

DEN NATIONALE SCENE

MÅLING AV ROMAKUSTIKK, TEATERKJELLEREN

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	10
5.1 Etterklangstid	10
5.2 Taletydelighet	12
5.3 Styrke	14
5.4 Klarhet	14

OPPDRAGSNR.

A252007

DOKUMENTNR.

007

VERSJON

1

UTGIVELSESDATO

17.08.2024

BESKRIVELSE

Målerapport

UTARBEIDET

Erlend Bolstad

KONTROLLERT

Bård Støfringsdal

GODKJENT

Bård Støfringsdal

Sammendrag

Teaterkjelleren har relativt gode forhold for taleformidling uten bruk av lydforsterkning, men forskjellene i lydnivå (styrke) og støtte fra tidlige refleksjoner er større enn ønskelig mellom den fremre og bakre delen av salen.

Disse forskjellene skyldes primært salens lave himlingshøyde og at himlingen, med mye oppbrutte flater og scenetrekk, i begrenset grad bidrar med nyttige tidlige refleksjoner i bakre del av salen.

I forbindelse med renoveringen av Teaterkjelleren bør en fokusere på å øke andelen tidlig energi mot den bakre delen av publikumsområdet. Etterklangstiden er også noe for lang i bassområdet. Dette bør også utbedres i forbindelse med renoveringen.

1 Innledning

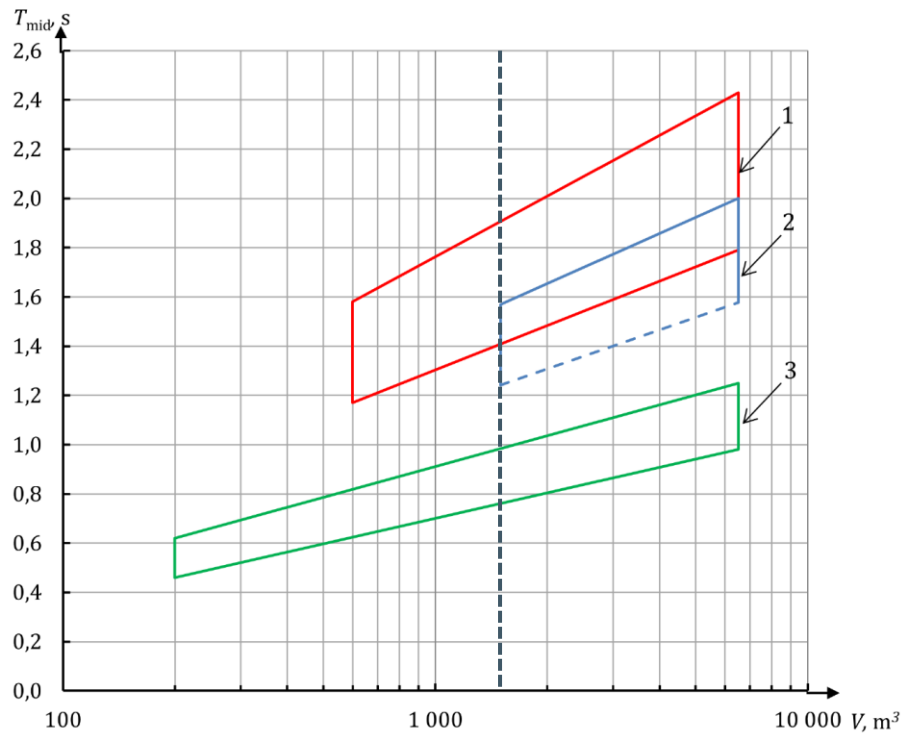
Det ble utført målinger av romakustikk ved Teaterkjelleren på Den Nationale Scene 14. juni 2023. Hensikten med målingene er å definere og tallfeste de romakustiske forholdene i dagens situasjon, samt å analysere hvordan romakustikken påvirker forholdene for taletydelighet. Hensikten med rapporten er også å åpne for en dialog om aktuelle krav og målsetninger for romakustiske forhold i Teaterkjelleren. Det er besluttet at høyde under tak i Teaterkjelleren skal økes ved å grave ut under dagens gulvnivå. Måleresultatene vil være nyttige som en referanse på dagens situasjon, og de vil kunne indikere hvilke områder som bør ha fokus mhp å forbedre de romakustiske forholdene i fremtidig situasjon. Endelige krav til Teaterkjelleren må tilpasses til prosjektet i samarbeid med teateret og aktuelle rådgivere.

Teaterkjelleren er den mellomste av tre scener ved Den Nationale Scene og har plass til ca. 200 publikummere. Hovedbygget er fra 1909, men Teaterkjelleren ble etablert i 1982 og gikk under navnet Småscenen frem til 2010.

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 Teaterkjelleren markert med en vertikal svart strek. Selve salen har et volum grovt estimert til cirka 1500 m³.

Lydsterk akustisk musikk omfatter ensembletyper som symfoniorkester, korps, storband og lignende. Lydsvak akustisk musikk omfatter kor, strykeorkester 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.

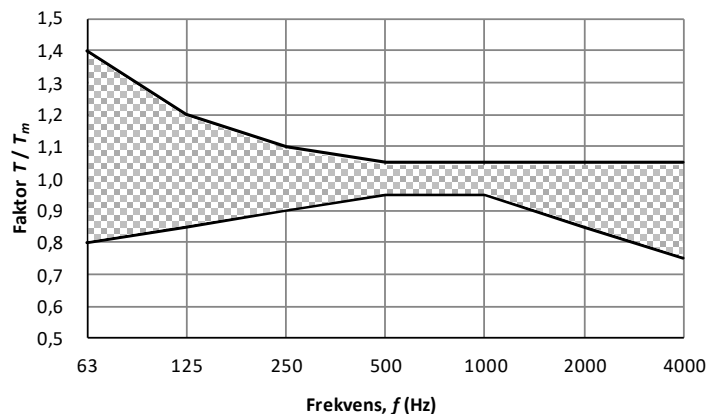


Tegnforklaring

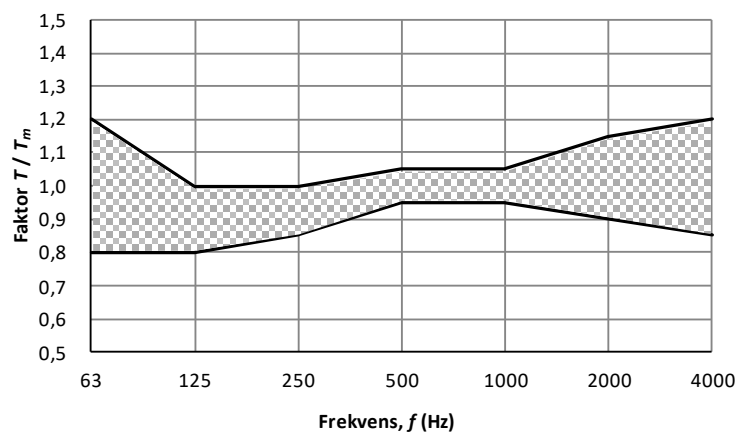
- 1 øvre og nedre grense for lydsvak akustisk musikk i framføringssaler
- 2 øvre og nedre grense for lydsterk akustisk musikk i framføringssaler; for stiple linje, se forklaring i teksten i 4.2
- 3 øvre og nedre grense for forsterket musikk i framføringssaler
- T_{mid} gjennomsnitt av etterklangstid 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 1878:2023).

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.



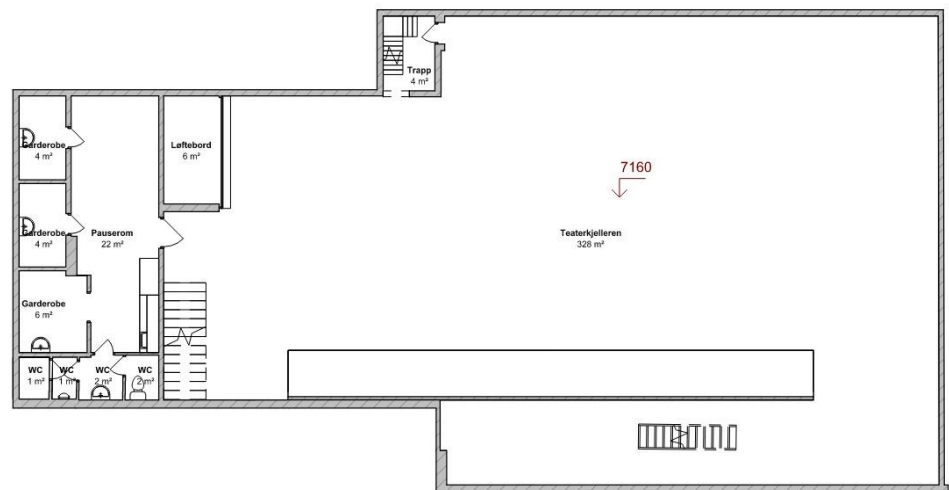
Figur 2 Anbefalt frekvensfordeling for etterklangstid i konsertscener for akustisk musikk. Figuren viser etterklangstid T for et gitt frekvensbånd relativt T_m , etterklangstiden ved oktavbåndene 500 og 1000 Hz.



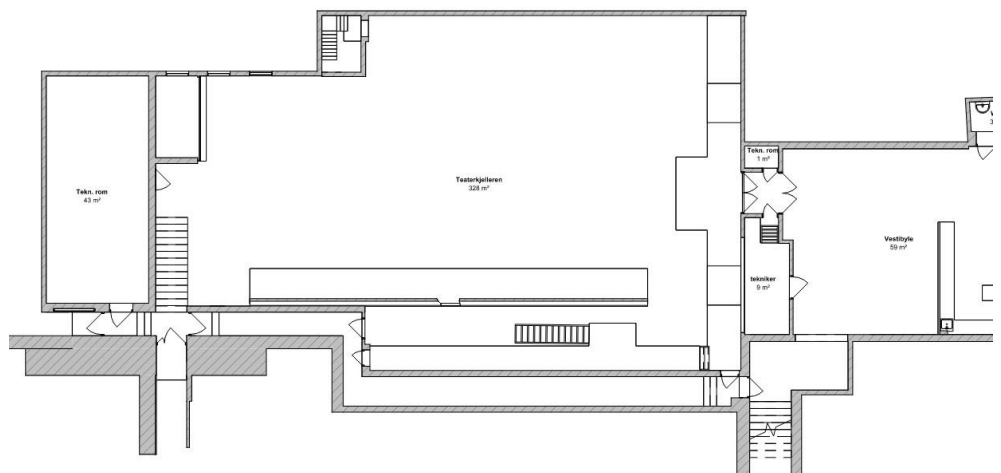
Figur 3 Anbefalt frekvensfordeling for etterklangstid i konsertscener for forsterket musikk. Figuren viser etterklangstid T for et gitt frekvensbånd relativt T_m , etterklangstiden ved oktavbåndene 500 og 1000 Hz.

3 Eksisterende situasjon

Figur 4 og Figur 5 viser plantegning av Teaterkjellerens nedre og øvre nivå. Salen er utformet som en blackbox med publikumsseter i skyveamfi. Lydteknikerposisjon er omtrent midt i salen på 3. bakerste rad. Himlingshøyden er ca. 4,5 m.



Figur 4 Plantegning nedre nivå



Figur 5 Plantegning øvre nivå

Målinger ble utført 14.06.2023 av Bård Støfringsdal og Erlend Bolstad. Scenen var da rigget til forestillingen «En handelsreisendes død». Scenografien var relativt begrenset med lette platevegger og få diffuserende elementer. Det var ingen inndekning eller bakteppe. Totalt sett var det lite absorberende scenografiske elementer. Amfiet var i bruk under målingen.



Figur 6 Foto av scenografi som var opprigget under målingene 14.06.2023.

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:

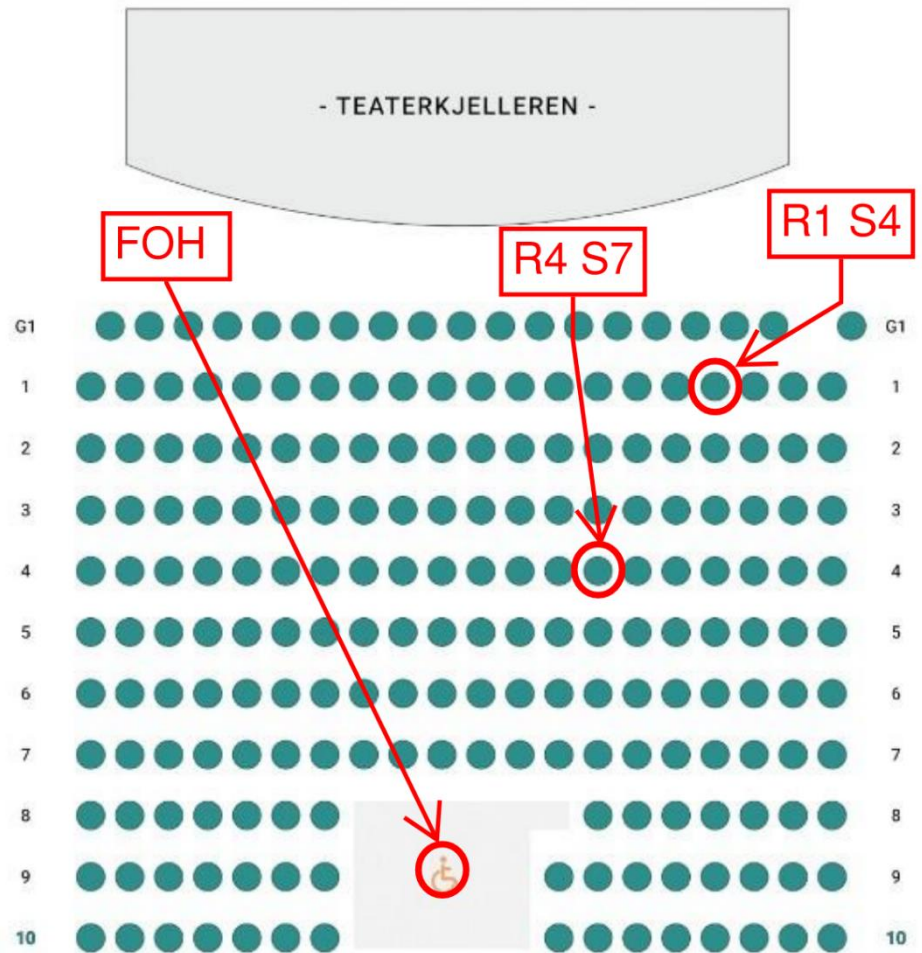
- > Omnidireksjonell høyttaler, 2 posisjoner på scenen.
- > Talkbox akustisk, 2 posisjoner på scenen

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

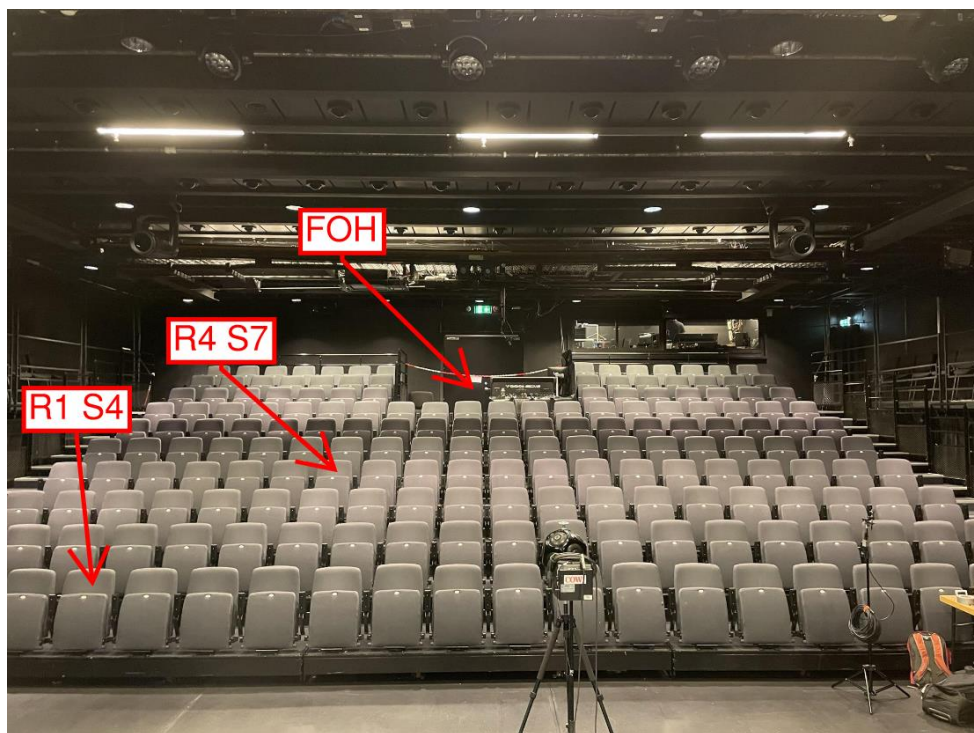
Videre ble det brukt 3 forskjellige målepunkter på publikumsseter og lydteknikerposisjon (FOH). Målepunktene i salen navngis som vist i Tabell 1. Figur 7 og Figur 8 viser posisjonene på henholdsvis salkart og foto. Salkartet stemte ikke helt med stolplassering på måletidspunktet, der det bl.a. var noen ekstra stoler på bakerste rad og færre på første rad.

Tabell 1 Mottakerposisjoner for lydmåling

Navn	Rad	Sete
R1 S4	1	4
R4 S7	4	7
FOH	9	



Figur 7 Salkart som viser plassering av mottakerposisjoner



Figur 8 Foto av salen som viser plassering av mottakerposisjoner

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



Figur 9 R1 S4



Figur 10 R4 S7



Figur 11 FOH

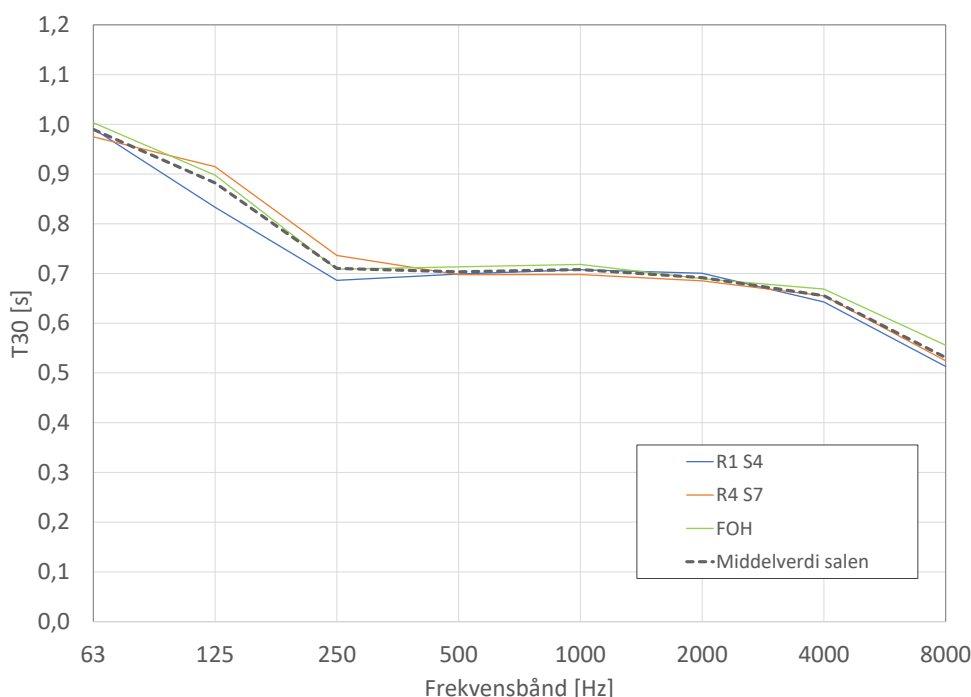
5 Måleresultater

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, taletydelighet, klarhet og styrke vil presenteres i de påfølgende kapitlene.

5.1 Etterklangstid

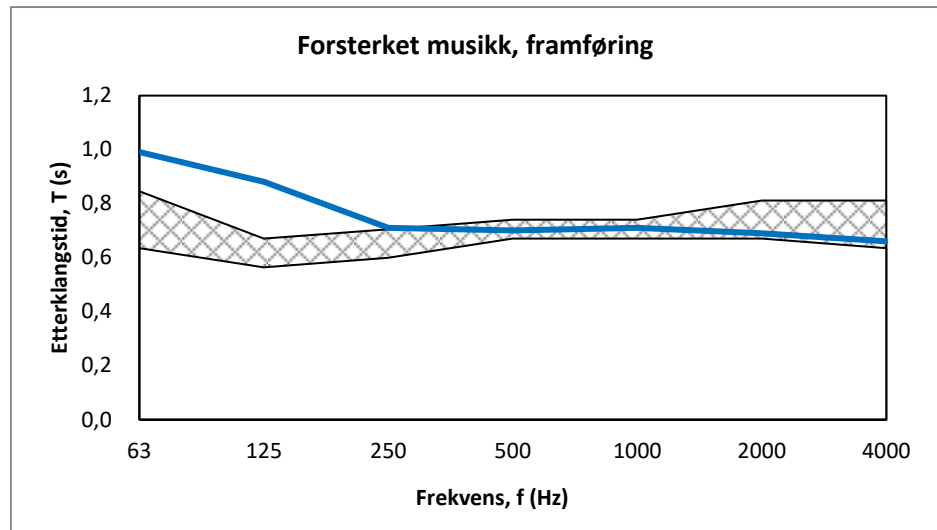
Error! Reference source not found. viser etterklangstid (T_{30}) i salen, målt med kulehøytaler som kilde. Resultatet i midlere frekvenser er cirka 0,7 s, noe som er i underkant av laveste grenseverdi i anbefalingene for forsterket musikk i NS 8178 for et rom av denne størrelsen.

Måleresultatene er relativt jevne over plasseringene i salen. 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 12 Etterklangstid (T_{30}) i salen, målt med kulehøytaler som kilde.

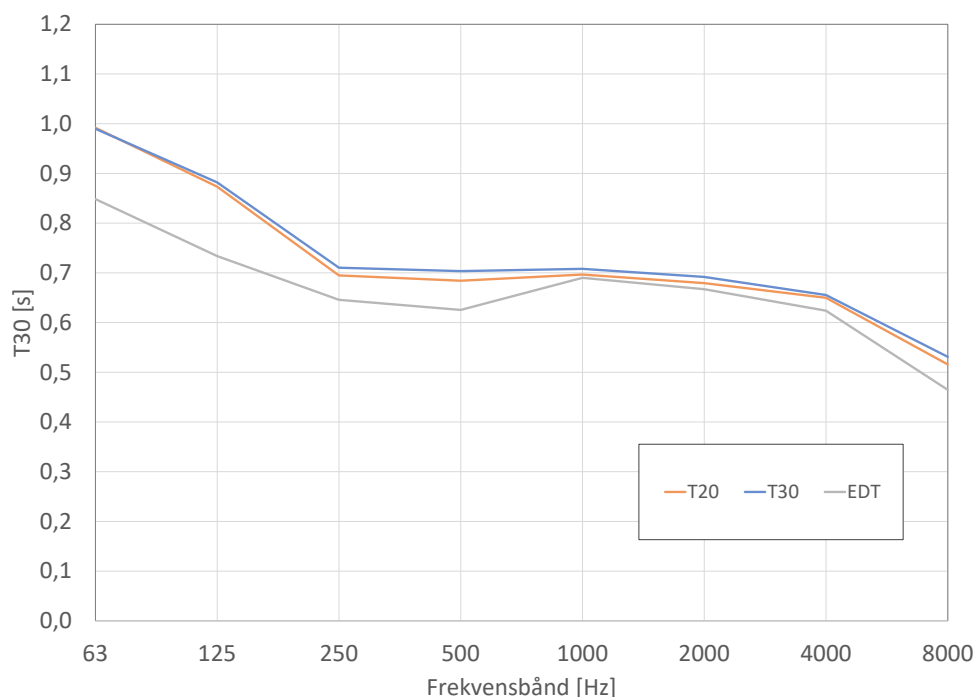
Generelt er etterklangstiden frekvensmessig nokså jevn, men etter anbefalte toleransegrenser i NS 8178 er etterklangstiden for lang i 63 og 125 Hz-oktavbåndene (se Figur 13). Vurdert ut fra målekurven er det en risiko for at lydbildet i rommet kan oppleves ubalansert med for mye energi i lavere frekvenser. Typiske effekter er at bassresponsen oppleves som noe udefinert og romlete.



Figur 13 Blå kurve viser målt etterklangstid (middelverdi for måleposisjoner i amfiet). 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. T_{30} , 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. T_{20} 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 T_{20}/T_{30} er mer egnet til å beskrive den "halen" av lyd vi hører når en lydkilde stoppes.

Reduksjonen av lydnivå er ikke nødvendigvis lineær. T_{30} 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 Teaterkjelleren domineres romresponsen av tidlig energi, noe som er forventet ut fra salens størrelse og relativt enkle geometri. **Error! Reference source not found.** viser T_{30} , T_{20} og EDT som et gjennomsnitt over publikumssetene, målt med kulehøytaler som kilde. Her observeres det at kurvene for T_{20} og T_{30} ligger relativt tett og har en nokså jevn differanse over hele frekvensspekteret. EDT har tydelig kortere etterklangstid under 1000 Hz. Måleresultatet indikerer at det er en del sen energi i bassområdet som er med på å gjøre responsen i denne delen av frekvensområdet sterkere.



Figur 14 Gjennomsnitt av T30, T20 og EDT i publikumsseter, målt med kulehøytaler som kilde.

5.2 Taletydelighet

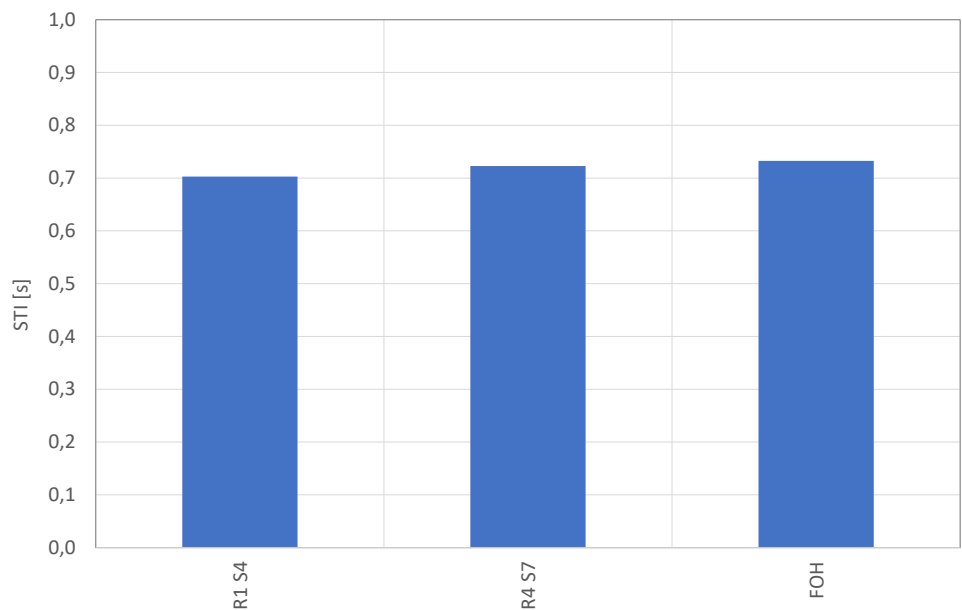
Det er særlig to forhold som er viktige for å oppnå god taletydelighet. Det første er å sikre at lydnivået fra tale er tilstrekkelig høyere enn bakgrunnsstøynivået og det andre er at forholdet mellom nyttige tidlige refleksjoner og sene refleksjoner er tilstrekkelig høyt. Tidlige refleksjoner oppleves 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. I Teaterkjelleren ble Talkbox med sinussveip benyttet som kilde for måling av impulsrespons. Videre ble STI beregnet i måleprogrammet IRIS.



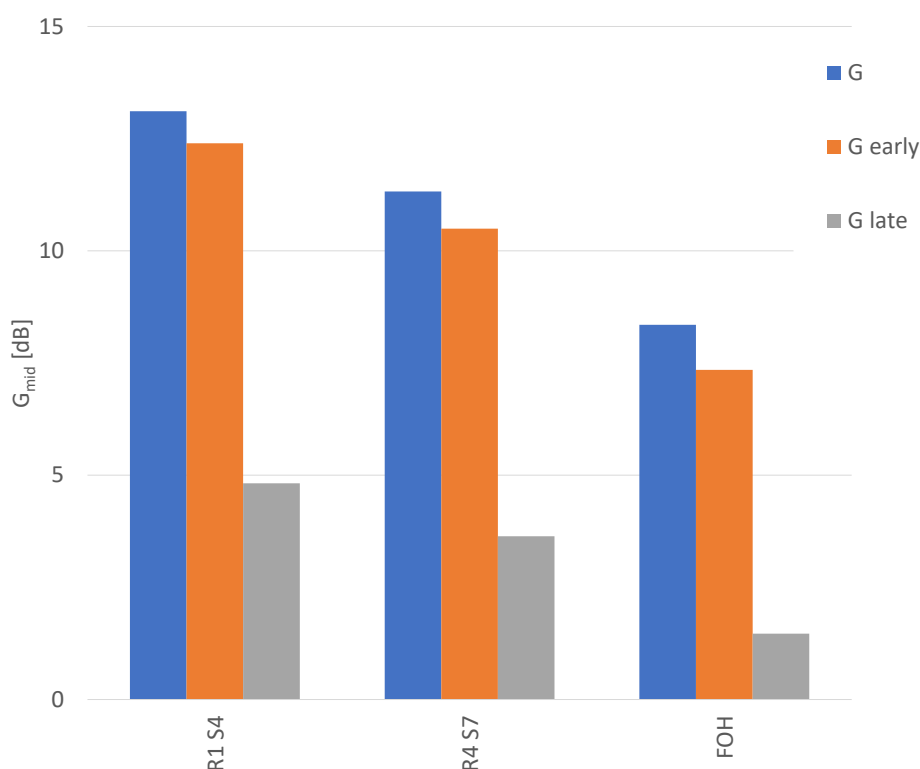
Figur 15 *Målt STI.*

Figur 15 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 taleformiding til de ulike posisjonene i salen.

STI er målt til "god" for alle måleposisjonene.

5.3 Styrke

I tillegg til *STI* er også styrke (*G*) relevant for den totale opplevelsen av taletydighet. *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 taletydighet. Figur 16 viser målt *G*, *G early* og *G late* for måleposisjonene i salen.



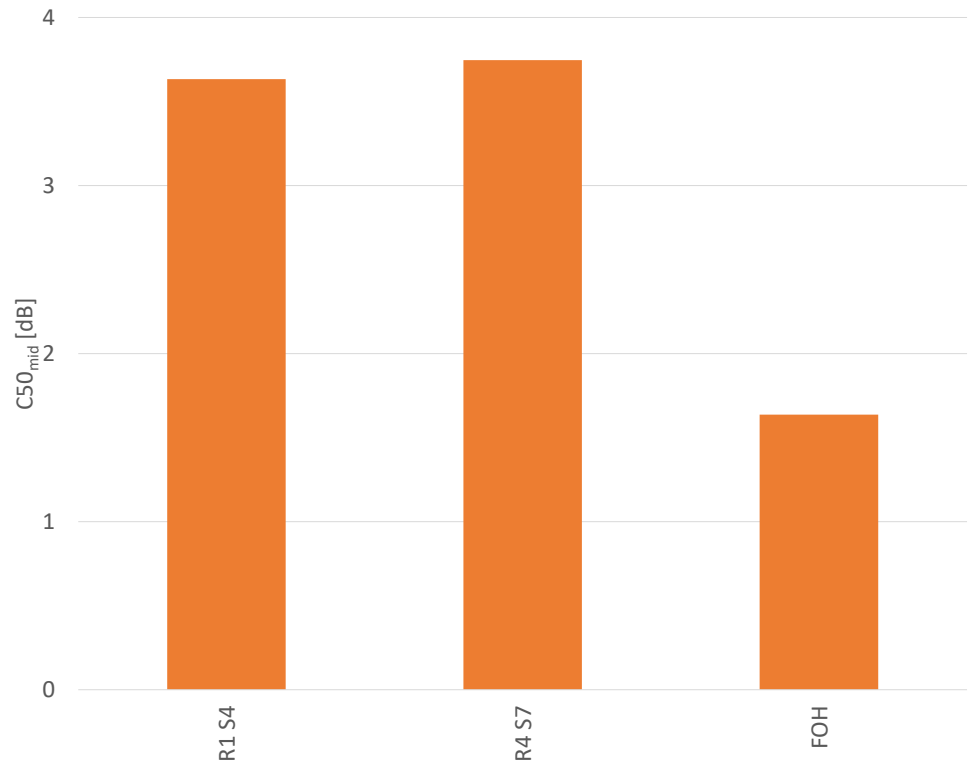
Figur 16 Målt *G* med kulehøytaler.

Det også tydelig at *G* henger sammen med avstand til scene, med en reduksjon på ca. 5 dB fra fremste til nest bakerste rad. Differansen mellom *G early* og *G late* varierer noe mellom posisjonene (≈ 6 -8 dB). Det er 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 taletydighet 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. For 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 17 viser resultatene for $C50$ med kulehøytaler som lydkilde.



Figur 17 Målt $C50$ med kulehøytaler som kilde.

Resultatene for $C50$ med kulehøytaler viser tydelig at setene på rad 1 og 4 har god direktelydsdekning og høy andel nyttige tidlige refleksjoner, men mens nest bakerste rad (FOH) har lavere andel tidlig energi. Disse forskjellene skyldes primært salens lave himlingshøyde og at himlingen, med mye oppbrutte flater og scenetrek, i begrenset grad bidrar med nyttige tidlige refleksjoner i bakre del av salen. Sammenstilt med resultatene for styrke, viser måleresultatene gjengitt i Figur 17 at en i forbindelse med renoveringen av Teaterkjelleren bør fokusere på å øke andelen tidlig energi mot den bakre delen av publikumsområdet.