

DEN NATIONALE SCENE

MÅLING AV ROMAKUSTIKK, LILLE SCENE

MÅLERAPPORT

ADRESSE COWI AS
Postboks 2422
5824 Bergen
TLF +47 02694
WWW cowi.no

INNHOLD

Sammendrag	2
1 Innledning	2
2 Anbefalinger	2
3 Eksisterende situasjon	4
4 Målemetode	6
5 Måleresultater	9
5.1 Etterklangstid	9
5.2 Taletydelighet	12
5.3 Styrke	13
5.4 Klarhet	14

OPPDRAGSNR.

A252007

DOKUMENTNR.

006

VERSJON

1

UTGIVELSESDATO

17.08.2024

BESKRIVELSE

Målerapport

UTARBEIDET

Erlend Bolstad

KONTROLLERT

Bård Støfringsdal

GODKJENT

Bård Støfringsdal

Sammendrag

Lille Scene har gode forhold for taleformidling uten bruk av lydforsterkning. Dette skyldes både salens størrelse - at det er kort avstand fra scenen til alle publikumsseter, og gunstig fordeling av reflekterende flater som bidrar med nyttige tidlige refleksjoner. Etterklangskurven gir også gode forutsetninger for bruk av lydanlegg i de produksjonene der dette er relevant.

Dagens lydforhold er en god referanse ved flytting av Lille Scene til Malersalen, men på grunn av større takhøyde og annen romgeometri, må målsetningsnivåene tilpasses noe.

1 Innledning

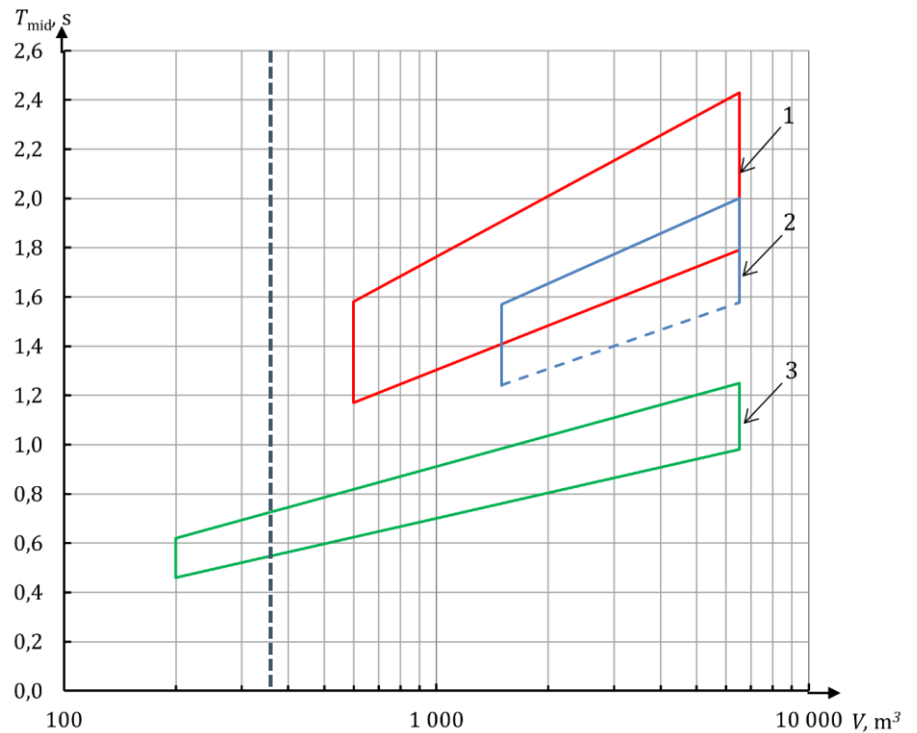
Det ble utført målinger av romakustikk ved Lille Scene på Den Nationale Scene 22. juni 2023. Hensikten med målingene er å definere og tallfeste de romakustiske forholdene i dagens situasjon, samt å analysere hvordan romakustikken påvirker forholdene for taletydelighet. Hensikten med rapporten er også å åpne for en dialog om aktuelle krav og målsetninger for romakustiske forhold i denne typen rom. Det er besluttet at Lille Scene skal flyttes til dagens malersal i 3. etasje. Måleresultatene for dagens Lille Scene vil først og fremst være nyttige som en referanse på dagens situasjon. Endelige krav til Lille Scene ved ny lokalisering må tilpasses til prosjektet i samarbeid med teateret og aktuelle rådgivere.

Lille Scene er den minste av tre scener ved Den Nationale Scene og har plass til ca. 70 publikummere. Bygget er fra 1909.

2 Anbefalinger

I standarden NS 8178:2023 *Akustiske kvalitetskriterier for saler til musikkframføring* er det gitt anbefalinger for etterklangstid som funksjon av bruksområde og romvolum. Disse sammenfaller med anbefalingene i NS-ISO 23591:2021 og er vist i Figur 1. I Figur 1 er Lille Scene markert med en vertikal svart strek. Selve salen har et volum grovt estimert til cirka 360 m³.

Lydsterk akustisk musikk omfatter ensembler og orkestre som symfoniorkestre, korps, storband og lignende. Lydsvak akustisk musikk omfatter kor, strykeorkestre og lignende. Kriterium for forsterket musikk gir også egnede forhold for taleformidling og andre bruksområder der hoveddelen av lydformidlingen til publikum skjer ved hjelp av høyttalersystemet. For teater og lignende vil en normalt ønske en etterklangstid i øvre halvdel av anbefalingen for forsterket musikk, med fokus på formidling av (semi-)akustisk tale og sang fra scenen.

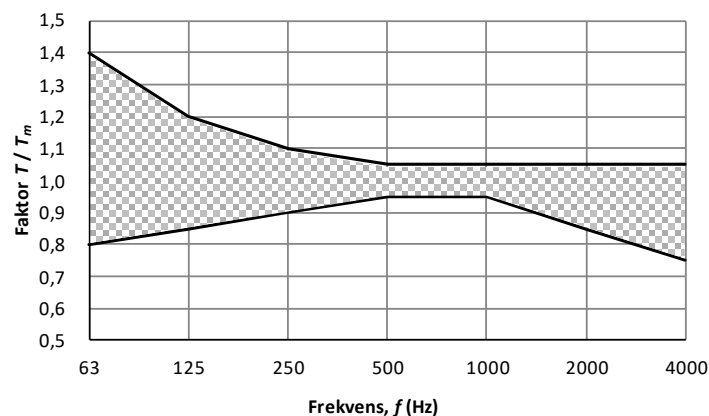


Tegnforklaring

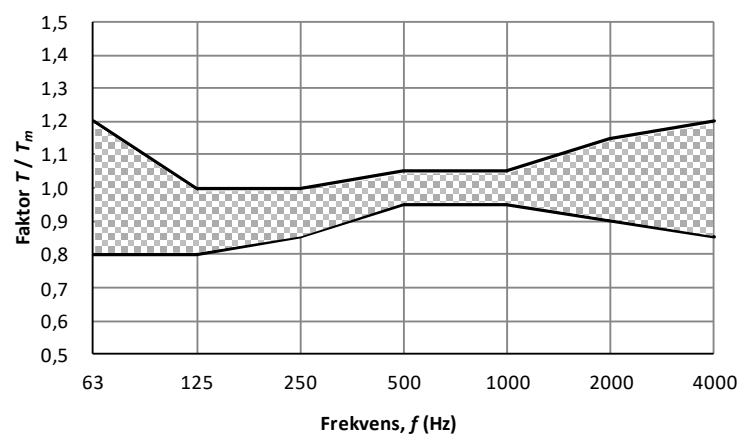
- 1 øvre og nedre grense for lydsvak akustisk musikk i framføringssaler
- 2 øvre og nedre grense for lydsterk akustisk musikk i framføringssaler; for stiptet linje, se forklaring i teksten i 4.2
- 3 øvre og nedre grense for forsterket musikk i framføringssaler
- T_{mid} gjennomsnitt av etterklangstid for oktavbåndene på 500 Hz og 1000 Hz, i sekunder
- V volum, i kubikkmeter (m^3)

Figur 1 Etterklangstid, T , relatert til netto romvolum, V , for ulike bruksformål (Kilde: Standard Norge, NS 8178:2023).

Etterklangstiden, T , er i Figur 1 definert som den midlere etterklangstiden i frekvensområdet 500-1000 Hz (T_m). Det er likevel viktig å oppnå egnede etterklangstider for hele frekvensspekteret. I NS 8178 er det brukt en faktor, T/T_m , som er definert som etterklangstiden ved et frekvensbånd relativt den midlere etterklangstiden. Denne faktoren bør ligge innenfor det skraverte området vist i Figur 2 og Figur 3.



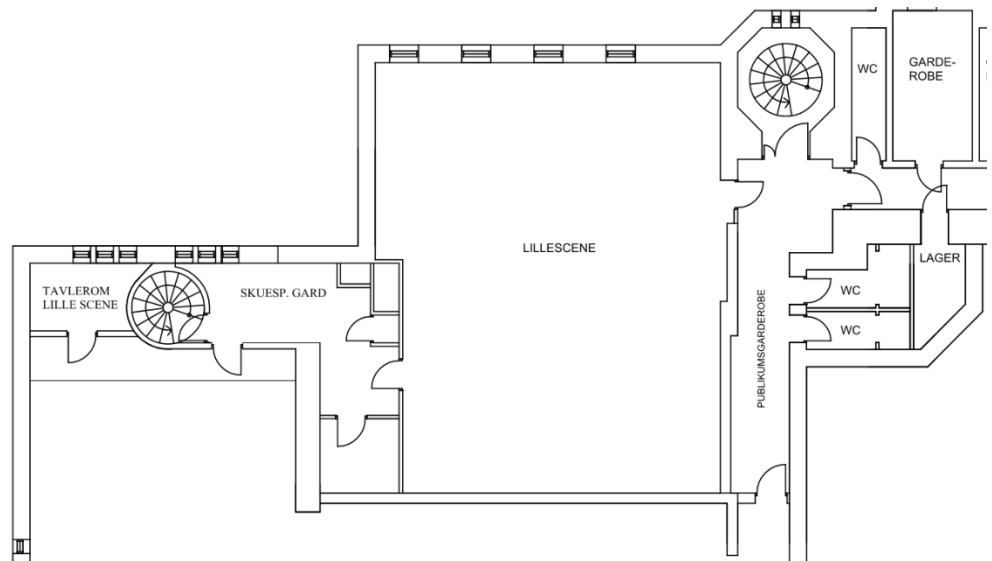
Figur 2 Anbefalt frekvensfordeling for etterklangstid i konsertscener for akustisk musikk. Figuren viser etterklangstid T for et gitt frekvensbånd relativt T_m , etterklangstiden ved oktavbåndene 500 og 1000 Hz.



Figur 3 Anbefalt frekvensfordeling for etterklangstid i konsertscener for forsterket musikk. Figuren viser etterklangstid T for et gitt frekvensbånd relativt T_m , etterklangstiden ved oktavbåndene 500 og 1000 Hz.

3 Eksisterende situasjon

Figur 4 viser plantegning av Lille Scene i 2. etasje. Salen er utformet som en blackbox med publikumsseter på mobile platninger med relativt liten stigningsgrad. Teknikerposisjoner er på venstre side av salen, sett fra scenen. Himlingshøyden er ca. 3,2 m.



Figur 4 Plantegning 2. etasje

Målinger ble utført 22.06.2023 av Erlend Bolstad og Philip Trætteberg. Scenen var da rigget til forestillingen «De må føde oss eller pule oss for å elske oss». Scenografien var relativt begrenset med lette platevegger og søyler med marmoruttrykk. Det var ingen inndekning eller bakteppe, og bakerst på scenen var det et delvis lukket rom. Totalt sett var det lite absorberende scenografiske elementer.



Figur 5 Foto av scenografi som var opprigget under målingene 22.06.2023.

4 Målemetode

Målingene ble utført med målesystemet IRIS. Kildesignalet er sinussveip og romresponsen blir målt med en Ambisonic mikrofon som kan retningsbestemme innkommende lyd.

Det ble målt med følgende kilder:

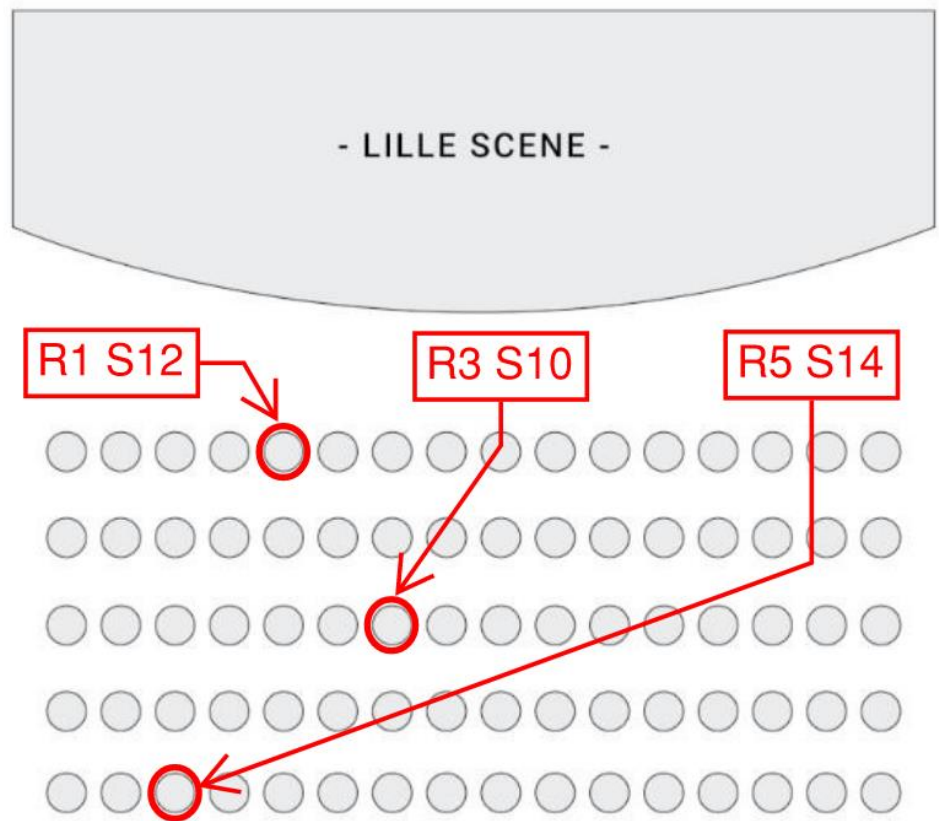
- > Omnidireksjonell høyttaler, 2 posisjoner på scenen.
- > Talkbox akustisk, 2 posisjoner på scenen

Talkbox er en høyttaler som simulerer frekvensrespons, nivå og direktivitet fra en talekilde. Denne kilden ble brukt til måling av taletydelighet (STI).

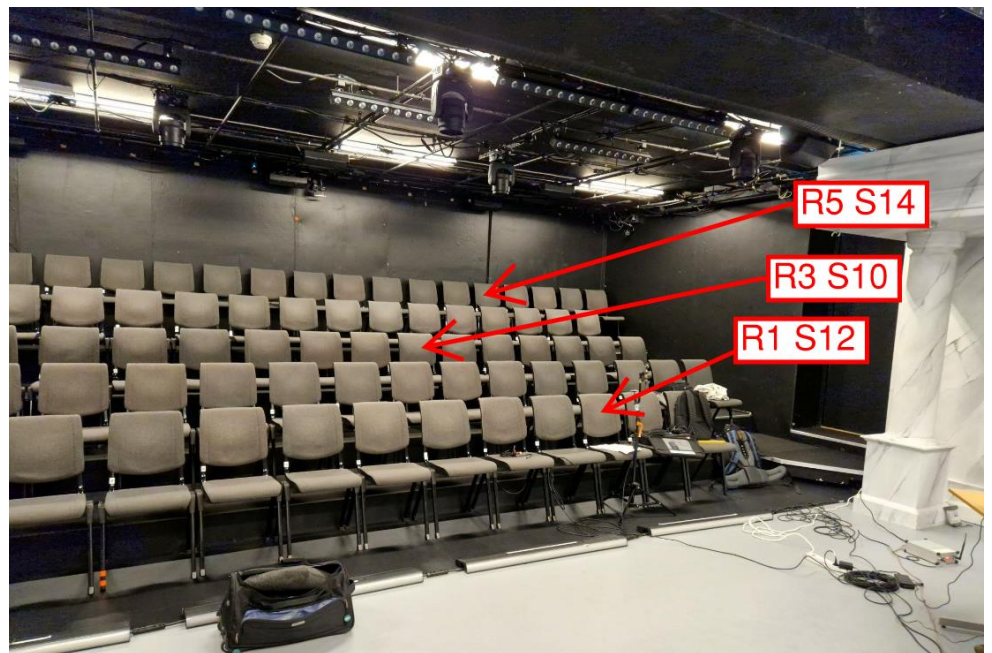
Videre ble det brukt 3 forskjellige målepunkter på publikumsseter. Målepunktene i salen navngis som vist i Tabell 1. Figur 6 og Figur 7 viser posisjonene på henholdsvis salkart og foto. Salkartet stemte ikke helt med stolplassering på måletidspunktet, der det bl.a. var noen ekstra stoler på bakerste rad og færre på første rad.

Tabell 1 Mottakerposisjoner for lydmåling

Navn	Rad	Sete
R1 S12	1	12
R3 S10	3	10
R5 S14	5	14



Figur 6 Salkart som viser plassering av mottakerposisjoner

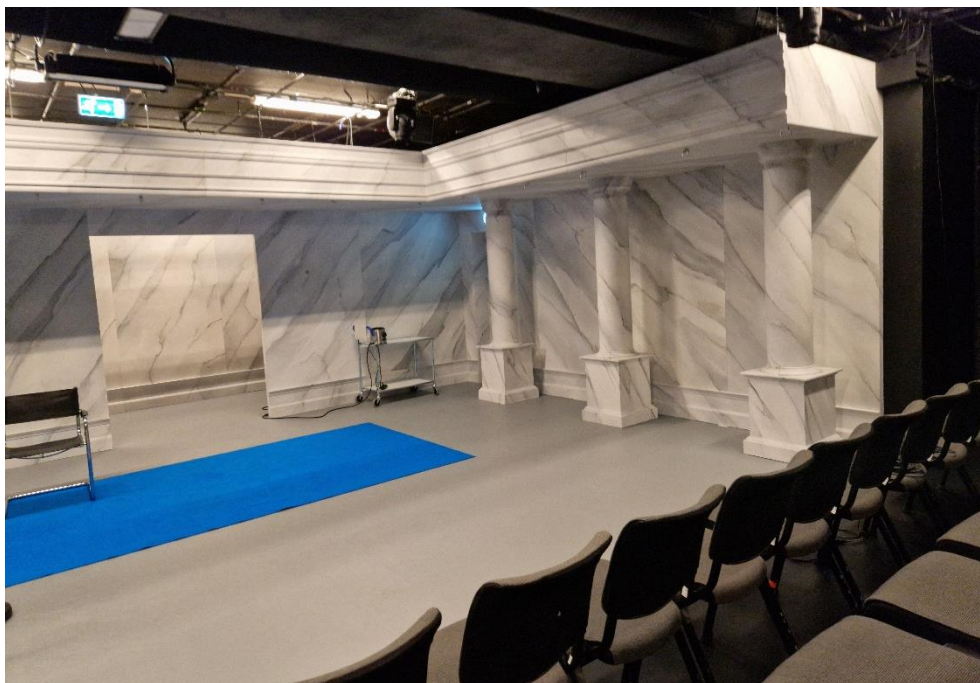


Figur 7 Foto av salen som viser plassering av mottakerposisjoner

Videre vises det bilder av perspektivet mot scenen fra mottakerposisjonene i salen.



Figur 8 R1 S12



Figur 9 R3 S10



Figur 10 R5 S14

5 Måleresultater

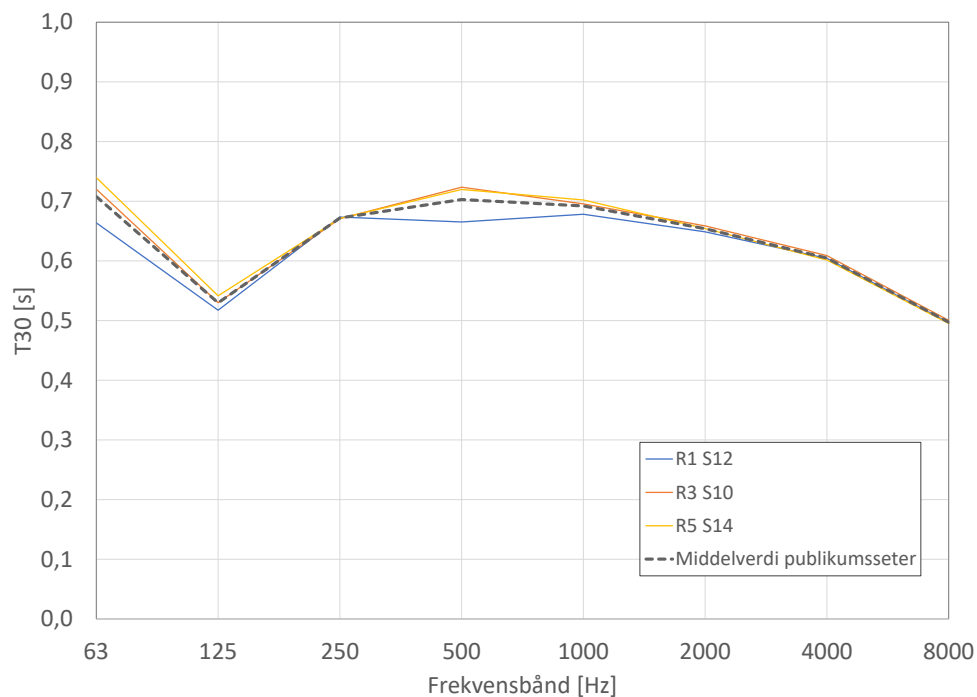
Etterklangstid er den klassiske og mest kjente måleparameteren innenfor romakustikk. I tillegg er det en rekke andre parametere som er interessante, og som særlig er relevante i rom for formidling av tale og fremføring av musikk. Etterklangstid, taletydighet, klarhet og styrke vil presenteres i de påfølgende kapitlene.

5.1 Etterklangstid

Figur 11 viser etterklangstid (T_{30}) i salen, målt med kulehøytaler som kilde. Resultatet i midlere frekvenser er cirka 0,7 s, noe som tilsvarer øvre grenseverdi i anbefalingene for forsterket musikk i NS 8178 for et rom av denne størrelsen.

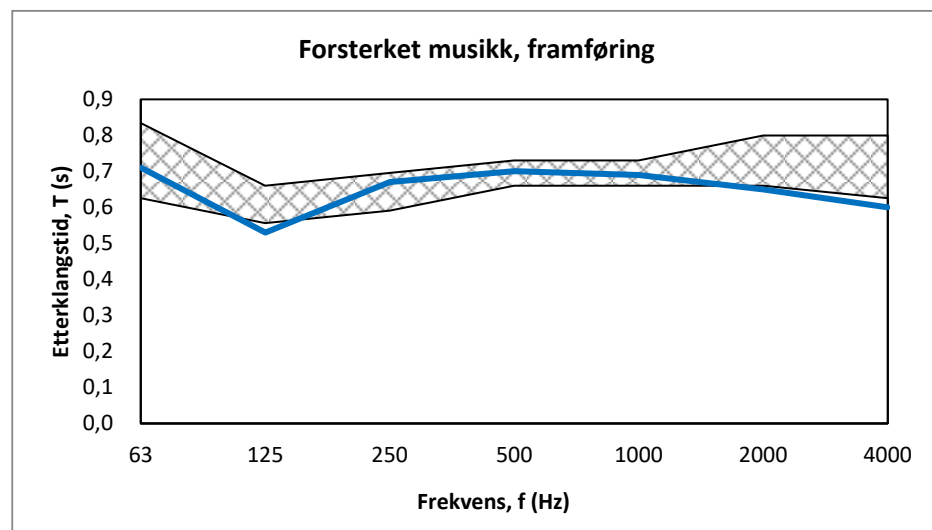
Måleresultatene er relativt jevne over plasseringene i salen, men det er noe kortere etterklangstid ved 500 Hz-oktavbåndet for måleposisjonen på første rad. Som omtalt i kapittel 3 var det lite inndekning og relativt reflekterende scenografi. At etterklangstiden likevel er innenfor anbefalingen er gunstig, ettersom en da har mulighet til å variere innenfor det anbefalte området ved

hjelp av tepper eller andre absorberende elementer.



Figur 11 Etterklangstid (T_{30}) i salen, målt med kulehøytaler som kilde.

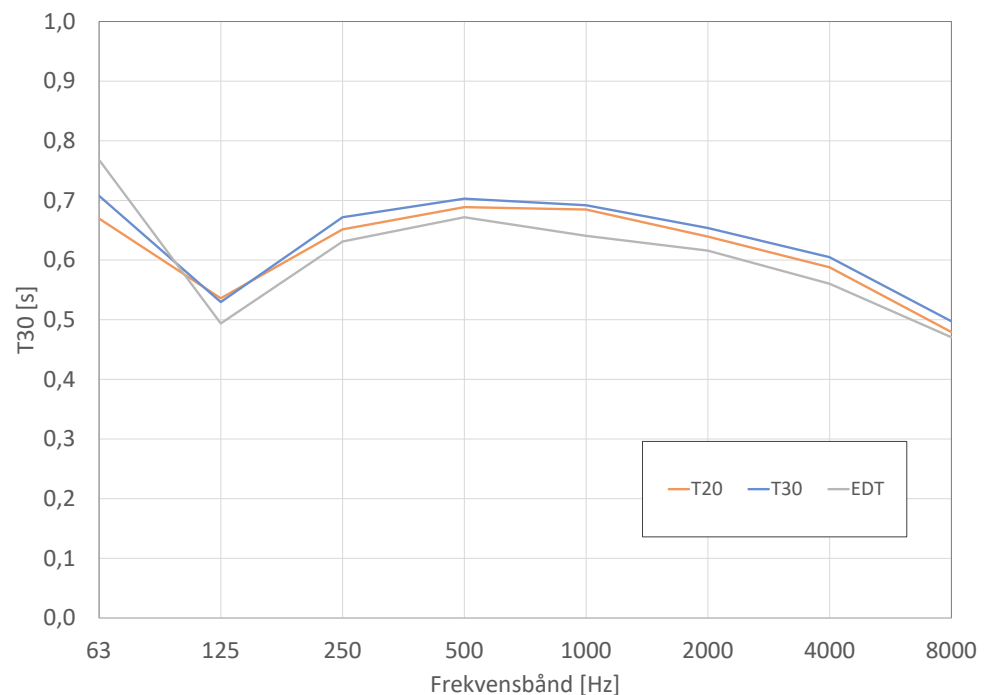
Generelt er etterklangstiden frekvensmessig nokså jevn. Etterklangskurven samsvarer relativt godt med anbefalte toleransegrenser i NS 8178, men med noe kort etterklangstid fra 2000 Hz og oppover, relativt til etterklangstiden i mellomtoneområdet (se Figur 12). Vurdert ut fra målekurven er det en risiko for at rommet kan oppleves litt matt i diskanten, spesielt ved bruk av tepper eller absorberende scenografi.



Figur 12 Blå kurve viser målt etterklangstid (middelverdi for publikumsseter). Skravert område er de frekvensmessige toleransegrensene for etterklangstid i konsertscener for forsterket musikk (NS 8178). Toleransegrensene er satt relativt til målt T_m , etterklangstiden ved oktavbåndene 500 og 1000 Hz.

Den grunnleggende definisjonen på etterklangstid er tiden det tar fra et signal stoppes til lydnivået er redusert med 60 dB. Måleteknisk er det imidlertid utfordrende å måle så stor dynamikk, særlig i miljøer med mye bakgrunnsstøy. *T30*, som så langt er vist i rapporten, tar utgangspunkt i de første 35 dB av reduksjonen, og benytter lineær kurvetilpasning for å estimere tiden for når 60 dB reduksjon inntreffer. *T20* baserer seg på de første 25 dB av reduksjonen og *EDT* på de første 15 dB. Typisk vil *EDT* være mer beskrivende for hvordan klangen til pågående musikk/lyd oppleves, mens *T20/T30* er mer egnet til å beskrive den "halen" av lyd vi hører når en lydkilde stoppes.

Reduksjonen av lydnivå er ikke nødvendigvis lineær. *T30* vil være best til å fange opp situasjoner der en har flere kurveforløp som påvirker etterklangstiden. Dette kan typisk skje i tilfeller der en har mye sen energi (sene refleksjoner) som gir en flatere eller mer ujevn kurve utover i forløpet sammenlignet med kurven til de tidligste refleksjonene. For Lille Scene domineres romresponsen av tidlig energi, noe som er forventet ut fra salens størrelse og relativt enkle geometri. Figur 13 viser *T30*, *T20* og *EDT* som et gjennomsnitt over publikumssetene, målt med kulehøytaler som kilde. Her observeres det at kurvene ligger relativt tett og har en nokså jevn differanse over hele frekvensspekteret. Unntak er *EDT* som har noe lengre verdi ved 63 Hz oktavbåndet.



Figur 13 Gjennomsnitt av *T30*, *T20* og *EDT* i publikumsseter, målt med kulehøytaler som kilde.

5.2 Taletydelighet

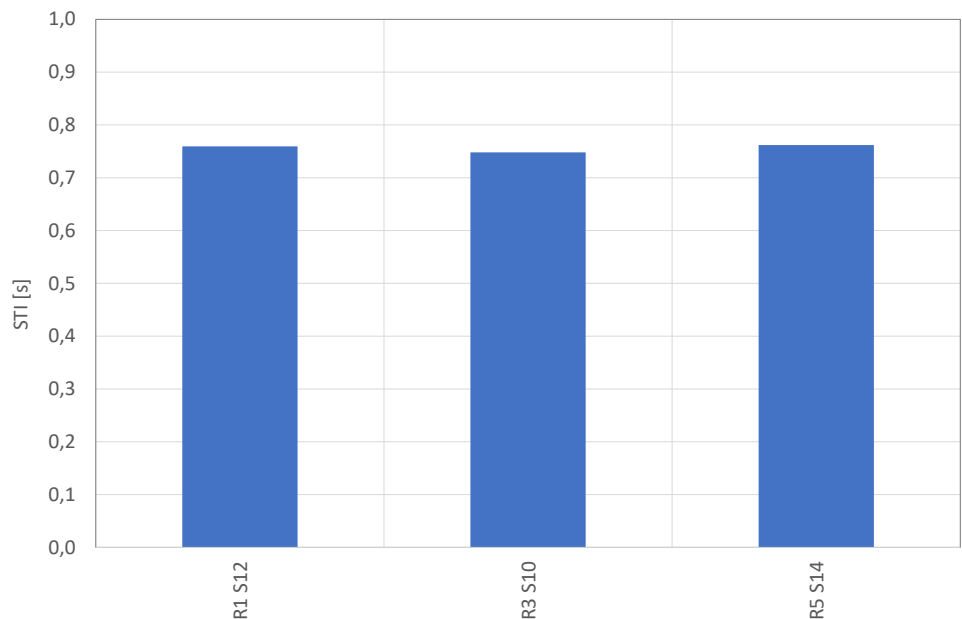
Det er særlig to forhold som er viktige for å oppnå god taletydelighet. Det første er å sikre at lydnivået fra tale er tilstrekkelig høyere enn bakgrunnsstøynivået, og det andre er at forholdet mellom nyttige tidlige refleksjoner og sene refleksjoner er tilstrekkelig høyt. Tidlige refleksjoner oppleves som en gunstig forsterkning av lydnivået, mens sene refleksjoner bidrar til å redusere tydeligheten i talen. I områder der lydnivået blir lavere, kan taletydeligheten forbedres ved å bruke høyttalere, men det er samtidig viktig å designe høyttalersystemet på en måte som ikke øker de sene refleksjonene relativt til de tidlige.

Speech transmission index (*STI*) er en parameter for vurdering av taletydelighet. *STI* er basert på et amplitudemodulert signal der graden av modulasjon representerer talesignalet. Jo mindre påvirket modulasjonen blir av rommet, desto bedre blir *STI*. *STI* varierer mellom 0 og 1 med følgende subjektive beskrivelse av nivåer.

Tabell 2 *STI, subjektiv beskrivelse av nivåer*

STI	Subjektiv taletydelighet
0-0,3	Ikke forståelig
0,3-0,45	Dårlig
0,45-0,6	Brukbar
0,6-0,75	God
0,75-1	Utmerket

STI kan utledes fra rommets impulsrespons. På Lille Scene ble Talkbox med sinussveip benyttet som kilde for måling av impulsrespons. Videre ble *STI* beregnet i måleprogrammet IRIS.



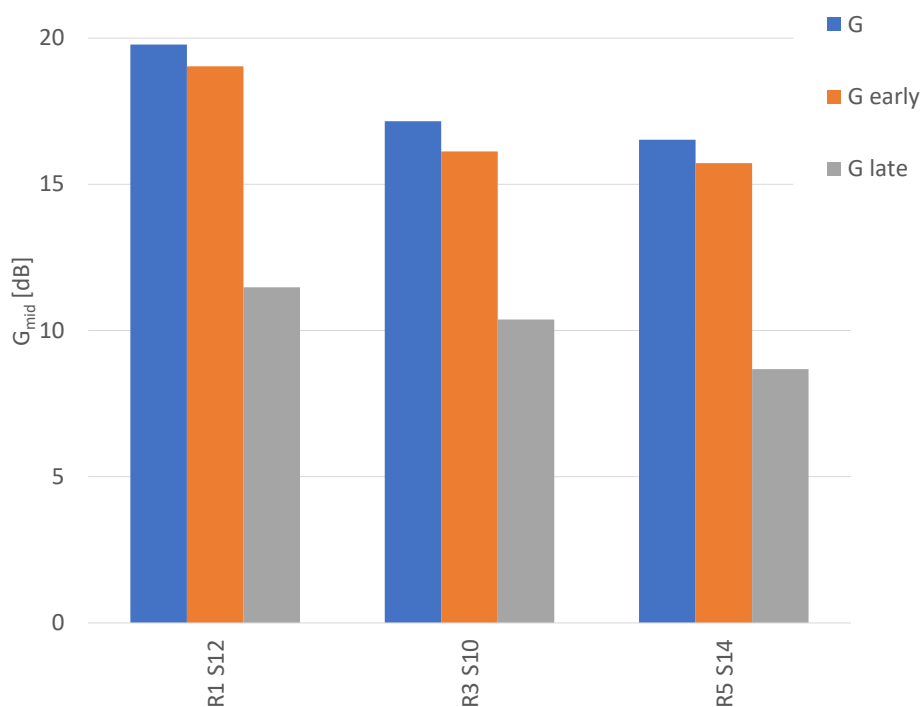
Figur 14 Målt STI.

Figur 14 viser resultatene for målt *STI* i salen. Merk at disse verdiene angir *STI* uten effekten av bakgrunnsstøy, dvs. når bakgrunnsstøynivået er lavt nok til ikke å påvirke taleoppfattelsen negativt. I de fleste tilfeller, spesielt for akustisk tale, vil bakgrunnsstøynivået påvirke taleoppfattelsen, men målingene vist i Figur 14 viser hvor god taleoppfattelse det er mulig å oppnå dersom man får bakgrunnsstøynivået ned på et optimalt nivå, altså hvor godt salens naturlige akustikk understøtter taleformidling til de ulike posisjonene i salen.

STI er målt til "utmerket" for alle måleposisjonene.

5.3 Styrke

I tillegg til *STI* er også styrke (*G*) relevant for den totale opplevelsen av taletydelighet. *G* er definert som lydnivået i en posisjon relativt til lydnivået i 10 m avstand til samme lydkilde i frittfelt (ingen refleksjoner). Parameteren henger da sammen med opplevelsen av hvordan romforsterkningen påvirker lydnivået. Et sete med høy *STI* og lav *G* vil generelt oppleves som dårligere enn et sete med samme *STI* og høyere *G*. Videre kan *G* fordeles i to parametre som beskriver energien som ankommer før og etter 80 ms. Disse kalles *G early* og *G late*, og er generelt gode parametre for å vurdere forholdet mellom nyttige tidlige refleksjoner og sene refleksjoner. Som nevnt i kapittel 5.2 er førstnevnte gunstig og sistnevnte ugunstig mhp taletydelighet. Figur 15 viser målt *G*, *G early* og *G late* for måleposisjonene i salen.



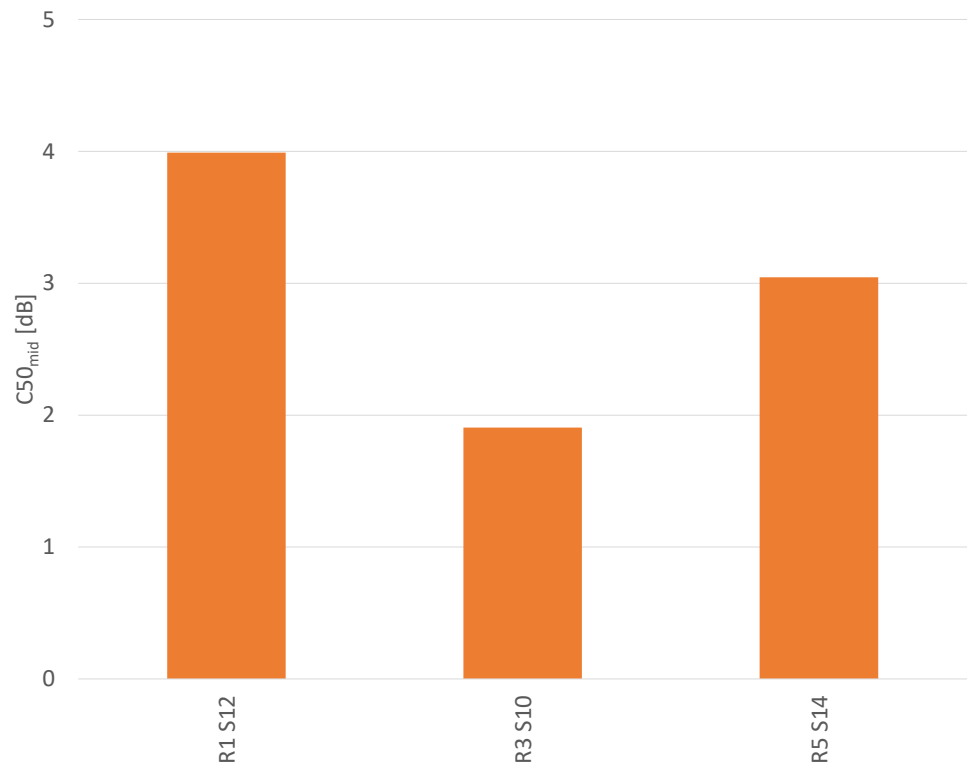
Figur 15 Målt G med kulehøytaler som kilde.

Romforsterkningen er relativt høy, noe som også er forventet i et mindre rom med kort avstand til reflekterende flater. Det er også tydelig at G henger sammen med avstand til scene, med en reduksjon på ca. 3 dB fra fremste til bakerste rad. Differansen mellom G early og G late er relativt stabil mellom posisjonene ($\approx 6-7$ dB). Som forventet er det relativt sett mest sen energi ved rad 3, noe som kan forklares med lengre avstand til kilde sammenlignet med rad 1, og lengre avstand til bakvegg sammenlignet med rad 5. Forskjellene er imidlertid marginale, og det er tydelig mest tidlig energi i salen.

5.4 Klarhet

God klarhet forbindes typisk med detaljrik lyd med lite innslag av lyd som "smører" ut detaljer. Egenskapen kan tallfestes ved å vurdere forholdet mellom tidlig og sen energi. For tale tydelighet går det et skille ved 50 ms. Energi som ankommer før 50 ms etter direktelyden vil bidra til å forsterke direktelyden, og oppleves som en integrert del av direktelyden. Energi som ankommer senere enn 50 ms vil kunne oppleves som forstyrrende mhp på oppfattelse av detaljer. $C50$ sammenligner energi før og etter 50 ms. Jo høyere verdi, jo høyere er den opplevde klarheten. Figur 16 viser resultatene for $C50$ med kulehøytaler som lydkilde.

og lydkilde, og dermed noe lavere klarhet.



Figur 16 Målt C50 med kulehøytaler som kilde.

Resultatene for C50 med kulehøytaler viser tydelig at setet på rad har god direktelydsdekning og at setet på bakerste rad har god støtte fra bakveggen som reflekterende flate, mens setet i midten har noe lengre avstand til vegger