegnes dette som frittfelt. Her vil lydnivået avta med 6 dB for hver dobling av avstand og denne lydkilden kan lett lokaliseres (Løchstør 1996). I et lukket rom hvor lyden blir reflektert fra mange flater vil lydnivået oppfattes høyere og avta saktere med avstanden (Rossing et al. 2002). Dette betegnes som diffust felt. Særlig i rom med mange harde lydreflekterende flater vil lyden virke like sterk over hele rommet på grunn av mange refleksjoner. Her vil man få lyd reflektert fra mange retninger og vil derfor ikke like enkelt kunne lokalisere retningen til kilden. Nesten all lyd vil oppleves som slitsomt eller ubehagelig i et diffust felt (Løchstør 1996).

Romradiusen er der hvor direktelyden og refleksjonslyden har samme lydtrykknivå. Den kritiske avstanden er gitt ved følgende formel:

$$D_{crit} = 0.141 \sqrt{RQ} \quad (3)$$

der R er romkonstanten og Q er direktiviteten til lydkilden (Howard and Angus 2009).

Hvor romradiusen ligger er avhengig av hvor reflekterende/absorberende romflatene er. I et rom med mange harde, reflekterende flater vil romradiusen ligge nærme lydkilden. I et dempet rom med mange lydabsorberende flater vil refleksjonslyden være svakere og romradiusen vil ligge lengre unna lydkilden uten at direktelyden påvirkes (Løchstør 1996).

2.7 Etterklang

Etterklangstiden beskriver hvor lang tid det tar for lyden å dø ut i et rom, e.g. hvor mange sekunder det tar for lydtrykknivået å synke 60 dB etter at en impulslydkilde har gått av eller en lydkilde er slått av (Everest and Pohlmann 2009). Reflektert lyd som bygges opp og avtar karakteriseres som etterklangstid. Etterklangstiden avhenger av blant annet rommets volum og absorpsjonsegenskapene til overflatene i rommet. Generelt har store rom lenger etterklangstid enn små rom. Den teoretiske etterklangstiden kan bestemmes ved hjelp av blant annet Sabines formel (Rossing et al. 2002).

I et teoretisk rom der alle overflatene absorberer like stor del av lyden som treffer dem er etterklangstiden, RT , som måles i sekunder [s] proporsjonal med volum dividert på areal, og vi kan anvende Sabines formel:

$$RT = 0.16 \frac{V}{A} \quad (4)$$

der 0.16 er en konstant i [sabin/m], V er volumet av rommet i [m³] og A er arealet av alle absorberende flater i rommet [m²].

I et realistisk fullmøblert rom finner man den totale absorpsjonen i rommet ved å legge sammen ulike overflatearealer multiplisert med deres respektive absorpsjonskoeffisient:

$$A = \sum S_i \alpha_i + A_e + 4mV \quad (5)$$

der S er arealet av en type materiales overflate, α er absorpsjonskoeffisienten til materialet, A_e er absorpsjonsarealet til enkeltabsorbenter (personer, stoler osv.), m er dempingsfaktoren for lydabsorpsjon i luft og V er volumet av rommet (Byggforsk 1998).

Absorpsjonskoeffisienten til et materiale beskriver hvor mye av lydenergien som absorberes når lyden treffer materialet. Absorpsjonskoeffisienten rangeres fra 0 til 1 der 0 er fullstendig reflekterende og 1 er fullstendig absorberende (Rossing et al. 2002). Absorpsjonskoeffisienten til ulike materialer varierer med frekvensen, derfor er det viktig å vurdere den totale absorpsjonen i ulike frekvensbånd (Everest and Pohlmann 2009).

Ettallsverdien av etterklangstiden forteller ikke nødvendigvis hvordan rommet oppleves i virkeligheten. Selv om ettallsverdien tilsier at etterklangstiden tilfredsstillter kravene i teknisk standard kan rommet likevel gi et "tørt" lydintrykk. Ved å studere de ulike frekvensbåndene i en etterklangskurve kan man avdekke hvilken frekvenser som må justeres på (Løchstør 1996). Uregelmessige toppe på etterklangskurven indikerer at det forekommer stående bølger eller romresonanser i rommet (Rossing et al. 2002).

Ved dimensjonering av etterklangstid er det viktig å ta møblering og publikum med i betraktningene da disse faktorene er med på å bidra til å senke etterklangstiden (Rossing et al. 2002). I teknisk forskrift er derimot kravet til etterklangstid satt for normalt møblerte rom uten publikum for å luke ut usikkerheter rundt sesongvariasjon i bekledning og antall personer som er tilstede i rommet (NS-8175 2012).

2.8 Bakgrunnsstøy

Bakgrunnsstøy kan komme fra utendørs eller innendørs støykilder.

Ekstern støy kan være vanskelig å redusere. Avhengig av bygningens lokasjon kan ekstern støy komme fra veitrafikk, skinnegående trafikk osv. Mulige løsninger kan være å øke lydisolasjonen i ytterveggene eller sørge for at undervisningsrommene får vinduer med god lyddemping (Rossing et al. 2002).

En vanlig innendørs støykilde er dårlig prosjektert ventilasjonssystem. Støy fra ventilasjonsutstyret kan nå undervisningsrommene gjennom ventilasjonskanalene. Bredbåndsstøy skyldes ofte luftstrømmen i kanaler og utkast. I tillegg kan lavfrekvent

vibrasjon fra maskineriet bli overført gjennom bygningsstrukturen. Annen støy kan komme fra dører med dårlig lydisolasjon i vegger og dører som ikke gir nok demping av støy fra korridorer og andre rom (Rossing et al. 2002).

Høy bakgrunnsstøy kan forringe lydopplevelsen i et rom ved at direktelyden blir overdøvet av støyen i rommet. Lave frekvenser har en tendens til å maskere høyere frekvenser ("upwards spread of masking") (Kinsler 2000). Hørbarheten er avhengig av nivåforskjellen mellom direktelyden og bakgrunnsstøyen. Dette er ofte referert til som signal-støy-forhold (SNR). Signal-støy-forhold er definert som:

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \quad (6)$$

der P_{signal} er styrken på signalet og P_{noise} er styrken på støyen.

Direktelyden bør derfor være minimum 25 dB høyere enn bakgrunnsstøyen (Dammerud 2013). I klasserom-sammenheng er det viktig å dempe lydnivået fra bakgrunnsstøy slik at læreren ikke behøver å heve stemmen.

2.9 Taletydighet

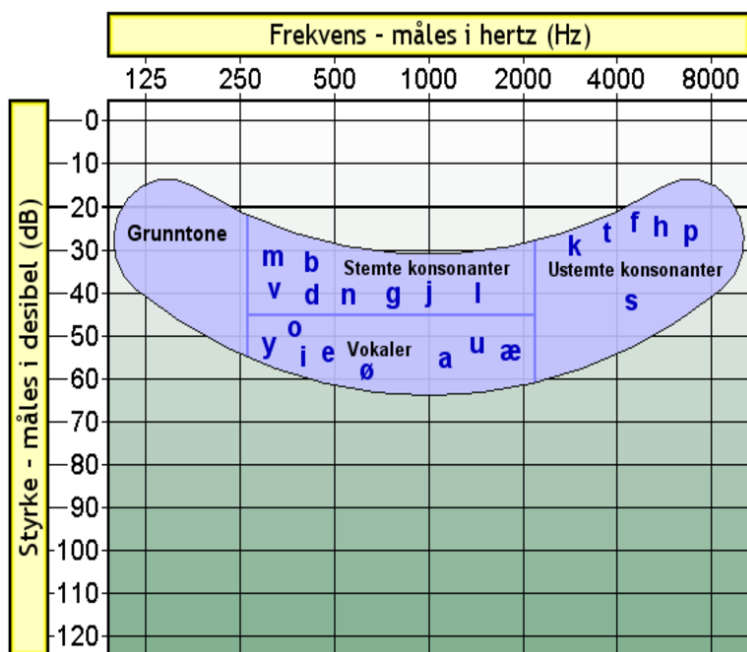
STI-skalaen er en tallbasert skala med 5 kategorier som beskriver taletydighet. Graden av taletydighet korresponderer med STI-verdien og oppfattelsen av stavelser, ord og setninger. Skalaen er tilpasset etter normalt hørende personer. Tabell 2-1 viser hvordan STI-skalaen er inndelt.

Tabell 2-1 STI-skalaen med STI-verdi og kategori (Houtgast and Steeneken 2002).

STI-verdi	Kategori	Grad av tydelighet for		
		Stavelser i %	Ord i %	Setninger i %
0.75-1.00	EXCELLENT	91-96	95-96	97-100
0.60-0.74	GOOD	68-90	88-94	95-96
0.45-0.59	FAIR	49-67	79-87	93-94
0.30-0.44	POOR	35-48	68-78	90-92
0.00-0.29	BAD	0-34	0-67	0-89

Som vi ser av tabellen er hvor krevende det er å lytte omvendt proporsjonal med STI-skalaen. Det er også verdt å nevne at talekvalitet og taletydighet ikke er det samme. Talekvalitet refererer til hvor bra lyden høres ut, mens taletydighet er hvor mye man kan forstå av lyden (van Wijngaarden and Verhave 2014).

Talebananen viser lydenes plassering i språksammenheng. Figur 2-3 kalles en talebananen fordi når man legger talespråklydene inn i et audiogram blir de spredt utover et frekvensområde som ser ut som en banan. Den er likevel forenklet i og med at hver språklyd er sammensatt av flere ulike frekvenser. Vokalene betraktes som de lydbærende språklydene, mens konsonantene bærer meningen i språklyden (Statped 2015).



Figur 2-3 Talebananen (Statped 2015).

Denne oppgaven undersøker blant annet hvilken effekt etterklangstiden har på taletydigheten. Tidligere forskning viser at høy etterklangstid forringer taletydigheten ved å maskere de ustemte konsonantene i 2000-8000 Hz-frekvensbåndet. For eksempel ordet "back" på engelsk blir tvetydig når man ikke hører "ck"-lyden og gjør det vanskelig å skille mellom andre ord som rimer som for eksempel "bad" og "bath". I et rom med høy etterklangstid vil taleren bli nødt til å prate mer langsomt for å bli forstått. På den andre siden, i et helt dempet rom, vil man derimot gjerne måtte kompensere ved å prate høyere. På samme måten vil for høy bakgrunnsstøy også maskere viktige konsonanter. Det er spesielt uheldig med bakgrunnsstøy med bass-karakteristikk, selv om de lave frekvensene ikke bringer taleinformasjon i like stor grad (Everest and Pohlmann 2009).

2.10 Nedsatt hørsel og hørselstap

I Norge er det ca. 250 000 - 300 000 hørselshemmede personer. Det regnes med at mellom 2-3 promille av barn har nedsatt hørsel. Betegnelsen hørselshemming dekker lett nedsatt hørsel til fullstendig døvheter. Det kan være medfødt, sykdom, forbigående hørselstap på grunn av mellomøreproblematikk i ung alder, økende alder eller skader som støypåvirkning over lengre tid eller hodeskader. Behandlingen går fra å være forebyggende

eller med operative inngrep og mange kan hjelpes ved å bruke høreapparat (Store_medisinske_leksikon 2015).

Dagens høreapparater og teleslynger er svært følsomt for de akustiske forholdene rundt brukeren. Spesielt høreapparat-teknologien er ikke tilstrekkelig for å sikre god taletydighet da høreapparatene kun fungerer optimalt i ca. 1.5 m radius rundt brukeren (Kim and Kim 2014). Svakheten med teleslynger er at signalene smittes over til andre rom slik at en bruker kan oppleve å plukke opp lyder fra nærliggende rom (Estabrooks et al. 2016). Derfor er det viktig å tilrettelegge for god akustikk i et undervisningsrom.

2.11 TEK10

Byggeteknisk forskrift setter minimumskrav til byggverk i Norge. Gjeldende teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven er TEK10 (TEK10 2011). For akustikk henviser TEK10 til Norsk Standard NS 8175:2012 "Lydforhold i bygninger - Lydklassifisering av ulike bygningstyper", der grenseverdier for ulike akustiske parametere er angitt. Kriterier for lydforhold er inndelt i lydklasse A til D. Lydklasse C er en preakseptert minimumsløsning som vil gi tilfredsstillende lydforhold for en stor andel berørte personer (NS-8175 2012).

Lydklasse C setter følgende krav til lydforhold i undervisningsrom (NS-8175 2012):

- øvre grenseverdi for etterklangstid, T , på 0.5 s
- øvre grenseverdi for gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå på $L_{p,A,T}$ 28 dB
- maksimal lydtryknivå fra tekniske installasjoner på $L_{p,AF,max}$ 30 dB

I tidligere NS 8175:2008 var kravene lavere (NS-8175 2008), der:

- øvre grenseverdi for etterklangstid, T , var 0.6 s
- og maksimal lydtryknivå fra tekniske installasjoner var $L_{p,AF,max}$ 32 dB

Lydklassene er tatt utgangspunkt i målemetoder i henhold til Norsk Standard, som er:

- NS-EN ISO 3382-2. Måling av romakustiske parametere. Del 2: Etterklangstid i vanlige rom.
- NS-EN ISO 16032. Måling av lydtryknivå fra tekniske installasjoner bygninger. Teknisk metode.

Gjeldene NS setter ingen krav som går direkte på taletydighet i undervisningsrom, men har derimot slike krav til kontorlandskap.

I England og Finland er det satt krav til taletydelighet i klasserom i byggetekniske forskrifter, der minimumskravet er henholdsvis ≥ 0.60 (nedre del av kategori "GOOD") i England og ≥ 0.70 for lydklasse C (øvre del av kategori "GOOD") ≥ 0.80 for lydklasse A og B (kategori "EXCELLENT") i Finland (Mikulski and Radosz 2011).

I gjeldende NS er dimensjonering av taletydelighet i undervisningsrom kun omtalt som en anbefaling der tilfredsstillende taleforhold ikke kan dokumenteres ved bruk av etterklangstid alene. Standarden sier også at undervisningslandskap er lite egnet for hørselshemmede og andre med spesielle behov for gode lydforhold. For å sikre god taleoppfattelse står det anbefalinger i standarden at det bør installeres lydutjevningssystemer i minimum 10% av undervisningsrommene på hver skole, spesielt der det aktuelt ved lavt talenivå, forstyrrende støy og lange etterklangstider. Standarden sier også at "slike anlegg skal kompletteres med teleslynge eller tilsvarende annet trådløst lydoverføringsutstyr". Videre står det at "i auditorier og store undervisningsrom bør det være en skrå eller tilpasset reflekterende flate i himling over eller foran talerplassen, samt eventuelt absorberer i bakveggen" (NS-8175 2012). Dette er for å forhindre flutterekko der lyden blir reflektert flere ganger frem og tilbake mellom harde, parallelle flater (Halmrast 2013).

Kravet til etterklangstid gjelder ikke kun den gjennomsnittlige etterklangstiden i et undervisningsrom, men det er også egne krav til etterklangstider i de individuelle 1/1-oktavbåndene 125-4000 Hz. Det aksepteres en 40% høyere toleranse i etterklangstid i 125 Hz-oktavbåndet. For lydklasse C betyr det at øvre grenseverdi i 250-4000 Hz må være lavere enn 0.5 s, mens i 125 Hz er det akseptabelt med opptil 0.7 s i etterklangstid (NS-8175 2012).

Bakgrunnsstøy skal måles i 1/1-oktavbåndnivåer og "det skal påvises at det ikke er spesielt forstyrrende komponenter i støyen" (NS-8175 2012).

Kravene i NS skal prosjekteres og måles i normalt møblerte rom, uten mennesker tilstede. Støy fra brukerutstyr som projektor, PC osv. dekkes ikke av standarden (NS-8175 2012).

2.12 Kriterier for god akustikk i et rom

Ved vurdering av akustikken i et rom er det viktig å ta hensyn til direktelyd, tidlige refleksjoner og etterklang. I et klasserom må elevene kunne høre hva læreren sier. Dette krever akustisk regulering av etterklangstid, støy fra tekniske installasjoner og utendørs støy. For å oppnå god akustikk i et rom er det flere faktorer som må tilfredsstilles (Rossing et al. 2002):

- Høyt nok talevolum: Læreren må prate høyt nok slik at alle elevene til enhver tid hører og forstår det læreren formidler. Læreren skal heller ikke behøve å anstrenge seg og heve stemmen.
- Uniformitet: Elevene bør høre noenlunde samme lyd, uansett sitteplass.
- Tydelighet: Det bør være tilstrekkelig lydabsorberende flater slik at reflektert lyd ikke maskerer direktelyden.
- Livlighet: Alle normalt hørende elever og elever med nedsatt hørsel bør kunne føle at lyden kommer jevnt fra alle kanter, men likevel kunne plassere hvor lydkilden kommer fra.
- Ekkobalanse: Reflektert lyd bør treffe elevene for å forsterke direktelyden, men ikke oppfattes som et ekstra ekko.
- Lav bakgrunnsstøy: Støy fra tekniske installasjoner til luft og varme, samt utendørs støy bør reduseres til det minimale.

2.13 Tiltak for å redusere bakgrunnsstøy og etterklangstid

For å redusere støy må vi vurdere lydkilden som forårsaker støyen, hvordan støyen forplanter seg og hvordan støyen oppleves hos mottakeren. De mest effektive måtene å dempe støyen på er å redusere lyd ved hjelp av lydabsorberende flater (Rossing et al. 2002).

For å regulere etterklangstiden i et rom kan man bruke akustiske absorbenter som hindrer at lydenergien blir reflektert tilbake inn i rommet. Det finnes i hovedsak 3 ulike typer absorbenter (Vigran 2002):

- Porøse materialer (mineralull, skumplast osv.)
- Membranabsorbenter (stålplater, glass osv.)
- Perforerte plater med porøs absorbent i hulrommet bak

Porøse materialer absorberer godt i høye frekvenser, mens mange tunge membranplater gir god absorpsjon i lave frekvenser. Perforerte paneler og spilepaneler utnytter begge prinsippene for absorpsjon (Rossing et al. 2002).

Når det gjelder bakgrunnsstøy kan man for eksempel dempe støyen fra et ventilasjonsanlegg ved å installere lydfeller inne i kanalene (Byggforsk 2002). Lydlekkasjer gjennom vegger avtar når frekvensen til lyden og massen til veggkonstruksjonen øker. Damping av lavfrekvent lyd krever tyngre veggkonstruksjoner. Resonans i veggen,

lydbølger på kritiske frekvenser og lydlekkasje gjennom hull i veggen kan forsterke lydoverføring gjennom vegger (Rossing et al. 2002).

2.14 Tidligere forskning

I en studie utført av Bradley og Sato kom det tydelig frem at yngre elever trenger lavere bakgrunnsstøynivåer enn voksne for å forstå tale. Resultatene viser at barn uten fullutviklet auditivt system trenger ca. 10 dB høyere lyd enn bakgrunnsstøyen i rommet for å høre tydelig i forhold til voksne, og barn nede i 6-årsalderen må ha 15 dB høyere signal-støy-forhold. Dette har også sammenheng med lavere ordrepertoar. På grunn av forskjellig grad av utviklet auditivt system vil det heller ikke være opplagt for voksne lyttere at barn ikke kan forstå tale i moderat støyende omgivelser (Bradley and Sato 2004).

Mikulski og Radosz gjennomførte lydmålinger i 110 klasserom i Polen hvor de fant ut at det ikke alltid eksisterer en korrelasjon mellom taletydighet og etterklangstid T_{mf} (lokal metode for beregning av etterklangstid som innebærer et aritmetisk gjennomsnitt av etterklangstidene i 500 Hz, 1000 Hz og 2000 Hz-frekvensbåndene). De fant større korrelasjoner ved å utvide frekvensspekteret til å inkludere frekvensbåndene fra 250 til 4000 Hz. De fleste klasserommene som ble målt tilfredsstilte ikke ønsket grad av taletydighet og det ble avdekket behov for regulering av akustikken i mange av de målte klasserommene (Mikulski and Radosz 2011). Denne studien har vært en stor inspirasjonskilde til denne oppgaven.

3 Metode

3.1 Bakgrunn for valg av metode

STI-verdier ble målt i 20 klasserom fra 10 skoler i Oslo-området. Kriteriet for å bli inkludert i denne undersøkelsen var at klasserommene er prosjektert, eller forsøkt prosjektert, etter TEK10. Det ble valgt å måle på 10 forskjellige skoler for å variere løsninger foreslått av forskjellige akustikere og utførende entreprenører. For å spare reisetid er det kun målt på skoler i Oslo-området.

Målemetode for etterklangstid og bakgrunnsstøy er valgt å utføres etter gjeldende standard slik akustikere ville kontrollert prosjekteringen. Klasserommene ble som nevnt valgt basert på tilgjengelighet og det var ikke mulig å garantere at alle romformene blir like godt representert. Rommene er likevel delt opp etter romform og samtlige rom er målt og vurdert basert på klassisk undervisningsstil, altså hvor læreren står ved tavlen og prater.

Alle STI-målinger er gjort i forhold til én lydkildeposisjon, hvilket er en stående lærerposisjon foran tavlen. Målingene er basert på plassering av elevenes pulter og ikke tatt hensyn til avstand fra sender. Å måle i et fast avstandsintervall fra senderposisjon er lite relatert til hvordan elevene i praksis sitter omkring i klasserommene. Elever blir satt der hvor pultene er plassert og ikke etter en spesifikk avstand fra tavlen.

Det er hovedsakelig målt i tomme klasserom uten mennesker. Stikkprøver i to klasserom er likevel tatt med for å undersøke hvordan alle de målte verdiene påvirkes i en tilnærmet reell situasjon.

3.2 Forberedelsesarbeid

Under forberedelsene til denne oppgaven ble Undervisningsbygg og Undervisningsetaten kontaktet for å spørre om bistand til å finne aktuelle skoler. Det ble så sendt ut mail til 7 skoler, hvor få svarte. Neste forsøk gikk ut på å google skoler i Oslo og omegn som har åpnet mellom 2012 og 2017 og resulterte i 32 skoler. Etter en generell forespørsel sendt til samtlige av rektorene var tallet nede i 13 skoler som var villige til å stille lokalene sine til disposisjon.

Undervisningsbygg bisto med plantegninger for å verifisere at disse skolene er bygd i henhold til TEK10, hvorpå 3 av de ikke tilfredsstilte dette kravet. Man satt igjen med 10 skoler. Rektorene på de respektive skolene ble så kontaktet for å avtale tid og koordinere med enten tilsynsvakt eller rektoren selv for å låses inn.

3.3 Fastsetting av variabler

Til tross for å være en feltstudie basert på observasjoner ble det fra starten av forsøkt å kontrollere flest mulig variabler. Der det var mulig ble tikkende klokker skrudd av og alle målinger ble gjort på samme måte i møblerte, men ellers tomme rom, i stillest mulige omgivelser. Det ble ikke forsøkt å kontrollere noen variabler utover dette da formålet var å måle verdier i reelle klasserom slik de står.

Disse observasjonene ville muligens hatt høyere ytre validitet ved å teste STI i en såkalt reell brukssituasjon. Dette er ikke gjennomførbart med hensyn til praktiske begrensninger og ville uansett ikke ha gitt et helt nøyaktig svar da klasserommene brukes dynamisk. Derfor er det valgt å følge samme metoden som metoden brukt i prosjektering av etterklang og bakgrunnsstøy i henhold til NS, samt STIPA-metoden for å måle STI. Dette for å ha kontroll over flest mulige variabler for å kunne sammenlikne de andre variablene som romfasong, møblering, korrelasjon mellom STI og etterklang og korrelasjon mellom STI og bakgrunnsstøy. Det er likevel tatt stikkprøver med elever i 2 av de klasserommene som hadde høyest STI-verdier for å få en pekepinn på hvilke verdier man kan forvente i en kontrollert reell brukssituasjon sammenliknet med målingene i det tomme rommet. Bakgrunnsstøyen ble høyere som en effekt av å måle på dagtid, men målingene ble forsøkt kontrollert i form av at elevene ikke fikk prate under målingene. Dette var for å måle hvilken absorberende effekt elevene har på lyden i rommet.

3.4 Utstyrliste

Tabell 3-1 Utstyr benyttet i feltarbeidet.

Utstyr	Antall	Fabrikant og modell	Serienummer
Lydkalibrator	1	Norsonic, type 1251 (1 kHz, 114.0 dB)	33245
Lydmåler	1	Norsonic, type Nor140 v4.0	1403349
Radio	1	Tivoli Audio PAL	R756944-1107
Lydgenerator	1	PC med STIPA-signal	
Tegneprogram	1	Sketchup 2017	
Tekstbehandler	1	Word 2016	
Grafer og analyse	1	Excel 2016	
Grafisk	1	Adobe Illustrator CC 2017	
Ballonger	100+	Minimum 80 cm i omkrets	
Stativ	2	Kamerastativ eller liknende	
Lydkabler	1	AUX	
Avstandsmåler	1	Leica lasermåler	
Hørselsvern	1	Bosch	

3.5 Fremgangsmåte

Det første steget i samtlige av klasserommene har vært å måle opp geometrien i rommet og tegne en skalamodell i dataprogrammet Sketchup. Her har vinduer, absorberende flater på veggene og arrangering av pultene blitt forsøkt gjengitt så nøyaktig som mulig. Eventuelle reflekterende flater i himlingen er ikke blitt kommentert da det er vanskelig å se forskjell på de og absorberende mineralullplater. Deretter ble lydmåleren kalibrert in situ før hver målesesjon ved hjelp av en kalibrator.

Høytaleren av type Tivoli Audio PAL er plassert i en høyde på 1.7 m over bakken og 0.5 m foran midten av tavlen, vendt ut mot rommet. Lydmåleren som er brukt er av type Nor140 som er en omnidireksjonell måler med en oppløsning på 0.1 dB. Lydmåleren er plassert ved et utvalg av pultene i en gjennomsnittlig sittehøyde på 1.2 m over gulvet.

Etter at STI-verdiene er notert ble etterklangstiden målt ved hjelp av en metode hvor ballongsmell ble benyttet som lydkilde, etterfulgt av bakgrunnsstøymålinger. Etterklangstiden inkluderes fordi den per dags dato er det eneste og viktigste akustiske designarbeidet ved prosjektering av klasserom. Lydtryknivået fra støykilder og tale tydelighet er sterkt avhengig av etterklangstiden i rommet (ISO-3382-2 2008). Selv om kravet til etterklangstid kun gjelder oktavbåndene 250 Hz til 4000 Hz, har denne oppgaven i tillegg valgt å inkludere oktavbånd 63 Hz og 8000 Hz. Måleresultatene ble videre behandlet og sortert i Excel.

3.6 Måling av bakgrunnsstøy

Måling av bakgrunnsstøy er utført med utgangspunkt i norsk ISO-standard NS-EN ISO 16032:2004 "Måling av lydtryknivå fra tekniske installasjoner i bygninger. Teknisk metode" (ISO-16032 2004). Målemetoden er egnet for rom med volum mindre enn 300 m³. Alle klasserommene undersøkt i denne studien faller inn under dette kriteriet.

NS 8175:2012 setter i tillegg krav til vurdering av forstyrrende komponenter i 1/1-oktavbånd (NS-8175 2012). For å begrense oppgavens omfang er det kun ettallsverdien av lydtryknivået, i.e., det ekvivalente kontinuerlige lydtryknivået $L_{A,eq}$ [dB], fra tekniske installasjoner som er blitt vurdert i denne oppgaven. Støynivået fra tekniske installasjoner er ikke nødvendigvis representative for en reell brukssituasjon da målingene er gjennomført på kveldstid etter skolens åpningstider. Siden dette er utført på likt grunnlag i alle klasserommene vurderes dette å gi et valid sammenlikningsgrunnlag.

3.6.1 Målebetingelser

Støy fra tekniske installasjoner måles med innstilling "fast" på lydmåleren. Målt lydtryknivå midles over tid og rom. Under målingene må alle vinduer og dører være lukket, mens ventilasjonsåpningene er åpne (NS-8175 2012). Der støyen inneholder hørbare tonekomponenter er det blitt kommentert (ISO-16032 2004).

3.6.2 Måleposisjoner

Målingene utføres i 3 måleposisjoner, derav 1 posisjon ved et hjørne med høyest støynivå og 2 punkter i etterklangfeltet, i.e., ute i rommet og ikke tett på lydkilden (ISO-16032 2004).

Måleposisjon #1 ved hjørne er plassert minimum 0.5 m fra veggene og minimum 0.2 m fra alle gjenstander. Avstanden mellom måleposisjon #2 og #3 ute i etterklangfeltet må være minimum 1.5 m unna hverandre. Avstanden fra måleposisjoner til en gitt dominerende lydkilde i rommet må være minimum 1.5 m (ISO-16032 2004).

Måleusikkerheten i målemetoden til dette formålet ligger på 0.8 dB for A-veide verdier (ISO-16032 2004).

3.6.3 Måleprosedyre

Det er valgt å måle i 30 s ved hver posisjon for å plukke opp bakgrunnsstøyen i rommet.

3.7 Måling av etterklangstid

Måling av etterklangstid er utført med utgangspunkt i norsk ISO-standard NS-EN ISO 3382-2:2008 "Måling av romakustiske parametere. Del 2: Etterklangstid i vanlige rom" (ISO-3382-2 2008).

3.7.1 Målebetingelser

Etterklangstiden måles i 1/1-oktavbåndnivåer (NS-8175 2012).

En studie utført ved University of California viser at mennesker har en diffraksjonsegenskap lik en solid ellipsoide (eggeform) med samme volum. Kroppen i seg selv har en neglisjerbar lydabsorberende effekt. Klær har liten diffraksjonsegenskaper, men

derimot stor effekt på lydabsorpsjon. Mer klær fører til økt lydabsorpsjon (Contia et al. 2004).

Etterklangstiden i et klasserom kan derfor variere sterkt avhengig av antall personer som er tilstede. For å minimere ukontrollerbare variabler er det derfor viktig at målingene utføres i et lukket rom uten andre mennesker tilstede andre enn personen(e) som utfører målingen (ISO-3382-2 2008).

I stikkprøven ble etterklangstiden målt med elever tilstede for å undersøke hvordan absorpsjonseffekten deres påvirket etterklangstiden og taletydigheten i rommet.

3.7.2 Måleposisjoner

Etterklangstiden er målt ved 3 forskjellige posisjoner og er i samsvar med en nøyaktighetsgrad tilsvarende "engineering" i ISO 3382-2:2008.

Denne nøyaktighetsgraden er passende for å kontrollere om en gitt bygning tilfredsstiller spesifikasjonene for etterklangstid eller romabsorpsjon. Målenøyaktigheten er antatt å være bedre enn 5% i heloktavgbånd (ISO-3382-2 2008).

Ved alle måleposisjonene er mikrofonen plassert minimum 0.5 m unna vegger og reflekterende flater. Ny måleposisjon i rommet er blitt flyttet minimum 0.7 m fra forrige posisjon.

I klasserom med komplisert geometri er det målt ved flere posisjoner for å ta med lokale forskjeller i etterklangstiden slik at det blir en mest mulig korrekt midling av etterklangstiden i rommet.

3.7.3 Måleprosedyre

Etterklangstiden i et rom kan måles på flere måter. Både omnidireksjonelle impulsilder og høyttalere kan brukes til å undersøke etterklangstiden. En omnidireksjonell lydkilde er en lydkilde som sprer lyden i alle retninger. Impulsilder kan være ballongsmell, startpistolsmell eller liknende (Everest and Pohlmann 2009). Felles for lydildene er at de er bredbåndsignaler som kan avgi nok lydenergi i hele spekteret og tilføyer tilstrekkelig lydtrykk slik at lyden som fyller rommet i utgangspunktet er høyere enn bakgrunnsstøyen (signal-støy-forhold) for å oppnå god nøyaktighet på målingene (ISO-3382-2 2008).

Høytalere som spiller av et bredbåndsignal, som for eksempel hvit eller rosa støy, gir generelt mer konsistent og pålitelig nøyaktighet i målingene (Everest and Pohlmann 2009).

Det er brukt ballonger som impulslydkilde i målingene som er blitt gjennomført for denne studien.

Ballongene ble stukket hull på minimum 1 m fra mikrofonen ved alle posisjoner. Hver måling varer i ca. 5 s og det ble tatt 2 målinger per måleposisjon.

3.8 Måling av taletydighet

Per dags dato eksisterer det kun en målestandard for taletydighet i kontorlandskap: ISO-standard NS-EN ISO 3382-3:2012 "Måling av romakustiske parametere. Del 3: Åpne kontorlandskap" (ISO-3382-3 2012).

Standarden setter krav til måling av parameterne ved hver måleposisjon:

- STI ved rosa lydspekter
- Avstand fra sender til mottaker
- Etterklangstid
- Kalibrert lydtrykk ved rosa lydspekter i oktavbåndene 125-8000 Hz
- Det kalibrerte lydtrykket av bakgrunnsstøy i oktavbåndene fra 125-8000 Hz

Målestandarden anbefaler minimum 4 målinger per retning. Det bemerkes at standarden er ment for kontorlandskap. Derfor er ikke alle parameterne relevante i denne feltstudien som omhandler taletydighet i klasserom.

Måling av STI i denne studien er utført med utgangspunkt i STIPA-metoden. STIPA står for "Speech Transmission Index for Public Address Systems" og er en av de mest kjente metodene for å måle STI.

Metoden går ut på å bruke et spesifikt testsignal (STIPA-signal), i kombinasjon med en lydmåler med STIPA-oppsjon, for å måle taletydighet (van Wijngaarden and Verhave 2014).

3.8.1 Målebetingelser

Kalibrering utføres før måling i hvert klasserom. En høyttaler plasseres ved ønsket lærerposisjon. Volumet på høyttaleren justeres etter 1 kHz sinussignal slik at lydnivået tilsvarer 60 dB ved 1 m avstand (Norsonic_Instruction_Manual 2006).

Valget for høyttaler falt på en Tivoli Audio PAL da dette er det som leveres som standard fra lydmålerprodusenten Norsonic. Frekvensresponsen på Tivoli-radioen er relativt flat; fra 100 Hz til over 10 000 Hz. Det enkle høyttalerelementet i radioen er ca. 6 cm i diameter og skal være tilnærmet lik direktiviteten til en snakkende person. Standardavviket på STIPA-målinger utført med denne metoden er på rundt 0.02 (Norsonic_Instruction_Manual 2006).

Alle målingene er utført med kun 2 personer tilstede i rommet.

3.8.2 Måleposisjoner

Det er valgt å måle et rutenett på ca. 3x3 posisjoner i klasserommene der det lot seg gjøre. Posisjonene i de ulike klasserommene varierer med møblering av sitteplassene ved befaringstidspunktet og er vist i figurene for hvert klasserom i resultatkapittelet. Bakgrunnen for valg av rutenettet er for å dekke de ytre kolonnene og radene i et klasserom, samt en posisjon i midten av klasserommet. Dette forenklede rutenettet av posisjoner ble valgt for å effektivisere målingene per klasserom, samtidig som man likevel dekker størst mulig areal av den eksisterende sittekonfigurasjonen i klasserommet.

Lærerposisjon er fiksert slik at høyttaleren i alle klasserommene er plassert 0.5 m foran midten av tavlen. Høyden på lærerposisjonen er satt til 1.7 m over gulvet. Lydmåleren er alltid plassert i høyde 1.2 m foran hver sitteplass, 0.5 m unna reflekterende flater.

3.8.3 Måleprosedyre

For å vurdere påliteligheten av måleresultatene er det utført kontrollmåling av STI med og uten STIPA-signalet før måling i alle klasserommene.

En tivoli-radio som kontinuerlig spiller av STIPA-signalet simulerer lærerens tale. Lydmåleren simulerer en elev som lytter og plasseres ved bestemte sitteposisjoner i klasserommet.

Ved hver måleposisjon er det blitt gjort 2 målinger av STI. Hver måling varte i ca. 15 s.

3.9 Databehandling

En vurdering av måledata er blitt gjort etter hver målesesjon for å luke ut måleresultater som har blitt forringet av ytre støyende faktorer, som for eksempel forstyrrelser fra mennesker som konverserer ute i korridorene, støy i forbindelse med renhold osv.

Målinger merket med "overload" er slettet i henhold til målestandarden for etterklangstid (ISO-3382-2 2008).

Gjennomsnittet av STI-målingene per posisjon er merket med koordinatene til måleposisjonen og samlet i en felles database hvor de ble oppført med målt gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå $L_{p,A,T}$ og etterklangstid T , samt sortert etter skole, navn på klasserom, volum og romfasong.

Excel 2016 er blitt benyttet til å presentere måledataene i form av grafer. Øvre grenseverdi for etterklang/bakgrunnsstøy er inkludert i grafene der det er hensiktsmessig.

3.10 Stikkprøve

I etterkant av databehandlingen ble det sendt ut en forespørsel til samtlige rektorer ved målte skoler om å komme tilbake for kontrollmåling. 4 skoler meldte interesse. Manglerud skole ble valgt ut for stikkprøvene siden to av de målte klasserommene hadde høyest individuelle STI-verdier i den ordinære målingen i tomt rom.

Målingene ble kombinert med en gjesteforelesning og forsøk der elevene fikk en innføring i lydteori samt fikk delta aktivt under målingene. Elevene fikk beskjed om å være stille under måling slikt de ideelt sett skal være mens læreren prater. Ved måling av STI ble elevene som satt ved de originale måleposisjonene instruert til å reise seg opp fra plassen sin slik at måleren fikk stå på samme posisjon som i den originale runden med målinger.

Etterklangstid og bakgrunnsstøy ble også målt mens alle elevene var tilstede i rommet.

3.11 utfordringer

Det var utfordrende å få målt alle klasserommene i henhold til prosjektets tidsplan. Grunnet ferieavvikling og koordinering med mange aktører og brukerne av skolene ble dette en langstrakt affære der hele mars måned gikk til måling av disse 10 skolene.

Planen var å måle 2 klasserom på samme skole på en kveld, hvilket lot seg gjøre i alle tilfellene bortsett fra første måling. Det første klasserommet som ble målt ble gjennomført

sammen med ekstern veileder for å fastsette en målestrategi. Det andre klasserommet ble målt påfølgende kveld.

Ballongenes volum/eksitasjonsenergi viste seg å være utilstrekkelig for den spesielle romformen til klasserommene på Tokerud skole. Takgeometrien ble antatt å kunne være interessant for oppgaven, derfor ble det vurdert som nødvendig å returnere for å ta målingene på nytt.

Den store utfordringen med målingene var å rekke å fullføre etter skoletid og før tilsynsvaktene låste dørene for dagen. Derfor var det nødvendig med en assistent på alle målingene for å effektivisere oppmåling av klasserommet og lydmålingene.

4 Resultater

Dette kapittelet er delt inn i 3 deler.

I del 1 presenteres målingene i hvert klasserom der rommets geometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi er kommentert og vist grafisk på figurer. En analyse av rommets etterklangstid, bakgrunnsstøy og objektive observasjoner av interessante faktorer er også bemerket.

I del 2 av resultatene presenteres hovedfunnene når vi ser dataene samlet.

Del 3 viser resultater fra stikkprøver i 2 klasserom der fremgangsmåte og valg av klasserom er begrunnet.

4.1 Klasserommene

Klasserommene er delt inn fem overordnede romformer som er observert på målingene: dyp, bred, kvadrat, spesial og trapes. Tabell 4-1 viser inndelingen av de 20 klasserommene.

Tabell 4-1 Oversikt over inndeling av klasserommene.

Antall klasserom	Type	Nummer
8	Dyp	1-8
6	Bred	9-14
3	Kvadrat	15-17
2	Spesial	18-19
1	Trapes	20

For å lettere kunne se en sammenheng i del 2 er klasserommene av praktiske årsaker listet opp etter størrelse på volum, fra minst til størst i hver kategori. Dette er et bevisst valg med visshet om at etterklangstiden i et rom generelt har en tendens til å øke med økt romvolum.

Høyeste og laveste STI-verdi er målt til å være henholdsvis 0.87 og 0.64 som tilsvarer kategori "EXCELLENT" og "GOOD". Det er derfor valgt å innføre en høyere oppløsning på kategoriene for å tydeliggjøre nyansene i STI-verdi innenfor hver kategori. Dette er vist i figurene med fargenyanser fra grønn til oransje der grønn er best og oransje er dårligst.

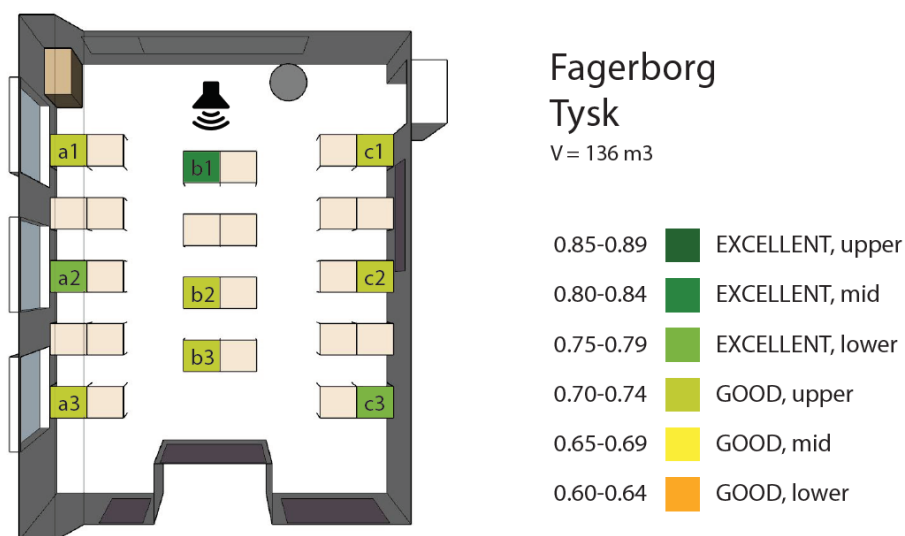
Klasserommene er som regel vist med lærerposisjon øverst på figurene, med unntak av ett klasserom av type "spesial". Bilder av klasserommene er vist i Vedlegg.

4.1.1 #1 Fagerborg - Tysk

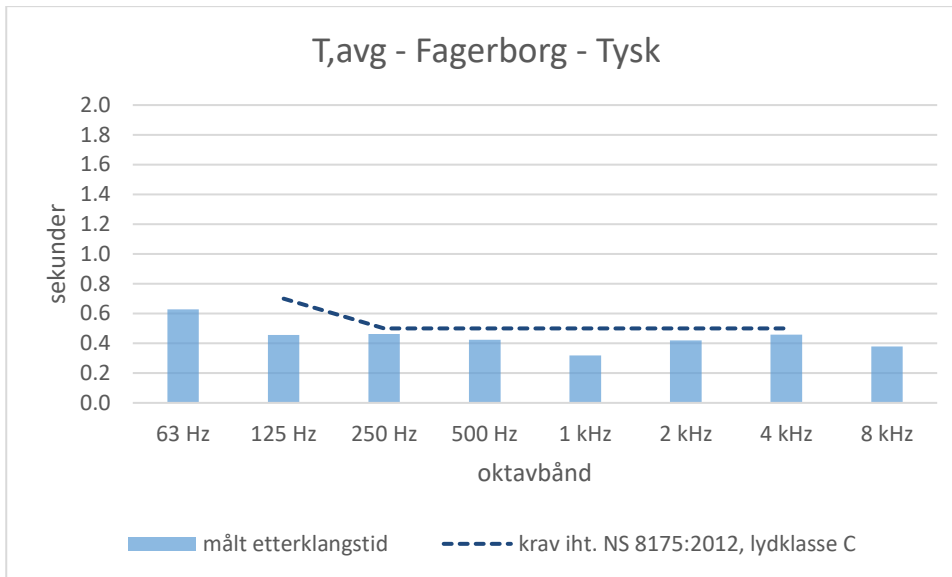
Dette klasserommet er det minste av sitt slag med et volum på 136 m³. Romgeometri og møblering er vist i Figur 4-1. Rommet har normal takhøyde og lydabsorberende systemhimling. Det er et lite sprang i taket for å tilpasse vinduene. Vinduene oppleves som en del år gamle og har dårlig lydisolasjon. Trafikken kan tydelig høres gjennom vinduene selv i lukket tilstand. Absorberende oppslagstavler er hengt opp på den irregulære bakveggen. Ventilasjonsanlegget var på under målingene. Det ble registrert "hvesende" støy fra tilluftsventilen.

Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå i rommet er målt til å være $L_{p,A,T}$ 33 dB, som er 5 dB høyere enn kravet som fremgår av NS 8175:2012 på $L_{p,A,T}$ 28 dB for lydklasse C. Etterklangskurven for rommet er vist i Figur 4-2. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet er målt til å være 0.4 s, lavere enn kravet i henhold til lydklasse C i standard. Frekvensforløpet for etterklang er jevnt og ligger innenfor standardens krav.

Senderposisjonen er vendt litt mer mot kolonne a (se Figur 4-1). 6 av 9 målepunkter har STI-verdier i kategori "GOOD,upper". Resterende 3 posisjoner har STI-verdier i kategori "EXCELLENT,lower" eller bedre.



Figur 4-1 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom Tysk på Fagerborg skole.



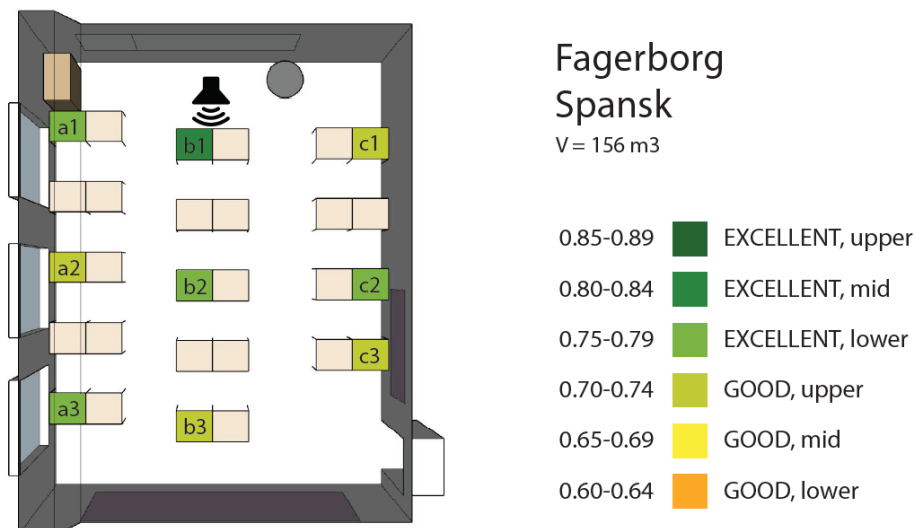
Figur 4-2 Målt etterklangstid i klasserom Tysk på Fagerborg skole.

4.1.2 #2 Fagerborg - Spansk

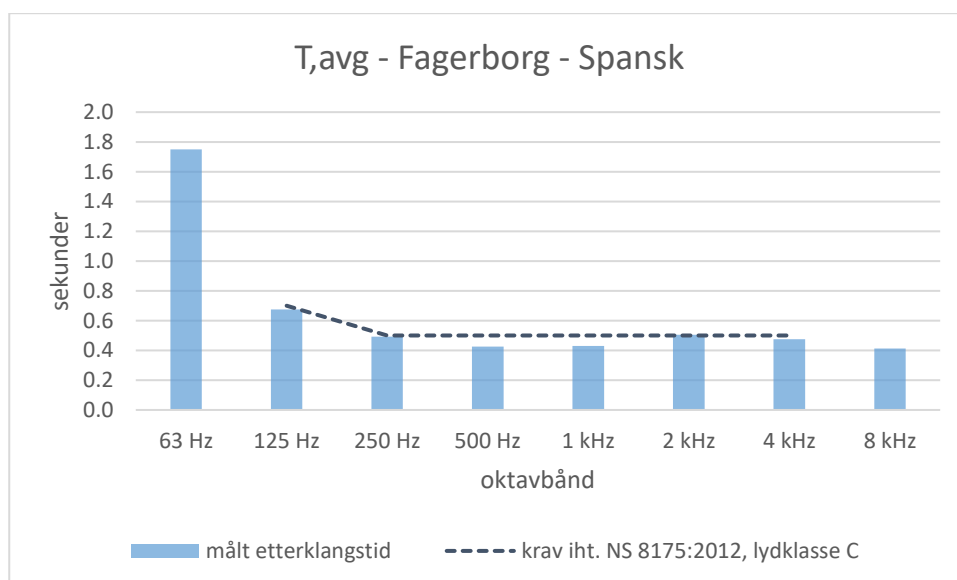
Dette klasserommet har identisk romgeometri som klasserom #1 nevnt over, med unntak av sprangene i bakvegg. Absorberende oppslagstavler er hengt opp på bakvegg og på sideveggen nær c3 (se Figur 4-3). Ventilasjonsanlegget var på under målingene, men det ble ikke registrert den samme støyen med "hvesende" karakteristikk fra tilluftsventilen som i klasserom #1. Trafikken utendørs høres godt selv gjennom lukkede vinduer.

Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå i rommet er målt til å være $L_{p,A,T}$ 29 dB, som er 1 dB høyere enn kravet i NS 8175:2012 for lydklasse C. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.5 s og er i henhold til kravet i standard. Figur 4-4 viser et jevnt frekvensforløp for etterklang, med unntak av i 63 Hz-oktavbåndet som har etterklangstid helt opp i 1.7 s.

Figur 4-3 viser målt STI-verdier i klasserommet. Halvparten av mottakerposisjonene har kategori "EXCELLENT".



Figur 4-3 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom Spansk på Fagerborg skole.



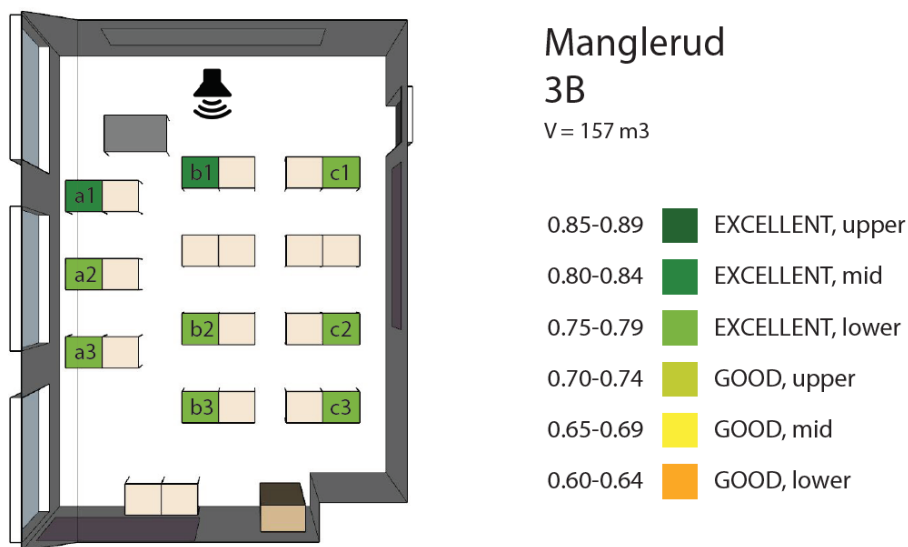
Figur 4-4 Målt etterklangstid i klasserom Spansk på Fagerborg skole.

4.1.3 #3 Manglerud - 3B

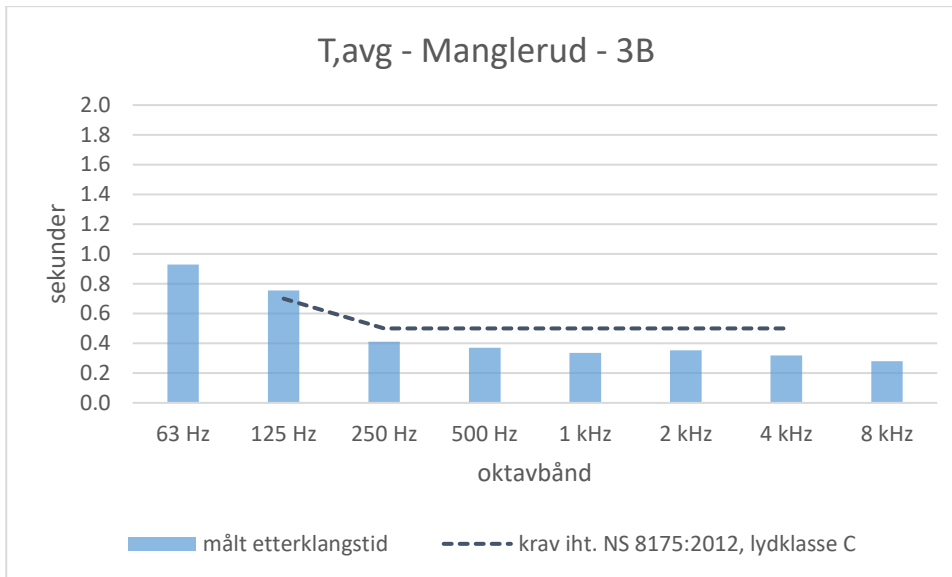
Rommet har normal takhøyde og absorberende lydhimling. Veggabsorbenter av type 40 mm mineralull er montert på bakvegg. En lydabsorberende perforert magnetavle med mineralull bak er hengt på en sidevegg (se Figur 4-5 for romgeometri og møblering). Ventilasjonsanlegget var på under måling, men opplevdes som om den var justert ned etter elevene hadde gått for dagen. En tikkende fastmontert klokke høres godt i bakgrunnen. En dur ble registrert fra utsiden av bygget og kunne høres i klasserommet, selv med vinduene lukket, trolig fra et ventilasjonsaggregat.

Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå i rommet er målt til å være $L_{p,A,T}$ 22 dB, som er innenfor kravet i NS 8175:2012 for lydklasse C med god margin. Det er viktig å bemerke seg at målt støynivå ikke nødvendigvis gjenspeiler en reell brukssituasjon når CO2-måleren registrerer at det er flere personer tilstede i rommet. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.3 s som er godt under kravet til høyeste etterklangstid i henhold til lydklasse C i standarden. Faktisk tilsvarer denne etterklangstiden bedre enn lydklasse A. Figur 4-6 viser et jevnt frekvensforløp for etterklang, med en liten overskridelse i 125 Hz-oktavnbandet. I 63 Hz-oktavnbandet er etterklangstiden dobbel så høy som i de andre oktavnbandene.

Alle STI-verdiene målt i dette klasserommet hører til kategorien "EXCELLENT".



Figur 4-5 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 3B på Manglerud skole.



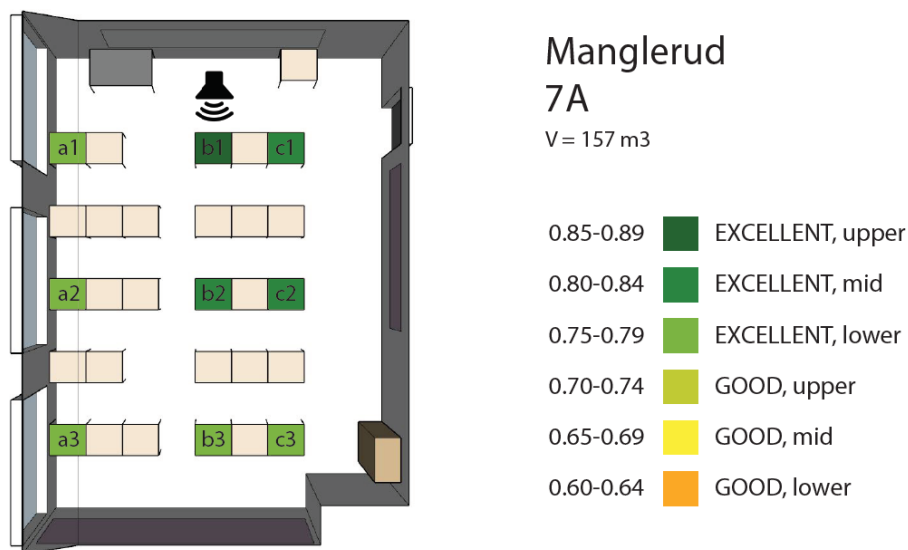
Figur 4-6 Målt etterklangstid i klasserom 3B på Manglerud skole.

4.1.4 #4 Manglerud - 7A

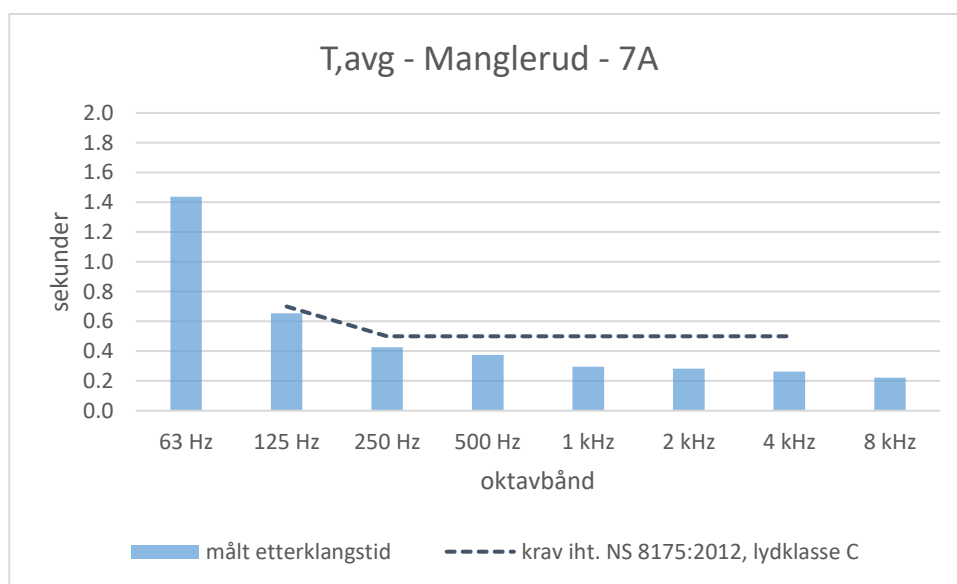
Bortsett fra annerledes orientering av sitteplassene, er dette klasserommet identisk med klasserom #3. Enda større overflater av bakveggen er dekket til med absorbenter (se Figur 4-7).

Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå i rommet er målt til å være $L_{p,A,T}$ 23 dB, som er innenfor kravet i NS 8175:2012 for lydklasse C med god margin. Også i dette rommet var ventilasjonsanlegget på, men på lavt nivå. Målt bakgrunnsstøy gjenspeiler trolig ikke reelt støynivå under en reell situasjon med elever tilstede. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.3 s som tilsvarer bedre enn lydklasse A. Figur 4-8 viser et enda jevnere frekvensforløp for etterklang enn klasserom #3, bortsett fra at 63 Hz-oktavbåndet har tre ganger så høy etterklangstid enn de andre oktavbåndene.

Alle STI-verdiene målt i dette klasserommet hører også til kategorien "EXCELLENT".



Figur 4-7 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 7A på Manglerud skole.



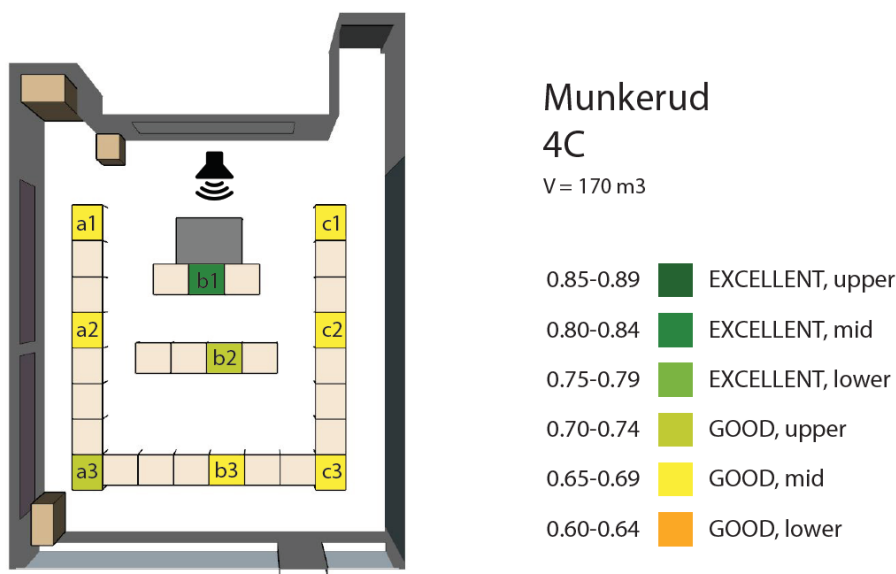
Figur 4-8 Målt etterklangstid i klasserom 7A på Manglerud skole.

4.1.5 #5 Munkerud - 4C

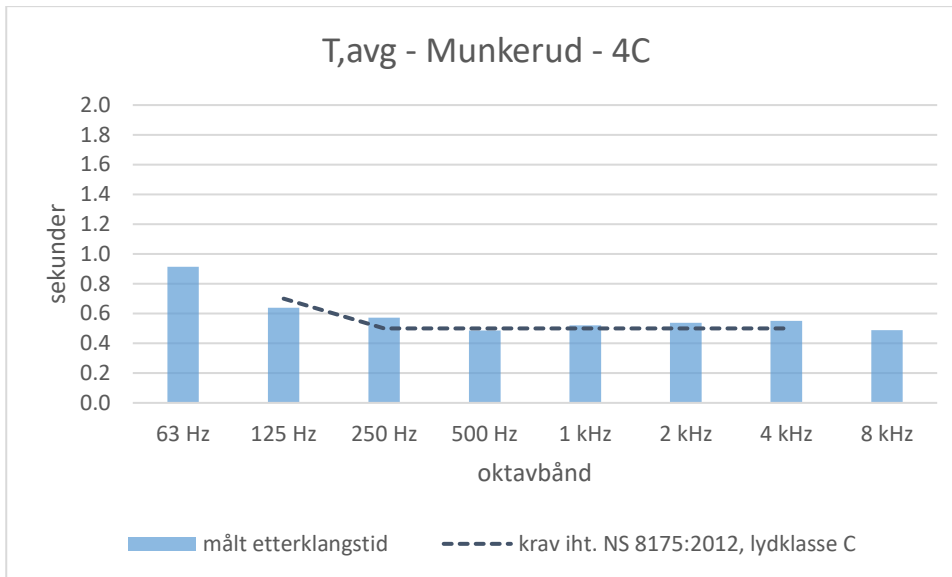
Sitteplassene i dette klasserommet plassert i en hesteskoformasjon med to ekstra rader i midten av hesteskoen (se Figur 4-9). Klasserommet har absorberende lydhimling uten sprang. Bakveggen består for det meste av vindu. Det er absorberende oppslagstavler på sideveggen langs kolonne a, og en skillevegg som kan åpnes mot klasserommet ved siden av langs kolonne c. Ventilasjonsanlegget var stilt inn på et lavt nivå under målingene og er muligens ikke representativ for en reell undervisningssituasjon.

Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå i rommet er målt til å være $L_{p,A,T}$ 22 dB, som er innenfor kravet i NS 8175:2012 for lydklasse C med god margin. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på som er 0.5 s som er kravet til høyeste etterklangstid i henhold til lydklasse C i standard. Figur 4-10 viser et jevnt frekvensforløp for etterklang i rommet. Enkelte frekvensbånd ligger høyere enn anbefalt krav i henhold til lydklasse C i NS 8175:2012. Også her er etterklangstiden i 63 Hz-oktavbåndet dobbel så høy som i de andre oktavbåndene.

Dette klasserommet har kun ett målepunkt i b1 som er "EXCELLENT". Resterende måleposisjoner ligger i kategori "GOOD".



Figur 4-9 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 4C på Munkerud skole.



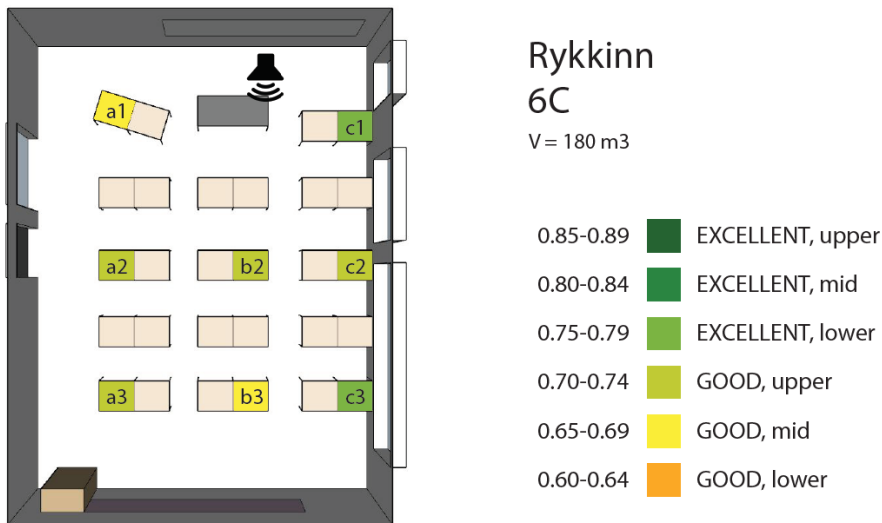
Figur 4-10 Målt etterklangstid i klasserom 4C på Munkerud skole.

4.1.6 #6 Rykkinn - 6C

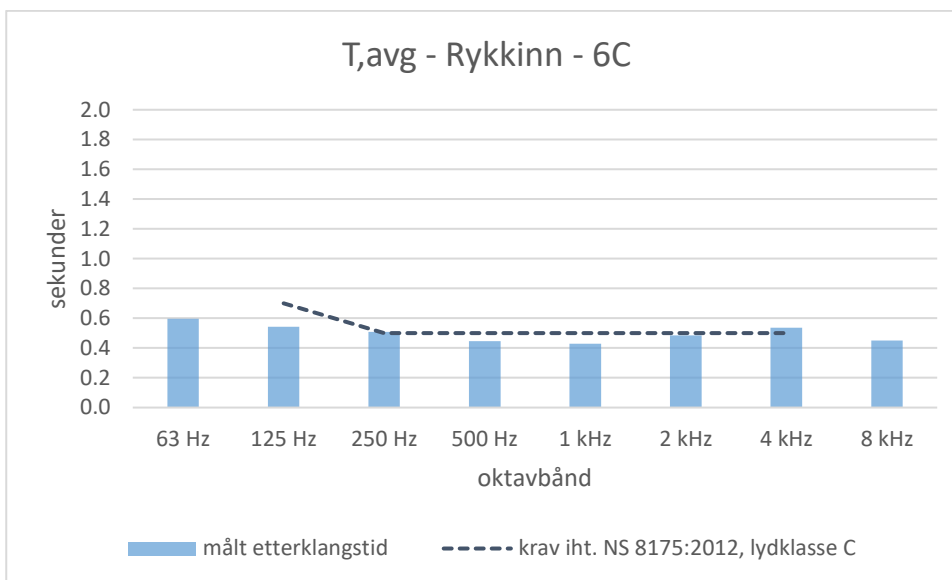
I tillegg til vinduer langs kolonne c, har dette klasserommet også noe glass ut mot korridor langs kolonne a (se Figur 4-11). Det er systemhimling i hele takets areal. Perforert magnettavle med absorberer i bakkant er hengt opp på bakvegg. Ventilasjonsanlegget gikk på lav modus på grunn av fravær av elever i rommet.

Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå i rommet er målt til å være $L_{p,A,T}$ 18 dB, som er langt under kravet i henhold til NS 8175:2012 for lydklasse C, men er trolig ikke representativ for en reell undervisningssituasjon. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.5 s som er kravet til høyeste etterklangstid i henhold til lydklasse C i standard. Figur 4-12 viser et jevnt frekvensforløp for etterklang i rommet. Enkelte frekvensbånd ligger litt høyere enn anbefalt krav i henhold til lydklasse C i NS 8175:2012.

STI-verdiene i dette klasserommet varierer stort fra kategori "GOOD,mid" til "EXCELLLENT,lower" (se Figur 4-11).



Figur 4-11 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 6C på Rykkinn skole.



Figur 4-12 Målt etterklangstid i klasserom 6C på Rykkinn skole.

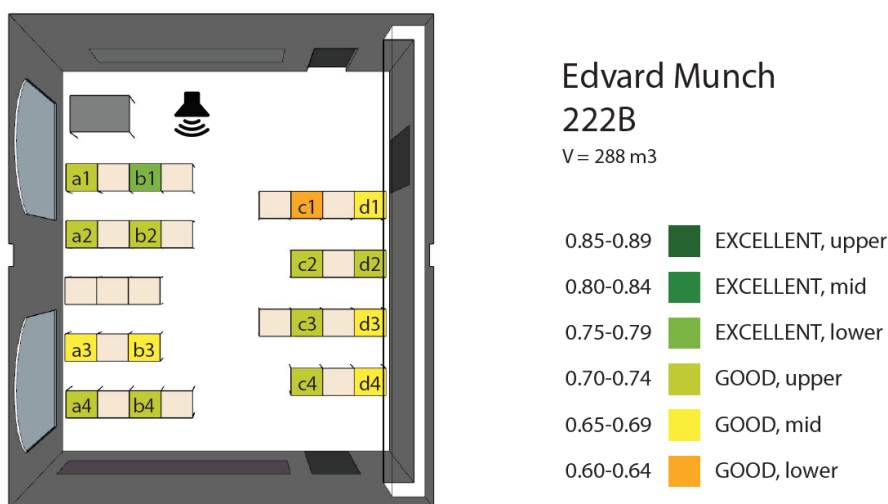
4.1.7 #7 Edvard Munch - 222B

Dette klasserommet har uvanlig høy takhøyde på hele 4.5 m (se romgeometri i Figur 4-13). Ulikt andre klasserom har dette klasserommet ikke systemhimling. Akustikk er omtalt i en presentasjon av rehabiliteringen av Edvard Munch skole i magasinet Arkitektur N. Himlingene i skolen er generelt nedforet og behandlet med akustisk puss slik at himlingen fremstår som den opprinnelige før rehabiliteringen (Arkitektur_N_no.3 2016). Absorbenter er montert på bakvegg. Utendørs støy kan høres godt gjennom de verneverdige vinduene. Det var registrert turbulensstøy fra åpninger langs dørkarmene mellom klasserommene og mellom klasserom og korridor. Flere store tilluftsventiler er

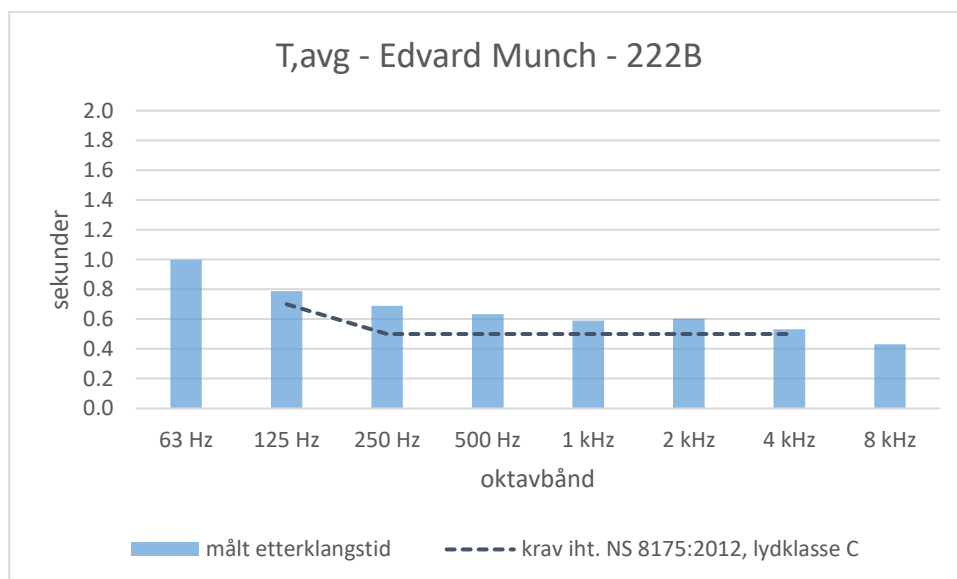
montert på taket. Støy fra ventilasjonsanlegget høres godt i hele klasserommet. I tillegg lekker det inn støy fra klasserommene ved siden av gjennom vaktmesterdørene mellom klasserommene og gjennom døra ut til korridor.

Det ble målt $L_{p,A,T}$ 24 dB i gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå, som er innenfor kravet i henhold til NS 8175:2012 for lydklasse C. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.6 s og overskrider kravet til høyeste etterklangstid i standard med 0.1 s. Etterklangskurven i Figur 4-14 viser at det er overskridelser i alle frekvensbåndene. Etterklangstiden er på 1.0 s i 63 Hz-oktavnbandet.

STI-verdiene i dette rommet ligger rundt "GOOD,upper", med unntak av "EXCELLENT" i b1 nærmest sender, samt c1 som har STI-verdi i kategori "GOOD,lower".



Figur 4-13 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 222B på Edvard Munch skole.



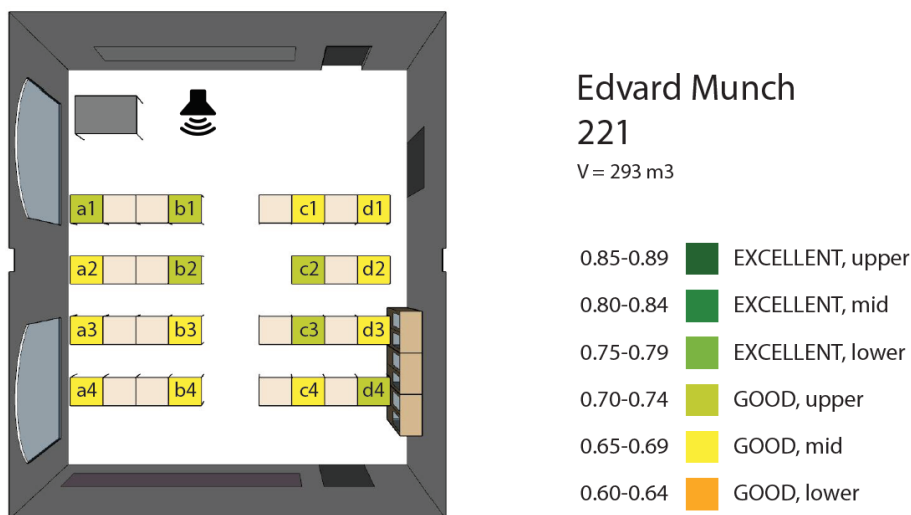
Figur 4-14 Målt etterklangstid i klasserom 222B på Edvard Munch skole.

4.1.8 #8 Edvard Munch - 221

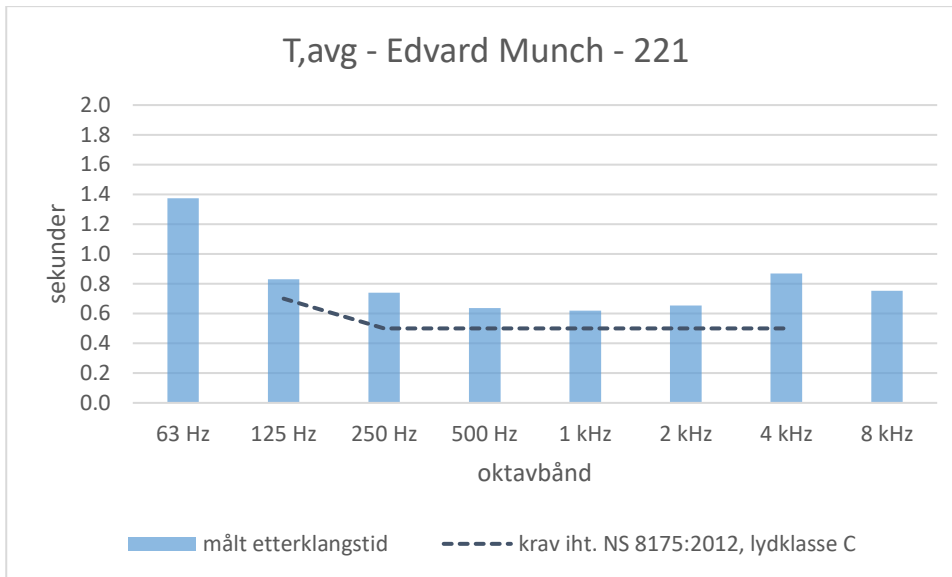
Dette klasserommet er nesten identisk med klasserom #7 i romgeometri (se Figur 4-15). Rommet er klasserommet mellom #7 og et klasserom flere elever ved skolen har beskrevet som "støyende klasserom". Det er i tillegg en stor overstrømningsventil over døren mellom dette klasserommet og det "støyende klasserommet".

Det ble målt $L_{p,A,T}$ 33 dB i gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå, som er 5 dB over anbefalt verdi i henhold til lydklasse C i NS 8175:2012. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på overkant av 0.6 s, omtrent 0.15 s over kravet i standard. Etterklangskurven i Figur 4-16 viser at det er overskridelser i alle frekvensbåndene. Etterklangstiden er på hele 1.4 s i 63 Hz-oktavnbandet.

Figur 4-15 viser at det generelt er lavere STI-verdier i dette klasserommet, sammenliknet med klasserom #7.



Figur 4-15 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 221 på Edvard Munch skole.



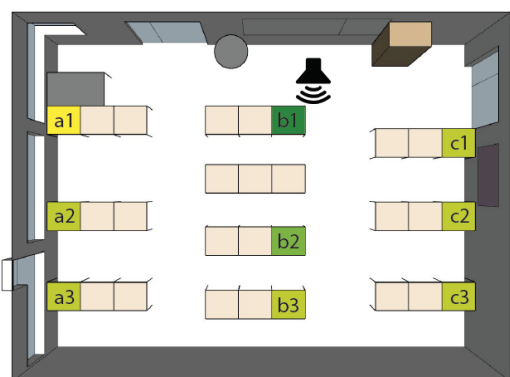
Figur 4-16 Målt etterklangstid i klasserom 221 på Edvard Munch skole.

4.1.9 #9 Stasjonsfjellet - 14

Lærerposisjonen i dette brede rommet er ikke sentrert og heller mot kolonne c (se Figur 4-17). Vegg langs kolonne c er av pusset eksponert betong. Det er hengt opp en absorberende tavle ved c1 og c2. Denne tavlen er den eneste tilsiktede absorbenten utenom systemhimlingen. Ventilasjonsanlegget var på under måling.

Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå i rommet er målt til å være $L_{p,A,T}$ 27 dB, som er innenfor kravet i henhold til NS 8175:2012 for lydklasse C. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.5 s på kravet til høyeste etterklangstid i henhold til lydklasse C i standard. Etterklangskurven i Figur 4-18 viser at enkelte frekvensbånd har overskridelser av kravet i henhold til lydklasse C i NS 8175:2012. Målt etterklangstid i 63 Hz-båndet ligger på 0.9 s.

Målt STI-verdi er vist i Figur 4-17. De fleste måleposisjonene har STI-verdier som ligger innenfor kategori "GOOD,upper".



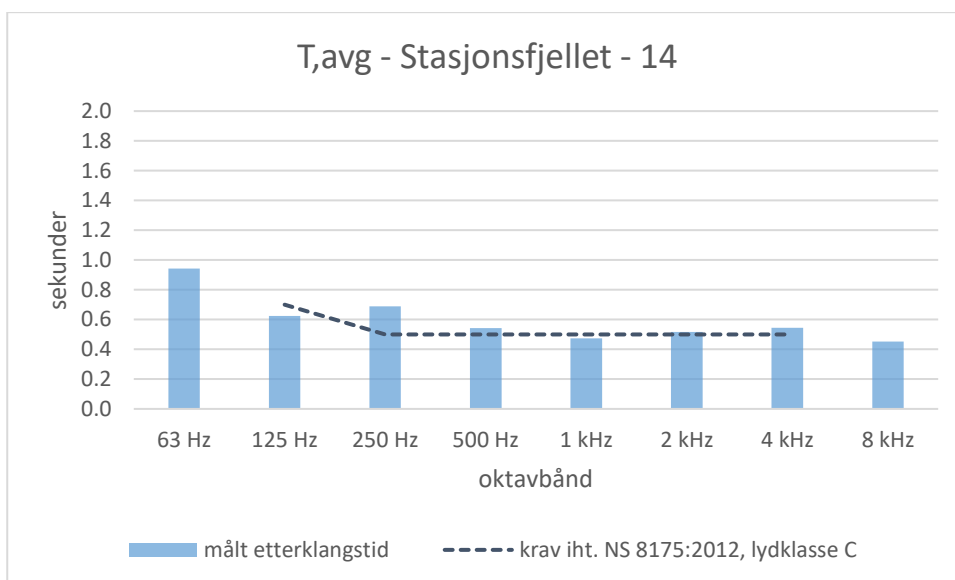
Stasjonsfjellet

14

V = 163 m³

0.85-0.89	EXCELLENT, upper
0.80-0.84	EXCELLENT, mid
0.75-0.79	EXCELLENT, lower
0.70-0.74	GOOD, upper
0.65-0.69	GOOD, mid
0.60-0.64	GOOD, lower

Figur 4-17 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 14 på Stasjonsfjellet skole.



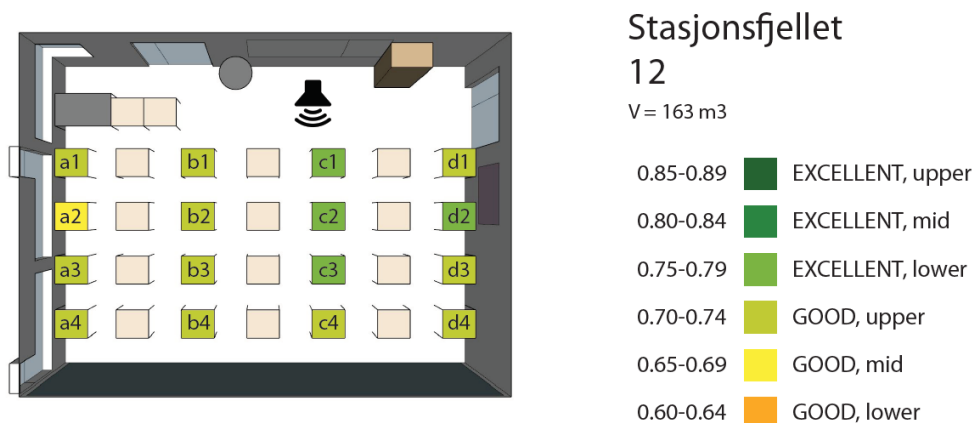
Figur 4-18 Målt etterklangstid i klasserom 14 på Stasjonsfjellet skole.

4.1.10 #10 Stasjonsfjellet - 12

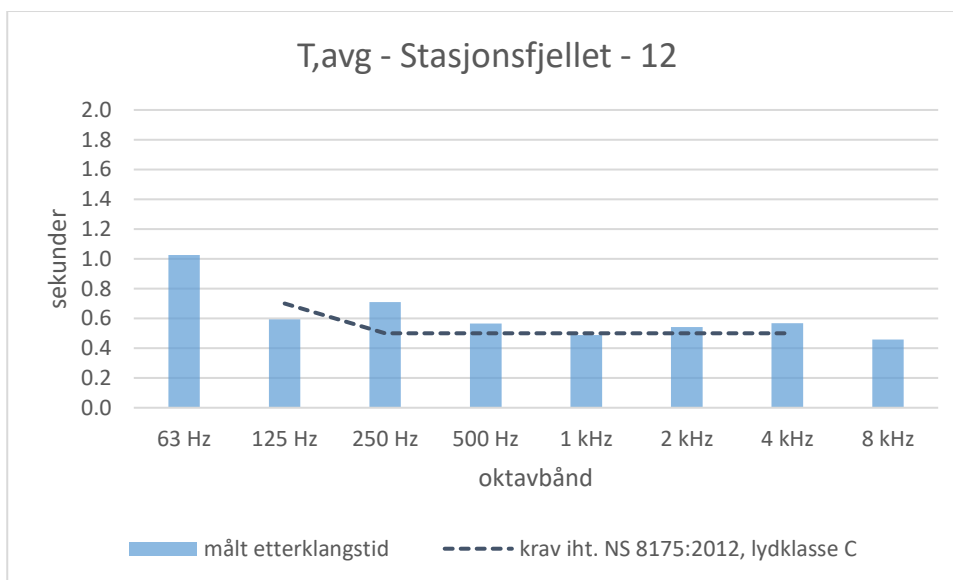
Dette klasserommet er identisk klasserom #9 i volum og generell romgeometri (se Figur 4-19). Det eneste som skiller klasserommene er orientering av elevenes sitteplasser. Elevene sitter individuelt, men tettere og første rad starter lenger unna lærerposisjon. Ventilasjonsanlegget var på under måling, men hadde tydelig blitt redusert til standby-modus grunnet fravær av elever.

Det ble målt $L_{p,A,T}$ 21 dB i gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå, 7 dB lavere enn kravet i standard, men er trolig ikke representativ for en reell brukssituasjon. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.5 s. Etterklangskurven i Figur 4-20 viser at det er noe overskridelser i enkelte frekvensbåndene, samt høy etterklangstid i 63 Hz-båndet.

Figur 4-19 viser et STI-forløp tilsvarende klasserom #9.



Figur 4-19 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 12 på Stasjonsfjellet skole.



Figur 4-20 Målt etterklangstid i klasserom 12 på Stasjonsfjellet skole.

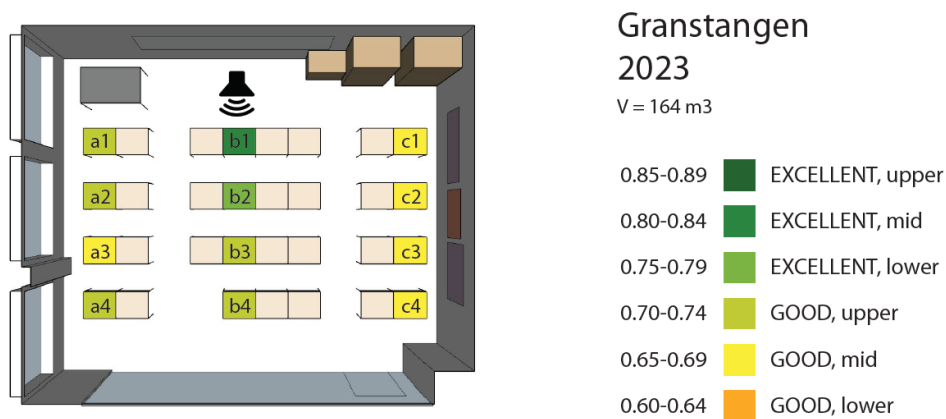
4.1.11 #11 Granstangen - 2023

Rommet har generelt mye glass, både en hel sidevegg og hele bakveggen er av glass (se Figur 4-21). I tillegg til en lydsabsorberende himling er det plassert to absorberende tavler på en av sideveggene. Mellom de to absorberende tavlene er det også en reflekterende glassflate. Det er usikkert om det er et bevisst akustisk valg. Ventilasjonsanlegget var på normal modus, men kan høres godt i klasserommene. Støyen fra ventilasjonsanlegget bærer preg av "vindkast"-karakteristikk.

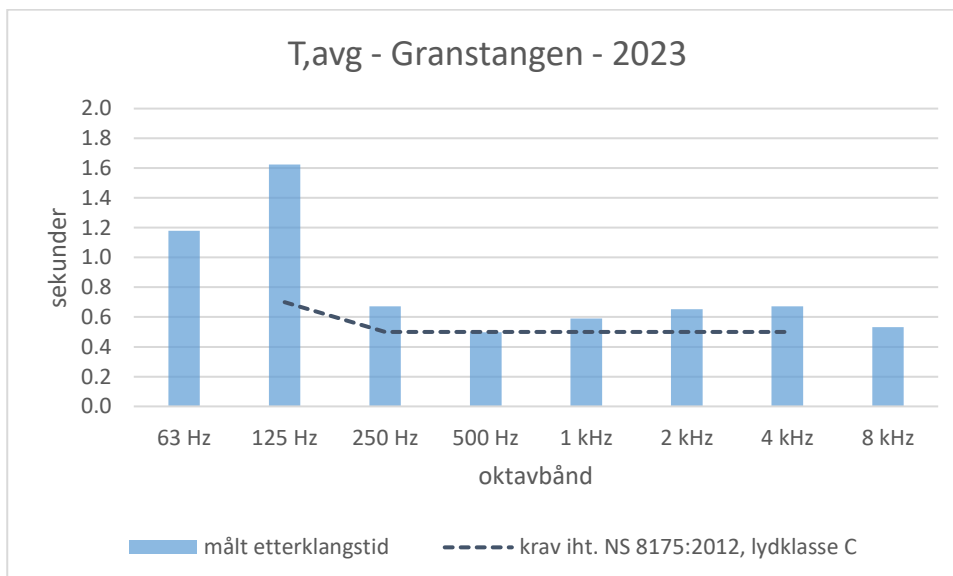
Det ble målt $L_{p,A,T}$ 30 dB i gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå, 2 dB høyere enn kravet i standard. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.6 s. Etterklangskurven i

Figur 4-22 viser at det er generelt overskridelser i de enkelte frekvensbåndene, spesielt i 63-125 Hz-oktavnbandene.

Figur 4-21 viser målt STI-verdier i dette klasserommet. STI-verdiene varierer mellom "EXCELLENT,mid" til "GOOD,mid". Flere av måleposisjonene har STI-verdier i kategori "GOOD,mid".



Figur 4-21 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 2023 på Granstangen skole.



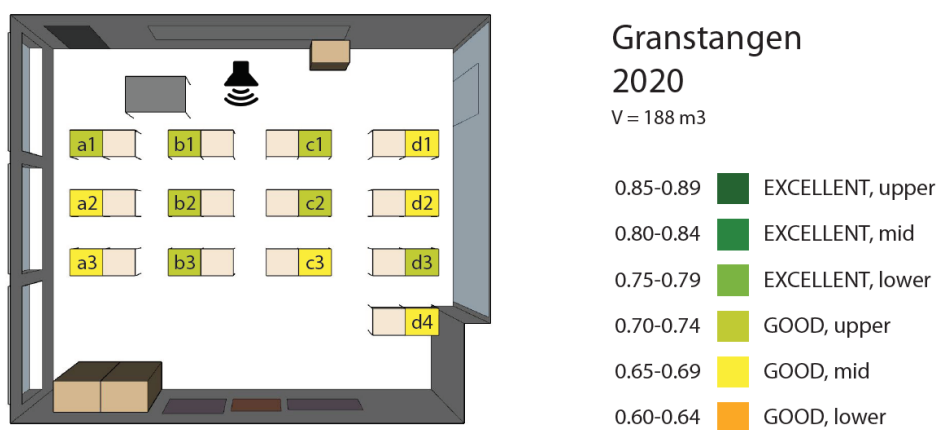
Figur 4-22 Målt etterklangstid i klasserom 2023 på Granstangen skole.

4.1.12 #12 Granstangen - 2020

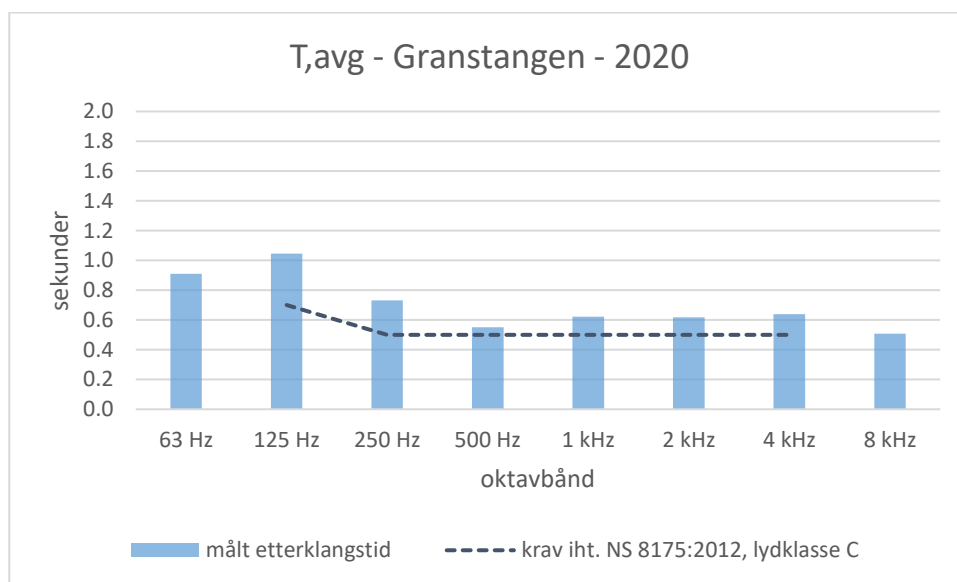
I dette klasserommet er absorbentene tilsvarende de i klasserom #11 plassert på bakveggen (se Figur 4-23). Begge kortsidene av klasserommet er dekket av glass. Lærerposisjonen er plassert midt på en langvegg.

Ventilasjonsanlegget var gått over på en lav modus under måling. Målt gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå på $L_{p,A,T}$ 19 dB bekrefter dette. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.6 s, som er 0.1 s høyere enn anbefalt etterklangstid i henhold til lydklasse C i standard. Etterklangskurven i Figur 4-24 viser at det også er overskridelser i enkelte frekvensbånd, inkludert høy etterklangstid i 63 Hz-båndet.

STI-verdiene i dette klasserommet varierer stort sett mellom "GOOD,mid" til "GOOD,upper" (se Figur 4-23).



Figur 4-23 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 2020 på Granstangen skole.



Figur 4-24 Målt etterklangstid i klasserom 2020 på Granstangen skole.

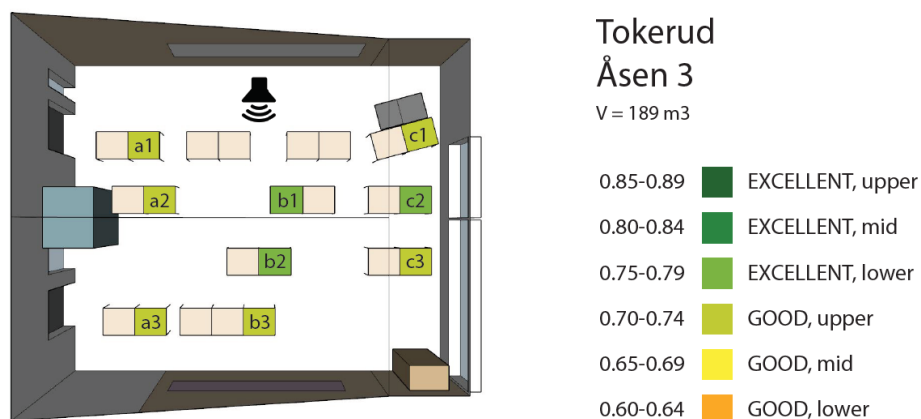
4.1.13 #13 Tokerud - Åsen 3

Klasserommets lydhimling har et lite flatt parti ved vinduene med takhøyde 2.5 m (se Figur 4-25). Resterende del av lydhimlingen er skrånet mot korridor hvor høyeste punkt

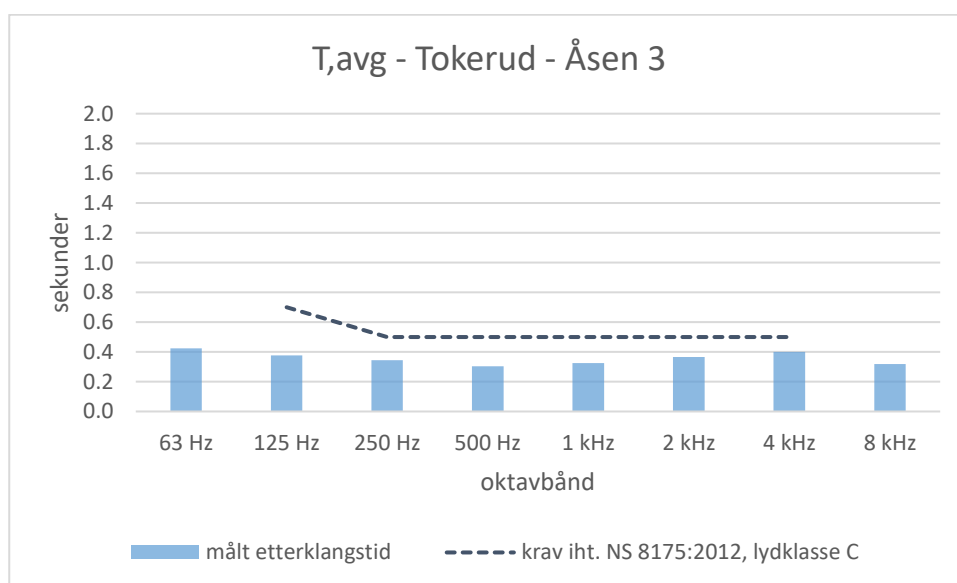
er målt til 4.3 m. Rommet har en foldevegg i midten som ikke er i bruk. Opphengsskjørtet til foldeveggen skiller klasserommets himling i to på midten fra høyde 2.5 m og oppover mot himling. Hele tavleveggen og ca. 80% av bakveggen består av perforert MDF-plater med absorbenter på bakkant. Empirien tilsier at dette klasserommet er ment som to mindre klasserom/grupperom. På bakveggen er det også hengt opp en lydabsorberende oppslagstavle. Ventilasjonsanlegget var på under måling.

Det ble målt $L_{p,A,T}$ 25 dB i gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå, som er 3 dB lavere enn kravet i standard. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.4 s, som tilsvarer lydklasse A i NS 8175:2012. Figur 4-26 viser et jevnt etterklangsforløp uten overskridelser.

Figur 4-25 viser at STI-verdiene i dette rommet ligger i kategori "GOOD,upper" eller høyere.



Figur 4-25 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom Åsen 3 på Tokerud skole.



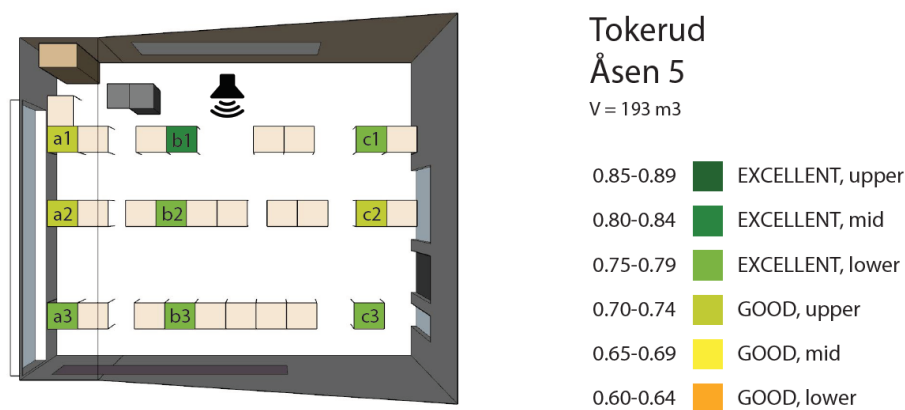
Figur 4-26 Målt etterklangstid i klasserom Åsen 3 på Tokerud skole.

4.1.14 #14 Tokerud - Åsen 5

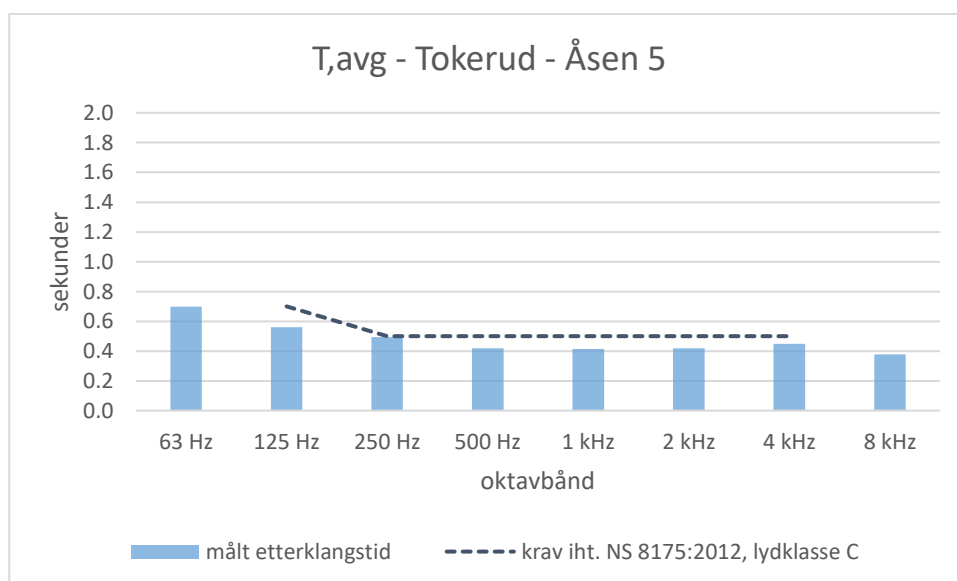
Dette klasserommet har tilsvarende skrå himling som i klasserom #15. Perforert MDF-vegg med absorbenter er på tavlesiden av klasserommet (se Figur 4-27). På bakveggen er det hengt opp en lydabsorberende oppslagstavle. Ut fra prinsippet for absorberende bakvegg tyder det på at tavlen muligens er plassert på feil sidevegg.

Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå i rommet er målt til å være $L_{p,A,T}$ 27 dB, som er innenfor kravet i henhold til NS 8175:2012 for lydklasse C. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.4 s, som tilsvarer lydklasse A i standard. Figur 4-28 viser et jevnt etterklingsforløp uten overskridelser.

En stor andel av de målte posisjonene har STI-verdi innenfor kategori "EXCELLENT".



Figur 4-27 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom Åsen 5 på Tokerud skole.



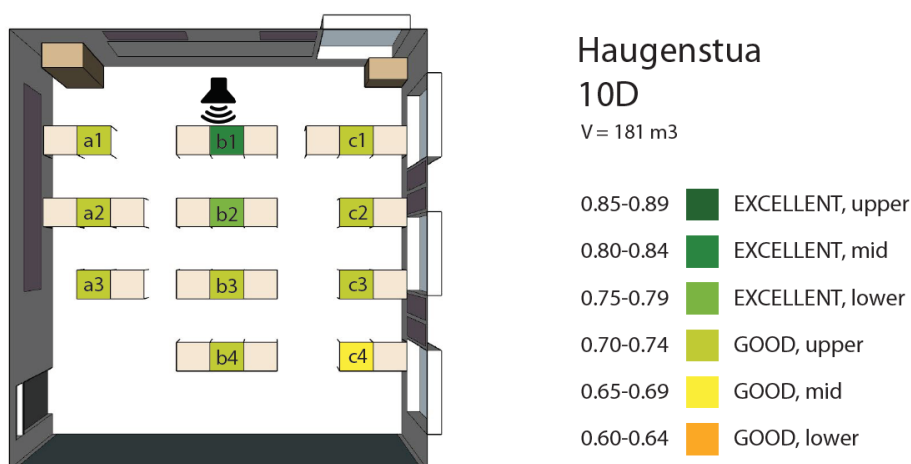
Figur 4-28 Målt etterklangstid i klasserom Åsen 5 på Tokerud skole.

4.1.15 #15 Haugenstua - 10D

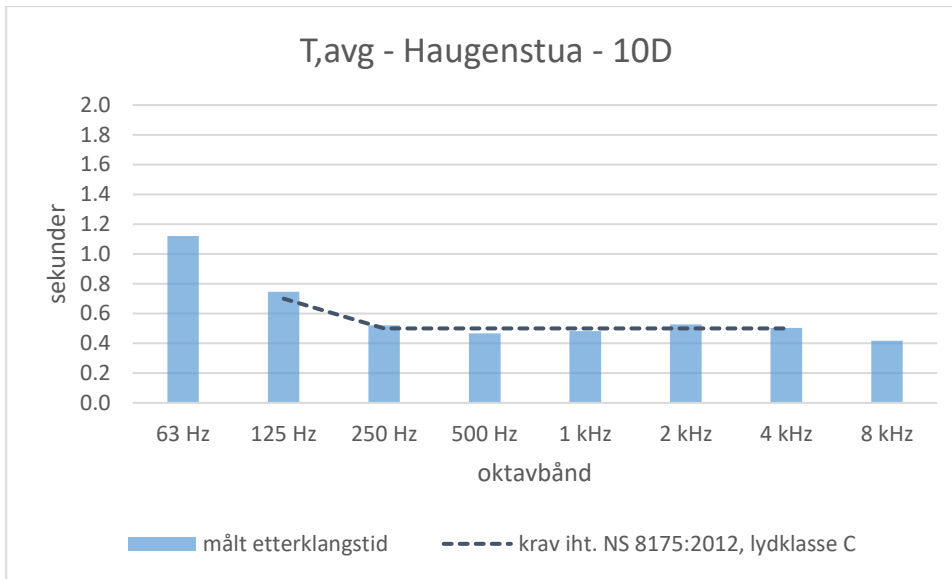
Det er generelt mye veggabsorbenter i dette kvadratiske klasserommet. Absorbentene er limt på veggflater mellom vinduene og under høyttalerne over tavlen. Hele bakveggen består av foldevegg. I tillegg til lydabsorberende himling er det hengt opp en lydabsorberende oppslagstavle på sideveggen langs kolonne a (se Figur 4-29). Det ble registrert høyfrekvent lyd fra uviss kilde i klasserommet.

Ventilasjonsanlegget var på en lav modus under måling. Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå på er målt til $L_{p,A,T}$ 19 dB. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.5 s, på kravet til anbefalt etterklangstid i henhold til lydklasse C i standard. Etterklangskurven i Figur 4-30 viser at det er små overskridelser i enkelte frekvensbånd. I 63 Hz-oktavnbandet er etterklangstiden oppe i 1.1 s.

Figur 4-31 viser at de fleste STI-verdiene ligger innenfor kategori "GOOD,upper".



Figur 4-29 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 10D på Haugenstua skole.



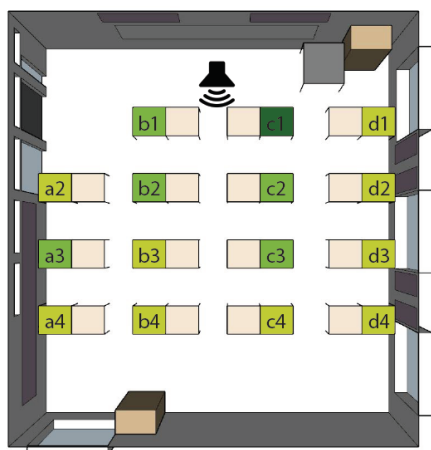
Figur 4-30 Målt etterklangstid i klasserom 10D på Haugenstua skole.

4.1.16 #16 Haugenstua - 10C

I likhet med klasserom #15 er det også limt på en god del veggabsorbenter mellom vindusarealene og under høyttalerne over tavlen. Det er derimot ingen absorberende tavler på bakveggen selv om det tilsynelatende er rom for det (se Figur 4-31). En lydabsorberende tavle er i stedet plassert på en sidevegg. Rommet har standard heldekkende systemhimling. Klasserommet bærer også preg av den samme hørfrekvente lyden registrert i klasserom #15. I tillegg kan utendørs trafikk høres gjennom lukkede vinduer.

Det ble målt $L_{p,A,T}$ 19 dB i gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå, som er 9 dB lavere enn kravet i standard. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.4 s. Figur 4-32 viser et jevnt etterklangsforløp uten overskridelser. Her er etterklangstiden i 63 Hz-båndet lavere, men likevel på drøye 0.9 s.

STI-verdiene i dette klasserommet er generelt høye. Omtrent halvparten av de målte posisjonene ligger innenfor kategori "EXCELLENT".



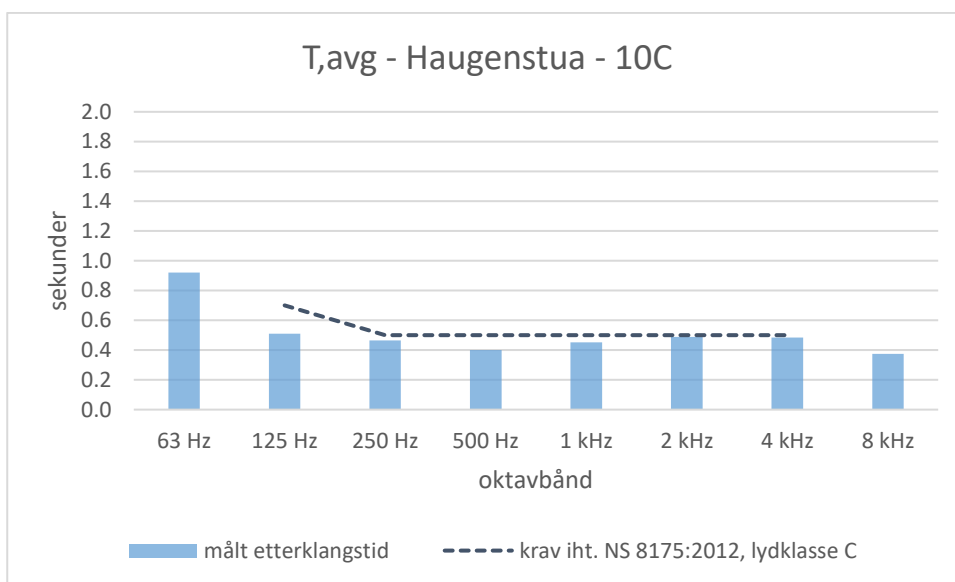
Haugenstua

10C

V = 182 m³

0.85-0.89	EXCELLENT, upper
0.80-0.84	EXCELLENT, mid
0.75-0.79	EXCELLENT, lower
0.70-0.74	GOOD, upper
0.65-0.69	GOOD, mid
0.60-0.64	GOOD, lower

Figur 4-31 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 10C på Haugenstua skole.



Figur 4-32 Målt etterklangstid i klasserom 10C på Haugenstua skole.

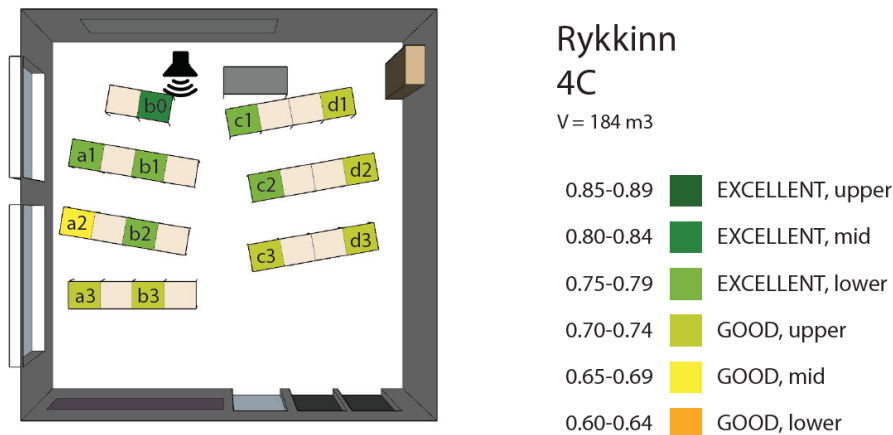
4.1.17 #17 Rykkinn - 4C

Lærerposisjonen i dette klasserommet er plassert mot kolonne a og b i klasserommet, nærmere vindusradene (se Figur 4-33). Bakveggen består av noe en lydabsorberende perforert oppslagstavle, et glassfelt og to dører. Det er standard heldekkende lydhimling i klasserommet.

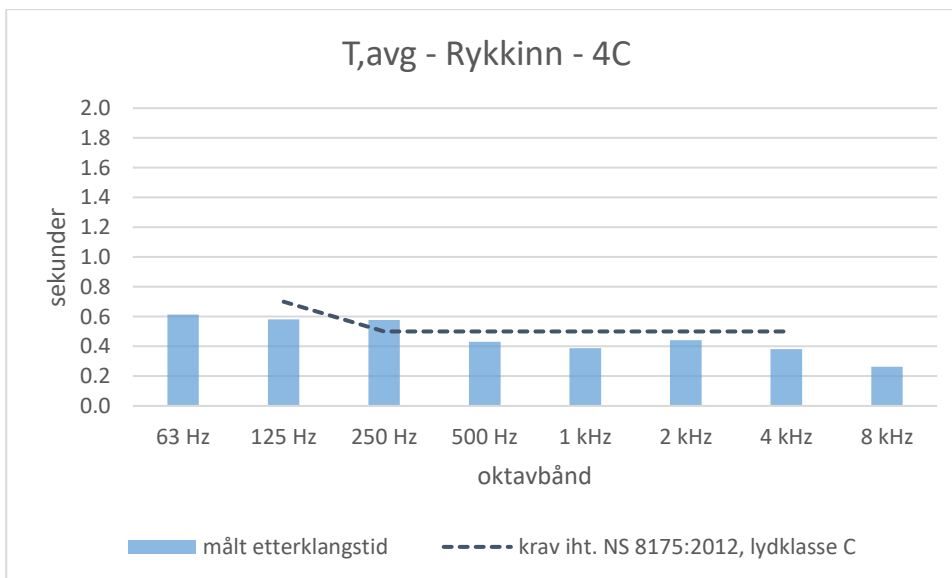
Ventilasjonsanlegget var på en lav modus under måling. Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå på er målt til $L_{p,A,T}$ 16 dB. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.4 s, lavere enn kravet til anbefalt etterklangstid i henhold til lydklasse C i

standard. Etterklangskurven i Figur 4-30 viser at det er en liten overskridelse i 250 Hz-frekvensbåndet.

Omtrent 50% av måleposisjonene ligger i kategori "EXCELLENT".



Figur 4-33 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 4C på Rykkinn skole.



Figur 4-34 Målt etterklangstid i klasserom 4C på Rykkinn skole.

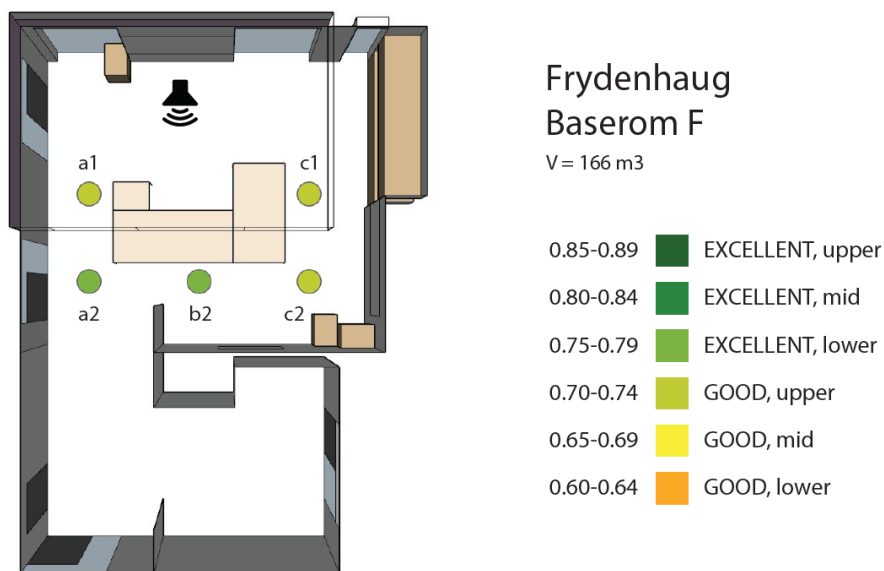
4.1.18 #18 Frydenhaug - Baserom F

Dette rommet er utenom den klassiske romgeometrien (se Figur 4-35). Rommet er tilpasset rullestolbrukere og er ment for 5-10 elever. Undervisningsaktivitetene foregår rundt en liten hesteskoformasjon. I tillegg til normalt klasseromsutstyr er det et tekjøkken i samme rom. En del kontorer og grupperom har inngang fra klasserommet. I bakre del av undervisningssonen er også et omkleddningsareal med dør som lukker igjen denne

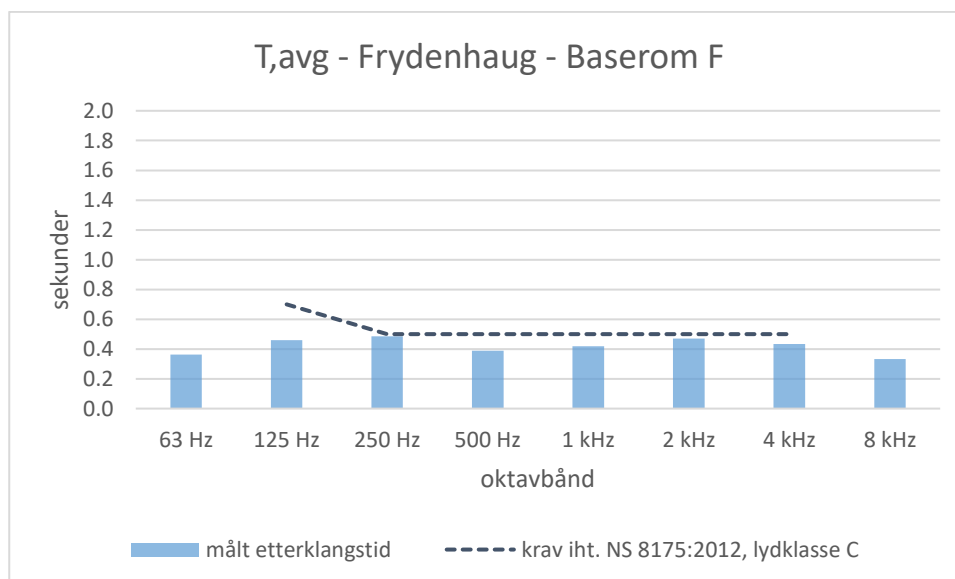
avdelingen. Himlingen er forhøyet over deler av undervisningssonen der betongen er eksponert av bygningsfysiske hensyn. I overgangsskjørtene er det limt på absorberter for å redusere refleksjoner. Resten av himlingen består av lydabsorberende systemhimling.

Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå i rommet er målt til å være $L_{p,A,T}$ 21 dB, som er 7 dB lavere enn kravet i henhold til NS 8175:2012 for lydklasse C. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.4 s, lavere enn kravet i henhold til lydklasse C i standard. Figur 4-35 viser et jevnt etterklangsforløp uten overskridelser.

Målt STI-verdier i undervisningsarealet ligger rundt kategori "GOOD,upper" og "EXCELLENT,lower".



Figur 4-35 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i Baserom F på Frydenhaug skole.



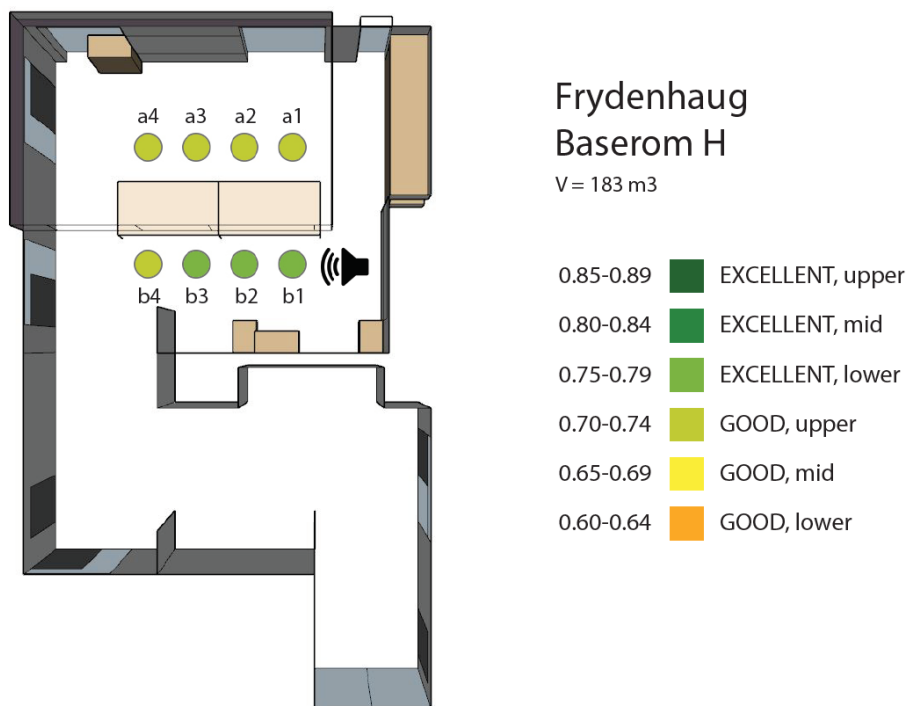
Figur 4-36 Målt etterklangstid i Baserom F på Frydenhaug skole.

4.1.19 #19 Frydenhaug - Baserom H

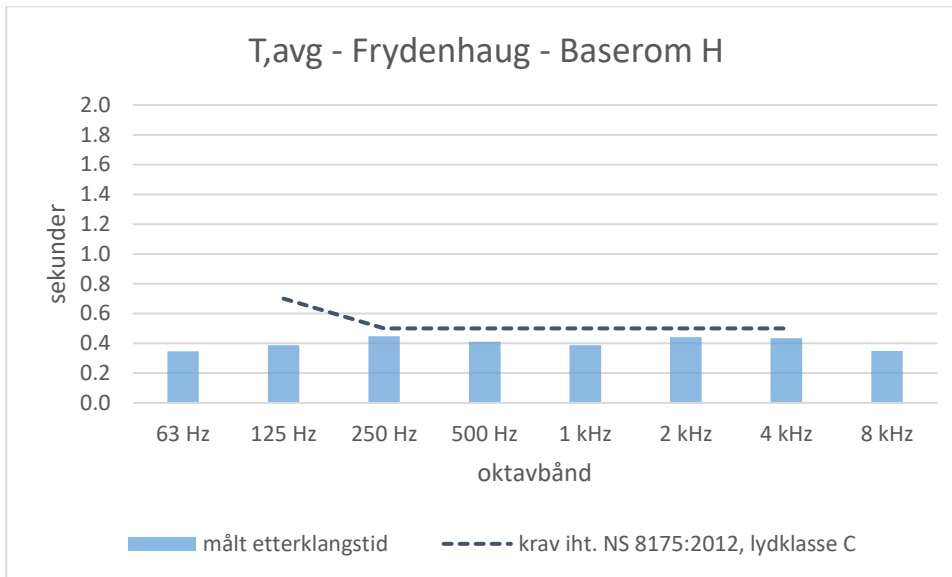
I dette klasserommet bærer bordene preg av møteromstil (se Figur 4-37). Lærerposisjonen har nå flyttet seg til siden og heller mest mot kolonne b. Himlingen har sprang tilsvarende Baserom F med eksponert betong og absorbenter på skjørtene. Møbleringen er ellers identisk som i Baserom F. Resten av himlingen er av typen standard systemhimling. Undervisningssonen er like stor som i Baserom F, mens omkleddingssonen har fått større areal.

Det ble målt samme bakgrunnsstøynivå og etterklangstid som i Baserom F, henholdsvis $L_{p,A,T}$ 21 dB i gjennomsnittlig bakgrunnsstøy og 0.4 s i gjennomsnittlig etterklangstid. Figur 4-38 viser et jevnt etterklangsforløp uten overskridelser. Rommet er spesielt dempet i det lave frekvensregisteret.

Figur 4-37 viser at STI-verdiene også ligger innenfor samme kategori som i Baserom F.



Figur 4-37 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i Baserom H på Frydenhaug skole.



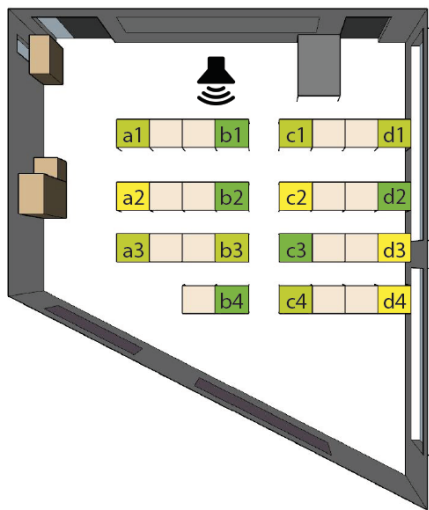
Figur 4-38 Målt etterklangstid i Baserom H på Frydenhaug skole.

4.1.20 #20 Munkerud - 4A

Dette klasserommet er det eneste som er målt av sin type. Rommet har skrå bakvegg med lydabsorberende oppslagstavler (se Figur 4-39). Himlingen består av lydabsorberende systemhimling.

Ventilasjonsanlegget var på. Gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå på er målt til $L_{p,A,T}$ 26 dB som er 2 dB lavere kravet i standard. Gjennomsnittlig etterklangstid i rommet ligger på 0.5 s. Etterklangskurven i Figur 4-40 viser en noe ujevn frekvensgang med overskridelser i det høye frekvensregisteret.

Figur 4-39 viser at STI-verdiene er lite forutsigbare i dette klasserommet.

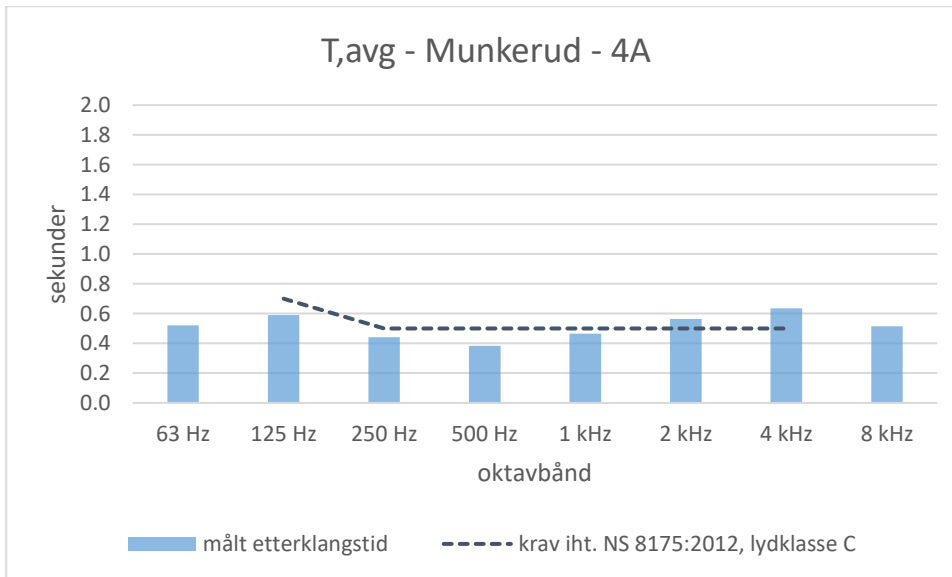


Munkerud 4A

V = 163 m³

- 0.85-0.89 ■ EXCELLENT, upper
- 0.80-0.84 ■ EXCELLENT, mid
- 0.75-0.79 ■ EXCELLENT, lower
- 0.70-0.74 ■ GOOD, upper
- 0.65-0.69 ■ GOOD, mid
- 0.60-0.64 ■ GOOD, lower

Figur 4-39 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 4A på Munkerud skole.



Figur 4-40 Målt etterklangstid i klasserom 4A på Munkerud skole.

4.2 Hovedfunn

En av hypotesene er at det er en sammenheng mellom taletydelighet og romform. I dette kapitlet presenteres først sammenhengene funnet i de ulike romformene. En sammenlikning mellom taletydelighet, bakgrunnsstøy og etterklang blir presentert i slutten av dette kapitlet.

Under brainstorming ble det opprettet en omfattende liste over alle parametere som mistenkes å ha en effekt på taletydeligheten i klasserom. Det ble derfor gjort en "top-down"-tilnærming for å få finne de mest signifikante faktorene. Klasserommene i hver hovedtype ble først samlet, deretter ble det tatt et gjennomsnitt av alle a1, a2, a3 osv.-posisjonene i samtlige klasserom for hver romform for å lage et fiktivt representativt klasserom. For hvert fiktivt klasserom ble det laget to typer grafer:

- STI-verdier med hensyn til endring per kolonne, fra a til d
- STI-verdier med hensyn til endring per rad, fra 1 til 4

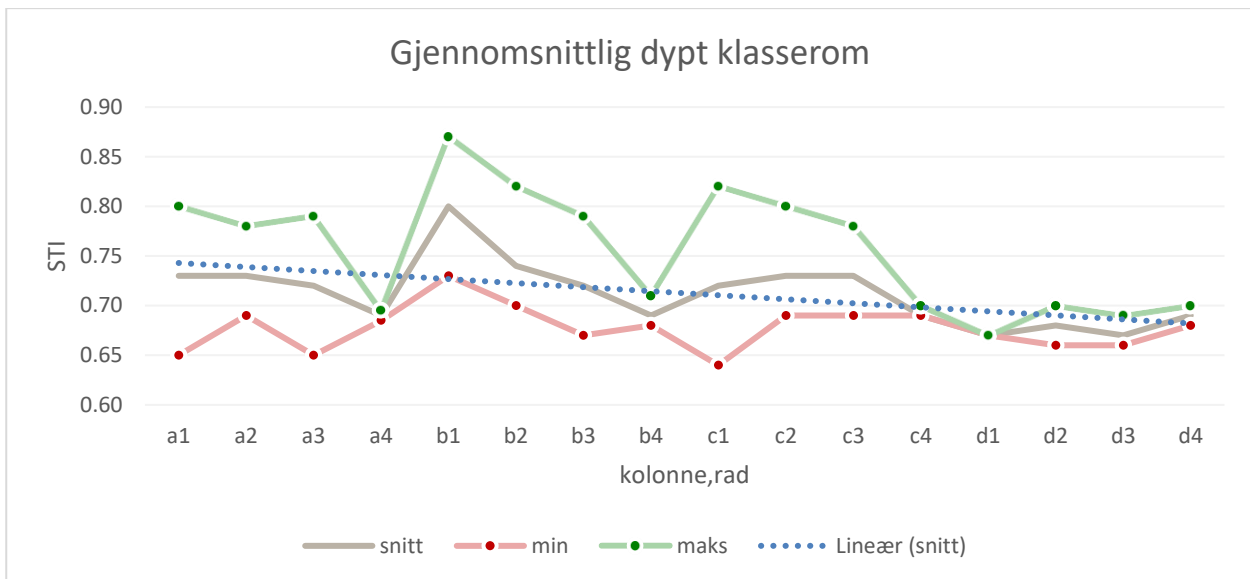
På grafene er det vist maksimum- og minimumsverdiene av STI målt ved de samme posisjonene i klasserommene i hver type romform. I tillegg vises gjennomsnittsverdiene av STI og trenden for endringene. Det bemerkes at resultatene kun gjelder radene og kolonnene for de utvalgte målepunktene i rommet og dekker ikke alle rader og kolonner i de ulike klasserommene.

4.2.1 Gjennomsnittlig dypt klasserom

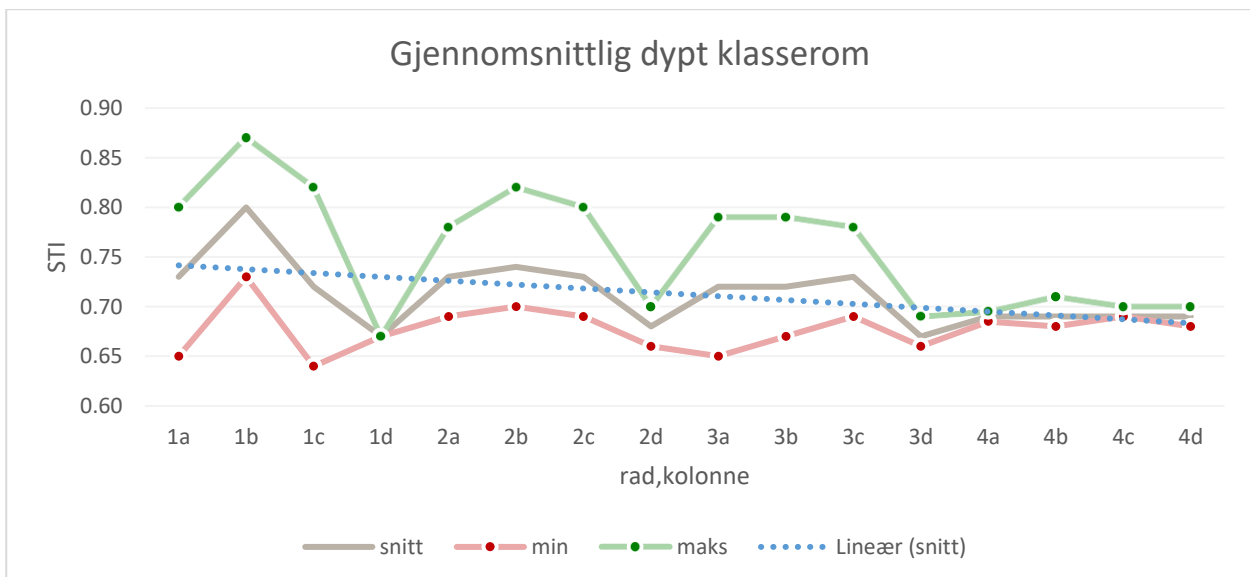
STI-forløpet per kolonne i et gjennomsnittlig dypt klasserom er vist i Figur 4-41. Grafen viser at STI-verdiene i de midtre kolonnene er høyere enn i de ytre kolonnene.

Figur 4-42 viser endring i STI fra første til bakerste rad i et gjennomsnittlig dypt klasserom. Denne grafen viser tydelig at STI-verdiene er høyest ved første rad og avtar bakover i klasserommet.

Ut ifra målte dype klasserom, vil man i et gitt dypt klasserom kunne forvente en gjennomsnittlig STI-verdi på rundt 0.71.



Figur 4-41 STI-forløp fra kolonne a til kolonne d i et gjennomsnittlig dypt klasserom.



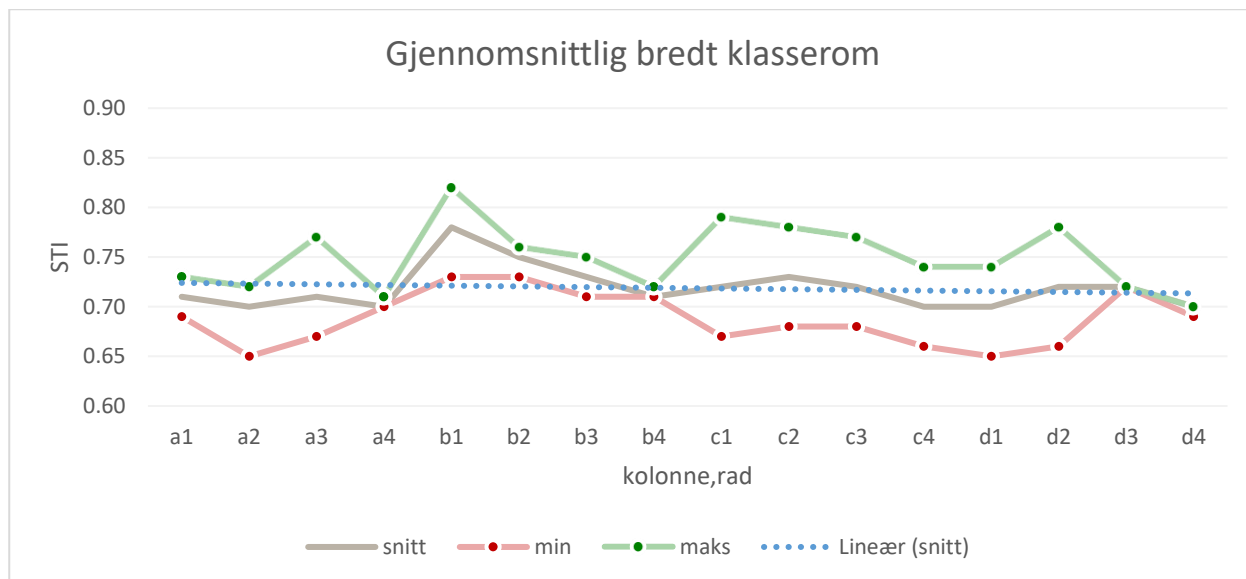
Figur 4-42 STI-forløp fra første rad til siste rad i et gjennomsnittlig dypt klasserom.

4.2.2 Gjennomsnittlig bredt klasserom

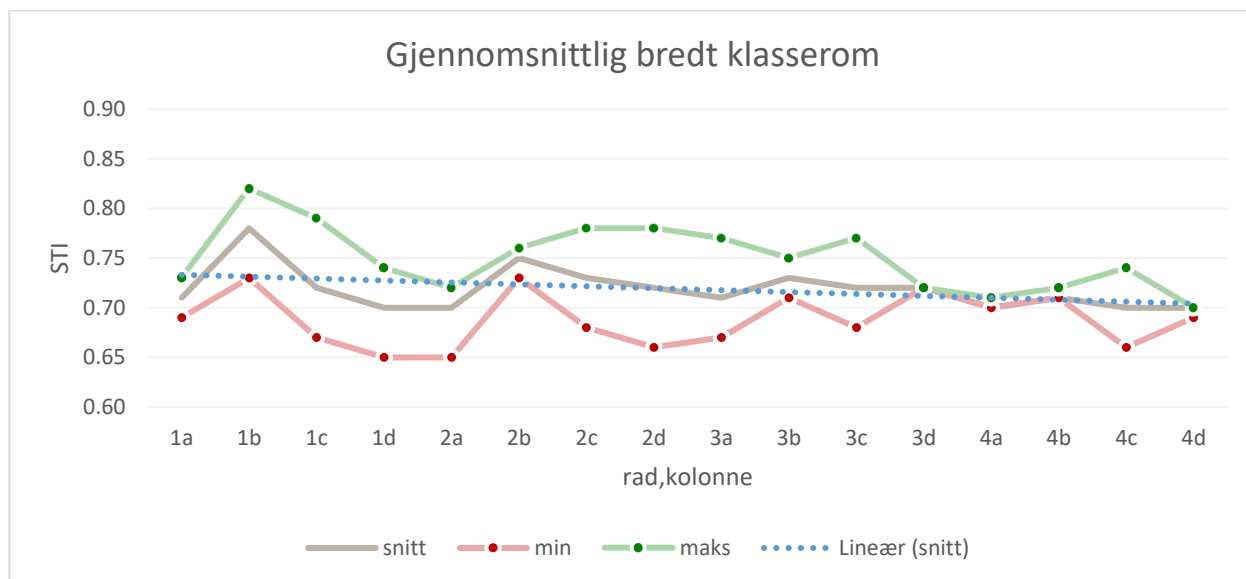
STI-forløpet per kolonne i et gjennomsnittlig bredt klasserom er vist i Figur 4-43. Grafen viser at STI-verdiene i kolonne b, som ofte er kolonnen foran sender, ligger jevnt over gjennomsnittet, mens det er større variasjoner på de andre kolonnene.

Figur 4-44 viser endring i STI fra første til bakerste rad i et gjennomsnittlig bredt klasserom. Denne grafen viser at STI-verdiene er høyest ved første rad og avtar bakover i klasserommet.

Ut ifra målte brede klasserom vil man i et gitt bredt klasserom kunne forvente en gjennomsnittlig STI-verdi på rundt 0.72.



Figur 4-43 STI-forløp fra kolonne a til kolonne d i et gjennomsnittlig bredt klasserom.



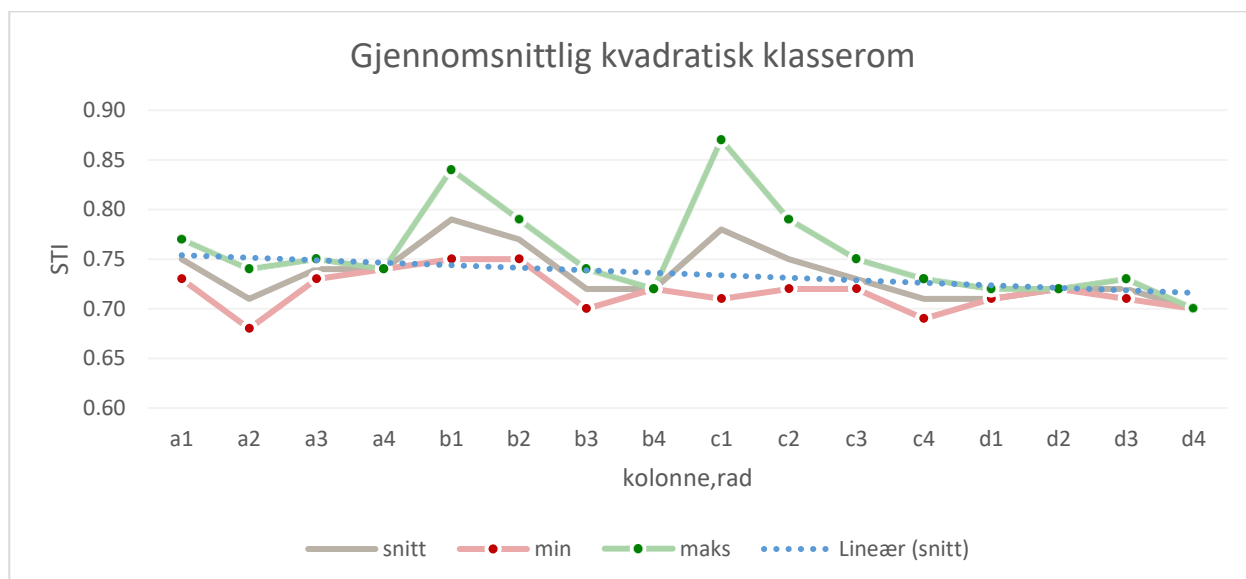
Figur 4-44 STI-forløp fra første rad til siste rad i et gjennomsnittlig bredt klasserom.

4.2.3 Gjennomsnittlig kvadratisk klasserom

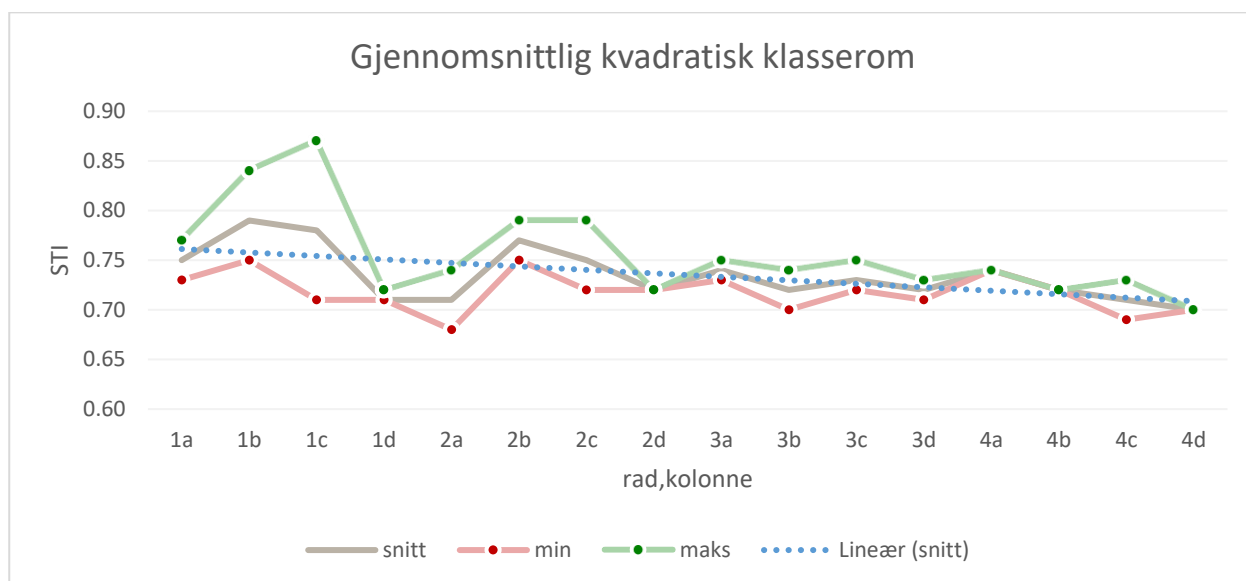
STI-forløpet per kolonne i et gjennomsnittlig kvadratisk klasserom er vist i Figur 4-45. Grafen viser at STI-verdiene er høyest i kolonne b og c, som er kolonnene foran sender.

Figur 4-46 viser endring i STI fra første til bakerste rad i et gjennomsnittlig kvadratisk klasserom. Denne grafen viser at STI-verdiene er høyest ved første rad og avtar bakover i klasserommet.

Ut ifra målte kvadratiske klasserom, vil man i et gitt kvadratisk klasserom kunne forvente en gjennomsnittlig STI-verdi på rundt 0.74.



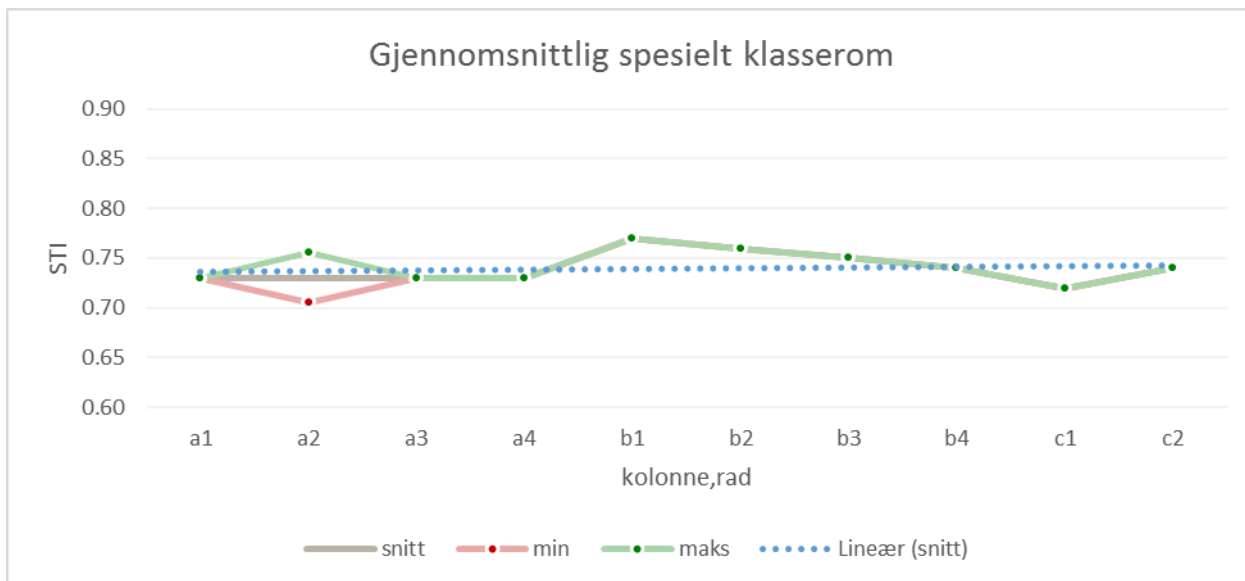
Figur 4-45 STI-forløp fra kolonne a til kolonne d i et gjennomsnittlig kvadratisk klasserom.



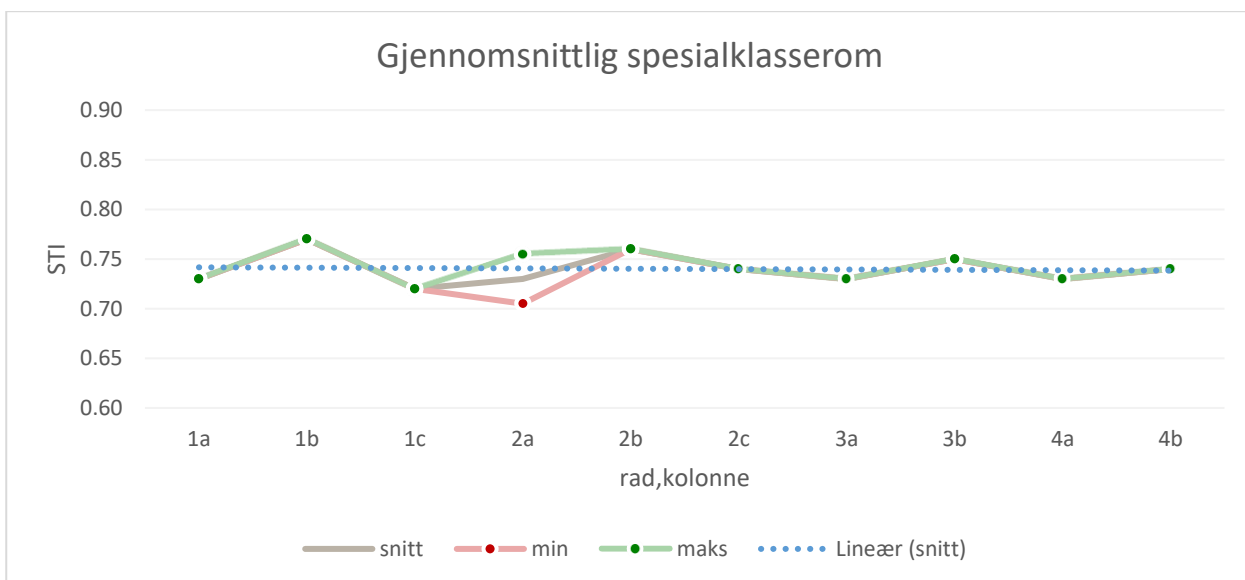
Figur 4-46 STI-forløp fra første rad til siste rad i et gjennomsnittlig kvadratisk klasserom.

4.2.4 Gjennomsnittlig spesialklasserom

STI-forløpet per kolonne og per rad i et gjennomsnittlig spesialklasserom er vist i Figur 4-47 og Figur 4-48. Utvalget av målte spesialklasserom er enda mindre; kun 2 rom. Det bemerkes at det finnes spesialklasserom med andre former i virkeligheten. Forholdene presentert i dette kapittelet gjelder kun forskjellene mellom de to målte spesialklasserommene.



Figur 4-47 STI-forløp fra kolonne a til kolonne d i et gjennomsnittlig spesialklasserom.



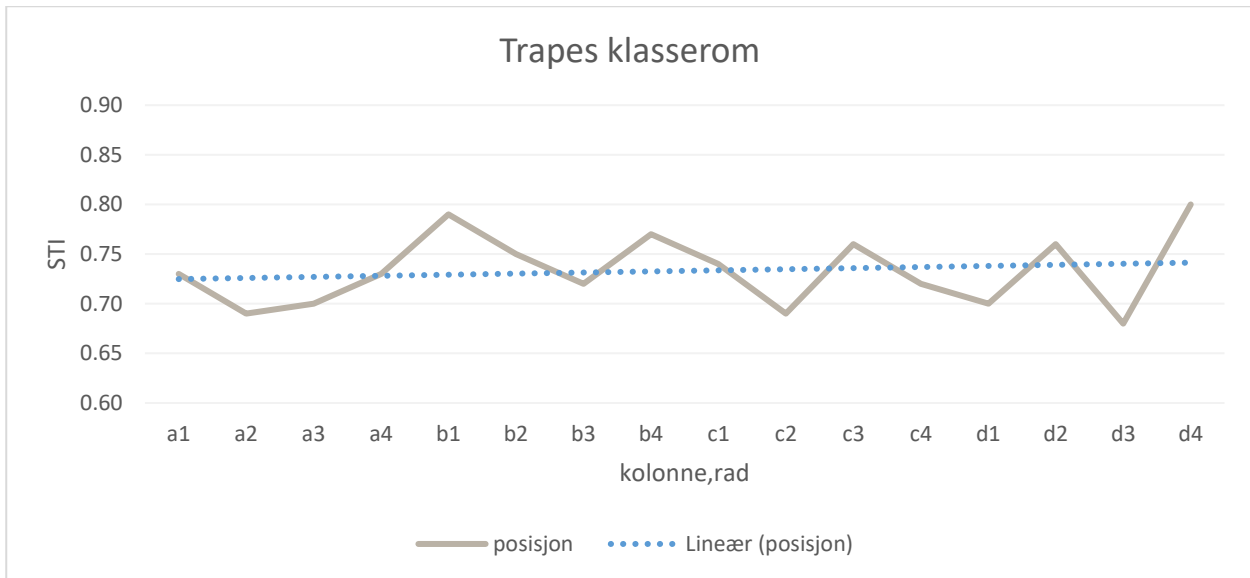
Figur 4-48 STI-forløp fra første rad til siste rad i et gjennomsnittlig spesialklasserom.

4.2.5 Trapez klasserom

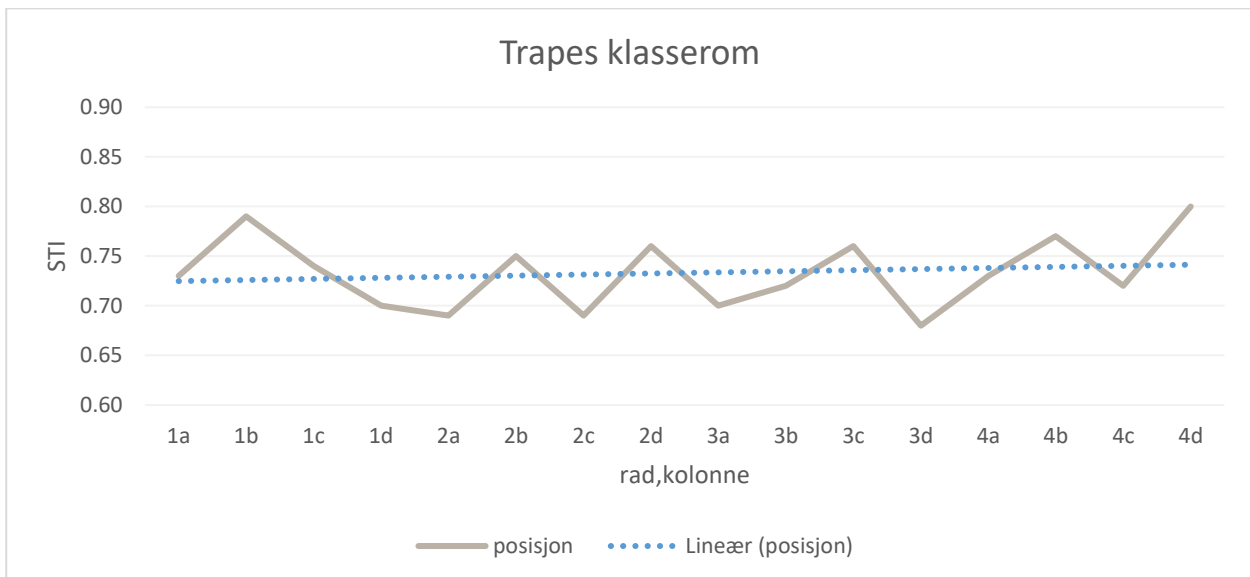
Siden dette er det eneste klasserommet med denne romformen vises derfor kun resultatene og tendensen for dette ene klasserommet.

Figur 4-49 viser at kolonne d nær sideveggen med vinduer ser ut til å ha bedre STI-verdier enn kolonne a. Motsatt ser vi i de bakerste radene i Figur 4-50. Grafene viser også at taletydighet-tendensen øker mot kolonne d, vindusrekka, og også en slak økning i STI-verdier mot bakerste rad.

Ut ifra målte posisjoner i dette klasserommet vil man i et liknende trapes klasserom kunne forvente en gjennomsnittlig STI-verdi på rundt 0.73.



Figur 4-49 STI-forløp fra kolonne a til kolonne d i et gjennomsnittlig trapes klasserom.



Figur 4-50 STI-forløp fra første rad til siste rad i et gjennomsnittlig trapes klasserom.

4.2.6 Taletydighet vs. romform oppsummert

Ut ifra de fiktive gjennomsnittsklasserommene presentert ovenfor, som er basert på målingene gjort i de ulike klasserommene av sitt slag, kan vi se noen tendenser. Tabell 4-2 viser et sammendrag av taletydighet versus romform presentert i kapitlene ovenfor. I tabellen er det vist forventet gjennomsnittlig STI-verdi i de ulike romformene, samt gjennomsnittlig differanse mellom høyeste og laveste STI-verdier. Spesialklasserom og trapes klasserom ble ikke tatt med i betraktningen av differansen grunnet for få målte rom. Tabellen viser også hvilken STI-kategori vi kan forvente i liknende klasserom.

Tabell 4-2 Taletydighet vs. romform oppsummert fra høyest til lavest STI-verdier, samt gjennomsnittlig differanse av høyeste og laveste STI-verdier.

Type gj. fiktivt klasserom	Forventet gj. STI-verdi	Differanse maks./min. STI	STI-kategori
Kvadratisk	0.74	0.04	GOOD,upper
Spesial	0.74	N/A	GOOD,upper
Trapez	0.73	N/A	GOOD,upper
Bredt	0.72	0.06	GOOD,upper
Dypt	0.71	0.08	GOOD,upper

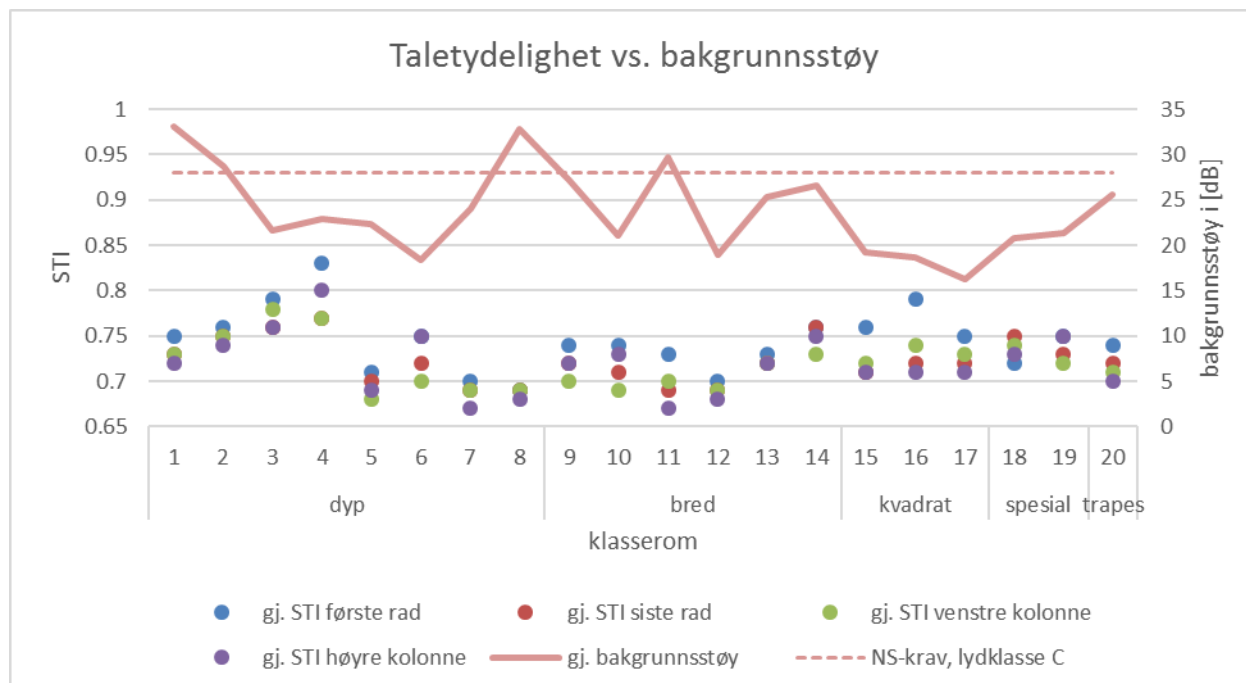
Ved å studere grafene for endring i STI-verdier per kolonne/rad vist ovenfor, finner vi fire ekstremiteter som er verdt å ta hensyn til:

- Gjennomsnittlig STI-verdi i kolonne a
- Gjennomsnittlig STI-verdi i kolonne d
- Gjennomsnittlig STI-verdi i første rad
- Gjennomsnittlig STI-verdi i siste rad

I kapitlene under er disse ekstremitetene fra hvert klasserom vist i en kombinert graf, hvor målt bakgrunnsstøy/etterklang og øvre grenseverdi for bakgrunnsstøy/etterklang også er vist i den samme grafen. I x-aksen er alle klasserommene listet opp med deres respektive utdelte numre og hovedtype romform. Ekstremitetene for hvert klasserom er vist som punkter hvor STI-verdiene kan leses av i venstre y-akse. Målt bakgrunnsstøy/etterklang og krav i henhold til NS 8175:2012 lydklasse C kan leses av i høyre y-akse. Enkelte av punktene kan ligge oppå hverandre grunnet sammenfallende STI-verdier.

4.2.7 Taletydighet vs. bakgrunnsstøy

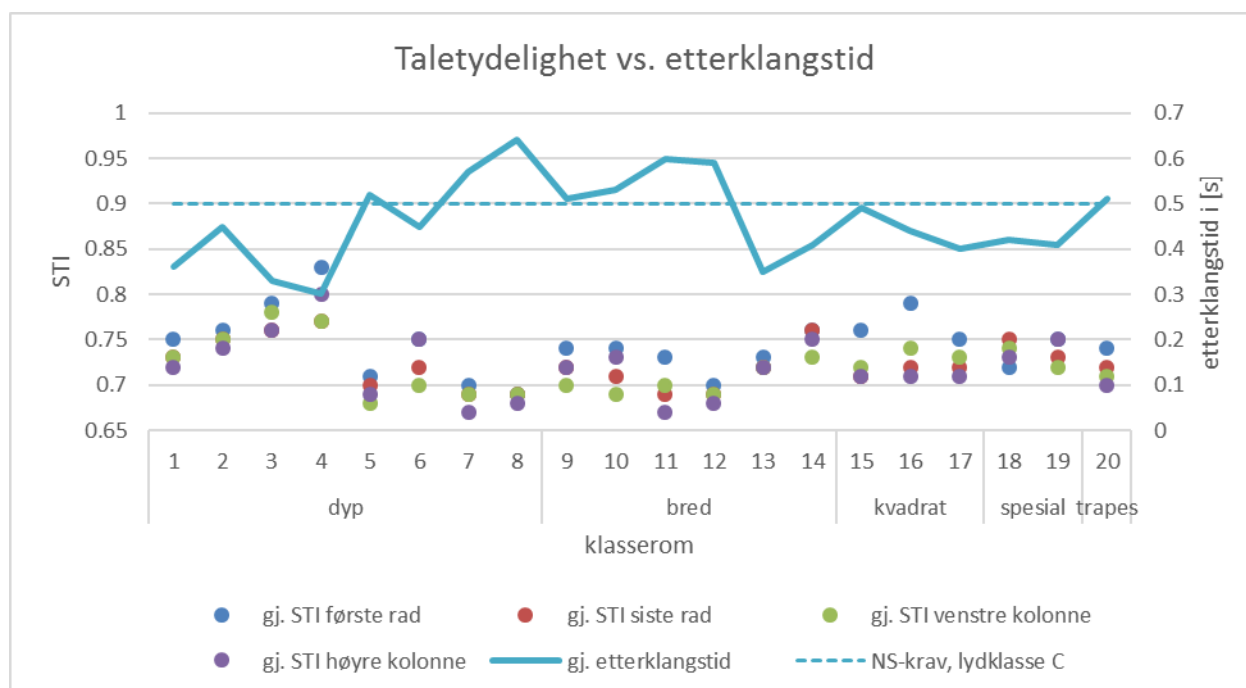
Figur 4-51 viser målt STI-verdier versus målt bakgrunnsstøynivå $L_{p,A,T}$ i de 20 befarte klasserommene.



Figur 4-51 Målt STI-verdier vs. målt bakgrunnsstøynivå $L_{p,A,T}$ i de 20 befarte klasserommene. Klasserommene er listet etter størrelse på volum, fra minst til størst for hver romform.

4.2.8 Taletydighet vs. etterklangstid

Figur 4-52 viser målt STI-verdier versus målt etterklangstid.

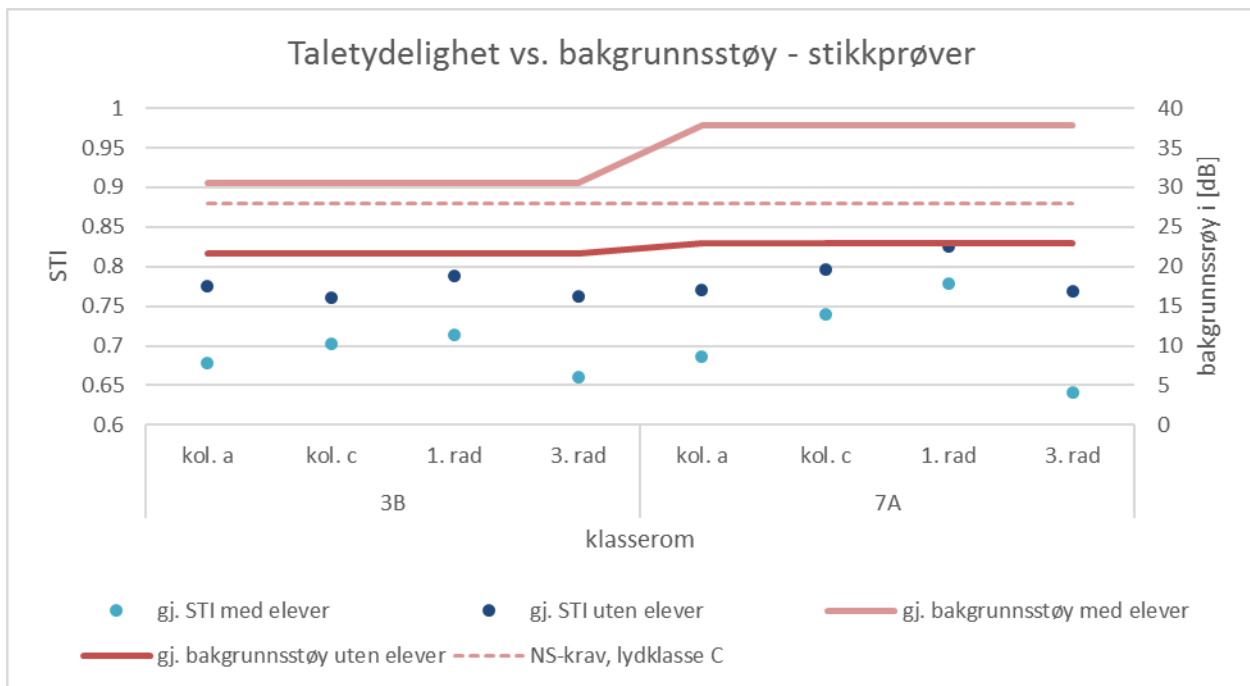


Figur 4-52 Målt STI-verdier vs. målt etterklangsnivå i de 20 befarte klasserommene. Klasserommene er listet etter størrelse på volum, fra minst til størst for hver romform.

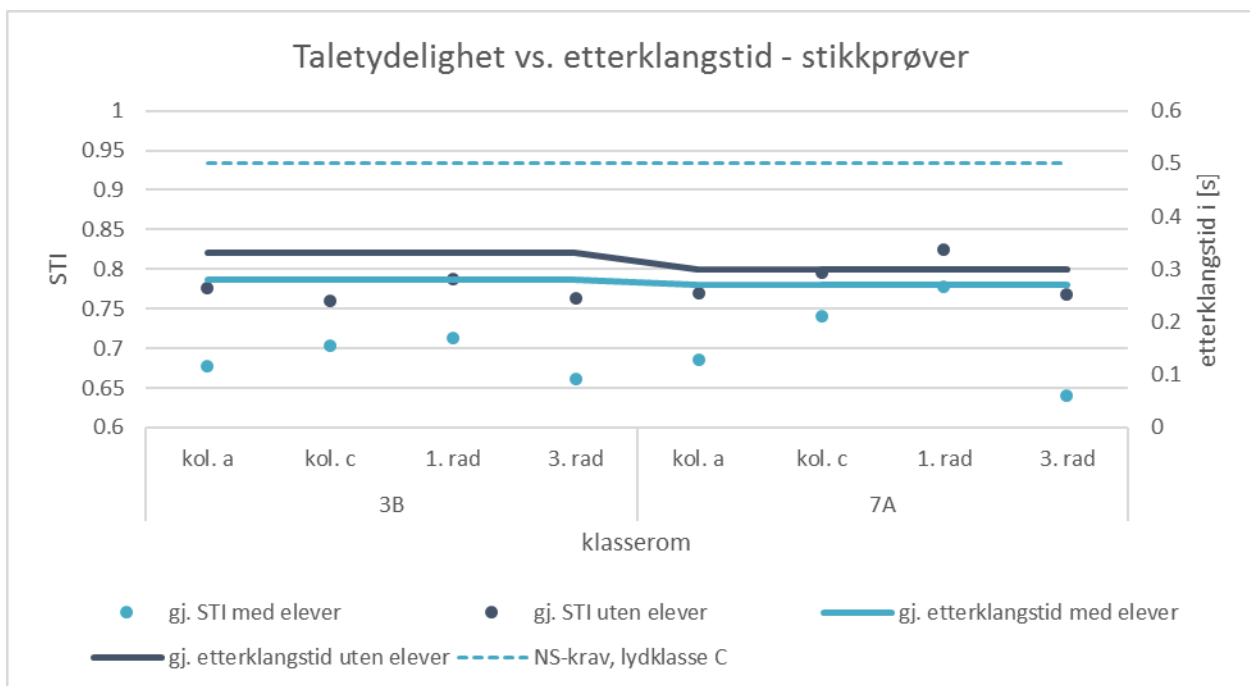
4.3 Stikkprøve

Av praktiske grunner og for å kontrollere flest mulige variabler ble klasserommene i første omgang målt uten elever på kveldstid. Dette gir høyest indre validitet og er i samsvar med hvilke forhold akustiker har dimensjonert etter. For å få en pekepinn på hvor stor grad disse målingene lar seg oversette til en realistisk setting med ytre validitet, ble det foretatt en stikkprøve på hvert av klasserommene på Manglerud på dagtid med elever tilstede. Dette var de to klasserommene med jevnt over høyest målte STI-verdier og ble derfor valgt ut som en egnet lokasjon for stikkprøvene. I klasserom 3B var 21 av 22 elever tilstede, mens i klasserom 7A var det 21 av 28 elever tilstede. I klasserom 7A ble det observert høyt støynivå fra ventilasjonsanlegget, samt støy fra bevegelig væske i vannrør.

Figur 4-53 og Figur 4-54 viser differansen mellom målt STI-verdier versus målt bakgrunnsstøy og etterklangstid i en situasjon med og uten elever. STI-verdiene ble målt lavere i begge rommene så fort det var elever tilstede. Dette til tross lavere etterklangstid. Måleverdiene for STI med elever varierer i stor grad parallelt med tilsvarende målepunkter uten elever. For detaljert differanse i STI-verdier på de ulike måleposisjonene, se Vedlegg.



Figur 4-53 Differanse mellom målt STI-verdier vs. målt bakgrunnsstøynivå, med og uten elever i de to klasserommene det ble utført stikkprøver. Klasserommene er listet etter størrelse på volum, fra minst til størst.



Figur 4-54 Differanse mellom målt STI-verdier vs. målt etterklangstid, med og uten elever i de to klasserommene det ble utført stikkprøver. Klasserommene er listet etter størrelse på volum, fra minst til størst.

5 Diskusjon

Forskningsspørsmålene var som følger:

- Hvor høy taletydighet kan man forvente i klasserom prosjektert etter TEK10?
- Hvilken, om noen, romform gir høyest taletydighet?
- Har reflekterende flater på møblering, vegger etc. en effekt på STI?
- Er det en sammenheng mellom etterklang, bakgrunnsstøy og taletydighet?
- Bør STI inkluderes ved prosjektering av klasserom?

TEK10 henviser til NS 8175:2012 hvor minstekravet er lydklasse C som angir øvre grense for etterklangstid på 0.5 s i klasserom, og en øvre grense for gjennomsnittlig bakgrunnsstøynivå på $L_{p,A,T}$ 28 dB. Det er så forsøkt å finne sammenhenger mellom dette og taletydighet. Dette er for å se om en eventuell godkjent STI er på grunn av, på tross av, eller rett og slett urelatert til disse kravene.

Under måling kom det fram at til tross for manglende krav i standarden til STI så lå likevel de fleste klasserom i kategori "GOOD" eller "EXCELLENT" ved måling i tomme klasserom uten elever. Det ble derfor vurdert nyttig å øke oppløsningen på skalaen for å lettere sammenlikne og se forskjeller mellom målepunktene og rommene.

5.1 Dype klasserom

5.1.1 #1 Fagerborg - Tysk

I klasserom Tysk på Fagerborg skole er senderposisjonen vendt litt mer mot kolonne a (se Figur 4-1). Taletydigheten ligger jevnt over "GOOD,upper" og synker bakover i rommet. Det er best taletydighet i posisjon b1. Det antas at lokale refleksjoner fra flater kan ha en positiv innvirkning på STI-verdiene i posisjon a2 og c3 som stikker seg ut fra mønsteret i rommet og har høyere STI-verdier enn posisjonene foran. Det kan også tyde på at lekkasje i vinduene fører til lavere STI-verdier i posisjon a1 og a3, til tross for at de har kortere avstand til sender.

70% av målepunktene har STI-verdier i kategori "GOOD,upper". Resterende 30% av måleposisjonene har STI-verdier i kategori "EXCELLENT,lower" eller bedre.

Under måling av dette klasserommet ble det observert et interessant funn angående høyde på stolrygg vs. STI-verdier. En del av stolene var stilt inn på høyeste nivå slik at stolryggen reflekterte lyd fra sender tilbake til mikrofonen som var plassert ved stolen.

Det ble utført en test med høy stolrygg versus lav stolrygg. Resultatet ble 0.01 i differanse i STI, noe som ikke er signifikant for målingene, men i enkelte tilfeller er tilstrekkelig for at en måling går fra kategori "GOOD" til "EXCELLENT". I virkeligheten vil stolryggen mest sannsynlig ikke ha betydning siden den vil bli dekket av en elev.

5.1.2 #2 Fagerborg - Spansk

Sammenliknet med klasserom Tysk har dette klasserommet første rad av pultene plassert nærmere sender selv om klasserommet har bedre plass og ikke sprang på bakveggen. Posisjon a3 og c2 har lokalt høyere STI-verdi enn posisjonene foran seg. Posisjon c3 sitter nærmest den absorberende oppslagstavla, men har til gjengjeld lavere STI-verdi enn c2. Dette kan skyldes avstandsdemping fra senderposisjon. Posisjon a3 har derimot høyere STI-verdi enn b3 som sitter enda nærmere bakveggen. Det antas at refleksjoner fra vinduet kan være årsaken til lokalt høyere STI-verdi ved a3. Posisjon a1 sitter inntil en vegg og et skap og er noe nærmere sender enn c1. Dette kan muligens forklare årsaken til høyere STI-verdi ved a1 enn c1. Kolonne b viser muligens den mest forutsigbare endringen i STI med hensyn til avstand.

Til tross for høy etterklangstid i 63 Hz-oktavnådet så har dette klasserommet flere av måleposisjonene i kategori "EXCELLENT", sammenliknet med klasserom #1 Tysk som har lavere og jevnere etterklangstid i alle oktavnådene. Dette strider mot hypotesen om at høy etterklangstid fører til lavere STI-verdier. Det kan alternativt tyde på at grunnen til at 63 Hz-oktavnådet ikke er inkludert i NS-krav for prosjektering av etterklangstid i klasserom er at det muligens ikke er like utslagsgivende for STI.

5.1.3 #3 Manglerud - 3B

Dette klasserommet er klasserommet med nest høyest målte STI-verdier, rett etter klasserom #4 fra samme skole nevnt under. Alle STI-verdiene målt i dette klasserommet hører til kategorien "EXCELLENT". En mulig årsak til slike gode STI-verdier kan være at det er lavt bakgrunnsstøynivå i rommet i kombinasjon med lav etterklangstid, som igjen er et resultat av stor andel absorbenter på bakveggen i tillegg til absorberende oppslagstavler. Posisjon a1 har høyere STI-verdi enn c1 som også står på første rad. Dette kan skyldes positive refleksjoner fra kateteret mellom sender- og mottakerposisjon.

Også her er etterklangstiden i 63 Hz-oktavnådet høy uten at det har en innvirkning på STI-verdiene. Lave etterklangstider i talefrekvensområdet 2000-8000 Hz som omhandler tydelighet på ustemte konsonanter ser ut til å ha større innvirkning på STI.

5.1.4 #4 Manglerud - 7A

Dette klasserommet er klasserommet med aller høyest målte STI-verdier. Alle STI-verdiene målt i dette klasserommet hører også til kategorien "EXCELLENT". En større andel av dem ligger på øvre sjikt av "EXCELLENT"-skalaen. Dette kan skyldes enda lavere etterklangstider i 2000-8000 Hz-frekvensområdet slik at informasjonen fra ustemte konsonanter blir formidlet tydeligere.

Dette kan skyldes større areal med veggabsorbenter på bakvegg sammenliknet med klasserom #3. Avstand fra måleposisjonene i kolonne b og kolonne c er også tettere. Dermed reduseres avstandsdemping av lyden fra sender. Kateteret er her plassert inntil tavleveggen med lenger avstand til posisjon a1. Følgelig ser vi at a1 får samme STI-kategori som resten av kolonnen sin i posisjon a2 og a3. I tillegg er første rad i dette klasserommet plassert nærmere lærerposisjonen, noe som bedrer taletydigheten for i b1 og c1, mens taletydigheten i a1 går ned. Dette kan skyldes at kateteret nå er flyttet frem og ikke lenger reflekterer lyd direkte til a1. Det kan også skyldes i at a1 er flyttet nærmere sender og står nå i periferien til lærerposisjon utenfor direktivitetsområdet til sender og i tillegg står inntil et vindu, men ikke inntil en fast vegg som i klasserom #3.

5.1.5 #5 Munkerud - 4C

Dette klasserommet har kun ett målepunkt i b1 som er "EXCELLENT". Resterende måleposisjoner ligger innenfor kategori "GOOD". Kolonne b har en jevn synkende tendens bakover i rommet. Posisjon a3 har lokalt høyere STI-verdi enn sin rad og kolonne. Dette kan skyldes nærhet til skapet som skaper refleksjoner tilbake.

Overskridelser i etterklangstid i 2000-8000 Hz-oktavbåndene kan være grunnen til generelt lavere STI-verdier, men dette kan også skyldes at bakveggen er av glass.

Også i klasserommet ble det observert et interessant funn. Under måling ble kateteret flyttet fra sin originalposisjon ved en feiltakelse. Feilen ble rettet på etter kort tid. Det ble først målt STI ved posisjon b1 uten kateteret foran pulten, deretter ble kateteret flyttet tilbake til original plassering der det ble utført nye målinger av STI ved b1. Målt STI-verdi økte fra kategori "GOOD" til "EXCELLENT" ved posisjon b1 etter kateteret var flyttet tilbake.

5.1.6 #6 Rykkinn - 6C

STI-verdiene er best langs kolonne c, muligens på grunn av at måleposisjonene er nærme veggen. Posisjon c1 og a1 sitter omtrent i lik avstand fra sender, men a1 har lavere STI-

verdi enn c1 som sitter ved siden av en vegg. I kolonne c avtar STI-verdien fra c1 til c2 fra "EXCELLENT" til "GOOD" før det merkelig nok går opp til "EXCELLENT" igjen på tredje rad i c3. I dette klasserommet er det vanskelig å trekke ut et mønster i STI-verdiene.

Dette kan også her muligens forklares med ujevnt etterklangsforløp i det høyere frekvensbåndregisteret, samt overskridelser av etterklangstid i 4000 Hz-oktavbåndet.

5.1.7 #7 Edvard Munch - 222B

STI-verdiene i dette rommet ligger rundt "GOOD,upper", med unntak av "EXCELLENT" i b1 nærmest sender. Dårlig STI-verdier i c1 og d1 kommer sannsynlig av trekk og støylekkasje fra dørene. Posisjon a4 og b4 har høyere STI-verdier enn a3 og b3. Dette kan skyldes kort avstand til bakvegg.

I dette klasserommet er det spesielt tydelig at overskridelser og høye etterklangstider i konsonantområdet av tale korrelerer med lavere STI-verdier.

5.1.8 #8 Edvard Munch - 221

Figur 4-15 viser at det generelt er lavere STI-verdier i dette klasserommet sammenliknet med klasserom #7 med litt mindre volum og lavere bakgrunnsstøynivå. Dette styrker videre hypotesen om at taleinformasjonen blir forringet av høye og ujevne etterklangstider i talefrekvensområdet i 2000-8000 Hz-oktavbåndene.

Posisjon c1 og d1 ser ut til å lide av tilsvarende støylekkasjer og turbulens gjennom dører. Posisjon d4 har høyere STI-verdi enn kolonnen sin. Det kan skyldes refleksjoner fra glasskapene. Lavere STI-verdier i a2, a3 og a4 kan tyde på at dårlig lydisolerte vinduer har en negativ innvirkning på tale tydeligheten ved disse posisjonene.

5.1.9 Gjennomsnittlig dypt klasserom

Som det fremgår av STI-forløpet per kolonne i et gjennomsnittlig dypt klasserom i Figur 4-41, ser vi at STI-verdiene i de midtre kolonnene er høyere enn i de ytre kolonnene. Til tross for store variasjoner i STI-verdier i de ulike klasserommene av lik romform ser vi at STI-verdiene har en tendens til å falle fra kolonne a til kolonne d, med høyest STI-verdier mot kolonne a. Ut ifra dette kan det tyde på at reflekterende flater som vinduer har en positiv innvirkning på STI-verdiene. Som vist i Figur 4-41 er det store variasjoner i STI-verdiene på de ulike målepunktene i de dype klasserommene, men det er likevel en

tendens til at verdiene er høyest ved kolonne a og går gradvis ned mot kolonne d. Dette kan skyldes at seks av de åtte målte klasserommene har vinduer langs kolonne a.

Figur 4-42 som viser endring i STI fra første til bakerste rad viser tydelig at STI-verdiene er høyest ved første rad og avtar bakover i klasserommet. Grafen viser at det er store variasjoner i STI-verdier på de fremste radene og kolonnene nær kolonne a, mens målingene er jevnere på kolonne d og bakerste rad. Dette sammenfaller med teorien om avstandsdemping av lyd og er forholdsvis forutsigbare resultater.

Felles for begge grafene er at STI-verdiene har en slak avtakende tendens mot kolonnen hvor de fleste klasserommene ikke har vinduer, samt mot bakerste rad. Det er verdt å nevne at tendensen til STI-verdier for alle dype klasserom som er tatt med i disse grafene ligger innenfor kategori "GOOD".

5.2 Brede klasserom

5.2.1 #9 Stasjonsfjellet - 14

STI-verdiene i kolonne b avtar jevnt bakover i klasserommet (se Figur 4-17). Posisjon a1 har lavest STI-verdi. Dette kan skyldes at a1 ligger utenfor direktivetsområdet til sender og at sender er mer vendt mot kolonne c.

Etterklangskurven i Figur 4-18 viser noe overskridelser av etterklangstid i 2000-4000 Hz-frekvensområdet som kan forklare at posisjon a1 hadde lavere STI-verdier enn normalen i dette klasserommet.

5.2.2 #10 Stasjonsfjellet - 12

Figur 4-19 viser et STI-forløp tilsvarende klasserom #9. Kolonne c har høyere STI-verdier fordi kolonnen er nærmere sender. Kolonne a ligger i kategori "GOOD,upper", med unntak av a2 som har litt lavere STI-verdi. Posisjon d2 har også STI-verdi høyere enn resten av kolonnen sin.

Etterklangstidene er ganske lik klasserom 14 nevnt over. Dermed ser vi også de samme tendensene i STI-verdiene i dette klasserommet som i klasserom #9.

5.2.3 #11 Granstangen - 2023

Posisjon a1 har høyere STI-verdi enn c1 som sitter nærmere en veggabsorbent. Kolonne c som sitter nærmest absorberende veggflater har generelt lavere STI-verdier enn resten av posisjonene i klasserommet. Posisjon a3 har også tilsynelatende lavere STI-verdi enn resten av kolonnen sin.

Figur 4-22 viser at det er generelt overskridelser i de enkelte frekvensbåndene, spesielt i 63-125 Hz-oktavnåbandene, men også i de høyere frekvensbåndene. Basert på funnene fra klasserom #1 og #2, hvor STI-verdiene var relativt høye til tross for høy etterklangtid i 63 Hz-oktavnåbandet, kan dette tyde på at det eventuelt er overskridelsene i de høyere frekvensbåndene som har en innvirkning på de lave STI-verdiene i dette klasserommet.

5.2.4 #12 Granstangen - 2020

STI-verdiene i dette klasserommet varierer stort sett mellom "GOOD,mid" til "GOOD,upper". Posisjon d3 har høyere STI-verdi enn posisjonene rundt seg. Dette kan skyldes kort avstand til to reflekterende flater.

Også her er det overskridelser av etterklangtid i talefrekvensområdene som omhandler konsonanttydelighet, hvilket korrelerer med mange måleposisjoner med relativt lave STI-verdier.

5.2.5 #13 Tokerud - Åsen 3

Figur 4-25 viser at kolonne a som sitter under en høyere himling generelt har STI-verdier under kategori "GOOD,upper". Posisjon c1 sitter i periferien til senderposisjonen bak et høyt kateter som kan ha en lydskjermende effekt.

Dette klasserommet er et godt dempet rom med gjennomsnittlig etterklangtid på 0.4 s som tilsvarer lydklasse A i NS 8175:2012. Rommet har generelt høye STI-verdier, noe som vi har begynt å forvente at sammenfaller med lave etterklangstider i talefrekvensområdet.

5.2.6 #14 Tokerud - Åsen 5

De fleste STI-verdiene målt i dette klasserommet ligger innenfor kategori "EXCELLENT".

Første antakelse i forrige klasserom, Åsen 3, var at høyere takhøyde hadde en negativ påvirkning på STI-verdiene. I dette klasserommet er senderposisjonen plassert speilvendt slik at himlingens høyeste punkt er over kolonne c, som har høyere STI-verdier enn kolonne a som sitter under den lavere flate delen av himlingen (se Figur 4-27). Ut ifra

klasserom Åsen 3 og Åsen 5 finner vi ingen signifikant sammenheng mellom takhøyde og STI-verdier. Heller ikke nærhet til vegg/glassflater ser ut til å ha noen predikativ effekt her.

Etterklangskurven passer derimot inn med øvrige observasjoner og styrker antakelsen om at lave etterklangstider i de høyere frekvensbåndene har en god innvirkning på STI.

5.2.7 Gjennomsnittlig bredt klasserom

STI-forløpet per kolonne vist i Figur 4-43 viser at STI-verdiene i kolonne b ligger jevnt over gjennomsnittet, mens det er større variasjoner på de andre kolonnene. Sammenliknet med et gjennomsnittlig dypt klasserom er tendensen i et bredt klasserom flatere med hensyn på kolonne. 5 av 6 av de målte brede klasserommene har vinduer langs kolonne a uten at dette ser ut til å gi signifikant utslag i STI-verdier. Tendensen viser likevel en ørliten forbedring av STI-verdier mot kolonne a.

Figur 4-44, som viser endring i STI fra første til bakerste rad i et gjennomsnittlig bredt klasserom, viser at STI-verdiene er høyest ved første rad og avtar bakover i klasserommet, som forventet og tilsvarende et gjennomsnittlig dypt klasserom. STI-verdiene er også jevnere enn i dype klasserom med hensyn til rad og kolonne.

Brede klasserom har en fordel med at flere elever kan sitte i kort avstand til læreren, men det må påpekes at målepunktene som er utenfor direktivitetssonen til læreren får lavere STI-verdier til tross for kortere distanse til læreren. Dette er spesielt tydelig i brede klasserom.

Figur 4-43 viser at STI-verdiene i kolonne b, kolonnen foran og nærmest sender, har STI-verdier som ligger jevnt over gjennomsnittet, mens det er større variasjoner i STI-verdier i de andre kolonnene. Tendensen med hensyn til kolonne er likevel flatere i brede klasserom enn i dype klasserom. Av 6 målte brede klasserom hadde 5 klasserom vinduer langs kolonne a. Som Figur 4-43 viser, kan man ane en liten tendens til forbedring av STI-verdiene langs kolonne a. Det er ikke store nok forskjeller til at det er konkluderende, men det er likefullt evidens for at reflekterende flater, som glass i dette tilfellet, som i tillegg fungerer som bassabsorbent, kan tenkes å ha en positiv innvirkning på STI.

2 av de brede klasserommene hadde skråtak, men dette hadde tydeligvis ingen effekt på STI-verdiene. I så fall ble dette utliknet av refleksjonene fra vinduene.

5.3 Kvadratiske klasserom

5.3.1 #15 Haugenstua - 10D

Figur 4-29 viser at klasserommet har en jevn nedgang av STI-verdier bakover i rommet. Posisjon b4 har bedre STI-verdi enn posisjon c4, trolig på grunn av kortere avstand fra sender.

Det ble registrert høyfrekvent støy i klasserommet fra ukjent kilde. Støyen var hørbar, men ser ikke ut til å ha gitt utslag på de gjennomsnittlige bakgrunnsstøymålingene.

Etterklangskurven i Figur 4-30 viser noe overskridelser av etterklangstid i 2000-4000 Hz-frekvensområdet, som kan forklare at posisjon c1 hadde lavere STI-verdier enn normalen i dette klasserommet. Dette bemerkes at det også kan skyldes den høyfrekvente observerte støyen i klasserommet, men sannsynligvis skyldes dette kun lenger avstand til sender.

5.3.2 #16 Haugenstua - 10C

Det er relativt gradvis fordeling av STI-verdier bakover i rommet med et unntak at a3 har noe høyere verdi enn a2 og b3.

Høyere STI-verdier sammenfaller med marginalt lavere etterklangstider enn kravet i NS, sammenliknet med klasserom 10D. Selv om differansen i etterklangstid er relativt små, holder det til at dette rommet får høyere STI-verdier. Også her ble det observert høyfrekvent støy, men dette ser ikke ut til å ha stor innvirkning på tale tydeligheten.

Forskjellene i STI-verdier mellom klasserom 10D og 10C er ikke store nok til å trekke noen konklusjoner. Det merkes også at de bakerste pultradene i klasserom 10C står nærmere sender enn i klasserom 10D.

5.3.3 #17 Rykkinn - 4C

Omtrent halvparten av måleposisjonene ligger i kategori "EXCELLENT" som gradvis avtar bakover og til sidene. Posisjon a2 skiller seg ut med en STI-verdi lavere enn bak og til siden for måleposisjonen. Det er ikke funnet en åpenbar årsak til at a2 har lavere STI-verdier enn de målte posisjonene rundt og lengre unna sender. Det bemerkes at etterklang- og bakgrunnsstøymålingene utført i denne oppgaven er rommidlet og at det kan være lokale variasjoner som ikke har blitt registrert.

STI-verdiene i rommet er generelt høye, selv med en liten overskridelse i etterklangstid i 250 Hz-frekvensbåndet. Dette tyder igjen på at etterklangstiden i de lave frekvensbåndene som tilhører grunntoneområdet ikke har så stor utslagsgivende effekt på STI.

5.3.4 Gjennomsnittlig kvadratisk klasserom

Figur 4-45 viser at STI-verdiene er høyest i kolonne b og c, som er kolonnene foran sender. Her er det også store variasjoner i STI-verdier mellom de målte klasserommene, mens det er mindre variasjoner på de ytre kolonnene.

Sammenliknet med et gjennomsnittlig bredt klasserom er tendensen i et kvadratisk klasserom brattere med hensyn på kolonne, men ikke like tydelig tendens som i et gjennomsnittlig dypt klasserom. 2 av 3 av de målte kvadratiske klasserommene har vinduer langs kolonne d uten at dette ser ut til å gi signifikant utslag i STI-verdier. I motsetning til funnene i de brede og dype klasserommene så er tendensen motsatt. I de kvadratiske klasserommene viser tendensen at STI-verdien synker mot vindussiden. Tendensen viser en ørliten forbedring av STI-verdier mot kolonne a, hvor bare 1 av 3 målte klasserom har vindu mot kolonne a.

Siden dette gjennomsnittet er trukket ut fra kun 3 klasserom er det desto viktigere å se på de individuelle variasjonene. 2 av de 3 målte rommene har vinduene langs kolonne d, mens 1 har vinduene langs kolonne a (klasserom #17 Rykkinn 4C). Likevel er det i dette klasserommet de høyeste individuelle målingene av STI-verdier ble gjort, nemlig posisjon a1 og a3 som hadde STI-verdier i kategori "EXCELLENT" og posisjon a2 i kategori "GOOD". Til sammenlikning er det bare 1 av hele 6 måleposisjoner i klasserommene med vinduer på motsatt vegg som har STI-verdier i kategori "EXCELLENT". Siden denne romformen har så få individuelle målte rom kan vi si at med hensyn til reflekterende vindusflater er konklusjonen i beste fall usikker.

Figur 4-46 viser at STI-verdiene er høyest ved første rad og avtar bakover i klasserommet, som forventet og tilsvarende et gjennomsnittlig dypt eller bredt klasserom. Variasjonene i STI-verdiene er også mer sammenfallende i forhold til tidligere diskuterte fiktive klasserom.

De tre kvadratiske klasserommene som ble målt ga samlet sett de beste STI-verdiene, noe som umiddelbart taler for at kvadratiske klasserom er den optimale romformen for klassisk undervisning. Det må derimot understrekes at utvalget på kun 3 rom er lite og muligens for lite til å trekke en konklusjon. STI-verdiene i et gjennomsnittlig kvadratisk klasserom er nesten like jevne med hensyn til rad/kolonne som i brede klasserom med mindre interne variasjoner enn i gjennomsnittsklasserommene med andre romformer. Ut

ifra målte kvadratiske klasserom vil man kunne forvente en gjennomsnittlig STI-verdi på rundt 0.74, som er høyere enn et gitt dypt eller bredt klasserom.

5.4 Spesialklasserom

5.4.1 #18 Frydenhaug - Baserom F

Til tross for kort avstand fra sender til mottaker er det tilsynelatende høyere STI-verdier på bakerste rad (se Figur 4-35). Spesielt merkbart er det at a2 har høyere STI-verdi enn a1 på tross av lenger avstand fra sender og lang korridor bak måleposisjonen.

Figur 4-36 viser et jevnt frekvensforløp for etterklang med lave etterklangstider i hele talefrekvensområdet. På grunn av få elever og kort avstand til sender er det vanskelig å trekke noen slutninger basert på disse variablene.

5.4.2 #19 Frydenhaug - Baserom H

Figur 4-37 viser at STI-verdiene avtar bakover i rommet og sidelengs som observert tidligere i andre klasserom.

Etterklangstiden i dette rommet er tilsvarende lave som i Baserom F. Eneste forskjellen er at senderen står ved hjørnet slik at elevene deles inn i 2 kolonner i stedet for 3, og 4 rader i stedet for 2 rader. Dette gjør at disse rommene ikke er direkte sammenliknbare, men STI-verdiene ligger innenfor de samme STI-kategoriene.

5.4.3 Gjennomsnittlig spesialklasserom

De to spesialrommene ble inkludert i denne oppgaven da de kunne tenkes å fungere som en type kontrollgruppe mot de tradisjonelle romformene. Hvor nyttig dette var er usikkert, men antakelsen var at disse typene med mer kaotisk romform ville ha negativ påvirkning på taletydigheten, noe det viste seg å ikke være tilfelle. Dette kan igjen skyldes at den aktive delen av rommet var relativt lite og dermed nær senderen hvor alle de relativt få elevene sitter i kort avstand til der hvor læreren vanligvis pleier å stå. Her ser man også en flat tendens med hensyn til rad og kolonne noe som kan tenkes at skyldes kort avstand til sender og fordi rommet er tilrettelagt for få elever. Men også her er det høyeste verdier nærme senderen.

Det er vanskelig å bruke målingen fra disse to spesialrommene til å forutse STI-verdien i et gitt rom. Kvadratiske rom har en tydelig betydning, mens definisjonen på et såkalt

spesialrom er åpen. Forholdene mellom målingene her gjelder derfor kun for seg selv da andre spesialrom kan variere stort i forhold til disse to. Det må også påpekes at selv om den gjennomsnittlige verdien på disse to rommene er høyt, rundt 0.74, så er dette sannsynligvis attribuert til faktorer som få elever og derfor tillater kort avstand til sender.

5.5 Trapez klasserom

5.5.1 #20 Munkerud - 4A

Som vi har sett i de øvrige klasserommene kan de store variasjonene i STI-verdier i dette klasserommet skyldes høye etterklangstider i talefrekvensområdet for ustemte konsonanter i 2000-8000 Hz-oktavbåndene.

Det er som normalt høyest STI-verdier i kolonnen foran sender og det er en tydelig tendens til at STI-verdiene på bakerste rad er omvendt proporsjonale med avstand til bakvegg, noe som også kan forklares med økt avstand til sender (se Figur 4-40).

5.5.2 Trapez klasserom oppsummert

Figur 4-49 viser at kolonne d nær sideveggen med vinduer ser ut til å ha bedre STI-verdier enn kolonne a, til tross for lengre avstand til sender. Motsatt ser vi i de bakerste radene i Figur 4-50. Der er verdiene høyest på kolonne a og b, med kortere avstand til bakvegg, med et dropp på kolonne c og d med lenger avstand til bakvegg. Det skal også nevnes at dette ikke er en avgjørende faktor da c4 og d4 også har lenger avstand til sender enn siste posisjon i kolonne a og b.

Siden kun 1 klasserom med trapesform ble målt, viser målingene kun den faktiske tendensen og ikke gjennomsnittet som i de brede, dype og kvadratiske klasserommene. Tendensen i trapes klasserommet er også en slak økning av STI-verdier mot vindussiden og også en slak oppadgående tendens mot bakerste rad. Mest interessant med dette klasserommet er hovedsakelig den skrå bakveggen som kan gi en pekepinn på en mulig korrelasjon mellom STI-verdier og avstand til reflekterende flate bak. Riktig nok er det en korrelasjon å se her at STI-verdiene i bakerste rad synker mot kolonne d som også sitter lengst unna den skrå bakveggen. Dette kan også skyldes noe lengere avstand og skarpere vinkel fra sender. Likevel er dette et interessant funn som styrker observasjonene fra øvrige rom.

Ut ifra målte posisjoner i dette klasserommet, vil man i et liknende trapes klasserom kunne forvente en gjennomsnittlig STI-verdi på rundt 0.73, som er høyere enn bredt, men lavere enn kvadratisk.

5.6 Taletydighet vs. romform oppsummert

Tabell 4-2 viser at kvadratiske klasserom har høyest gjennomsnittlig STI-verdier, men det er verdt å bemerke at det kan være lurt å også ta hensyn til variasjonene i STI-verdier i posisjonene i rommet da det hjelper lite med svært høye STI-verdier på få posisjoner og lave STI-verdier på resten av posisjonene i rommet. Et klasserom med store variasjoner i STI-verdier vil til tross for en høyere gjennomsnittsverdi være mindre egnet som et undervisningsrom enn et rom hvor alle punktene har jevne og høye STI-verdier.

Som det fremgår av Tabell 4-2 kommer kvadratisk klasserom best ut både på forventet gjennomsnittlig STI-verdier og lav variasjon i STI-verdi-fordeling i rommet. Spesiellklasserom og trapes klasserom ble ikke tatt med i betraktningen av differansen grunnet for få målte rom.

Grunnet store variasjoner innad er datagrunnlaget sannsynligvis for smalt til å kunne komme med en konkret konklusjon i forhold til hvilken grad romformen har en utslagsgivende effekt på taletydigheten. I de dype klasserommene har det vært en tendens med bedre STI-verdier langs kolonne a eller kolonnen nærmest vindu på grunn av nærhet til vindu. I de kvadratiske klasserommene ser man at dette ikke nødvendigvis er tilfelle da det kan se ut som når etterklangen er lav nok så spiller det en underordnet rolle hvor i rommet man sitter.

I denne sammenlikningen av taletydighet vs. romform er måleresultater som muligens er oppstått som følge av andre parametere som bakgrunnsstøy også tatt med i vurderingene. For eksempel er lave STI-verdier fra noen posisjoner ved dører i klasserom 222B tatt med selv om de trekker snittet ned grunnet lokal støyekasse fra dører. Dette fordi selv dårlige resultater har vitenskapelig relevans. Slike ytterpunkter i målingene er bevisst valgt å inkluderes da dette er et feltstudie og selv om det er gjort et forsøk å kontrollere flest mulig variabler er det absolutt ikke forsøkt å kontrollere resultatene.

Basert på foreløpig empiri ser kvadratiske klasserom ut til å være den foretrukne romformen for klassisk undervisningsstil. Selv om kvadratiske klasserom kom best ut er det viktig å merke seg at forskjellene i gjennomsnittlig STI-verdi er relativt små og at alle ligger innenfor "GOOD,upper".

Det må bemerkes at de beste individuelle klasserommene hører til romform dyp, men grunnet store forskjeller innad i romformkategorien havnet denne romformen lenger ned i rangeringen. De to klasserommene hvor er det målt høyest STI-verdier er klasserom 3B og 7A på Manglerud skole der alle måleposisjonene hadde STI-verdier i kategori "EXCELLENT".

Fellesnevneren for dype og kvadratiske klasserom er at romformen i stor grad ikke tillater orientering av sitteplasser utenfor direktivetsområdet til sender. De brede klasserommene lider av at mange sitteplasser er plassert for langt til siden opp mot sender, noe som ser ut til å utlikne fordelene med kortere avstand til lærer.

5.7 Taletydighet vs. bakgrunnsstøy

Siden målingene ble gjort på kveldstid etter skolens åpningstider så må det bemerkes at bakgrunnsstøyvariabelen ikke nødvendigvis er representativ for en reell brukssituasjon. Det er for eksempel normal praksis at ventilasjonsanlegget stilles på et lavere nivå på kveldstid når det ikke er så stor personbelastning. Et bemannet klasserom vil også ha lyd i form av pusting, svelging og hosting for å nevne noe, som er variabler som er vanskelig å kontrollere. Dette ble likevel ikke regnet som et problem da samtlige rom, bortsett fra stikkprøvene i bemannet klasserom, ble målt under like forutsetninger og derfor har felles sammenlikningsgrunnlag.

Figur 4-51 viser målt STI-verdier versus målt bakgrunnsstøynivå $L_{p,A,T}$ i de 20 befarte klasserommene. For dype klasserom er STI-verdiene i stor grad omvendt proporsjonal i klasserom #1 til og med #4 og klasserom #7 og #8. Klasserom #5 har lave STI-verdier, til tross for lavt bakgrunnsstøynivå. Klasserom #6 har lavere STI-verdier enn klasserom #3, selv om begge klasserommene har ganske likt bakgrunnsstøynivå. I spesial-/trapes klasserom er det antydninger til en korrelasjon, men utvalget er for lite til å kunne konkludere med noe. Når det gjelder de brede og de kvadratiske klasserommene ser det ikke ut til å være noen korrelasjon mellom STI-verdier og bakgrunnsstøynivå.

Grafen viser også at det er mindre korrelasjon mellom bakgrunnsstøy og taletydighet enn man skulle anta. Dette kan muligens skyldes at bakgrunnsstøyen må komme opp på et visst lydnivå før det begynner å ha en merkbar innvirkning og at få av de målte klasserommene kom opp på dette nivået, i det minste ikke på kveldstid. Som man likevel ser er det en viss korrelasjon mellom bakgrunnsstøy og STI på de fire rommene hvor det ble målt høyere bakgrunnsstøy enn tillatt i henhold til NS 8175:2012 lydklasse C.

Når vi ser nærmere på klasserom 221 og 222B på Edvard Munch skole (se Figur 4-13 og Figur 4-15) ser man indikasjoner på at bakgrunnsstøy har større betydning for taletydighet enn etterklangstiden, i hvert fall lokalt ved noen spesifikke målte posisjoner. Begge klasserommene har høy lokal bakgrunnsstøy og lang global etterklangstid. Klasserom 221 har både høy bakgrunnsstøy og lang global etterklangstid. Sammenfallende har begge ganske lave STI-verdier jevnt over. Spesielt klasserom 222B har noen lokale posisjoner som lider av lydlekkasje og trekk fra dørene.

I klasserom 10D og 10C på Haugenstua skole ble det registrert hørbar høyfrekvent støy fra ukjent kilde, som ikke ser ut til å ha gitt utslag på de gjennomsnittlige bakgrunnsstøymålingene. Dette kan ha blitt plukket opp i en frekvensanalyse av bakgrunnsstøyen, men det er utenfor denne oppgavens fokus.

5.8 Taletydelighet vs. etterklangstid

Når det kommer til etterklangstid så ser vi av Figur 4-52 at dette har større innvirkning på taletydeligheten enn bakgrunnsstøy, i hvert fall innenfor de verdiene som ble målt. I grafen kommer det tydelig frem at STI-verdiene er omvendt proporsjonale med målt etterklangstid. Det vil si at høy etterklangstid i de fleste tilfellene gir lave STI-verdier. Dette gjelder spesielt klasserommene som har gjennomsnittlige etterklangstider høyere enn anbefalt øvre grenseverdi i lydklasse C. Her er det også mer stabil tendens til at lavere etterklangstid også sammenfaller med høyere STI-verdier.

Større volum henger ofte sammen med større areal, som gir større rom for frihet til orientering av sitteplasser med lengre avstand til reflekterende vegger. Resultatene indikerer at både etterklangstid og romform påvirker STI-verdiene i alle målte posisjoner. Klasserom #5 og #6 som hadde lave STI-verdier til tross for lavt bakgrunnsstøynivå, samt de brede og kvadratiske klasserommene hvor det ikke ble funnet noen tydelig korrelasjon mellom STI-verdier og bakgrunnsstøynivå, kan forklares med etterklangstid. Spesielt klasserommene med etterklangstid over øvre grenseverdi for etterklangstid i henhold til lydklasse C i NS 8175:2012, ser vi at det korrelerer med de laveste STI-verdiene.

Det ble funnet flere eksempler på korrelasjoner mellom lave STI-verdier og høy etterklangstid i talefrekvensområdene som dekker konsonanttydelighet, spesielt i de høyere frekvensbåndene som gjelder for ustemte konsonanter i 2000-8000 Hz-båndene. Høy etterklangstid i de lavere oktavbåndene, 63-250 Hz, ser derimot ikke ut til å ha utslagsgivende effekt på taletydeligheten. Denne undersøkelsen kan argumentere for at man bør nedjustere toleransen angitt i NS 8175 for de høyere frekvensbåndene 2000-4000 Hz, eventuelt også inkludere 8000 Hz som per tiden ikke tas hensyn til i kravene. Det er også verdt å tenke på at selv om høy etterklangstid i de lave frekvensbåndene ikke korrelerer med målt STI, så er det ikke dermed sagt at dette ikke påvirker den opplevde taletydeligheten da disse oktavbåndene dekker grunntonene til tale. I hørselsorganet kan en kraftig lyd også stimulere omkringliggende frekvensområder og da spesielt oppover i frekvens. Selv om de lave frekvensbåndene ikke bringer taleinformasjonen i like stor grad sammenliknet med de høye frekvensbåndene, vil høye etterklangstider i spesielt 63-250 Hz kunne maskere og forringe taletydeligheten for konsonanter i det høyere frekvensregisteret (Everest and Pohlmann 2009). Denne effekten ser ikke ut til å bli tatt hensyn til i STI-

metoden. Ifølge NS 8175:2012 skal etterklangstiden i et tomt rom prosjekteres for mellom 125-4000 Hz, men denne undersøkelsen kan argumentere for at dette bør utvides til 63-8000 Hz for å dekke hele talefrekvensområdet.

Det kan være verdt å undersøke hvorvidt høy etterklang kan bli oppfattet som bakgrunnsstøy for hørselshemmede eller om bakgrunnsstøyen kun påvirker lokale punkter i rommet nærmest støykilden. Etterklangen vil i realiteten variere noe ved forskjellige posisjoner i rommet og forløpet for etterklang vil være noe annerledes lokalt ved det punktet man måler, som for eksempel ute i etterklangsfeltet eller andre effekter som stående bølger eller romresonanser når man for eksempel måler nærmere et hjørne eller vegg (Løchstør 1996), men dette er utenfor denne oppgavens fokusområde.

Denne oppgaven har tatt utgangspunkt i lydklasse C i henhold til NS 8175:2012, hvor høyeste etterklangstid er på 0.5 s, både rommidlet og i oktavbåndene 250-4000 Hz og 0.7 s toleranse i 125 Hz-oktavbåndet. Som vi ser på Figur 4-52 kan kravet til høyeste etterklangstid med fordel nedjusteres til 0.4 s da dette ser ut til å korrelere med jevnt gode STI-verdier.

Det kan sikkert virke merkelig at det ikke er målt etterklang ved de samme måleposisjonene som for måling av STI. Dette var et bevisst valg for å undersøke om målemetoden vi bruker som kontroll på at prosjekterte løsninger er i henhold til standard, som er en rommidlet etterklangstid, kan gi en indikasjon på om STI-verdiene vil være bra eller ikke. Svaret på dette er "muligens". Vi ser riktig nok en tendens til at STI-verdiene er omvendt proporsjonale med etterklangstiden, men som vi senere ser i stikkprøven med elever tilstede, synker både etterklangstiden og STI-verdiene med en gang rommet er fullt av elever som fungerer som absorbenter. Dette skyldes trolig at de nye "absorbentene" er plassert mellom sender og måleposisjonene og derfor obstruerer beregningsmetodikken for STI-målingene.

Usikkerhetsfaktorer med etterklangstid er at målingen kun tar høyde for hvor lang tid det tar før en lyd dør ut i et rom, men tar ikke med forskjellige typer ekkoeffekter. Dette er muligens grunnen til at vi ser at STI-verdien faller i rom med høy etterklangstid, mens vi ser evidens for lokale forbedringer på målepunkter som får lydreflektering fra flater som pult/kateter, vindu/sidevegg og/eller bakvegg. Det kan derfor argumenteres for at også etterklangstid er en indikator som må sees i sammenheng med andre faktorer som romformen og innredning for å nevne noe.

Det er derimot en annen måte å tolke Figur 4-52 på. Dersom vi kun betrakter de 4 første dype klasserommene, er det tydelig at lavere etterklangstid korresponderer med høye STI-verdier for alle måleposisjonene. Dette viser en klar tendens og man ser også at disse rommene gir høyere STI-verdier for samme etterklangstid som for de kvadratiske

klasserommene. Årsaken til at det kan være verdt å kun betrakte de 4 første klasserommene er som følger:

- klasserom #5 har en svært avvikende pultplassering som sannsynligvis er hovedårsaken til lavere STI-verdier.
- klasserom #6 har etterklangstider opp mot 0.5 s, noe som vi har observert at har en sammenheng med lavere STI-verdier.
- klasserom #7 og #8 har avvikende takhøyde og høyere etterklangstider enn andre målte rom.

Et rektangulært rom har jevnere fordeling av rom-moder, hvilket vil si at slike rom også har jevnere fordeling av etterklangstider enn kvadratiske rom. Dype, tradisjonelle rom med etterklangstider under 0.4 s vil normalt klare seg med mindre absorberter enn andre typer romform. I kvadratiske rom må det store absorbertermengder til før man klarer å redusere etterklangstiden midlet over flere posisjoner i rommet på grunn av en såkalt "bokseeffekt" som beskriver en fornemmelse av å oppholde seg inne i en boks. Når man reduserer etterklangstiden i kvadratiske klasserom får man riktig nok høye STI-verdier. Det er likevel som regel måleposisjonen som er sentrert rett foran lærerposisjonen som får den beste forbedringen i STI-verdi.

5.9 Stikkprøve med elever

For å bedre forstå hva som skjer med de målte parameterne i en reell brukssituasjon ble det tatt stikkprøver av de 2 beste klasserommene. Begge klasserommene tilhører romformen dyp.

Figur 4-53 og Figur 4-54 viser differansen mellom målt STI-verdier versus målt bakgrunnsstøy og etterklangstid i en situasjon med og uten elever. STI-verdiene ble målt lavere i begge rommene så fort det var elever tilstede. Dette til tross for lavere etterklangstid. Måleverdiene for STI med elever varierer i stor grad parallelt med tilsvarende målepunkter uten elever.

Som forventet gikk bakgrunnsstøyen opp grunnet personbelastning og følgende ventilasjonsstøy. I tillegg ga høyere støynivå fra ventilasjonsanlegget og støy fra sildrende væske utslag i bakgrunnsstøymålingene. Etterklangstiden ble forutsett redusert da elevene fungerer som absorberter, hvilket også viste seg å stemme, dog med nokså liten forskjell fra det tomme rommet. Også STI-verdiene falt som en følge av at radene med elever fungerte som lydbarrierer. Interessant nok kan det virke som bakgrunnsstøyen i disse målingene kom over en terskel som førte til reduserte STI-verdier til tross for at etterklangstiden gikk ned. Siden dette er en stikkprøve med få testklasserom, er det

vanskelig å utelukke eventuelle tredjevariablers innvirkning på resultatene. Det kan for eksempel være andre akustiske effekter og refleksjonsmønstre som forekommer i en dynamisk brukssituasjon.

Dette kan være et argument for at dagens standarder og krav som kun fokuserer på bakgrunnsstøy og etterklang i beste fall er veiledende og i verste fall kan bli forringet av dårlig utførelse og valg av feil løsninger/produkter. Det mest nyttige man kan trekke ut ifra denne stikkprøven er muligens at STI-verdiene fra måleposisjon til måleposisjon varierer nokså parallelt med samme posisjoner i det tomme rommet. Dette betyr at taletydigheten man måler ved en gitt posisjon i et tomt rom kan brukes som en god pekepinn på hvordan STI-verdien vil være ved det samme punktet i et fullsatt rom. Forholdet mellom de forskjellige punktene kan også forventes å være det samme i begge situasjonene. Ut ifra dette kan man anta at stikkprøvene en relativ endring som mest sannsynlig vil skje i alle rom når elevene er tilstede og at man derfor utmerket godt kan prosjektere og kontrollmåle i et tomt klasserom.

Ut ifra denne begrenset case-studien kan vi anta at et gitt klasseroms STI-verdier vil falle merkbart i en reell brukssituasjon og det er desto viktigere å dimensjonere for høyest mulig STI for å bøte på dette.

5.10 Oppsummering

Det første som ble bemerket etter målingene var at differansen i STI-verdiene på posisjonene som er målt ikke alltid er stor. Faktisk ligger alle målinger, bortsett fra stikkprøvene, på "GOOD" og "EXCELLENT". Basert på funnene i denne oppgaven, viser det seg at taletydigheten i seg selv ikke nødvendigvis er et problem. Det var heller ikke oppgavens fokus å finne løsninger for å øke taletydigheten. Det overordnede spørsmålet denne oppgaven forsøker å svare på er hvor høy taletydighet vi kan forvente i klasserom dimensjonert i henhold til TEK10. Denne problemstillingen ble valgt nettopp fordi TEK10 ikke har konkrete krav til STI-verdier.

Det er verdt å bemerke seg at denne oppgaven, selv om den er gjort i felt, i stor grad er et laboratoriestudie. Som stikkprøvene i klasserommene med elever viser, må man forvente et signifikant dropp i STI fra den kontrollerte målingen i et tomt rom til faktisk opplevd STI. Det vil likevel ikke være praktisk gjennomførbart å foreta alle målinger med subjekter tilstede. Det er desto viktigere å dimensjonere rommene for høyest mulig STI da man kan forvente at målte STI-verdier i et tomt klasserom på for eksempel kategori "EXCELLENT" kan falle til kategori "GOOD" under normale forhold. Det frister å hevde at målet for STI-verdier i et klasserom i bruk bør være i det øvre sjiktet av kategori "GOOD".

Dagens standard som lager retningslinjer for bakgrunnsstøy og etterklangstid kan være en pekepinn på hvor god STI man kan forvente, men som det fremgår ved sammenlikning av måleresultatene, spesielt sett opp mot stikkprøvene med elever, er korrelasjonen ikke så tydelig som man skulle anta. For å være relativt sikker på hvor god STI man får, kan det virke som at man må måle den direkte ved en kontrollmåling. Målingene peker til tross for dette mot en tenkt idealløsning: for å sørge for best mulig taletydelighet for alle elevene i et gitt klasserom må det tillates for at alle plasseres nærmest mulig senderen, som er læreren i dette tilfellet, men ikke utenfor direktivetsområdet, i.e., for skarp vinkel til siden. Dersom man ser bort ifra klasserom med få elever ser det ut til at kvadratiske eller dype klasserom best tillater for en slik arrangering av flest mulig elever.

Basert på gjennomsnittlige STI-verdier på samtlige rom uten å luke vekk avvik, kommer kvadratiske rom best ut både med høyest gjennomsnittsverdi på taletydelighet og også med lavest variasjon innad. Siden datagrunnlaget er relativt smalt skal man være varsom med å konkludere med til hvilken grad romformen har en utslagsgivende effekt. Basert på foreløpig empiri, hvor flest mulig variabler er kontrollert innenfor praktiske begrensninger, ser kvadratiske klasserom likevel ut til å være den mest egnet romformen med hensyn til taletydelighet. Det er likevel verdt å bemerke seg at differansene mellom de "gode" og "dårlige" klasserommene gjennomsnittlige STI-målinger er relativt små, og at alle ligger innenfor underkategorien "GOOD,upper". Som nevnt i Kapittel 5.8 kan det tyde på at dype klasserom likevel er å foretrekke når man fjerner avvikende klasserom i målingene. Ved å fokusere kun på klasserom 1-4 ser man en tydelig sammenheng mellom lavere etterklangstider og høyere STI-verdier enn kvadratiske klasserom. Dype klasserom gir dessuten bedre kostnad-nytte-verdi da de krever mindre absorberende for å oppnå tilsvarende etterklangstider. I tillegg tillater den dype formen at flere elever kan plasseres innenfor lærerens direktivitet.

Det er ingen tydelige data som støtter at høyde under taket har effekt på STI hverken for eller imot. Høyde under taket faller derimot gjerne sammen med større romvolum, som igjen kan føre til høyere etterklangstid så fremt rommet ikke er tilstrekkelig dempet. STI er som regel omvendt proporsjonalt med avstand til sender. Klasserom som tillater at flest mulig får plass innen kort avstand til lærer slik at ingen faller utenfor direktivetsområdet er ideelle for klassisk undervisningsstil. Moderne undervisningsstil med lærere som beveger seg mye rundt omkring i klasserommet kan gi utfordringer med å forbedre akustikken i et klasserom. Det vil ikke være mulig å optimalisere for alle mulige lærerposisjoner, derfor er klassisk undervisningsstil valgt som en forutsetning i denne oppgaven.

Det var tydelig tendens til at posisjon b1, som er lengst frem og rett foran sender, hadde høyest STI, sannsynligvis på grunn av avstand og posisjon i forhold til sender. På den

andre siden ble det observert at de bakerste radene gjerne hadde høyere STI-verdier enn radene lenger foran. Det antas at refleksjoner fra bakveggen veier opp for avstanden til sender og styrker hypotesen om at reflekterende flater har positiv effekt. Det ble også målt i et klasserom med skrå bakvegg hvor STI-verdiene var omvendt proporsjonalt med avstand til bakveggen. Dette kan likevel også tilskrives til noe lengre avstand til sender. Da det ikke lot seg gjøre å finne flere tilsvarende rom blir datagrunnlaget for lite til å trekke en konklusjon, men stort nok til at det er verdt å undersøke videre. Det er likevel viktig å ikke lese for mye inn i disse funnene da det igjen må ta høyde for at dette er målinger gjort i tomme klasserom uten elever, hvilket i grunnen har omtrent 30 absorberende elever færre enn i en reell undervisningssituasjon.

Selv om man selvsagt skulle håpe at denne oppgaven skulle avdekke et åpenbart svar på hvilken grad romform og andre parametere som bakgrunnsstøy og etterklangstid påvirker taletydigheten, kan det se ut til at det må større datagrunnlag til for å finne det. Det skal likevel argumenteres for at utvalget i denne oppgaven, selv om det alltid kunne vært større, er et representativt utvalg og resultatene bør tas til etterretning i henhold til dette. Det bør også bemerkes at utvalget av klasserom i stor grad er basert på hva som var tilgjengelig og derfor ikke har så jevn fordeling mellom romformene som man skulle ønske. Oppgaven var likevel aldri ment som et utfyllende studie, men snarere som flere case-studier av representative klasserom som kan belyse et viktig poeng og gi grobunn til videre forskning.

Når det kommer til lokale variasjoner viste det seg at nærhet til bakvegg noen ganger kan utlikne for lengre avstand til sender. Dette kan skyldes forskjellig intensitet på direktelyden og den reflekterte lyden (Davis and Jones 1989). Vindu, kateter og skap ser også ut til å reflektere lyd med en positiv effekt for nærliggende måleposisjoner, men det sier ikke noe om opplevelsen av direktelyd vs. reflektert lyd.

Selv om lokale refleksjoner fra innredning (for eksempel vindu og absorbenter på vegger) og møblering (pult og skap), sammenfalt ofte med lokalt høyere STI, er det vanskelig å si om det faktisk oppleves bedre. Dessuten kan resultatene ha blitt påvirket av at de lokale flatene har forskjellige refleksjon- og absorpsjonsegenskaper og skaper et annet lydbilde (Crandell et al. 2005). Det ble også funnet evidens til at læreren bør stå bak kateteret under undervisning da dette ser ut til å ha en reflekterende effekt. Kateter som er betydelig høyere enn pultene for øvrig har derimot negativ og skjermende effekt for lydoverføring.

Bakgrunnsstøyen i de nivåene det ble målt på kveldstid ser ut til å ha vært for lave til å ha tydelig utslagsgivende effekt. I en brukssituasjon på dagtid vil både bakgrunnsstøy og støy fra elever øke. Resultatene fra målt etterklangstid og bakgrunnsstøy tyder på at målte STI-verdier er kunstig høye. Det er derfor et poeng å dempe rommet så mye som

mulig da STI-verdien vil droppe med en gang det kommer mennesker inn i bildet, selv om etterklangen også blir lavere. Lokale variasjoner som lydlekkasje fra vinduer eller dører har gitt lokale utslag som også trekker ned snittet. I stikkprøven med elever i rommet gikk bakgrunnsstøyen opp og STI falt i forhold til den originale målingen. Flere studier har bekreftet at bakgrunnsstøy er en viktig faktor for taletydeligheten (Klatte et al. 2010). Det kan her se ut som at støynivået fra faste tekniske installasjoner ligger såpass lavt under lydsignalet i et tomt rom og dermed har liten innvirkning på målte STI-verdier. Her kan det selvfølgelig spekuleres i om et høyere støynivå fra tekniske installasjoner vil øke styrken på "elevstøyen" og således forringe taletydeligheten. En annen mulighet er at støy fra brukerstyr (prosjektor, PC, osv.) ligger høyere enn hos de faste installasjonene og således blir den avgjørende faktoren.

Etterklangstiden viste seg å ha mer stabil effekt på STI. Det var tilfeller hvor STI-verdiene sank til tross for lavere etterklangstid, men den generelle tendensen er at STI-verdiene øker når etterklangstiden går ned. Det er spesielt i de høyere frekvensbåndene hvor man ser denne effekten. Selv om vi har sett mange individuelle målinger hvor høye etterklangstider i det høye frekvensregisteret sammenfaller med lavere STI-verdier så er dette fremdeles kun å regne som korrelasjoner. For å kunne hevde en kausal relasjon må det undersøkes med en kontrollert kontrollgruppe. Det er fristende å ta de tilsvarende klasserommene med lavere etterklangstider og høyere STI som kontrollgruppe, men siden dette er målt i andre klasserom er det vanskelig å utelukke tredjevariabler. Det som derimot kan brukes som en kontrollgruppe er stikkprøven i klasserommet med elever. Der så man derimot at STI-verdien falt til tross for at etterklangstiden gikk ned. Dette er muligens på grunn av økt bakgrunnsstøy og at elevene fungerte som absorbenter. Det at elevene er plassert mellom taleposisjonen og første refleksjon, skaper et annet akustisk miljø som ikke kan direkte sammenliknes med tomme rom hvor absorbentene er i himling eller på romflatene. Likevel er tendensen såpass tydelig over resten av målingene at det inviterer til videre undersøkelser og tas med i vurderingen av etterklangstid vs. taletydelighet.

Det kan med ett virke logisk at lav etterklangstid og lav bakgrunnsstøynivå gir bedre STI-verdier. Tidligere NS hadde 0.6 s som øvre grenseverdi for etterklangstid i lydklasse C (NS-8175 2008). I gjeldende NS 8175:2012 er dette kravet på 0.5 s, hvilket kan virke å ha en god effekt med hensyn til taletydelighet. En endring i etterklangstid på 0.1 s utgjør en merkbar forskjell for lydopplevelsen i et rom. Man kan derfor vurdere om dette bør senkes ytterligere.

Inndelingen av STI som "GOOD" og "EXCELLENT" er tatt fra en 5-punkts skala (van Wijngaarden and Verhave 2014). Ut ifra observasjonene så er dette noe grovt, og nedre del av "GOOD" er nok lavere enn ønskelig og denne oppgaven har hver av disse kategoriene blitt ytterlig delt opp i tre underkategorier.

Det er verdt å nevne at det finnes store muligheter for å justere på etterklangstiden i ettertid dersom man oppdager dårlige akustiske forhold. Dette kan gjøres ved å investere i flere veggabsorbenter i form av mineralullplater, lydabsorberende oppslagstavler, gardiner, mykt møblement osv. I likhet med øvingsrom for musikk er variabel akustikk heller ikke ønskelig i klasserom. Selv om mennesker har lydabsorberende egenskaper i seg selv bør man ikke budsjettere med dette i prosjekteringen siden antall mennesker tilstede til enhver tid kan fluktuere.

Bakgrunnsstøy derimot er det vanskeligere å bøte på i ettertid da tekniske løsninger ofte er innebygd i bygningsstrukturen og krever mer omfattende tiltak for å få rettet opp i feilene. Det er derfor viktig at man i hele prosessen, fra prosjektering til utførelse og valg av brukerutstyr, har fokus på å velge løsninger som i størst mulig grad avgir lite støy.

Hørselshemmede er de første som lider under dårlige akustiske forhold, men alle vil ha fordeler med god taletydighet. Spesielt i en undervisningssituasjon er det viktig å tilrettelegge for at elevene kan bruke energien på å prosessere informasjonen læreren formidler, og ikke måtte konsentrere seg for å høre hva som blir sagt. Dette for at alle skal få muligheten til å utnytte sitt fulle potensial. Klasserom er et godt sted å starte, men også kantiner og andre rom hvor folk samles bør ha taletydighet som en viktig parameter for å hindre at personer med nedsatt hørsel trekker seg vekk fra slike steder, som igjen kan skape sosiale skiller. Det generelle lydnivået må ned, og dette inkluderer å ta høyde for støy fra elever, brukerutstyr, etterklang og bakgrunnsstøy.

6 Konklusjon

Klasserom blir i større grad enn kontorlandskap brukt til å formidle verbal informasjon og gjerne til yngre subjekter som ikke har fullt utviklet auditivt system. Det er verdt å merke at STI-metoden tar hensyn til normalt hørende brukere. Hverken hørselen eller ordforrådet er fullutviklet i skolealder, derfor er det viktig å tilrettelegge for at elevene kan bruke all sin kognitive kapasitet på å fordøye informasjonen og ikke på selve lyttingen.

6.1 Hvor høy taletydighet kan man forvente i klasserom prosjektert etter TEK10?

Målingene utført i tomme klasserom viser at STI-verdiene ligger rundt kategori "GOOD" og "EXCELLENT", mens utførte stikkprøver med elever tilstede viser at STI-verdiene faller i en reell brukssituasjon. Disse målingene ble gjort på to av de enkeltrommene som hadde best STI i tomt rom (Munkerud 3B og 7A), hvor alle målepunktene lå på "EXCELLENT" uten elever. Med elever gikk de fleste målepunktene ned en kategori på skalaen til "GOOD". Det er derfor et poeng å prosjektere for høyest mulig STI-verdier for å få best mulig resultater i forskjellige brukssituasjoner.

6.2 Hvilken, om noen, romform gir høyest taletydighet?

Sammenlikningen av gjennomsnittet av STI-verdiene viser at kvadratisk er den romgeometrien som gir de høyeste STI-verdiene og minst variasjon fra de beste til de dårligste målingene. Utvalget av kvadratiske klasserom var begrenset og det er viktig å bemerke seg at de to enkeltrommene med de høyeste STI-verdiene var av type dype, noe som tilsier at romgeometrien har mindre utslagsgivende effekt enn først antatt. Felles for kvadratiske og dype klasserom er at de, i mindre grad enn brede klasserom, har elever plassert utenfor direktivetsområdet til læreren. Andre variabler som høyde under himling hadde ingen merkbar effekt på målt STI.

Dersom vi ser bort fra avvikende klasserom med dyp romform, kommer man til en alternativ konklusjon. Det er en klar sammenheng mellom STI-verdier og etterklangstid i tradisjonelle, dype klasserom med klassisk undervisningsstil og klassisk pultplassering. Det er i de dype klasserommene man får tydelig høyest STI-verdier for alle posisjoner når etterklangstiden reduseres til 0.4 s for oktavbåndene 125-8000 Hz.

6.3 Har reflekterende flater på vegger og møblering en effekt på STI?

Vegger med reflekterende flater, e.g., store vinduer, ser ut til å gi lokale forbedringer i STI basert på tendensen i grafene. Det ble også observert lokale forbedringer på måleposisjoner nær bakvegg, i tillegg til at store bordflater virker å ha en positiv effekt på nærliggende måleposisjoner. Resultatene tar ikke høyde for faktisk opplevd lytteopplevelse.

6.4 Er det en sammenheng mellom bakgrunnsstøy, etterklangstid og taletydighet?

Bakgrunnsstøy ser ut til å ha mindre effekt enn forespeilet. Det vises riktig nok en korrelasjon mellom lav bakgrunnsstøy og høy STI i dype klasserom, mens i de andre klasserommene er det ikke en tydelig tendens. Dette antas å være grunnet måling på kveldstid med lavt støynivå i forhold til en normal brukssituasjon. Bakgrunnsstøy er en viktig faktor, men det kan her se ut som at lydnivået fra faste tekniske installasjoner ligger såpass langt under lydsignalet i et tomt rom og dermed har liten innvirkning på målte STI-verdier i denne studien.

Det ble funnet flere eksempler på korrelasjoner mellom lave STI-verdier og høy etterklangstid. Dette gjelder spesielt etterklangstidene i talefrekvensområdene som dekker tydeligheten for ustemte konsonanter, i.e., frekvensbåndene fra 2000 til 8000 Hz. Det kan argumenteres for at man bør nedjustere toleransen angitt i NS 8175 for de høyere frekvensbåndene i 2000 til 4000 Hz-segmentet, og eventuelt også inkludere 8000 Hz som per tiden ikke tas hensyn til i kravene. Etterklangstiden i de lavere oktavbåndene fra 63 til 250 Hz, som gjelder for grunntonene til tale, ser derimot ikke ut til å ha utslagsgivende effekt på STI-verdiene. Etterklangstiden kan med fordel også nedjusteres til 0.4 s da dette ser ut til å korrelere med jevnt gode STI-verdier. Selv om målingene viser at STI-verdiene påvirkes av etterklangstid i de høyere frekvensbåndene betyr dette ikke nødvendigvis at den faktiske opplevde taletydigheten ikke også forverres av høy etterklangstider i de lave frekvensbåndene. Hvorvidt dette er tilfelle er utenfor rekkevidden til denne oppgaven.

I stikkprøvene med elevene tilstede i klasserommet ser man derimot at STI-verdiene falt samtidig som bakgrunnsstøynivået gikk opp og etterklangstiden gikk ned. Alt dette tyder på at flere variabler spiller inn og påvirker hverandre innbyrdes. Det er derfor viktig at man i hele prosessen, fra prosjektering til utførelse og valg av brukerutstyr, har fokus på å velge løsninger som i størst mulig grad tilrettelegger for lave etterklangstider og som avgir lite støy. Spesielt bakgrunnsstøy er viktig å fokusere på fra tidlig i planleggingsprosessen

da dette vanskelig kan rettes opp i ettertid. Etterklangen, derimot, lar seg til større grad utbedres etter ferdigstilling.

6.5 Bør STI inkluderes ved prosjektering av klasserom?

Parametere som etterklangstid og bakgrunnsstøy er utvilsomt viktig å kontrollere for å få best mulig forhold for tale tydelighet i et klasserom. Resultatene tyder på at det ikke er tilstrekkelige korrelasjoner mellom STI-verdier og bakgrunnsstøy/etterklang til å ha en predikativ egenskap. Basert på funnene i denne oppgaven anbefales det å inkludere STI-verdier som et eget krav ved prosjektering av nye klasserom. Alternativt skjerpe kravene til etterklangstid og bakgrunnsstøynivå for å ta høyde for redusert tale tydelighet i en reell brukssituasjon.

7 Videre arbeid

Det er mye som enda kan gjøres for å forbedre vår forståelse av hva som påvirker taletydigheten i et rom og ikke minst hvordan en viss STI-verdi oppleves av den enkelte.

Denne oppgaven har fokusert på romgeometri, bakgrunnsstøy og etterklang. Det er også merket noen observasjoner som kan si noe om møblering og hvilken effekt dette har, men har ikke aktivt gått inn for å kontrollere disse variablene i denne oppgaven.

Det er enda mye som gjerne skulle vært undersøkt, men som ikke passet inn i denne oppgavens omfang. For videre forskning foreslås det å se på andre parametere som for eksempel avstandsdemping og støy fra brukerutstyr. Det er en kjent sak at støy fra brukerutstyr kan påvirke taletydigheten. Det kunne være nyttig å komme anbefalinger om en øvre grenseverdi for maksimal tillatt samlet støynivå for aktiviteter, brukere og brukerutstyr.

Det kunne vært nyttig å finne den ultimate innredningen som gir den beste STI på alle målepunktene. Dette kan for eksempel gjøres ved å velge ut noen få klasserom, velge de vanligste romformene og ommøblere pultene til man finner den beste konfigurasjonen. Skulle dette gjennomføres så er det viktig å ha i bakhodet de forskjellene i STI-verdiene som ble målt i stikkprøvene med elever i denne oppgaven.

Denne oppgaven har dessuten kun fokusert på taletydighet når elevene er mottakere. STI-verdiene ved posisjonen til læreren når elevene snakker er heller ikke inkludert. De fleste målingene havnet et sted mellom "GOOD" og "EXCELLENT" på STI-skalaen. Det kunne vært interessant å vite hvor utslagsgivende dette skillet har for elever med varierende grad av utviklet auditivt system.

Frekvensanalyse av bakgrunnsstøyen kan muligens være interessant. Foreløpig har vi kun én tallverdi i NS og i likhet med hvordan de ulike oktavbåndene i etterklangstiden ser ut til å ha ulik grad av effekt på STI-verdiene, kan det også være interessant å se om forskjellige frekvenser av bakgrunnsstøyen kan utfylle funnene i denne oppgaven.

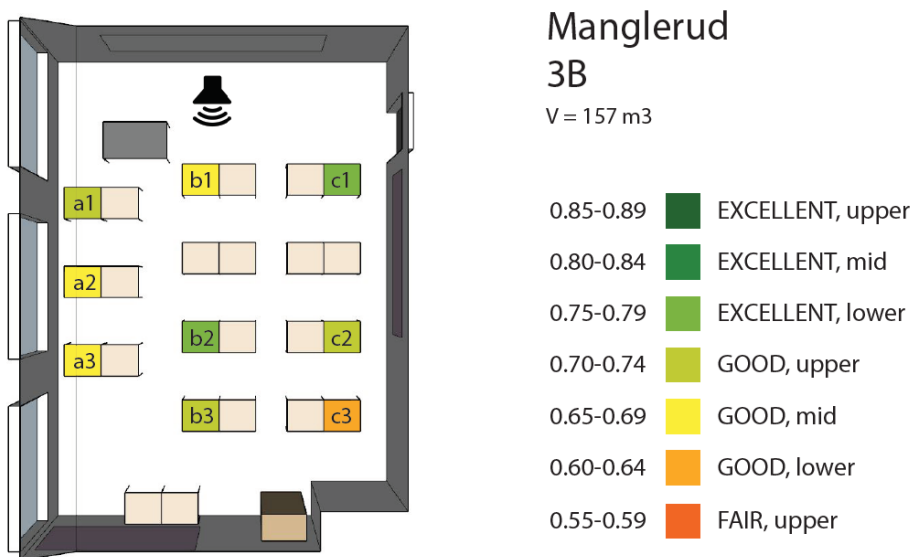
Det mest nyttige for denne oppgaven isolert sett er å repetere disse målingene, inkludert stikkprøver, ved å velge ut et likt antall type klasserom av hver romform og se om resultatene diskutert her er repeterbare.

8 Vedlegg

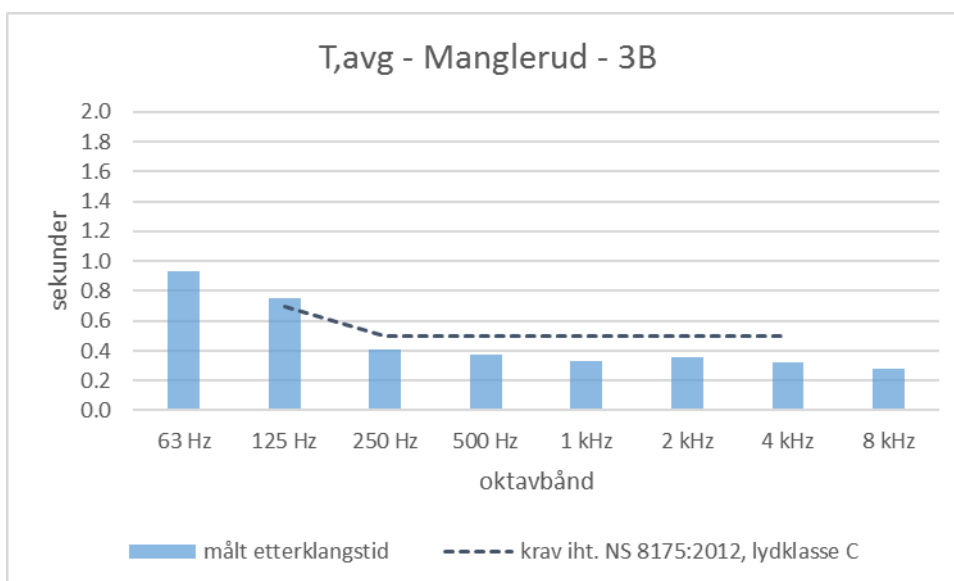
8.1 Detaljerte resultater fra ordinære målinger

Database med detaljerte målte verdier av STI, etterklangstid og bakgrunnsstøy kan fås på oppfordring.

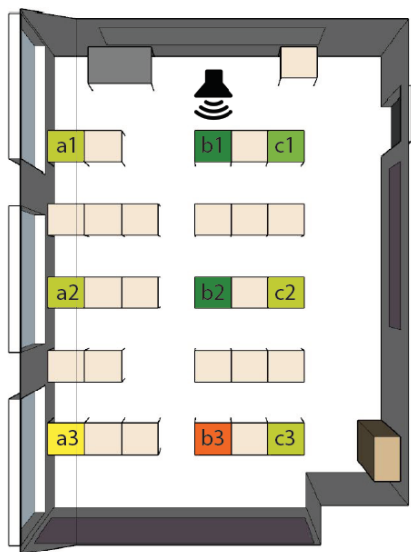
8.2 Detaljerte resultater fra stikkprøvene



Figur 8-1 Målt STI-verdi i klasserom 3B på Manglerud skole med elever tilstede.



Figur 8-2 Målt etterklangstid i klasserom 3B på Manglerud skole med elever tilstede.

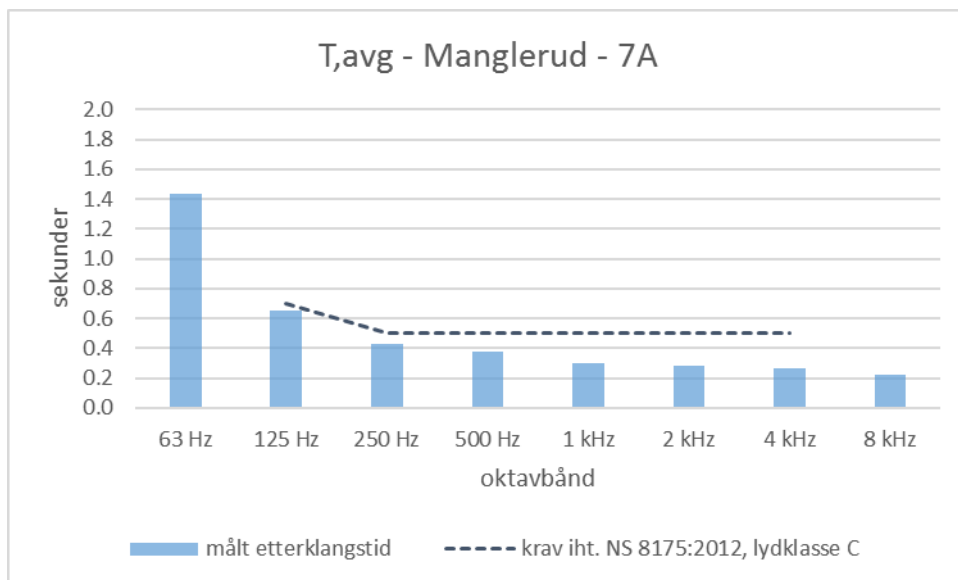


Manglerud 7A

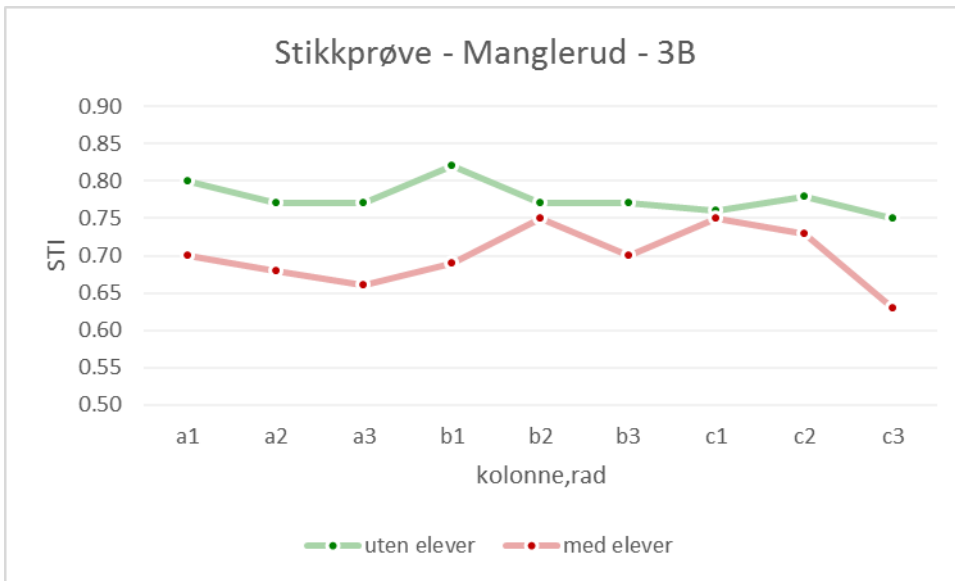
V = 157 m³

0.85-0.89	EXCELLENT, upper
0.80-0.84	EXCELLENT, mid
0.75-0.79	EXCELLENT, lower
0.70-0.74	GOOD, upper
0.65-0.69	GOOD, mid
0.60-0.64	GOOD, lower
0.55-0.59	FAIR, upper

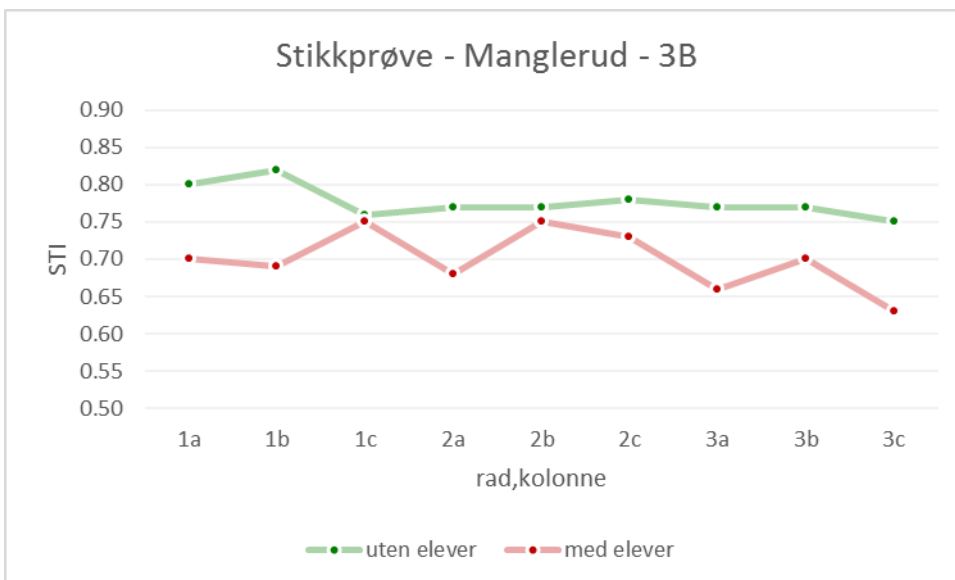
Figur 8-3 Målt STI-verdi i klasserom 7A på Manglerud skole med elever tilstede.



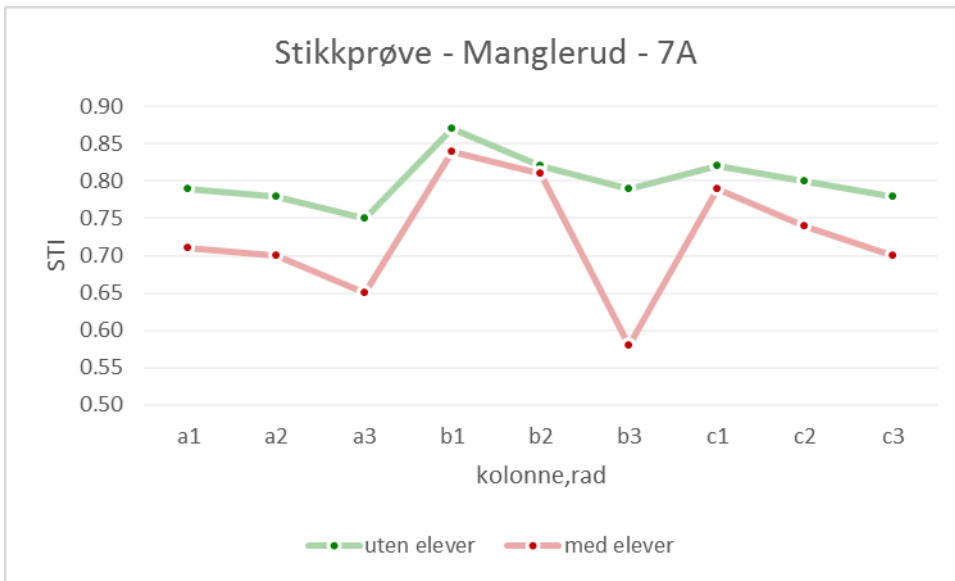
Figur 8-4 Målt etterklangstid i klasserom 7A på Manglerud skole med elever tilstede.



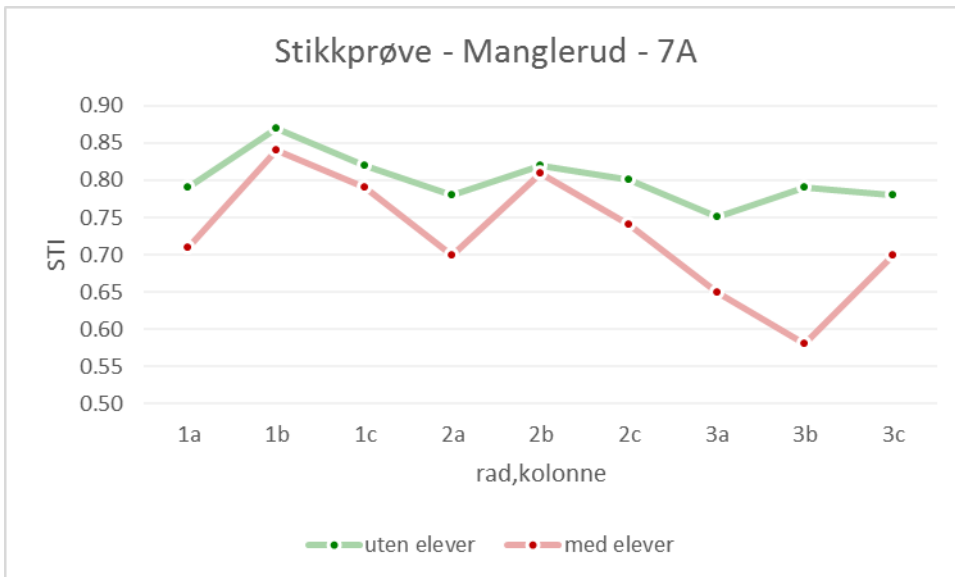
Figur 8-5 STI-forløp fra kolonne a til kolonne c, med og uten elever i klasserom 3B på Manglerud skole.



Figur 8-6 STI-forløp fra første rad til siste rad, med og uten elever i klasserom 3B på Manglerud skole.



Figur 8-7 STI-forløp fra kolonne a til kolonne c, med og uten elever i klasserom 7A på Manglerud skole.



Figur 8-8 STI-forløp fra første rad til siste rad, med og uten elever i klasserom 7A på Manglerud skole.

8.3 Bilder av målestyr målehøyder



Bilde 1: Lydmåler, kalibrator og hørselsvern.



Bilde 2: Ballonger, ballongpumpe og sikkerhetsnål.



Bilde 3: Tivoli Audio PAL-radio benyttet til å spille av STIPA-signal.



Bilde 4: Sender med fiksert målehøyde på 1.7 m over gulvet.



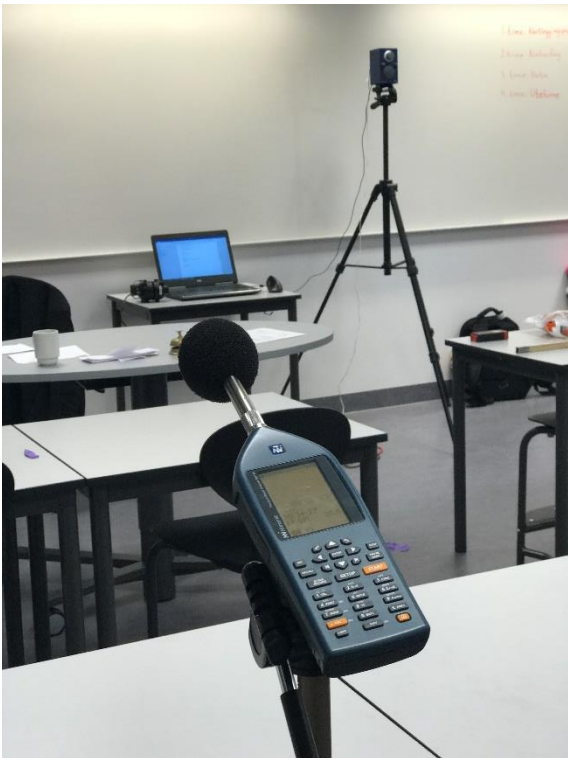
Bilde 5: Mottaker med fiksert målehøyde på 1.2 m over gulvet.



Bilde 6: Måling av etterklangstid.



Bilde 7: Måling av STI.



Bilde 8: Eksempel på måleoppsett.



Bilde 9: Måling av STI.

8.4 Bilder fra målinger på skolene

#1 Fagerborg - Tysk



#2 Fagerborg - Spansk



#3 Manglerud - 3B



#4 Manglerud - 7A



#5 Munkerud - 4C



#6 Rykkinn - 6C



#7 Edvard Munch - 222B



#8 Edvard Munch - 221



#9 Stasjonsfjellet - 14



#10 Stasjonsfjellet - 12



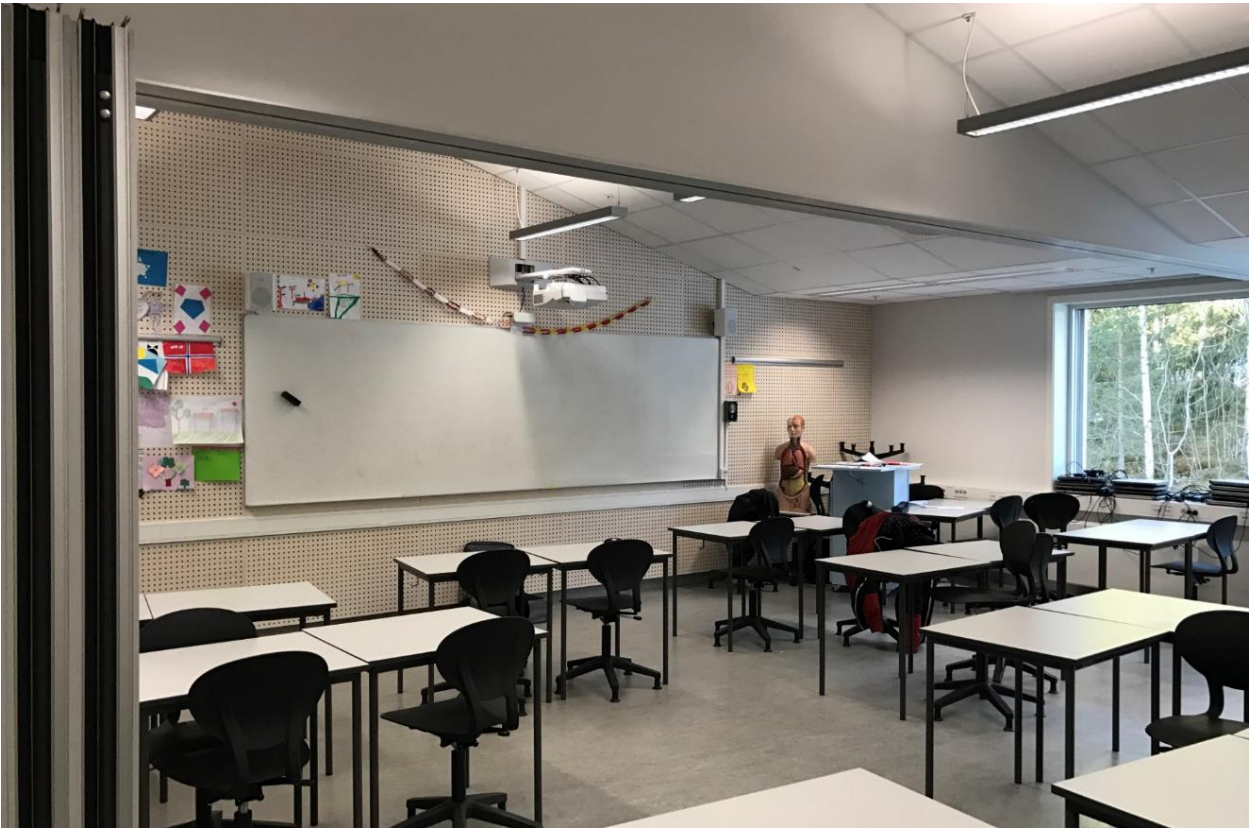
#11 Granstangen - 2023



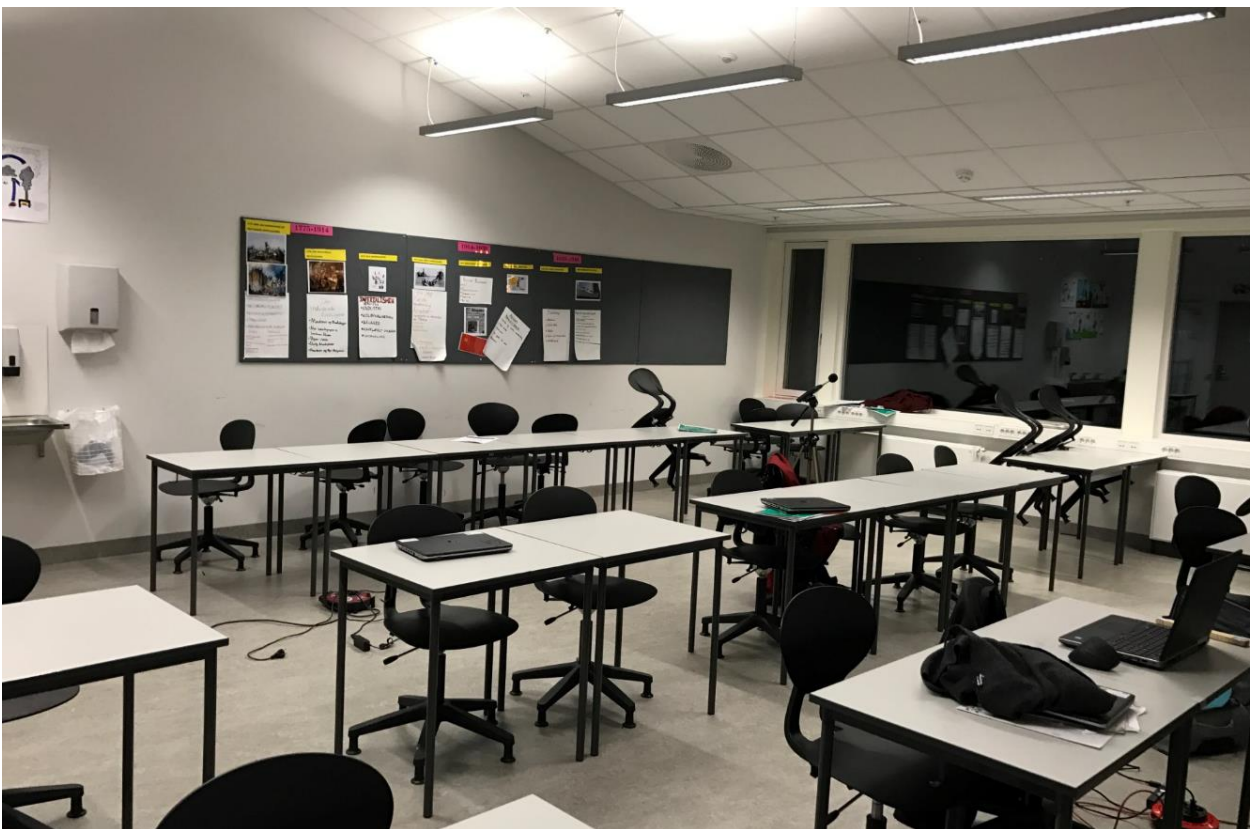
#12 Granstangen - 2020



#13 Tokerud - Åsen 3



#14 Tokerud - Åsen 5



#15 Haugenstua - 10D



#16 Haugenstua - 10C



#17 Rykkinn - 4C



#18 Frydenhaug - Baserom F



#19 Frydenhaug - Baserom H



#20 Munkerud - 4A



8.5 Bilder fra stikkprøvene

#3 Manglerud - 3B



#4 Manglerud - 3B



9 Liste over tabeller og figurer

9.1 Tabeller

Tabell 2-1 STI-skalaen med STI-verdi og kategori (Houtgast and Steeneken 2002).....	13
Tabell 3-1 Utstyr benyttet i feltarbeidet.	20
Tabell 4-1 Oversikt over inndeling av klasserommene.....	28
Tabell 4-2 Taletydelighet vs. romform oppsummert fra høyest til lavest STI-verdier, samt gjennomsnittlig differanse av høyeste og laveste STI-verdier.	61

9.2 Figurer

Figur 2-1 Lydtrykknivå fra ulike lydtkilder (Raichel 2006).	8
Figur 2-2 Menneskestemmens direktivitet varierer i ulike retninger ut fra munnen. Figur A viser retningsfordelingen i horisonalplanet. Figur B viser retningsfordelingen i vertikalplanet (Everest and Pohlmann 2009).	9
Figur 2-3 Talebananen (Statped 2015).	14
Figur 4-1 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom Tysk på Fagerborg skole.	29
Figur 4-2 Målt etterklangstid i klasserom Tysk på Fagerborg skole.	30
Figur 4-3 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom Spansk på Fagerborg skole.	31
Figur 4-4 Målt etterklangstid i klasserom Spansk på Fagerborg skole.	31
Figur 4-5 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 3B på Manglerud skole.	32
Figur 4-6 Målt etterklangstid i klasserom 3B på Manglerud skole.	33
Figur 4-7 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 7A på Manglerud skole.	34
Figur 4-8 Målt etterklangstid i klasserom 7A på Manglerud skole.....	34
Figur 4-9 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 4C på Munkerud skole.....	35
Figur 4-10 Målt etterklangstid i klasserom 4C på Munkerud skole.....	36
Figur 4-11 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 6C på Rykkinn skole.....	37
Figur 4-12 Målt etterklangstid i klasserom 6C på Rykkinn skole.....	37
Figur 4-13 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 222B på Edvard Munch skole.	38
Figur 4-14 Målt etterklangstid i klasserom 222B på Edvard Munch skole.....	38
Figur 4-15 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 221 på Edvard Munch skole.	39

Figur 4-16 Målt etterklangstid i klasserom 221 på Edvard Munch skole.	40
Figur 4-17 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 14 på Stasjonsfjellet skole.	41
Figur 4-18 Målt etterklangstid i klasserom 14 på Stasjonsfjellet skole.	41
Figur 4-19 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 12 på Stasjonsfjellet skole.	42
Figur 4-20 Målt etterklangstid i klasserom 12 på Stasjonsfjellet skole.	42
Figur 4-21 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 2023 på Granstangen skole.	43
Figur 4-22 Målt etterklangstid i klasserom 2023 på Granstangen skole.	43
Figur 4-23 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 2020 på Granstangen skole.	44
Figur 4-24 Målt etterklangstid i klasserom 2020 på Granstangen skole.	44
Figur 4-25 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom Åsen 3 på Tokerud skole.	45
Figur 4-26 Målt etterklangstid i klasserom Åsen 3 på Tokerud skole.	45
Figur 4-27 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom Åsen 5 på Tokerud skole.	46
Figur 4-28 Målt etterklangstid i klasserom Åsen 5 på Tokerud skole.	46
Figur 4-29 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 10D på Haugenstua skole.	47
Figur 4-30 Målt etterklangstid i klasserom 10D på Haugenstua skole.	48
Figur 4-31 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 10C på Haugenstua skole.	49
Figur 4-32 Målt etterklangstid i klasserom 10C på Haugenstua skole.	49
Figur 4-33 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 4C på Rykkinn skole.	50
Figur 4-34 Målt etterklangstid i klasserom 4C på Rykkinn skole.	50
Figur 4-35 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i Baserom F på Frydenhaug skole.	51
Figur 4-36 Målt etterklangstid i Baserom F på Frydenhaug skole.	51
Figur 4-37 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i Baserom H på Frydenhaug skole.	52
Figur 4-38 Målt etterklangstid i Baserom H på Frydenhaug skole.	53
Figur 4-39 Romgeometri, møblering, måleoppsett og målt STI-verdi i klasserom 4A på Munkerud skole.	54
Figur 4-40 Målt etterklangstid i klasserom 4A på Munkerud skole.	54
Figur 4-41 STI-forløp fra kolonne a til kolonne d i et gjennomsnittlig dypt klasserom.	56
Figur 4-42 STI-forløp fra første rad til siste rad i et gjennomsnittlig dypt klasserom.	56
Figur 4-43 STI-forløp fra kolonne a til kolonne d i et gjennomsnittlig bredt klasserom.	57
Figur 4-44 STI-forløp fra første rad til siste rad i et gjennomsnittlig bredt klasserom.	57

Figur 4-45 STI-forløp fra kolonne a til kolonne d i et gjennomsnittlig kvadratisk klasserom.....	58
Figur 4-46 STI-forløp fra første rad til siste rad i et gjennomsnittlig kvadratisk klasserom.	58
Figur 4-47 STI-forløp fra kolonne a til kolonne d i et gjennomsnittlig spesialklasserom....	59
Figur 4-48 STI-forløp fra første rad til siste rad i et gjennomsnittlig spesialklasserom.....	59
Figur 4-49 STI-forløp fra kolonne a til kolonne d i et gjennomsnittlig trapes klasserom. ...	60
Figur 4-50 STI-forløp fra første rad til siste rad i et gjennomsnittlig trapes klasserom.	60
Figur 4-51 Målt STI-verdier vs. målt bakgrunnsstøynivå $L_{p,A,T}$ i de 20 befarte klasserommene. Klasserommene er listet etter størrelse på volum, fra minst til størst for hver romform.	62
Figur 4-52 Målt STI-verdier vs. målt etterklangsnivå i de 20 befarte klasserommene. Klasserommene er listet etter størrelse på volum, fra minst til størst for hver romform. ...	63
Figur 4-53 Differanse mellom målt STI-verdier vs. målt bakgrunnsstøynivå, med og uten elever i de to klasserommene det ble utført stikkprøver. Klasserommene er listet etter størrelse på volum, fra minst til størst.	64
Figur 4-54 Differanse mellom målt STI-verdier vs. målt etterklangstid, med og uten elever i de to klasserommene det ble utført stikkprøver. Klasserommene er listet etter størrelse på volum, fra minst til størst.....	64
Figur 8-1 Målt STI-verdi i klasserom 3B på Manglerud skole med elever tilstede.....	90
Figur 8-2 Målt etterklangstid i klasserom 3B på Manglerud skole med elever tilstede.....	90
Figur 8-3 Målt STI-verdi i klasserom 7A på Manglerud skole med elever tilstede.	91
Figur 8-4 Målt etterklangstid i klasserom 7A på Manglerud skole med elever tilstede.....	91
Figur 8-5 STI-forløp fra kolonne a til kolonne c, med og uten elever i klasserom 3B på Manglerud skole.	92
Figur 8-6 STI-forløp fra første rad til siste rad, med og uten elever i klasserom 3B på Manglerud skole.	92
Figur 8-7 STI-forløp fra kolonne a til kolonne c, med og uten elever i klasserom 7A på Manglerud skole.	93
Figur 8-8 STI-forløp fra første rad til siste rad, med og uten elever i klasserom 7A på Manglerud skole.	93

10 Litteratur

- Arkitektur_N_no.3 (2016), 'Edvard Munch Videregående skole, Oslo', *Arkitektur_N*, (no. 3 (2016)), 50-59.
- Bradley, J. S. and Sato, H. (2004), 'Speech recognition by grades 1, 3 and 6 children in classrooms', 26-27.
- Byggforsk (1998), *527.300 Romakustikk*.
- (2002), *421.431 Lydisolering av gjennomføringer*.
- Contia, Stephane G. , et al. (2004), 'Measurement Of The Scattering And Absorption Cross Sections Of The Human Body', 819-21.
- Crandell, C. C., J., Smaldino J., and A., Flexer C. (2005), *Sound field amplification: applications to speech perception and classroom acoustics* (2nd edn.: Thomson Delmar Learning).
- Dammerud, Jens Jørgen (2013) *Elektroakustikk, NISS Høyskole* [online text],
- Davis, G. and Jones, R. (1989), *The Sound Reinforcement Handbook* (Hal Leonard Corporation).
- Estabrooks, Warren, MacIver-Lux, Karen, and Rhoades, Ellen A. (2016), *For Young Children with Hearing Loss and Their Families, and the Practitioners Who Guide Them* (Plural Publishing) 583.
- Everest, Frederick Alton and Pohlmann, Ken C. (2009), *Master Handbook of Acoustics* (5th edn.; New York: McGraw-Hill) 510.
- Halmrast, Tor (2013), *Klangen* 461.
- Houtgast, Tammo and Steeneken, Herman (2002), *Past, present and future of the Speech Transmission Index* (TNO Human Factors) 159.
- Howard, David M. and Angus, Jamie A. S. (2009), *Acoustics and Psychoacoustics* (4th edn.: Focal Press) 485.
- IEC-60268-16 (2011), 'Sound system equipment. Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index', (4th edn.: International Electrotechnical Commission).
- ISO-3382-2 (2008), 'Måling av romakustiske parametere - Del 2: Etterklangstid i vanlige rom', (Standard Norge), 28.
- ISO-3382-3 (2012), 'Måling av romakustiske parametere. Del 3: Åpne kontorlandskap', (Standard Norge), 24.
- ISO-16032 (2004), 'Måling av lydtrykknivå fra tekniske installasjoner i bygninger. Teknisk metode', (Standard Norge), 24.
- Kim, Jin Sook and Kim, Chun Hyeok (2014), 'A Review of Assistive Listening Device and Digital Wireless Technology for Hearing Instruments', *Korean Journal of Audiology*.
- Kinsler, Lawrence E. (2000), *Fundamentals of acoustics* (4th edn.; New York: John Wiley) 548.

- Klatte, M., Lachmann, T., and Meis, M. (2010), 'Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting', 270-82.
- Lane, H. and Tranel, B. (1971), 'The Lombard Sign and the Role of Hearing in Speech', (14; December 1971: *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*), 14.
- Løchstøer, Wilhelm (1996), *Lyd eller u lyd* (1st edn.; Trondheim: NTNF og Tapir Forlag) 86.
- Mikulski, W. and Radosz, J. (2011), 'Acoustics of Classrooms in Primary Schools - Results of the Reverberation Time and the Speech Transmission Index Assessments in Selected Buildings', *Archives of Acoustics*, 36 (4), 777-93.
- Norsonic_Instruction_Manual (2006), 'Speech Intelligibility by STIPA', (Norsonic), 131-42.
- NS-8175 (2008), 'Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper', (Standard Norge), 44.
- (2012), 'Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper', (Standard Norge), 68.
- Raichel, Daniel R. (2006), *The Science and Applications of Acoustics* (2nd edn.; New York: Springer Science and Business Media) 660.
- Rossing, Thomas D., Wheeler, Paul, and Moore, F. Richard (2002), *The Science of Sound* (3rd edn.; San Francisco: Addison Wesley) 783.
- Statped (2017), 'Talebanan', (updated 2015 Dec 10th) <<http://www.sansetap.no/voksnehorsel/om/nedsatt-horsel/audiogram/talebanan/>>, accessed May 20th.
- Store_medisinske_leksikon (2015), *Hørselshemning*. (2017 May 20th).
- TEK10 (2011), 'Byggeteknisk forskrift', in Direktoratet for byggkvalitet (ed.), § 13-6. *Generelle krav om lyd og vibrasjoner*.
- van Wijngaarden, Dr. Sander J. and Verhave, Jan A. (2014), 'Speech intelligibility measurements in practice; Obtaining accurate and reliable data using STIPA tools', *Embedded Acoustics* (Embedded Acoustics).
- Vigran, Tor Erik (2002), *Bygningsakustikk - et grunnlag* (1st edn.) 314.



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway