

**Rel. AT bekendgørelse nr. 63.**

## **Implementering overfor klassiske musikere**

### **ACG/TP 27-07-07**

**Resume:**

Nærværende kapitel opridser grundlaget for at udarbejde en strategi til sikring af klassiske musikere mod for høje lydniveauer. Efter en kort gennemgang af de klassiske musikinstrumenters lydudstråling beskrives lydniveauets afhængighed af afstanden til lydkilden. Det fremgår heraf, at placering af lydabsorbenter omkring et stort orkester næppe har den store effekt, idet det største bidrag til lyddosen hos den enkelte musiker stammer fra den direkte lyd fra naboer i orkesteret. Samtidigt er der psykologiske/musikalske faktorer som medfører stor sandsynlighed for, at den enkelte vil spille kraftigere end nødvendigt, hvis reflekteret lyd i orkesteret dæmpes for meget. Herefter beskrives betydningen af pladsforhold, terrassering af orkesterpodiet og indføring af skærme mellem musikerne, og der citeres målte dæmpninger for forskellige typer af skærme. Endelig omtales musikalske faktorer som musikalsk tradition og valg af spillestil og instrumenter, som har udviklet sig mod kraftigere lydtryk de seneste hundrede år. Endelig listes de vigtigste tiltag, som klassiske musikere kan implementere afhængigt af deres virke som solister eller medlemmer af ensembler.

## Indledning

For klassiske musikere afhænger deres belastning med høje lydniveauer af det spillede instrument, den enkelte musikers placering i forhold til de andre instrumenter i ensemblet, repertoire, opførelsespraksis, spillesituation: koncert/opera/øvning, samt naturligvis eksponeringstiden.

Målte, typiske ækvivalentniveauer, som klassiske musikere er udsat for, er beskrevet i afsnit XX (TP's om eksponering). Heraf fremgår, at A-vægtede ækvivalentniveauer typisk ligger mellem 85 og 95 dB under en koncert. Med daglig øvning og prøvearbejde i tillæg kommer belastningen således let op over de tilladte 85dB midlet over en 8 timers arbejdsdag. Belastningen fra eget instrument er ca 5 dB højere, hvis man spiller fløjte, klarinet, horn, messinginstrument og slagtøj end hvis man spiller et strygeinstrument, harpe, obo eller fagot. En musikpædagog, som sidder i et mindre lokale og underviser i et kraftigt instrument som trompet eller slagtøj, kommer også let over den dagligt tilladte dose - også selv om vedkommende ikke selv spiller med.

En del af musikerens lydpåvirkning er naturligvis bestemt at lydudstrålingen fra hendes/hans eget instrument; men påvirkningen af den enkelte musiker i f.eks. et symfoni- eller operaorkester er også i meget høj grad afhængig af, hvilket lydniveau de instrumenter, som er placeret i nærheden, giver anledning til på vedkommendes plads.

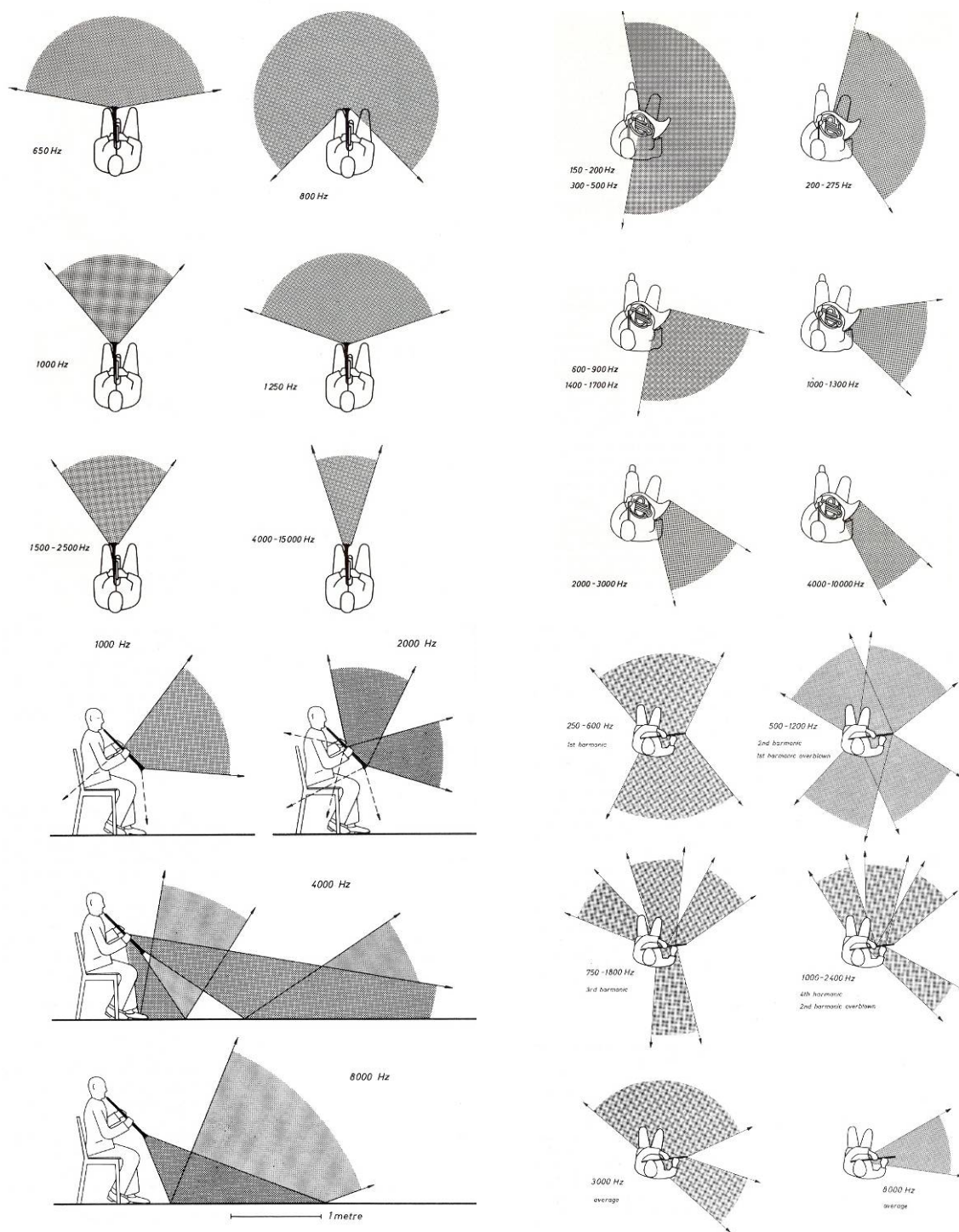
I de følgende afsnit vil de faktorer, som bestemmer dette eksponeringsniveau hos den enkelte musiker, sanger eller pædagog blive omtalt. Formålet er naturligvis at identificere de parametre, som kan påvirkes for at nedbringe belastningen i de tilfælde, hvor dette måtte være nødvendigt.

## Musikinstrumenternes lydudstråling

En af de bedste referencer når det gælder beskrivelse af og data for klassiske musikinstrumenters lydudstråling skyldes Jürgen Meyer, (Meyer 1978). Det fremgår heraf, at strygeinstrumenterne violin, cello og bas kan generere lydtrykniveauer op til 90 dBC i 2m afstand. De maksimale niveauer fra træblæsere som fløjte og klarinet er i samme afstand ca. 10 dB højere, d.v.s. ca. 100 dBC, mens messingblæsere som trompet, horn og basun ligger helt oppe på 110 – 120 dBC i to meters afstand. Generelt er messingblæsere (inklusiv horn) således væsentligt kraftigere end træblæsere og strygere. Blandt træblæserne er specielt de højfrekvente instrumenter som piccolofløjte og es-klarinet kendt for at kunne genere de øvrige musikere i orkesteret.

Lyd dæmpes kraftigt med afstanden (6 dB per fordobling af afstanden fra lydkilden) og lydudstrålingen fra mange instrumenter varierer kraftigt med retningen væk fra instrumentet. Dette gælder ikke mindst i det frekvensområde mellem ca. 500 og 5000 Hz, som er mest kritisk for hørelsen.

Figur X.1 på næste side angiver retningsafhængigheden af lydudstrålingen fra forskellige blæseinstrumenter ved forskellige frekvenser, idet de skraverede vinkelområder indikerer de retninger indenfor hvilke lydniveauet er dæmpet mindre end 5 dB i forhold til den maksimale udstråling. Det ses, at specielt ved høje frekvenser koncentrerer lydudstrålingen indenfor et ret begrænset vinkelområde - ofte i retning mod kollegaer i ensemblet.



Figur X.1: Primære udstrålingsretninger for forskellige blæseinstrumenter som funktion af frekvenser. Fra øverst til venstre: trompet, horn, obo (lodret snit) og tværfløjte. Fra Meyer 1978

Udstrålingen af høje frekvenser fra strygeinstrumenter er generelt mindre direkte rettet mod andre i orkesteret, idet disse frekvenser i højere grad udstråles opad mod loftet.

## Rummets indflydelse

God akustik for musikerne behøver ikke at være uforeneligt med publikums ønsker til akustikken, tværtimod, og man skal også huske på, at hvis musikerne har gode forhold, så de kan yde deres bedste, vil også publikum få den bedste oplevelse. De to akustiske hensyn, til musikerne og til publikum, går dog ikke altid hånd i hånd. Dårlige forhold for musikerne er et problem i mange koncertsale, som ellers af publikum og anmeldere berømmes for deres gode akustik.

Lydniveauet i et rum bestemmes af lydkildens udstrålede effekt og af rummets akustiske egenskaber. Jo hårdere rummets overflader er, jo højere bliver lydniveauet på grund af refleksion fra overfladerne. Beklædes overfladerne med absorberende materiale sænkes lydniveauet i rummet. Samtidigt sænkes dog også rummets efterklangstid, hvilket indebærer at akustikken kan opleves som tør og død i musiksammenhæng. Udstrakt brug af lydabsorberende materialer er derfor sjældent en realistisk mulighed til koncertbrug. Det kan derimod være en meningsfuld foranstaltning i mindre øvelokaler.

Teorien fra den klassiske, statistiske rumakustik er en brugbar model for lydtrykkets afhængighed af instrumentets udsendte lydeffekt,  $P_I$ , Instrumentets retningsvirkning,  $Q_I$ , afstanden mellem instrumentet og lytteren,  $r_{IL}$ , og mængden af lydabsorberende materiale i rummet,  $A$ :

$$p_{IL}^2 = \rho c P_I \left( \frac{Q_I}{4\pi r_{IL}^2} + \frac{4}{A} (1 - \alpha') \right) = \rho c P_I \left( \frac{Q_I}{4\pi r_{IL}^2} + \frac{4}{R} \right),$$

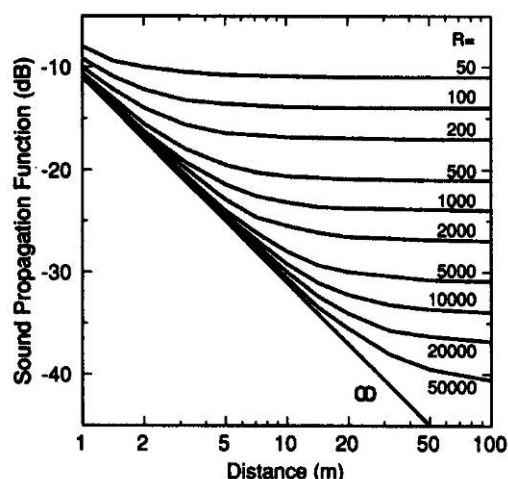
I denne formel indgår yderligere luftens densitet,  $\rho$ , lydhastigheden i luft,  $c$ , og det arealvægtede gennemsnit af lydabsorptionskoefficienten for rummets overflader,  $\alpha' = \sum \alpha_i S_{Ai} / \sum S_{Ai}$ .

Det ses, at det kvadrerede lydtryk,  $p_{IL}^2$ , indeholder to komponenter, en direkte lyd  $P_I Q_I / r^2$  som aftager proportionalt med afstanden i anden potens, og et bidrag  $P_I 4(1 - \alpha')/A$ , som består af "diffus" lydenergi, der når lytteren efter at være blevet reflekteret fra rummets forskellige overflader. Dette reflekterede bidrag er omvendt proportionalt med mængden af lydabsorberende materiale i rummet,  $A$ , men afhænger ikke af afstanden til lydkilden. I udtrykket længst til højre er dette bidrag beskrevet ved "rumkonstanten",  $R$ :  $P_H 4/R$ , givet ved:

$$R = \frac{A}{1 - \alpha'}$$

Det samlede lydniveaus variation med afstanden fra kilden fremgår af Figur X.2, hvori faktoren  $R$  indgår som parameter. Det ses, at lydniveauet vil være domineret af den direkte lyd fra instrumentet op til en vis afstand fra kilden bestemt af rumkonstanten. Denne afstand kaldes den kritiske afstand eller "halradius". Indenfor denne afstand følger lydniveauet afstandsloven: niveauet dæmpes 6dB hver gang afstanden til kilden fordobles, ligesom det vokser 6dB, hvis afstanden halveres.<sup>1</sup> Længere væk vil lydniveauet være (nogenlunde) konstant.

<sup>1</sup> Dette er grunden til, at selv violinister, som har deres instrument meget tæt på øret kan få problemer, selv om violinen ikke er et specielt kraftigt instrument.



Figur X.2: Lydtrykniveauets afhængighed af afstanden fra en punktkilde i et rum for forskellige værdier af rumkonstanten R. Efter Beranek & Vér 1992.

I den kritiske afstand,  $r_{cr}$ , vil det direkte og det diffuse bidrag være lige kraftige. Af formelen ovenfor fås derfor:

$$r_{cr} = \sqrt{\frac{Q_I R}{16 \pi}} = \sqrt{\frac{Q_I A}{16 \pi (1 - \alpha')}} = \sqrt{\frac{Q_I V}{100 \pi T (1 - \alpha')}}$$

I udtrykket længst til højre er A udtrykt ved forholdet mellem volumen og efterklangstid,  $V/T$  ifølge Sabine's formel. I en mindre koncert- eller øvesal med efterklangstid på måske 2s og et volumen på  $5000\text{m}^3$  vil den direkte lyd fra et instrument, der udsender lyd ligeligt i alle retninger ( $Q_I = 1$ ), således dominere lydfeltet ud til en afstand af ca. 3 m. Hvis instrumentet har retningsbestemt udstråling ( $Q_I > 1$ ), eller hvis salen er større, vil den direkte lyd stadig dominere i endnu større afstand.

Figur X.3 viser en typisk orkesteropstilling i en koncertsal. Musikerne sidder som regel med en indbyrdes afstand af ca. én meter. Der er således næsten altid flere musikere indenfor den kritiske afstand fra den enkelte. I orkestre er det derfor næsten altid niveauet fra eget og de nærmeste kollegaers instrumenter, som er bestemmende for det totale niveau. Tilførsel af lydabsorption f.eks. på vægoverflader omkring orkesteret vil derfor ikke reducere det samlede niveau mærkbart. Kun i tilfælde, hvor en musiker - f.eks. i en orkestergrav - sidder meget tæt på en vægflade (eller er tæt på en loftsflade under forscenen), vil placering af lydabsorption lokalt på fladen have en effekt på musikerens lydniveau.

Det er således primært den direkte lydudbredelse fra instrument til øre, som er afgørende for lyd-påvirkningen. Derfor er musikernes indbyrdes afstand og placering af meget stor betydning.

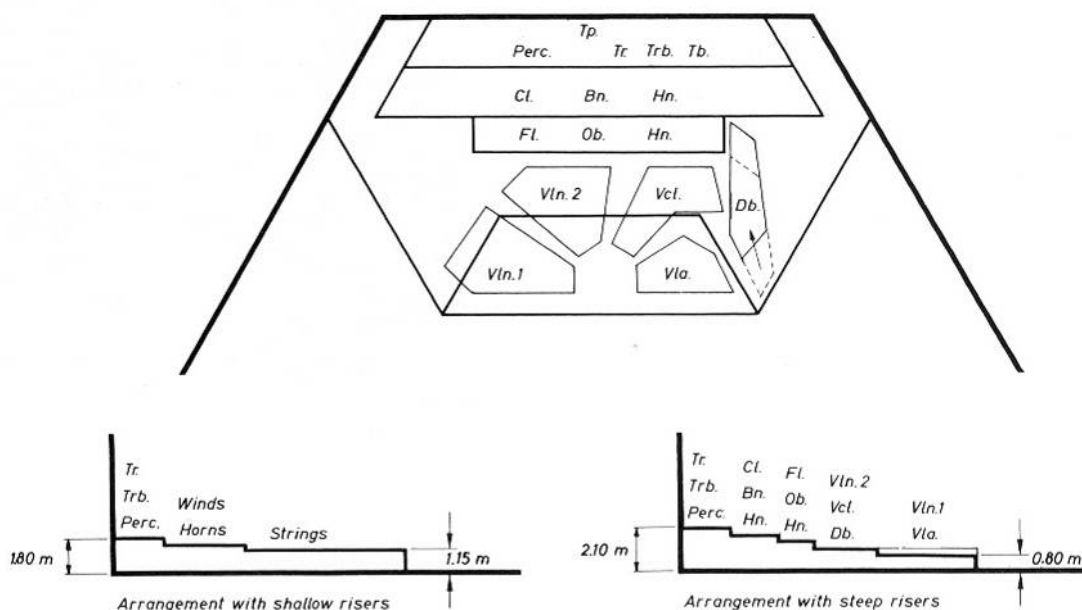


fig. X.3: Typisk opstilling af et symfoniorkester på scenen i en koncertsal. De to snit viser forskellige højder af podieopbygninger. Fra Meyer 1978

Udover en regulering af afstanden og instrumentets retning i forhold til de udsatte musikere (hvor dette er muligt!) kan lydniveauet påvirkes ved opsætning af lydtætte skærme, som i nogen grad vil blokere for den direkte lydudbredelse. Dette behandles i et senere afsnit.

### Musikeres behov for at høre de øvrige i ensemblet - og dets betydning for, hvor højt de spiller!

Hver musiker har brug for at høre sine medspillende i et vist balanceforhold med lyden fra sit eget instrument. Kun når denne balance eksisterer<sup>2</sup>, bliver det muligt for musikeren at levere sit optimale bidrag til samspillet, dvs. dels bidrage til den rytmiske præcision, dels intonere rigtigt, og dels lægge sit eget lydniveau og sin klangfarve, så de balancerer rigtigt med det øvrige ensemble.

Hvilke andre stemmer man har mest brug for at høre er meget afhængigt af, hvordan partiturets stemmer relaterer til hinanden. Dette er derfor forskelligt fra instrument til instrument, fra værk til værk og endda fra passage til passage. Der er dog visse generelle behov, som også har afspejlet sig i de mest brugte orkesteropstillinger i koncertsale (se figuren på side 4). F.eks. sidder træblæsere, fløjte, obo, klarinet og fagot tæt sammen i midten af orkesteret, fordi de ofte spiller sammen i tætte, flerstemmige forløb, hvor deres klang gerne skal smelte sammen til en helhed, som skal følges af resten af orkesteret. Tilsvarende er det normalt at de fire strygergrupper, første violin, anden violin, bratch og cello spreder sig som en vifte rundt om dirigenten, og at koncertmestrene (lederne) for hver af disse grupper sidder tæt sammen omkring dirigenten.

<sup>2</sup> grænser for denne balance er beskrevet i Naylor 1987

Ifølge afstandsloven vil det lydniveau, som fjernere instrumenter giver anledning til på den enkeltes plads, være svagere end niveauet fra de nærmeste. Som regel vil man dog netop have brug for at høre enkeltinstrumenter eller grupper længere væk i orkesteret. Dette gælder f.eks. en trompet, som skal følge førsteviolinerne. (Det omvendte er sjældnere et problem).

Hvis man spiller i gruppe med flere andre musikere, som har samme stemme som én selv (f.eks. en af strygergrupperne), har man både brug for at høre sig selv i forhold til sin gruppe og i forhold til øvrige grupper længere væk. Dette kan f.eks. være et problem, når første violinerne til venstre for dirigenten (set fra dennes plads) skal kommunikere med basser eller træblæsere.

I mange tilfælde er problemet, at man hører kraftige instrumenter omkring sig så højt, at de maskerer lyden fra dem længere væk. Dette gælder ikke mindst træblæsere, som hører messingblæsere og slagtøj bag sig alt for kraftigt i forhold til strygerne, som de måske burde spille tæt sammen med. På samme møde kan de bagerste rækker strygere sidde for tæt på træ- og messingblæsere.

En musiker, som ikke hører sine fjernere kollegaer i orkesteret godt nok, er ofte tilbøjelig til at tro, at de andre heller ikke kan høre ham med det resultat, at han selv spiller kraftigere.<sup>3</sup> Resultatet vil ofte være, at også naboen - og snart herefter alle de øvrige i orkesteret - begynder at spille kraftigere.

Hvis man anlægger et normalt støjdemningssynspunkt på en koncertsal, en orkesterprøvesal eller en orkestergrav, vil man være tilbøjelig til at dæmpe overfladerne med lydabsorberende materiale. Imidlertid har det vist sig (Gade 1989), at mulighederne for at høre musikere placeret længere væk i orkesteret i høj grad afhænger af de lydrefleksioner, som fladerne omkring orkesteret sender over mod de andre grupper. Disse lydrefleksioner skal nå hurtigt frem (ellers vil det rytmiske sammenspil svigte), d.v.s. at flader nær orkesterpodiet skal være reflekterende.

Det er tidligere nævnt, at refleksionerne fra flader omkring orkesteret ikke har indflydelse på lydniveauet ved musikerens øren (bortset fra tilfælde, hvor musikeren er placeret lige op mod fladen). Dette gælder selv i en orkestergrav, hvor gennemsnitsafstanden fra den enkelte musiker til en vægflade ellers er forholdsvis lille på grund af det begrænsede gulvareal<sup>4</sup> og den ofte langstrakte form. Figur X.4 viser således to sæt objektive målinger foretaget i orkestergraven på Det Kgl. Teaters Gamle Scene. Kurverne til venstre viser parameteren  $ST_{\text{Early}}$  (Early Support), som er et udtryk for niveauet af den tidligt reflekterede lyd fra gravens vægge (og gulv), og som i flere undersøgelser har vist sig at korrelere kraftigt med musikernes mulighed for at høre hinanden. Der er her vist to kurver over parameterens værdier per oktav mellem 250 og 4000 Hz, hhv. med og uden akustisk dæmpning på vægfladerne under forscenen. Til højre ses tilsvarende to kurver for parameteren  $G$  (Strength), som beskriver rummets bidrag til lydniveauet i orkestergraven.  $G$  er vist som funktion af afstanden fra lydkilden i orkestergraven i de samme to situationer. Det ses, at mens  $ST_{\text{Early}}$  dæmpes ca. 2 dB, når væggene gøres lydabsorberende, har dæmpningen ingen signifikant indflydelse på lydniveauet. Dette er i begge tilfælde bestemt af den direkte lyd.

<sup>3</sup> Tænk på analogien med en dårlig telefonforbindelse, hvor man selv hæver stemmen, hvis personen i den anden ende høres svagt.

<sup>4</sup> Et orkesterpodie til et symfoniorkester i en koncertsal har typist et areal på 200-300 m<sup>2</sup>, mens gulvarealet i en orkestergrav er 80-150 m<sup>2</sup>.

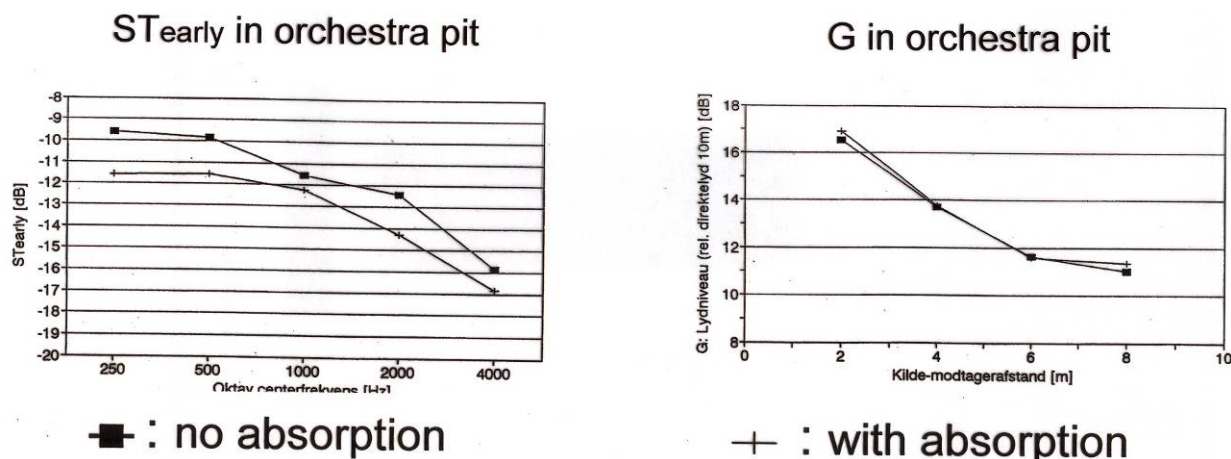


Fig. X.4: Resultater af objektive målinger af  $ST_{Early}$ , der beskriver musikerens mulighed for at høre hinanden, og af  $G$ , der beskriver rummets bidrag til lydniveauet. Målingerne er foretaget i en orkestergrav med og uden lydabsorberende væg mod scenen.

Dette eksempel illustrerer, at det IKKE er formålstjenligt at gøre vægge og lofter kraftigt lydabsorberende i et lokale, hvor der spilles klassisk musik, hvis formålet er at dæmpe lydniveauet. Faktisk vil dette med stor sandsynlighed have den modsatte effekt, fordi musikerne herved får mere vanskeligt ved at høre de stemmer, som de skal balancere med. Resultatet er som nævnt, at de selv forledes til at spille unødigt kraftigt, med risiko for, at niveauet i hele orkesteret stiger.

Regulering med lydabsorberende materiale bør derfor kun benyttes til at sikre en efterklangstid passende for den aktuelle type musik og rumstørrelse. Hvis rummets efterklang bliver for kort, så klangen opleves for "tør", ledes musikerne let til at forcere klangen, mens klangen naturligvis bliver for uklar - og støjende - hvis efterklangstiden er for lang.

For at opnå passende "luft" i rumklangen er det også vigtigt, at rummet har et passende volumen og en passende loftshøjde. En øvesal for et stort symfoniorkester bør således have et volumen på minimum  $5000 \text{ m}^3$  og en loftshøjde på 8 - 10 m.

Lydabsorberende beklædninger med det formål at dæmpe lydniveauet kan dog som nævnt være hensigtsmæssige tæt ved kraftige instrumenter, som f.eks. slagtøj eller horn, der spiller lige ind imod en vægflade<sup>5</sup>.

### Pladsforhold - afstande til kraftige instrumenter

Som nævnt vil lydniveauet fra et enkelt instrument dæmpes ca. 6dB hver gang afstanden fordobles, så længe denne afstand er mindre end den kritiske afstand. Hvis der sidder flere instrumenter på række, vil dæmpningen væk fra rækken af instrumenter dog nærmere være ca. 3dB per afstandsfordobling. Generelt vil der ske en markant dæmpning, hvis afstanden kan øges f.eks. fra trekvart meter til halvanden meter.

<sup>5</sup> Horn må dog ikke dæmpes så meget, at dirigenten oplever lyden for svag, da han så vil bede dem spille kraftigere!

Opnåelse af rimelige afstande kræver dog, at den nødvendige gulvplads er til rådighed i forhold til antallet af musikere i orkesteret. En undersøgelse baseret på data fra ca. 50 operahuse har vist, at der er en direkte forbindelse mellem problemer med for høje lydniveauer og gulvarealet pr. musiker. Det samme gælder problemer med at høre de andre grupper i orkesteret. Figur X.5 viser det gennemsnitlige gulvareal i orkestergrave, hvor der blev svaret hhv. ja og nej til et spørgsmål om, hvorvidt man havde problemer med lydniveauet eller ej. Det ses, at gennemsnitsarealet per musiker i orkestergrave uden problemer er ca. 2m<sup>2</sup> og væsentligt højere end i grave, hvor lydniveauet er problematisk. <sup>6</sup>

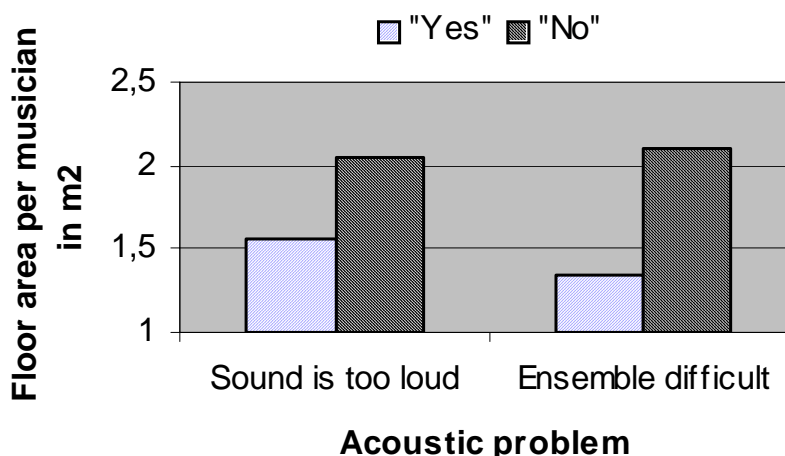


Fig. X.5: Gennemsnitligt gulvareal pr. musiker i orkestergrave hhv. med og uden problemer med støjniveauer og med samspil.

Et passende stort gulvareal er også en forudsætning for placering af skærme eller terrassering af gulvfladen, som omtalt senere.

For at undgå for høje lydtryk er det vigtigt, at ekstra plads allokeres til områder i nærheden af de kraftigste instrumenter. En spørgeskemaundersøgelse blandt musikere i den nye opera i København har således vist, at det næsten altid - uanset besætningens størrelse - er de nærmeste, kraftige instrumenter som messing, slagtøj og horn, som opleves for kraftige, og det er de musikere, som sidder nær disse instrumenter, som oplever problemer med lydniveauet. Violiner placeret i modsatte side af graven i forhold til messinggruppen (se f.eks. Fig. X.6), og som sidder nær træblæserne, oplever generelt disse som værende for kraftige. Modsat er det som oftest strygerne, der opleves for svage af de øvrige musikere. Strygere og messingblæsere hører dog også træblæserne i modsat side af graven for svagt. Det forekommer også, at hornister oplever niveauet fra deres egen gruppe som værende for højt!

Det er således et gennemgående træk, at problemer med for høje lydtryk skyldes nærhed til kraftige instrumenter. Nogle musikere bemærker direkte, at problemerne ikke er relateret til rummets akustik.

<sup>6</sup> I den nye opera i København er gulvarealet i orkestergraven ca. 130m<sup>2</sup> uden for overdækning af forscenen, mens arealet er ca. 160 m<sup>2</sup>, når arealet under forscenen medregnes. Denne grav er beregnet til op til 90 musikere.

Dette peger igen på, at væsentlige årsager til musikernes oplevelse af for høje lyd niveauer er pladsforhold og orkesteropstilling. Noget andet er så, at især dirigenternes oplevelse af, hvor kraftigt musikerne skal spille, afhænger af hvordan de oplever klangen i selve rummet.

**(Madame Butterfly 65 mus.)**

**Royal Danish Opera  
Copenhagen**

**Pit area : 120 m<sup>2</sup>**

**Royal Swedish Opera  
Stockholm**

**Pit area : 100 m<sup>2</sup>**

Omaha Dec. 2006

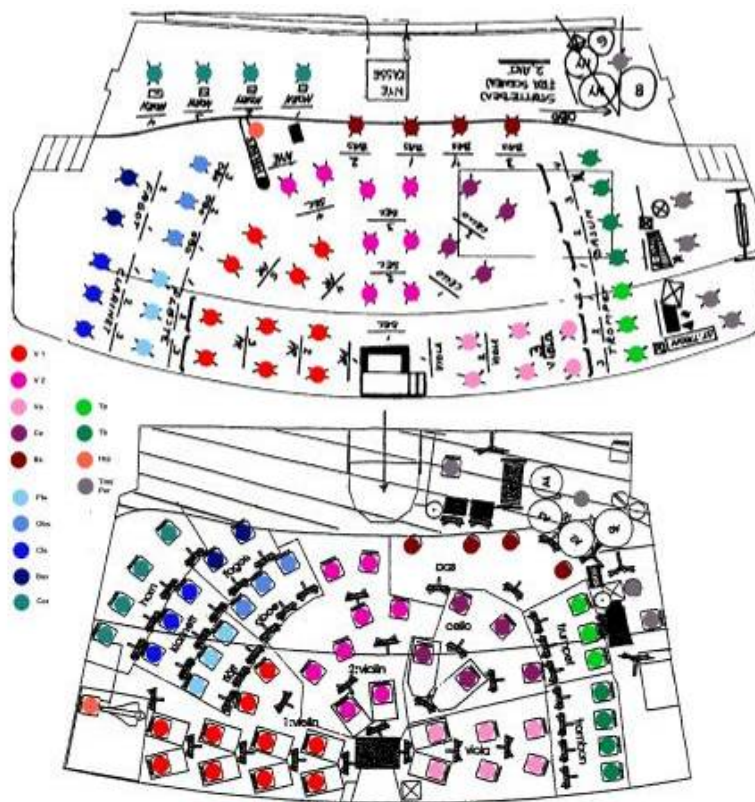


Fig. X.6: Orkesteropstillinger til Madame Butterfly i to orkestergrave med hhv. gode og dårlige pladsforhold.

### Om terrassering af podier på orkesterpodiet og i orkestergraven

Reid (2001) angiver en række muligheder for at dæmpe lyd påvirkningen. I et symfoniorkester vil det være en fordel at hæve messingblæserne på podier 50 cm eller mere over strygerne på gulvet, som vist på Fig. X.3. De kan derved spille 2-3 dB svagere uden at lydniveauet hos dirigent og tilhørere reduceres. Man opnår desuden at blæserne kan spille hen over hovedet på musikerne der sidder foran. Hvis også træblæserne hæves, skal messingblæserne – afhængig af opstillingen – hæves yderligere. Når man også hæver træblæserne, bliver der dog større risiko for, at disse får lyden fra messingblæserne i nakken, og at strygerne umiddelbart foran belastes mere af klarinet og obo. Skærme i 45-grader vinkel anbragt bag hornene vil kaste lyden fremad og opad i rummet i stedet for i hovedet på hornisterne og andre musikere i deres nærhed.

Det er fordelagtigt at sikre ca. 2 m fri gulvplads foran orkesteret. Det forbedrer transmissionen af de høje frekvenser fra strygerne til publikum og reducerer risikoen for, at de skal presse klangen for at klare sig i konkurrencen med de kraftigere messingblæsere.<sup>7</sup>

I en orkestergrav er pladsen begrænset og det er her sjældnere muligt at bygge podier til dele af orkesteret; men hvis det ikke er muligt at hæve gulvet i graven generelt (f.eks. fordi en del af den nødvendige gulvplads er overdækket af forscenen), kan det være fordelagtigt i det mindste at hæve de mindre strygere, så de kan klinge mere frit i salen. At hæve hele orkestergraven til ca. 1,85 m under sceneniveau er også fordelagtigt af hensyn til musikernes mulighed for at høre sangerne. Dette betyder dog, at man ikke kan benytte et eventuelt areal under forscenen (hvilket mange musikere heller ikke vil begræde).

## Skærme

Med tilstrækkeligt gulvareal på orkesterpodiet eller i graven bliver der plads til at etablere god afstand mellem musikerne og opsætte mindre skærme mellem dem hvor det måtte have en effekt. Ganske vidst "kryber" de lave frekvenser let uden om en sådan skærm; men heldigvis er det heller ikke de lave frekvenser, der giver anledning til høreskader. Man kan derfor godt have nytte af skærme, selv om de er af begrænset størrelse.

Der har i mange orkestre været gjort forsøg med skærme; men det er vanskeligt at finde pålidelige produktdata, der dokumenterer skærmens beskyttende effekt. For at en skærm kan have en virkning skal den befinde sig ganske tæt på musikerens hoved (idet det sjældent er et alternativ, at den er tæt på instrumentet).

Skærmen skal have en størrelse sammenlignelig med lydens bølgelængde for at der kan opnås en skyggevirkning. Ved kammertonen, 440 Hz, er bølgelængden ca. 78 cm. Det betyder altså at en skærm skal være relativt stor for at have en effekt ved denne frekvens. Bølgelængden falder med stigende frekvens og det betyder at en skærm der ikke skygger ret meget for grundtonen kan være ganske effektiv over for de harmoniske overtoner.

Fig. X.7 viser en række skærme, som er blevet afprøvet af musikerne og ved målinger i Operaen i København. Målingerne blev foretaget i selve orkestergraven for at skabe de mest realistiske forhold for skærmens funktion. Her vil en del af lyden nemlig transmitteres uden om skærmen på grund af refleksioner fra gulv, vægge og andre genstande i graven. Den sorte skærm med absorbent på den ene side var med sit areal på ca. 1 m x 0,7 m væsentlig større end de andre.

Målingerne foregik ved udsendelse af lyserød støj fra en kilde placeret én m bag skærmen, mens mikrofonen var placeret en halv meter foran skærmen.

---

<sup>7</sup> Dette er et højt aktuelt problem for mange regionale orkestre, som af økonomiske grunde ikke er fuldt bemandede i strygergrupperne, mens blæserne, som i høj grad har hver deres stemmer i partituret, er fuldtallige for at værkerne overhovedet kan spilles.



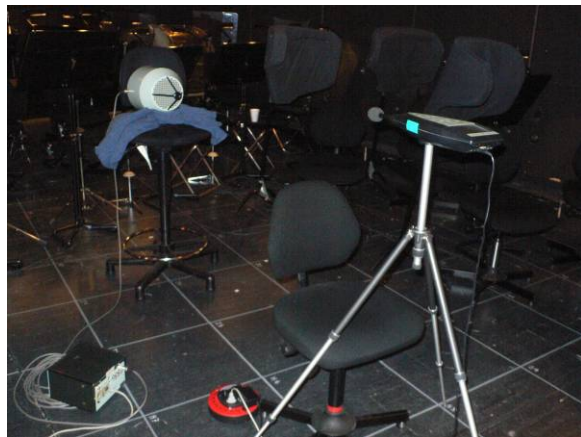
*Fig. X.7.a: Skærm med absorbent på én side.*



*Fig. X.7.b: Buet, stofbeklædt skærm.*



*Fig. X.7.c: Plexiglas-skærm (uden absorbent)*



*Fig. X.7.d: (Referencemåling uden skærm.)*

Skærmens dæmpning forstået som forskellen i lydtrykniveau pr. 1/3 oktav med og uden skærmen til stede er vist i Figur X.8. Den sorte, rektangulære skærm, som har lydabsorberende beklædning på den ene side, blev målt både med den reflekterende og den absorberende side vendt mod lyd-kilden.

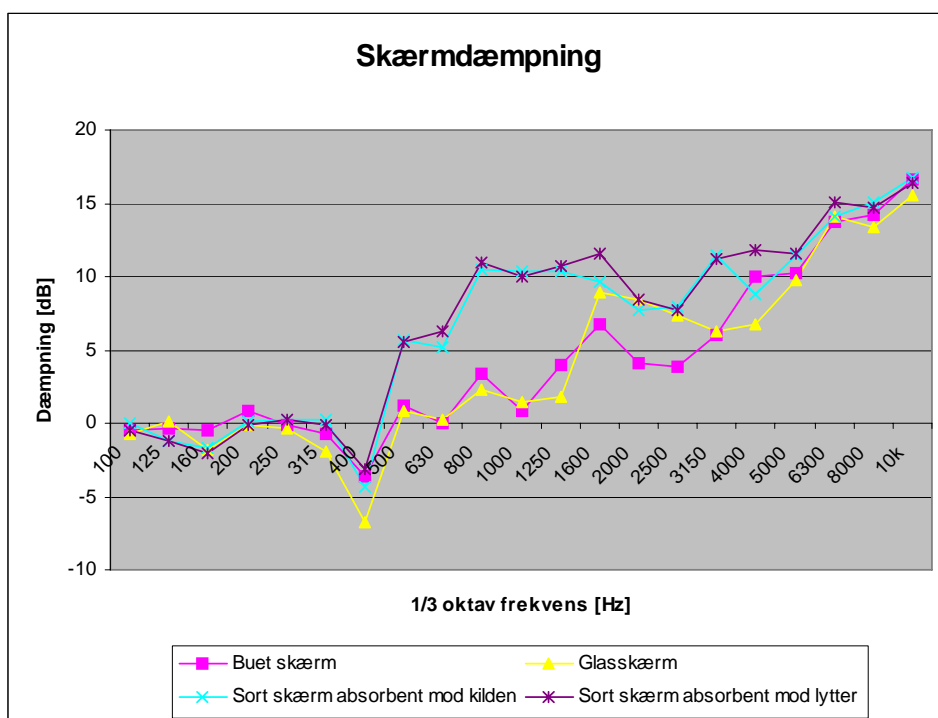


Fig. X.8: Resultater af skærmdæmpning for de tre skærme vist i Fig. X.7.

Det ses, at denne skærm giver en dæmpning på 5 - 10dB allerede fra 500 Hz (uanset hvilken side der vender mod lytteren), mens de andre to først er effektive fra 1600 Hz.

Skærmen kan således beskytte en musiker mod lyd der kommer bagfra, men skærmen vil også virke som reflektor for lyd der kommer forfra. Derved kan skærmen faktisk have en virkning der er den modsatte af den tilsigtede, hvis den er reflekterende på den side, som vender mod musikeren. Skærmen vil desuden ofte have en let runding omkring musikerens nakke, men for at undgå fokuseringsproblemer skal rundingen ikke være for udpræget.

Den musiker, der sidder med skærmen *foran* sig, vil få lyden fra sit eget instrument kastet tilbage mod sig selv, hvis skærmen er reflekterende på den side, der vender mod ham. D.v.s. at problemet i så fald blot er flyttet fra én musiker til en anden. Hvis skærmen blot øger lydniveauet f.eks. for en messingblæser bag skærmen, vil denne føle mindre kontakt med de øvrige i orkesteret og måske spille endnu kraftigere.

I forbindelse med ovennævnte skærm-målinger blev også foretaget måling af refleksionen tilbage mod musikeren selv, idet mikrofonen blev flyttet til en position 1,5 m fra skærmen på samme side som og 0,5m bag højttaleren (der stadig vendte mod skærmen).

Det ses af resultaterne i Figur X.9, at plexiglasskærmen og den sorte skærm med reflekterende side vendt mod lydkilden giver den kraftigste lydrefleksion. Når den absorberende side af den sorte skærm vendes mod lydkilden, falder refleksionens niveau mærkbart.

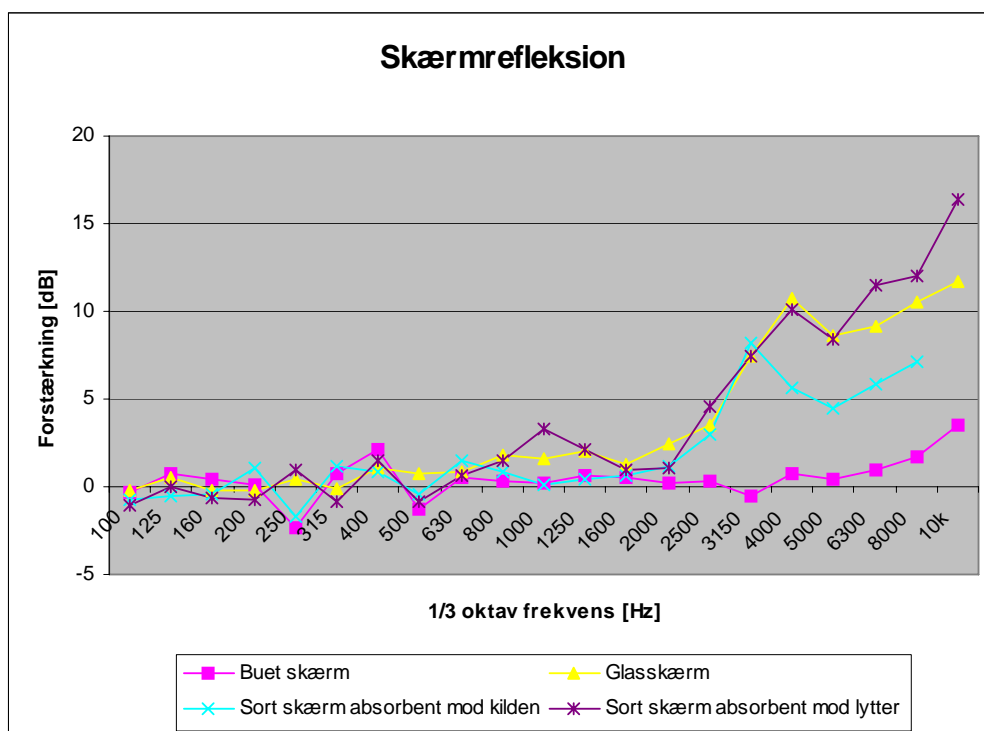


Fig. X.9: Målte niveauer af forskellige skærmes lydrefleksion tilbage mod den musiker, der spiller ind imod skærmen

Den buede skærm giver næsten ingen refleksion tilbage mod lydkilden, hvilket dels skyldes den lydabsorberende beklædning, og dels det begrænsede areal og den konvekse form, som i højere grad vil sende lyd ud til siderne end tilbage mod kilden.

Refleksion sker i øvrigt først ved frekvenser over 2000 Hz; men dette er også et område, hvor øret er meget følsomt.

Ovenstående resultater indikerer følgende:

- de store, sorte skærme er mest effektive. Hvis de opstilles på række giver de dog også indtryk af en kompakt mur, som ikke er ønsket af de, der sidder bag den.
- skærme bør være lydabsorberende på begge sider.
- skærmens størrelse afgør (sammen med dens afstand til de foran siddende) dens effektivitet.

I et symfoniorkester skal orkestermedlemmerne være synlige for publikum og musikerne skal kunne se dirigenten. Derfor anvender man her ofte gennemsigtige plexiglas skærme, som ikke uden videre kan beklædes med absorberende materiale, hvis den visuelle transparens skal opretholdes.

I en orkestergrav (til opera/musical) er orkesteret ikke umiddelbart synligt for publikum. Det giver lidt flere frihedsgrader m.h.t. udformning af skærme, og de behøver ikke at være gennemsigtige af hensyn til publikum. Her er udsynet til dirigenten dog stadig væsentligt for musikerne. Hvis den nødvendige højde af skærmen blokerer for frit sigt til dirigenten, kan den øverste del gøres transparent (og måske endda lydabsorberende, hvis der anvendes mikroperforeret acryl).

## Litteratur om skærme

Effekten af skærme er også blevet undersøgt af Camp & Horstman (1992). Klare plastic skærme blev anbragt i ørehøjde for en siddende person. Størrelsen på skærmen er ikke oplyst men er formodentlig ca. 60 x 60 cm. Mikrofonen var anbragt ca. 17 cm fra skærmen. Der er kun få oplysninger om målingerne der er foretaget med både rene toner og bredbåndssignaler. Resultaterne fra ren-tone målingerne er gengivet i Tabel 4 hvor bølgelønden er vist til sammenligning.

**Tabel 1: Dæmpning i dB af en 60x60 cm skærm ved forskellige frekvenser**

| Frekvens, Hz                         | 63     | 125    | 250    | 500   | 1000  | 2000  | 4000 | 6000 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|
| Skærmens dæmpning, dB                | 0      | 1      | -2     | 8     | 9     | 13    | 15   | 17   |
| Sammenligning med tonens bølgelængde | 5,36 m | 2,68 m | 1,34 m | 68 cm | 34 cm | 17 cm | 8 cm | 6 cm |

Måleteknikken er ikke overbevisende. Dæmpningen er "largely dependent upon the position and the angle of the microphone (or ear) relative to the screen". Skærmen giver stort set ingen effekt ved frekvenser under 500 Hz. Den negative dæmpning ved 250 Hz antyder at der er en stor måleusikkerhed på sådanne målinger. Med bredbåndsstøj opnår man en ændring af dB(C) niveauet på 2 dB (med/uden skærm) og en dæmpning på 3 dB målt i dB(A).

Der findes nogle standarder for måling på skærme:

ISO 11821 (ISO-11821 1997) er beregnet på in-situ måling af skærme i industrien.

ISO 10053 (ISO-10053 1991) er beregnet til laboratoriemåling af skærme til storrums kontorer.

Ingen af disse standarder egner sig umiddelbart til måling på skærme i orkestersammenhæng, men kan måske modificeres til dette formål. Metoden anvendt i de ovenfor omtalte målinger i Operaen i København med skærmene opstillet i en møbleret orkestergrav er måske den mest relevante.

På [www.hearwig.com](http://www.hearwig.com) er der beskrevet en skærm der sidder ganske tæt ved musikerens hoved, se Figur 7. Når musikeren forventer en kraftig lyd fra de omgivende musikere aktiverer musikeren Hearwig'en dvs. læner musikeren sit hoved tilbage og ind i skærmen. Herved opnås der en dæmpning, se Tabel 5.



Figur 7. Skærbilleder fra [www.hearwig.com](http://www.hearwig.com). Læg mærke til at nul-linien ikke ligger nederst i figuren. Ordinaten går fra -10 dB til +30 dB. Frekvensen 250 Hz er angivet til 0.

Tabel 2: Opgivet dæmpning i dB for Hearwig

|              |     |     |      |      |      |
|--------------|-----|-----|------|------|------|
| Frekvens, Hz | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Dæmpning, dB | 2   | 2   | 5    | 16   | 22   |

Målingerne er foretaget på personer med minimikrofoner ved eller i øret. Erfaringer fra musikere der har anvendt denne skærmtype er blandede.

Det skal bemærkes, at en hovednær skærm som Hearwig vanskeligt kan bruges af en stor del af orkesterets medlemmer, som skal have plads til instrumentet tæt på og ved siden af hovedet. Det gælder således strygere, fløjtenister og basunister.

### Opførelsespraksis; udviklingen i klangideal, instrumenter og spillestil

Naturligvis har musikernes instrumenter og måden at bruge dem på stor indflydelse på det samlede lydniveau. Måden at bruge dem på er bestemt af værket, dirigentens intentioner og musikernes eget klangideal. De sidste to aspekter, spillestilen, ændrer sig efter al sandsynlighed med tiden. Der er således flere vidnesbyrd om, at orkestre spiller de samme værker kraftigere i dag end for blot 50 år siden.

I musikalsk sammenhæng er det måske mere interessant at tale om instrumenternes dynamiske omfang fra piano pianissimo (ppp) til forte fortissimo (fff) fremfor kun at tale om deres fysiske forudsætninger for at generere høje lydtryk. Det skal her nævnes, at forskellen mellem et almindeligt mezzo forte (mf) niveau og fff for mange instrumenters vedkommende ikke så meget er betinget af en forskel i lydtrykniveau som af en forskel i overtonerigdom (Meyer 1978). Med andre ord indikeres et fff til en vis grad gennem flere overtoner (hvilket giver en mere skarp, påtrængende klang), mens klangen i de svagere nuancer vil være mere "blød". Som musiker kan man på mange instrumenter formidle et fff ved gennem spillemåden at fremelske flere overtonerne frem for gennem et forsøg på at opnå et højere lydtryk. Dertil kommer, at indtrykket af et fortissimo afhænger af, på hvilket objektivt niveau musikeren lægger de svagere nuancer. Musikalsk udtryk er et spørgsmål om at dyrke kontrasterne. Hvis man derfor virkelig spiller svagt og ikke mf, når der

indikeres ppp i partituret, vil et fff virke overvældende også uden at man behøver at skrue fuldt op for styrken. Herved undgår man også, at klangen bliver presset og uskøn.

Meget tyder på, at musikers holdning til dynamisk udtryk og lydniveau har ændret sig gennem det seneste århundrede, ligesom instrumenterne i dag generelt er kraftigere sammenholdt med før.

I forbindelse med en upubliceret undersøgelse af forholdene i orkestergraven på Kungliga Operan i Stockholm fra maj 2000 (Gade et al 2001) udtalte en ældre, tysk dirigent Sigfrid Köhler, at de fleste orkestre (bortset fra i centraleuropa) i dag spiller højere end for 50-100 år siden p.gr.a. indflydelse fra et amerikansk klangideal. I denne periode er instrumenterne også blevet udviklet til at kunne spille kraftigere: kammertonen er hævet, hvilket gør strygerne mere gennemtrængende, messinginstrumenter bygges med større boring og større schall-stykke, mundstykket på fløjter er udviklet til at kunne generere højere lydtryk, og dagens pauker er større end de klassiske Dresden-pauker.

Denne tendens til kraftigere spil hænger muligvis sammen med det faktum, at de ledende orkestre i USA spille i sale, som er væsentligt større end salene i Europa, idet mange sale i USA typisk rummer 2000 – 3000 tilhørere mod måske 1500 – 2000 i Europa.

Måske er tendensen til kraftigere spil endda ældre. Ifølge ukendt kilde skal Wagner efter hjemkomst fra en rejse i USA i 1905 således have givet udtryk for, at amerikanske orkestre spillede alt for højt!

Wagner, hvis værker idag ofte giver anledning til diskussion om høje lydniveauer, var faktisk selv meget opmærksom på behovet for balancerede lydniveauer og afpasse besætningen efter salens størrelse. Han skriver således et sted til sin ven Liszt, som skulle opføre hans værk "Liebesmahl der Apostel" i Weimar: "Jeg beder dig være opmærksom på, at stykket er skrevet for et meget større lokale og et meget større kor. I et mindre rum og med et mindre kor skal messingblæserstemmerne reduceres til den sædvanlige størrelse, specielt bør de fire trumpeter reduceres til to." Man bør også huske på, at når Wagner i sit "Nibelungen-orkester" anvender otte horn, er det for at matche den for den tid store strygerbesætning på 64 mand. Med moderne spillestil og horn, som er væsentligt forskelligt fra et horn anno 1910, er 64 strygere knap tilstrækkeligt for at matche 8 horn, når disse spiller så kraftigt, som det i dag er muligt.

Hvis man kunne vende denne tendens mod stadig højere lydtryk, ville en stor del af problemet med høje eksponeringsniveauer hos klassiske musikere være løst. I denne sammenhæng er det velkomment, at der i dag er en stigende tendens til at opføre ældre værker på "original"-instrumenter.

## Mulige tiltag til reduktion af lydbelastningen for klassiske musikere

### SYMFONIORKESTRE

Anvend koncert- og øvesale med tilstrækkeligt gulvareal, minimum 2 m<sup>2</sup> per musiker, så møbleringen kan blive hensigtsmæssig og så der kan skabes tilstrækkelig afstand især til messingblæsere og slagtpøj - og så der er plads til opsætning af skærme, hvis det er nødvendigt.

Sørg for, at rummet har et passende stort volumen, helst ca. 50 m<sup>3</sup> per musiker i øvesale, så der kan skabes passende efterklang uden at niveauet bliver for højt. Jo mindre rummet er, jo mere må efterklangen dæmpes, for at undgå for høje lydniveauer. Vælg på den anden side ikke rummet alt for stort eller for dæmpet, idet musikerne lettere ledes til at spille for kraftigt, hvis de ikke føler tilstrækkelig response (støtte) fra rummet, eller hvis de og dirigenten føler, at man ikke opnår et tilstrækkeligt niveau på tilhørerpladserne i fff passager.

Efterlad et 2m bredt, tomt areal forrest på koncertsalens orkesterpodie til refleksion af strygernes lyd ud i salen. Herved reduceres risikoen for, at de bliver bedt om at presse deres instrumenter for at nå ud i salen.

Vælg repertoire, som passer til salens størrelse og klangfylde. Fravælg værker, som kræver et større rum end det aktuelle!

Tilrettelæg koncertrepertoiret, så der kun spilles et begrænset antal kraftige værker i hver sæson.

Begræns eksponeringen af den enkelte musiker ved at variere orkesteropstillingen, så ikke de samme musikere altid sidder foran de kraftige instrumenter. Lad strygere i samme gruppe rotere mellem pladser tæt ved og længere fra de kraftige instrumenter.

Tilrettelæg prøveplaner, så eksponeringen begrænses. Begræns lydniveauet, når der indstudies eller øves teknik.

Indret prøvesale med "rimelig" absorption (i en koncertsal er det primært tilhørernes stole, der absorberer lyden), dvs. begræns den efterklang, som skaber et mudret lydbillede.

Sørg for, at der både i øve- og koncertsale er reflekterende flader, som kan generere tidlige refleksioner til sikring af den akustiske kommunikation mellem musikerne i orkesteret.

Anvend podier under messingblæsere og slagtpøj, så dirigenten hører disse kraftige instrumenter klart (så han/hun ikke beder dem spille kraftigere), og så disse ikke har deres primære udstråling direkte ind i foran siddende musikere. Placering af store dele af orkesteret på buede podier (som i Berliner Philharmonie) kan fremme den direkte lyds udbredelse over større afstande i orkesteret, hvilket – sammen med de ovenfor omtalte tidlige refleksioner - bidrager til god kontakt mellem musikerne.

Placér en lydspredende, reflekterende flade bag hornister, så dirigenten hører instrumentet passende kraftigt. Hornister vil samtidigt ønske at sidde mindst én meter fra fladen.

Anvend lydabsorberende skærme af rigelig størrelse (bredde ca. 80 cm og højde ca. 1,2m eller minimum 10 cm overørehøjde), hvor det er nødvendigt. (I en koncertsal kan skærme normalt kun accepteres visuelt, hvis de er transparente. Dette er i nogen grad muligt ved at anvende mikro-perforerede folier som ”Mikrosorber” monteret i nogle centimeters afstand på hver side af en klar acryl-plade.) Anvendelse af reflekterende skærme af f.eks. acryl har meget begrænset effekt.

Stil musikerhøreværn til rådighed; men anvend dem kun hvis andre tiltag ikke har tilstrækkelig effekt.

#### Specielt for opera/musical-orkestre:

Opera- og musicalorkestre er specielt udsatte, idet pladsforholdene i graven tit er sparsomme, og fordi de ofte opfører de samme (kraftige) værker mange gange.

Et optimalt gulvareal per musiker i en orkestergrav er ca. 2 m<sup>2</sup>. Et areal på under 1,5 m<sup>2</sup> per musiker må ikke forekomme. Hvis graven skal gøres større bør det ske ved at fjerne de forreste rækker i parkettet - selv om det koster billetindtægter!

lydabsorberende skærme er specielt vigtige i orkestergrave, hvor pladsen ofte er mere begrænset end på en koncertscene, og hvor de fleste musikere ofte sidder på samme gulvniveau. Til gengæld kan man i en orkestergrav godt acceptere lydabsorberende, ugenomsigtige skærme. (Hvis en passende størrelse af skærmen medfører, at udsigten til dirigenten ødelægges, kan de øverste ca. 10cm gøres transparente – og eventuelt stadig være lydabsorberende ved montering af mikroperforeret folie foran en tæt acryl-skærm). Overkanten kan i stedet vippes, så lyden reflekteres væk fra musikernes øren.

Undgå at placere musikere under forscenen; men gør loftet herunder delvist absorberende, hvis det er uundgåeligt.

#### KAMMERORKESTRE

- som for symfoniorkestre; men typisk vil disse ensembler afgive mindre lydtryk og have mindre messing- og slagtpøjsbesætninger. Derfor er problemerne her oftest mindre end i store symfoniorkestre. Det samme gælder deciderede barokorkestre og ensembler der fremfører ældre værker på originalinstrumenter.

#### SOLISTER (instrumentalister og sangere)

Begræns eksponeringstiden - dvs. holdt rigelige pauser - og begræns lydniveauet, når der indstudies og øves teknik.

#### KORSANGERE

Indret korøvelokalet med tilstrækkeligt gulvareal, og optimer dæmpningen i forhold til rummets volumen.

Det kan være en fordel at benytte en stejl podieopbygning, så sangerne synger hen over hovedet på de foran siddende/-stående.

Tilrettelæg repertoire, prøveplaner og koncertkalender så eksponeringsdosen begrænses.

Ansæt eventuelt flere sangere til at alternere, hvis aktiviteten er høj.

## LOKALER TIL INDIVIDUEL ØVNING

Sørg for, at rummet har et passende stort volumen (loftshøjde helst over 3m), så der kan skabes passende efterklang uden at niveauet bliver for højt. Jo mindre rummet er, jo mere må efterklangen dæmpes, for at undgå for høje lydniveauer.

## GENERELT

Idéelt set bør der foretages registrering af typiske  $L_{Aeq}$  værdier på de enkelte pladser i orkesteret for hvert værk, som påtænkes opført, således at doser for planlagte prøver og koncerter kan stimeres for den enkelte medvirkende musiker. På baggrund af disse tal og tilsvarende data fra musikerens øvrige aktiviteter (bierhverv og privat øvning) bør der så udarbejdes individuelle prøve/koncertplaner for den enkelte. Herefter må der om nødvendigt disponeres med afløsere, rotation mellem pladser i orkesteret, opstilling af skærme mm. for at sikre, at bekendtgørelsens grænser overholdes. I praksis må man sandsynligvis finde nogle mere generelle og administrativt/teknisk mindre resourcekrævende retningslinier at planlægge efter. Disse retningslinier kan kun udarbejdes i samarbejde med branchen.

Informér om bekendtgørelsens regler og motivér (positivt) til hensigtsmæssig adfærd.

Brug eventuelt lydmålere/niveauindikatorer i øverum.

Vælg instrumenter efter klanglige kvaliteter - ikke efter maksimalt lydtryk.

Vælg en behersket spillestil. Sørg bl.a. for, at der virkelig spilles ppp når det er angivet i noderne. I så fald behøver fff objektivt set ikke at være så kraftigt for at virke overvældende. Sørg for lav baggrundsstøj i lokalet. Det vil medvirke til at fremelske spil ved svagere niveau.

Fravælg dirigenter, som går ind for "rå kraft" i deres musikalske udtryk.

Opgradér organisationen, så den kan håndtere bekendtgørelsens regler i det daglige arbejde m.h.t. check af arbejdsmiljøet, sundhedskontrol herunder registrering af lyd-dose for den enkelte musiker, mm.

Sørg for tilstrækkelige hvilepauser.

Vælg ikke fritidsaktiviteter, som øger støjdosen. (Gå ikke lige hjem og start en støjende græsslåmaskine efter en krævende prøve!)

## Referencer

- Beranek L L & Vér I L (1992) "Noise and Vibration Control Engineering", Wiley, New York
- Camp JE and Horstman SW (1992) Musician Sound Exposure During Performance of Wagner Ring Cycle. *Medical Problems of Performing Artists*, 7, 37-39.
- Chasin M and Chong J (1995) Four Environmental Techniques to Reduce the Effect of Music Exposure on Hearing. *Medical Problems of Performing Artists*, 10, 66-69.
- Daum MC (1988) Hearing loss in musicians. *Report, Center for Safety in the Arts: 6.*
- Gade, A C (1989): "investigations of Musicians' Room Acoustic Conditions in Concert Halls", Part I: *Acustica*, Vol. 69, p. 193-203 and Part II: *Acustica* Vol. Vol. 69, p. 249-262.
- Gade, A C et al.(2001): "Acoustical problems in orchestra pits; causes and possible solutions" Proceedings 17th ICA, Rome, paper 5A.11.01
- Groothoff B (1999) Incorporating effective noise control in music entertainment venues? Yes it can be done. *Journal of Occupational Health and Safety (Aust. NZ)*, 15, 543-550.
- Hall JWI and Santucci M (1995) Protecting the professional ear: conservation strategies and devices. *Hearing Journal*, 48, 37-45.
- Henoch MA and Chesley K (2000) Sound exposure levels experienced by a college jazz band ensemble - Comparison with OSHA risk criteria. *Medical Problems of Performing Artists*, 15, 17-22.
- HSC (2007): "Proposed guidance for the music and entertainment sectors on the Control of Noise at Work Regulations 2005". HSC/07/08, Health and Safety Commission, London, England.
- ISO-10053 (1991) *Acoustics – Measurement of office screen sound attenuation under specific laboratory conditions*. Geneva, International Organization for Standardization.
- ISO-11821 (1997) *Acoustics – Measurement of in-situ sound attenuation of a removable screen*. Geneva, International Organization for Standardization.
- Kähari K, Berntson A, Sjösten P and Hellquist C (2006) Akustikprojektet i Göteborg. *Report, Arbetlivsinstitutet*.
- Lockwood AH, Salvi RJ and Burkhard RF (2001) Tinnitus and the performer. *Medical Problems of Performing Artists*, 16, 133-135.
- Meyer; J (1978): *Acoustics and the performance of Music*. Verlag Das Musikinstrument, Frankfurt am Main, Germany

Naylor G M (1987): "Musical and acoustical influences upon the achievement of ensemble" PhD thesis, Heriot-Watt University, Edinburgh, Scotland.

Norman Lebrecht (2002); "Turn it down", Evening Standard, 21. august 2002 (citeret i Carl Honoré: "Lev livet langsomt").

Reid AW (2001) A Sound Ear. *Report, Association of British Orchestras*.

Sataloff RT (1991) Hearing Loss in Musicians. *American Journal of Otolaryngology*, 12, 122-127.

Teie PU (1998) Noise-induced hearing loss and symphony orchestra musicians: risk factors, effect, and management. *Maryland Medical Journal*, 47, 13-18.



Dette er bare et fint billede – synes jeg!