

Lydregulering og Lydisolation.

Af Lydteknisk Laboratorium, Akademiet for de tekniske Videnskaber.*)

I 1934 bragte HFB en Afhandling om det teoretiske Grundlag for Kontrollen med Lydforhold i Bygninger, bl. a. Definitioner paa de Begreber og Enheder, der regnes med i Akustikken. I de forløbne Aar er dette Fag baade i Teori og Praksis skredet stærkt frem. Denne Artikel giver en Orientering for Bygningsteknikere.

Det er af stor Vigtighed, at netop Bygningsfaget har Kendskab til de grundlæggende Principper inden for Akustikken. Meget ofte vil en færdig Konstruktion med uheldige akustiske Egenskaber vise sig meget vanskelig at forbedre bagefter, medens enkle Forholdsregler under Opførelsen vil have været tilstrækkelige til at sikre et godt Resultat i akustisk Henseende. Dertil kommer, at der stilles stadig større akustiske Krav til Konstruktionerne paa Grund af den stigende Støjplage (Radioer!), samtidig med at Installationerne letter Lydoverføringen fra Lejlighed til Lejlighed. Det er ikke uden Grund, at der klages over daarlig Lydisolation i mange moderne Boliger.

I det følgende er der givet en kort Gennemgang af Bygningsakustikken, idet Hovedvægten er lagt paa de Problemer, som forekommer ved almindeligt Boligbyggeri, medens mere specielle Spørgsmaal som Indretningen af

Absorptionsareal: (Antal Absorptionsenheder): Summen af Overfladearealerne multipliceret med disses Absorptionskoefficienter. Maales i m² Sabin (S. 529).

Absorptionskoefficient: For en Flade, Forholdet mellem den absorberede og den indfaldende Lydenergi (S. 529).

Bankelyd: Fremkommer ved en direkte mekanisk Overføring af Lyd til en Etageadskillelse eller Væg, f. Eks. Trinstøj (S. 538—539).

Bankelydstal: Logaritmisk Maal for Etageadskillelsers Evne til at isolere mod Bankelyd. Maales i Phon (S. 539).

Decibel (db): Objektivt logaritmisk Maal for Lydstyrke (S. 529—530).

Efterklangstid: Den Tid Lydintensiteten i et Rum er om at aftage til en Milliontedel, naar Lydkilden standses (S. 529—532).

Frekvens: Svingningstal pr. Sekund, Maales i Hertz (Hz) (S. 530).

Isolationstal: Middeltal af Luftlydisolationen for Frekvensområdet 100—3000 Hz. Maales i db (S. 537).

Lufilyd: Fremkommer ved Udstråling i Luften fra en Lydgiver, uden at Rummets Begrænsningsflader direkte paavirkes af denne (S. 536).

Lufilydisolation: Logaritmisk Maal for en Skillevejs Evne til at isolere for Luftlyd af en bestemt Frekvens. Maales i db (S. 537).

Phon: Subjektivt logaritmisk Maal for Lydstyrke. Maal for Hørestyrke (S. 530).

Sabines Formel: (S. 529).
Efterklangstid (i Sek.) = $\frac{0,161 \times \text{Rummets Volumen i m}^3}{\text{Absorptionsarealet i m}^2 \text{ Sabin}}$

Oversigt over nogle i Akustik ofte forekommende Ord.

Biografteatre, Koncertsale og Radiostudier væsentlig er medtaget for at belyse de almindelige Principper.

Emnet er inddelt i to Hovedafsnit: Lydregulering og Lydisolation.

I. Lydregulering.

Alment, Støjdæmpning, Regulering af Efterklangstid, Lydabsorberende Materialer, Beregningseksempel.

Ved Lydregulering (akustisk Regulering) skal ganske enkelt forstås den lydæssige Tilpasning af Rummet til dets Formaal. Der findes en vid Skala af Muligheder fra det festligt gjaldende Kirkerum til den intime Virkning af en Dagligstue med mange Tæpper og Gardiner. Saavel Musik og Tale som Støj virker meget forskelligt i saadanne Rum, og dette betinger deres større eller mindre Egnethed til de forskellige Arter af Anvendelse, f. Eks. Koncertsal, Mødesal, Biograf eller Sportshal, Fabrik og Beboelsesrum.

Et Rums akustiske Egenskaber karakteriseres først og fremmest af Efterklangen, den Lyd, som bliver staaende i Rummet, efter at den Lydgiver, som har frembragt den, er standset, og

desuden af, hvor jævnt Lyden fordeles sig over Rummet, og om der opstaar Ekkofænomener. Disse Egenskaber afhænger igen dels af Rummets Form og Lydgiverens Placering, dels af den dæmpende Virkning af Beklædningen paa Rummets Overflader, dets Inventar og Antallet af tilstedeværende Personer.

Vi skal i det følgende omtale, hvorledes et Rum tilpasses, enten for at formindske uønsket Lyd, eller for at give en passende Kvalitet af den ønskede Lyd, Tale eller Musik, idet der derefter gives en nærmere Beskrivelse af de forskellige Typer af lydabsorberende Materialer; først skal dog omtales, hvorledes Lyden i et Rum vokser op og dør hen.

Lydens Opvoksen og Hendøen i et Rum.

Anbringes en Lydgiver i et Rum, vil Lyden udbrede sig til alle Sider med en Hastighed af ca. 340 m i Sekundet. Den vil træffe Rummets Overflader og tilbagekastes fra disse; er Overfladerne haarde, vil deres *Absorptionskoefficient*, d. v. s. Forholdet mellem den absorberede og den indfaldende Lydenergi, være nogle faa $\frac{0}{100}$, saa største Delen af Lyden tilbagekastes. Lydbølgerne vil da naa at ramme Væggene et stort Antal Gange, før de ikke kan høres mere, og i et almindeligt Rum vil Lyden da hurtigt blive temmelig jævnt fordelt over det hele, idet Lyden i ethvert Punkt bliver temmelig jævnt fordelt over alle Retninger; dette kaldes, at Lydfeltet er *diffust*.

Udsender Lydgiveren en Tone af konstant Styrke, vil Lyden i Rummet vokse op, indtil den udsendte Lydenergi pr. Sekund, Lydeffekten, er lig den Energi, der absorberes i Overfladerne pr. Sekund. *Lydintensiteten*¹⁾ bliver større, jo mindre Absorptionen er, og man kan vise, at den bliver omvendt proportional med *Absorptionsarealet* (Antallet af Absorptionsenheder), som er Summen af de forskellige Overfladearealer i m², hvert multipliceret med sin Absorptionskoefficient; det angives i m² Sabin. Lydintensiteten bliver i øvrigt uafhængig af Rummets Volumen; Lydintensiteten fra en bestemt Lydgiver bliver altsaa kun mindre i et stort Rum end et lille, for saa vidt dets Absorptionsareal er større.

Et aabent Vindue kan siges at have Absorptionskoefficienten 1, da al Lyd, som træffer det, passerer videre ud i det Frie og ikke kommer tilbage. Hvis man tænker sig alle Begrænsningsflader i Rummet fuldkommen haarde, d. v. s. med Absorptionskoefficient 0, kan Absorptionsarealet fortolkes som det Areal af aabne Vinduer, der vilde absorbere lige saa meget Energi fra Rummet som de virkelige Begrænsningsflader.

Stopper Lydgiveren pludseligt, vil Lyden i

¹⁾ Lydintensiteten, I, er den Lydenergi, der pr. Sekund passerer en cm² lagt vinkelret paa Lydens Udbredelsesretning. Den maales i Watt pr. cm²; undertiden angiver man i Stedet 10 Gange Logaritmen til Lydintensiteten divideret med 10⁻¹⁶ Watt/cm², idet dette Tal kaldes Lydintensiteten i Decibel (db) over 10⁻¹⁶ Watt/cm². Den valgte Referenceværdi 10⁻¹⁶ Watt/cm² svarer til den svageste Lydintensitet af middelstor Tonehøjde, Øret under gunstigste Omstændigheder kan opfatte.

Rummet dø hen, efterhaanden som den bliver absorberet ved Overfladerne; jo langsommere dette sker, desto større Efterklang siges der at være. Man maaler denne ved *Efterklangstiden*, som er det Antal Sekunder, Lydintensiteten er om at aftage til en Milliontedel af sin Begyndelsesværdi (d. v. s. med 60 db), hvilket svarer til, at den aftager fra en temmelig kraftig Værdi, til den netop ikke kan høres mere. Denne Efterklangstid er meget karakteristisk for Rummets lydæssige Egenskaber. For et Rum med tilnærmelsesvis diffust Lydfelt og ikke for stor Absorption bestemmes Efterklangstiden *t_{sab}* af *Sabines Formel*

$$t_{sab} = \frac{0,161 V}{A} \text{ (sek)}$$

hvor V er Rummets Volumen i m³ og A Absorptionsarealet i m² Sabin. Efterklangstiden vokser proportionalt med Rummets Volumen og er omvendt proportional med Absorptionsarealet. Man kan ud fra en Maaling af Efterklangstiden bestemme Rummets Absorptionsareal.

Som det senere skal omtales, er Absorptionskoefficienten for de fleste Materialer afhængig af Tonehøjden. Efterklangstid og Absorptionsareal maa derfor almindeligvis bestemmes ved en Række forskellige Tonehøjder.

Af Formlen følger, at Efterklangstiden for et bestemt Absorptionsareal bliver ens, ligegyldigt hvordan dette fordeles over Rummets Overflader. Dette slaar naturligvis kun til, hvis Lydintensiteten virkelig er ens langs alle Overflader; men er Absorptionen nogenlunde jævnt fordelt over Overfladerne, og er disse nogenlunde regulære, uden Flader, der ved Tilbagekastningen vil samle Lyden paa enkelte Steder (Brændpunkt-dannelse, Fokusering), bliver Lyden forbavsende jævnt fordelt over Rummet, og Formlen giver en god Tilnærmelse til de virkelige Forhold.

Støjdæmpning.

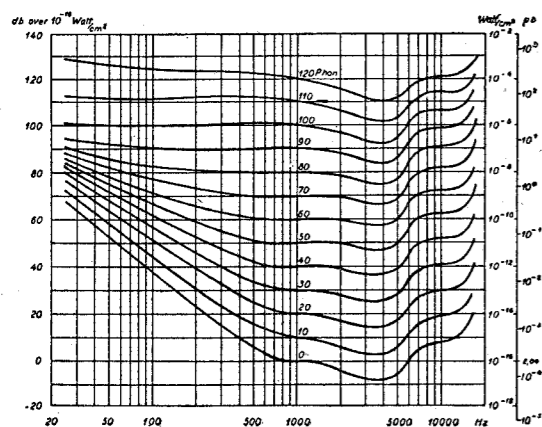
I Dagliglivet er vi omgivet af mange Slags Støjkilder, lige fra larmende Maskiner i Fabrikker til Serviceraslen i Restauranter og Skrive-maskineklapren i Kontorer, som det kan være ønskeligt at bekæmpe, fordi de virker distraherende og trættende. Den første Bestræbelse bør naturligvis gaa ud paa at formindske den udstraaede Lydenergi, men det er tit begrænset, hvad man kan naa i denne Henseende. Man kan da nedsætte den resulterende Lydstyrke i

*) Oplysning om Laboratoriets Virkemaade og Udstyr findes i dets Meddelelse Nr. 2, der udleveres gratis. Se iøvrigt HFBs Afsnit om Institutioner Side 470.

Rummet ved at forøge dets Absorption, idet man opsætter lydæmpende Materialer paa de haarde Overflader.

I almindelige Beboelsesrum findes som Regel en udmærket Dæmpning hidrørende fra Gardiner, Tæpper og polstrede Møbler; men i Arbejdsrum med haarde, udækkede Vægge og Gulve er der ofte paa Forhaand en saa ringe Dæmpning, at Opsætning af absorberende Materiale er stærkt tiltrængt og kan gøre god Virkning. Da man for at opnaa en Halvering af Lydintensiteten i et Rum maa tilføje lige saa mange Absorptionsenheder, som der er i Forvejen, er det i de Rum, som paa Forhaand er svagt dæmpede, man billigst opnaar mærkbare Resultater.

Ved Bedømmelsen af, hvad der kan opnaas, maa der tages Hensyn til, at Forholdet mellem den svageste Lydintensitet, Øret kan opfatte, og den stærkeste, det kan taale, er omtrent som



Figur 1. Kurver over Ørets Følsomhed for rene Toner. Hørestyrken i Phon er angivet for Toner af forskellig Tonehøjde i Hertz og forskellig Intensitet.

en til en Million Millioner; da der indenfor dette uhyre Omraade kun kan skelnes et begrænset Antal Nuancer, forstaas det, at en Forskel paa 10 % lige netop kan mærkes, naar man gør sig

¹⁾ Derfor angives Forholdet mellem forskellige Lydintensiteter i Decibel (db), som er 10 Gange Logaritmen til Forholdet. Et Intensitetsforhold paa 1:2 svarer til 3 db, paa 1:10 til 10 db, paa 1:100 til 20 db, og Forholdet mellem den stærkeste og svageste Lyd, Øret kan opfatte, svarer til 120 db. Da Lydintensiteten er proportional med Kvadratet paa Lydtrykket, angives Forholdet mellem to Lydtryk ved 20 Gange Logaritmen til Forholdet. Et Lydtrykforhold paa 31 svarer til et Intensitetsforhold paa 1000, og begges angives som 30 db.

Umage, og at der skal en Reduktion til paa 2 til 5 Gange, før der synes at være kendelig Forskel, og maaske 10 eller 100 Gange, før en generende Støj er tilstrækkelig nedsat¹⁾.

Endvidere er Ørets Følsomhed forskellig over for Toner af forskellig Højde, idet det paavirkes stærkere af mellemhøje Toner af Frekvens 1000—4000 Hertz (Svingninger pr. Sekund) end af meget dybe og høje Toner²⁾; det gælder derfor særlig om at holde de mellemhøje Toner i Støjen nede paa et passende Niveau.

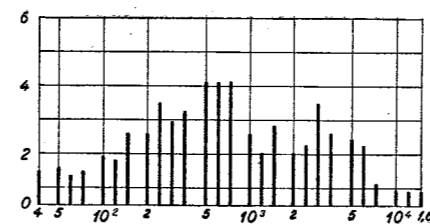
Til Orientering om, hvilket Støjniveau der findes under forskellige Forhold, skal her gives en kort Oversigt.

Private Lejligheder	25—40	Phon
Enkeltmandskontorer	35—50	—
Mindre Forretninger	40—60	—
Større Kontorer	45—60	—
Store Forretninger, Magasiner ..	50—70	—
Almindelige Restaurationer	50—70	—
Værksteder	60—80	—
Hovedgader med stærk Trafik	75—85	—
Kedelsmedier	100	—
6 m fra Flyvemaskinepropel ..	120	—

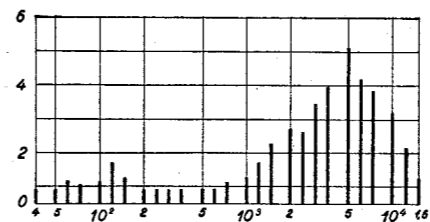
De fleste Støjlyde indeholder Toner af mange forskellige Højder, eller Tonerne er mere eller mindre jævnt fordelt over et helt Frekvensomraade; Fordelingen af Støjen over de forskellige Tonehøjder, det saakaldte Støjspektrum, kan maales ved Hjælp af en Støjanalyator. Nogle typiske Støjspektrer er vist i Figur 2 og 3, der viser henholdsvis Støjen i Frokoststuerne paa Danmarks tekniske Højskole og Støjen fra en Skrivemaskine. Man ser, at medens Støjen i Frokoststuerne er fordelt over det meste af Toneomraadet, indeholder Støjen fra Skrivemaskinen meget kraftige Komponenter i den øverste Del af det hørbare Toneomraade.

Udfra en Maaling af Støjkildens Støjspektrum og af den allerede eksisterende Dæmpning i Rummet kan man beregne, hvor stort et ekstra Absorptionsareal der behøves ved de forskellige

²⁾ Da to Toner af samme Lydintensitet, men forskellig Tonehøjde (Frekvens), kan paavirke Øret i forskellig Grad, har man maattet indføre et særligt Maal for den Hørestyrke, Øret opfatter. Lyder en Tone lige saa stærkt som en Sammenligningstone af Frekvens 1000 Hertz og Lydintensitet 1 db over 10^{-16} Watt/cm², siges den at have Hørestyrken 1 Phon. Den komplicerede Sammenhæng, man har fundet mellem Lydintensitet og Hørestyrke ved forskellige Frekvenser, fremstilles i Kurver efter Fletcher og Munson, se Figur 1.



Figur 2. Støjspektrum for Frokoststue-støj.



Figur 3. Støjspektrum for Skrivemaskinestøj.

Frekvenser for at opnaa en ønsket Reduktion af Støjen. Tilbage staar saa at finde en passende Kombination af absorberende Materialer, som giver baade en tilstrækkelig Dæmpning og en rimelig Variation af denne med Frekvensen for den lavest mulige Pris.

Som det nærmere skal omtales i et Afsnit om de lydabsorberende Materialer, har de fleste lydabsorberende porøse Stoffer en Dæmpning, der er lille ved lave Frekvenser, men større ved høje Frekvenser; men ved Udnyttelse af Resonansvirkningen kan man fremstille Konstruktioner, der har stor Absorption ved lavere Frekvenser og saaledes kan give den manglende Dæmpning.

Kendskabet til Støjspektret kan, som det vil forstaas, udnyttes til at opnaa den mest økonomiske Støjdæmpning, idet man bruger Pengene til et Materiale, hvis største Absorption ligger netop i det Frekvensomraade, hvor der skal opnaas den største Reduktion af det Støjindtryk, Øret opfatter.

Ved mere specielle Former for Støj er det derfor tilraadeligt at optage en Støjanalyse, medens man i Tilfælde af de almindelige Former for Støj, f. Eks. Skrivemaskinestøj og lignende, ofte kan klare sig med de typiske Støjspektrer, der er opgivet i den akustiske Litteratur.

Man kan naturligvis gøre det endnu grovere og blot sætte et eller andet lydabsorberende Materiale op, saa meget, man har Raad til, men man maa være klar over, at dette ikke altid vil give tilfredsstillende Resultater.

Efter den i forrige Afsnit givne Beskrivelse af Lydens Udbredelse spiller Placeringen af Absorptionsmaterialet ikke nogen Rolle, naar man

kan regne med, at Lyden hurtigt fordeles jævnt over hele Rummet. Dette gælder kun med Tilnærmelse, og det passer ikke, hvis Rummet er stærkt dæmpet. Lyden vil da være stærkest i Nærheden af Støjtageren, og man bør derfor først og fremmest anbringe de absorberende Materialer her.

I Almindelighed vil det være bedst at fordele Materialet paa flere af Begrænsningsfladerne, for et almindeligt, rektangulært Rum helst paa tre paa hinanden vinkelrette Flader. En saadan ideel Fordeling kan man dog ikke altid skaffe i Praxis; man er hyppigt henvist til en ensidig Placering af Materialet, f. Eks. paa Loftsladen.

En saadan Opsætning af lydabsorberende Materiale er bedre end ingenting, men Materialet udnyttes daarligt paa denne Maade, og det er desuden begrænset, hvor mange Absorptionsenheder der er Plads til i Loftet. Hvor der findes Mulighed for Anbringelse af blot noget Absorptionsmateriale paa Væggene, bør dette ialtfald udnyttes.

Det skal tilføjes, at der teoretisk set er en Grænse for, hvor meget man kan nedsætte Lyden fra en Støjtager ved at dæmpe Rummet, idet man ikke dæmper den Lyd, der gaar direkte fra Støjtageren til det lyttende Øre, men kun den, der fylder Rummet efter en eller flere Tilbagekastninger ved dets Overflader. I alle almindelige Rum frembringer den tilbagekastede Lyd, Efterklangen, imidlertid langt den største Del af Lydindtrykket (undtagen i Lydgiverens umiddelbare Nærhed), og i Praxis opnaas der udmærket Reduktion af Støjen ved Dæmpning af Rummet. F. Eks. kan man i et stærkt dæmpet Rum uden Vanskelighed telefonere samtidig med, at der skrives paa Maskine.

Regulering af Efterklangstid.

Medens Bekæmpelse af Støj, uønsket Lyd, sker ved at dæmpe Rummet stærkt, altsaa gøre Efterklangstiden kort, ligger Forholdene anderledes for Rum, i hvilke der skal lyttes til Tale eller Musik. Her ønsker man at opnaa en god Lydstyrke for alle Tilhørerne, og dette kræver ringe Dæmpning, altsaa lang Efterklangstid. Bruger man f. Eks. et stærkt dæmpet Biografteater til Foredrag, uden at der anvendes Højtaler, bliver Talen saa svag, at den vanskeligt kan opfattes bagest i Salen.

Paa den anden Side er en lang Efterklangstid uheldig, fordi de enkelte Lyde i Talen eller Musikken da flyder sammen, hvorved det hele bliver uforstaaeligt. Et udpræget Eksempel paa et saadant Rum er en stor, tom Kirke; her maa der tales meget langsomt, hvis det skal være muligt at forstaa Meningen, skønt Lydstyrken er stor.

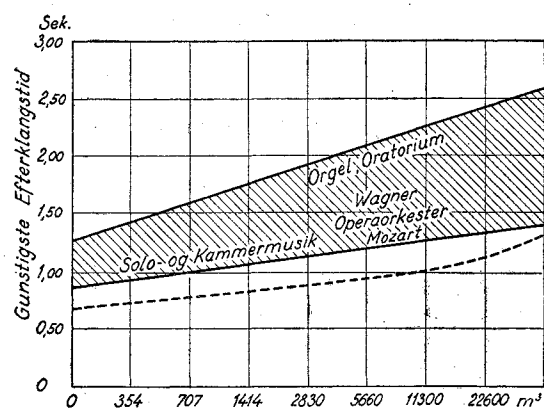
Der maa altsaa træffes et Kompromis mellem Hensynet til Lydstyrken og Efterklangstiden. Den bedste Værdi af Efterklangstiden afhænger af, om det drejer sig om Tale eller Musik, og den viser sig desuden at afhænge af Rummets Størrelse (dets Volumen).

For Tale ligger den optimale Værdi af Efterklangstiden erfaringsmæssigt som vist ved den punkterede Kurve paa Figur 4; her afhænger Forstaaeligheden af, at de enkelte Stavelse ikke flyder sammen, og der kræves en relativ kort Efterklangstid.

For Musik spiller Efterklangstiden en stor Rolle, og der er blandt Musikkere en forbavsende Overensstemmelse i Opfattelsen af, hvilken Efterklangstid der faar Musikken til at klinge rigtigt. Den optimale Efterklangstid afhænger ogsaa her af Rummets Volumen og er vist paa Figur 4.

Til Wagner-Operaer, Korsang o. l. er den optimale Efterklangstid noget større end for mindre Mozart-Operaer og Kammermusik, men der er naturligvis her kun Tale om ret smaa Forskelle.

Da Rummets absorberende Egenskaber er afhængige af Frekvensen, vil Efterklangstiden ogsaa variere med Frekvensen, men det har vist sig, at en Efterklangstid, der er nogenlunde konstant ved middelhøje Frekvenser og aftager



Figur 4. Günstigste Efterklangstid for Rum af forskelligt Volumen. Den punkterede Linie gælder for Tale, det skraverede Omraade for Musik.

svagt ved højere, men vokser noget ved lave Frekvenser, bedømmes som gunstig.

Ved Radiostudier er Efterklangstiden langt mere kritisk end ved normale Koncertsale, hvad der ligger i, at man ved Lytning til Højtaler dels koncentrerer sig stærkere om Høreindtrykket, fordi man ikke støttes af Synet af de Optrædende, dels savner Retningsvirkningen af Lyden fra de forskellige Instrumenter.

Ved mekanisk-elektrisk Gengivelse af Musik og Tale i et Rum faar Tilhørerne baade Rumvirkningen fra det Rum, hvori de opholder sig, og Rumvirkningen fra det Rum, hvor Optagelsen har fundet Sted. Man kan her vise, at det lyd-mæssige Indtryk for Tilhørerne bliver omtrent, som om de befandt sig i det af Rummene, der har den største Efterklangstid.

I et Biografteater skulde en Friluftsscene jo gerne skabe ogsaa lyd-mæssigt set den Illusion, at man befinder sig i det Frie, men medens Efterklangstiden i det Frie er Nul, vil Scenen lyde, som om den foregik i et Rum med Biografteatrets Efterklangstid. Nu er det menneskelige Øre nok ret tolerant med Hensyn til saadanne Afvigelser, især naar man samtidig ser paa Lærredet, hvor Scenen foregaar, men det er dog ønskeligt at bringe Efterklangstiden temmelig langt ned. Det bruges derfor at dæmpe Rummet stærkt, hvilket medfører, at Lydstyrken bliver lille i Forhold til den fra Højtaleren udsendte Lydeffekt. Dette er dog uden større Betydning i en Biograf, hvor man kan udsende Talen og Musikken meget forstærket.

Man kan ikke altid vælge Efterklangstiden i Overensstemmelse med Kurvernes ideelle Værdier. Saaledes spiller det en Rolle, at Publikum virker ret stærkt lyddæmpende; tilpasser man Dæmpningen, saa Efterklangstiden er ideel ved f. Eks. $\frac{3}{4}$ fuld Sal, bliver den for kort ved fuld Sal og for lang ved tyndt besat Sal. Dette har man dog afhjulpet i mange Biografteatre ved at anvende polstrede Stole, der dæmper lige saa meget, naar de er tomme, som naar de er besat.

Mere kompliceret bliver Problemet, naar Rummet, som det ofte er Tilfældet i Praksis, skal kunne anvendes til flere forskellige Formaal, der hver kræver sin Efterklangstid. Dette er f. Eks. Tilfældet for Kirkerum; disse skal bruges baade til Orgelmusik, som kræver meget lang Efterklangstid, og til Tale, og da de almindeligvis er tilpasset til Orgelmusikken, maa der anvendes en særlig Taleteknik, for at det skal være muligt

at forstaa Prædikenen. Noget lignende er, omend i mindre udpræget Grad, Tilfældet for Rum, der skal bruges til profan Musik og Foredrag. Omvendt er et Rum, der f. Eks. af Hensyn til Støjbekæmpelse er stærkt dæmpet, vel egnet til almindelig Samtale, men ikke til Foredrag eller Musik; her kan et Højtaleranlæg gøre Tale forstaaelig og gengive Grammofonmusik og Tonefilm, men levende Musik faar ikke den rette Klang.

Efterklangstiden indreguleres til den Værdi, man anser for gunstigst, ved Hjælp af passende Absorptionsmaterialer. Om Placeringen af Materialerne gælder noget lignende som nævnt under Støjdæmpning.

Ved Reguleringen af Efterklangstiden i Koncertsale, Radiostudier o. l., hvor der stilles store Krav om god Akustik, er det i særlig høj Grad nødvendigt at have Absorptionsmaterialet fordelt saa jævnt som muligt. Det er her heller ikke altid fordelagtigt at anvende meget kraftigt absorberende Stoffer, da disse vil medføre store Ujævnheder i Lydfordelingen.

Indreguleringen af en passende Efterklangstid er tit vanskeligere i et stort Rum end i et mindre. Fordobler man alle Maalene i et Rum, medens Overfladebeklædningerne er uforandrede, vil Rumfanget blive 8 Gange saa stort, men alle Overflader og dermed Absorptionsarealet vil kun blive 4 Gange saa store. Som det ses af Sabines Formel, bliver Efterklangstiden da fordoblet. Dette Forhold opvejes kun delvis af, at den optimale Efterklangstid ogsaa stiger noget med Rummets Volumen.

Rumformens Indflydelse.

Medens Efterklangstiden er meget afgørende for et Rums akustiske Egenskaber, maa det fremhæves, at der desuden er en Række andre Faktorer at tage Hensyn til, saaledes Lydens Retningsfordeling og Faren for Ekko; disse Faktorer afhænger for en stor Del af Rummets Form.

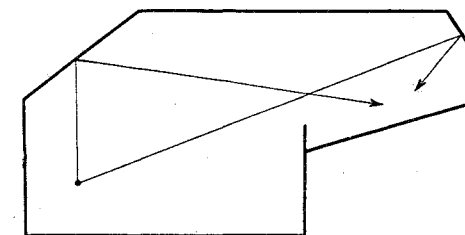
Lydens Fordeling spiller en stor Rolle for Rum, der skal bruges til Tale eller Musik, idet der maa være en passende Lydstyrke paa alle Tilhørerpladser. Den Lyd, der gaar direkte fra Lydgiver til Tilhører, aftager hurtigt i Styrke med Afstanden, og det er derfor vigtigt ogsaa at tage Hensyn til den Lyd, der en eller flere Gange kastes tilbage fra Rummets Overflader.

Man kan i nogen Grad undersøge disse Forhold ved at betragte Lydbølgerne som Straaler, der udbreder sig retlinet fra Lydgiveren og reflekteres fra Begrænsningsfladerne som Lysstraalear fra et Spejl. Dette kan gøres tegnemæssigt, eller man kan bygge en spejlende Model (f. Eks. af Aluminiumplade), hvor man anbringer en elektrisk Pære paa Lydgiverens Plads og undersøger Lysstyrkens Fordeling.

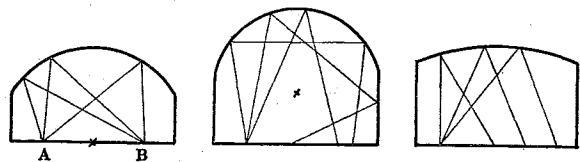
Man kan dog kun til en vis Grad betragte Lydbølgerne som Straaler. De ligner i denne Henseende Bølger paa Vand, som passerer Pælene i en Baadebrø uden at ændres, men kastes tilbage af en cylindrisk Mole paa 10 m Diameter, skønt den har samme Form som Pælene, og som spredes (brydes) af en Stenforkastning, men reflekteres af en Kajmur. Forholdene afhænger af, om Forhindringen er lille eller stor i Sammenligning med Bølgelængden, d. v. s. Afstanden fra Bølgetop til Bølgetop. For Lyd er Bølgelængden ca. 10 m for dybe Toner, men et Par cm for høje Toner, saa en Flade i et Rum vil virke reflekterende for tilstrækkelig høje Toner, men spredende for de dybe, idet Grænsen afhænger af Fladens Dimensioner.

Ledet af Lysmodelforsøg kan man finde frem til de bedste Former af akustisk vanskelige Rum. Saaledes kan man med Fordel anvende skraa Flader til Reflektorer for at faa sendt Lydbølger ned mod Salens Baggrund, hvor der ellers vil være mindst Lydstyrke. Som Eksempel kan vises Figur 5, der fremstiller et Fysikauditorium paa Danmarks tekniske Højskole, hvor en Projektionsskærm i Loftet over Katederet og en lille Skærm paa den modsatte Bagvæg er udnyttet til at forbedre Lytteforholdene paa Balkonen.

Krumme Flader kan være meget ubehagelige, fordi de ligesom Hul- eller Cylinder-spejle vil samle Lyden i bestemte Punkter eller Linier



Figur 5. Tværsnit af Fysikauditorium paa Danmarks tekniske Højskole. To reflekterende Skraaflader forbedrer Lydstyrken paa Balkonen til højre. Taleren staar for-neden til venstre.



Figur 6. Lydstråler i Rum med hvælvede Loft. Ligger Aksen i Gulvfladen, Figuren til venstre, samles Lyden fra A i en enkelt Linie ved B. Ligger Aksen højere eller lavere, Figuren i Midten og til højre, fordeles Lyden bedre.

(Fokusering); særlig hvis disse Brændpunkter eller -linier ligger nær Tilhørerpladserne, bliver Lydfordelingen uregelmæssig. Et Tilfælde, der giver næsten uløselige akustiske Vanskeligheder, er det hvælvede Loft med Akse i Gulvfladen; her vil Lyden fra en Lydgiver i et Punkt A ved Gulvet samles langs et smalt Omraade langs Linien B, medens der udenfor denne udover den direkte Lyd kun høres den svage Lyd, som tilbagekastes fra de lodrette Vægge. Forholdene forbedres, hvis Loftcylinderens Akse lægges højt over eller langt under Gulvet (Fig. 6). Dette Punkt er bl. a. af Betydning for de mange Sports- og Forsamlingshaller med tøndehvælvet Loft, som er bygget eller projekteret ud over Landet; ligger Aksen nær Gulvet, vil de meget vanskeligt kunne indrettes for Foredrag og Musik.

I store Rum maa man sørge for at undgaa store, haarde Vægge i saadanne Stillinger og Afstande, at der kan fremkomme Ekko. Øret er i Stand til at skelne mellem to Impulser, der har en Tidsafstand større end ca. 0,1 Sekund; fremkommer der derimod som i almindelige Rum en Række Impulser med kortere Mellemlum (reflekterede Bølger), smelter de sammen for Øret til en sammenhængende Lyd (Efterklang). Da Lydhastigheden er ca. 340 m/sek, vil det sige, at to distinkte Lydbølger med en Vejlængdeforskel paa mere end ca. 34 m vil opfattes som et Ekko, med mindre den ene er saa stærkt dæmpet, at den bliver væsentlig svagere end den anden.

Er f. Eks. Bagvæggen i et Biografteater haard og reflekterende, og befinder den sig over ca. 17 m fra Lærredet, vil en Tilhører paa forreste Række først høre den direkte Lyd fra Højtaleren og derefter den fra Bagvæggen reflekterede Lyd. Dette modvirkes ved enten at dæmpe Bagvæggen kraftigt eller at give den en saadan Hældning, at Lyden ikke naar frem til de forreste Rækker efter Refleksionen.

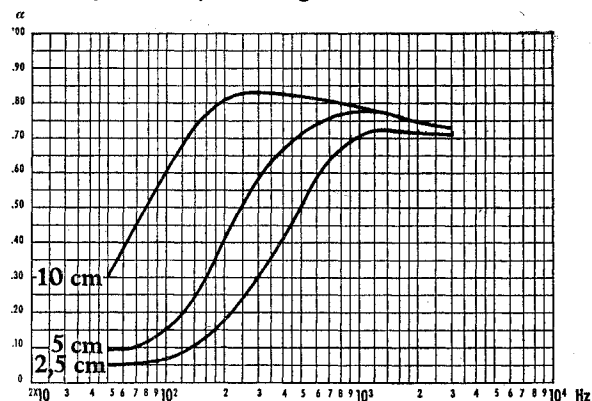
Lydabsorberende Materialer.

Disse kan inddeles efter vidt forskellige Synspunkter; her er valgt en „praktisk“ Inddeling ud fra Materialernes Udseende.

- 1) Egentlig porøse Absorbenter (f. Eks. bløde Træfiberplader, bløde Maatter, Tæpper, Gardiner o. s. v.).
- 2) Absorbenter med haard, perforeret Forplade og et porøst Materiale bagved (herunder kan man specielt henregne Helmholtz'ske Resonatorer, der bestaar af en perforeret Plade med Luftrum bagved).
- 3) Masse-Stivheds Absorbenter bestaaende af Plader af Krydsfinér o. l. monteret i en vis Afstand foran den faste Væg.

En skarp Adskillelse imellem de her nævnte Typer vil naturligvis ikke altid være mulig.

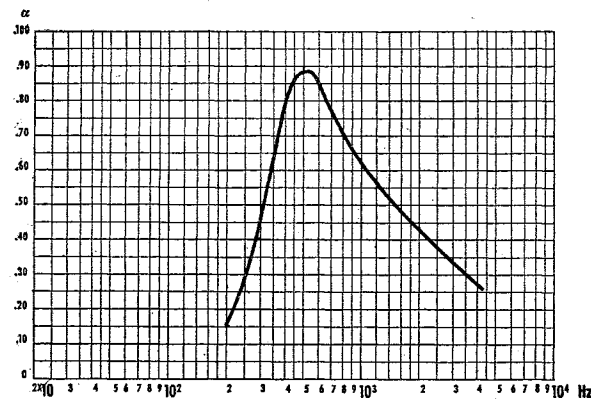
1) Karakteristisk for de egentlig porøse Materialer i almindelige, forholdsvis smaa Tykkelser er det, at Absorptionen er ringe ved lave Frekvenser (dybe Toner) og stor ved høje Frekvenser (høje Toner). Se Figur 7.



Figur 7. Absorptionskoefficienten α for et typisk porøst Materiale som Funktion af Tonehøjden for tre forskellige Tykkelser.

Da mange af Grundbestanddelene af et almindeligt Rum hører under denne Kategori (Tæpper, Gardiner, Møbler, Personer og alm. Vægge), stiger den herfra hidrørende Del af Absorptionen med Frekvensen, hvorfor det ved en Regulering hyppigt gælder om at faa forøget Absorptionen ved de lavere Frekvenser.

2) Dette er man i Stand til at opnaa ved Hjælp af den næste Type af Absorbenter med haard perforeret Forplade og porøst Materiale bagved. Her kan man ved passende Valg af Perforeringsgrad og Materialer give Materialet størst Absorption i de Omraader, hvor man ønsker det, idet dog en kraftig Absorption ved lave Fre-

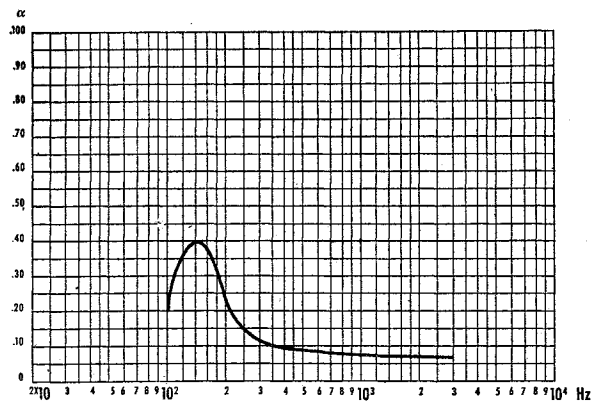


Figur 8. Absorptionskoefficienten α for en typisk Absorbent bestaaende af en haard perforeret Forplade med et porøst Materiale bagved, som Funktion af Tonehøjden.

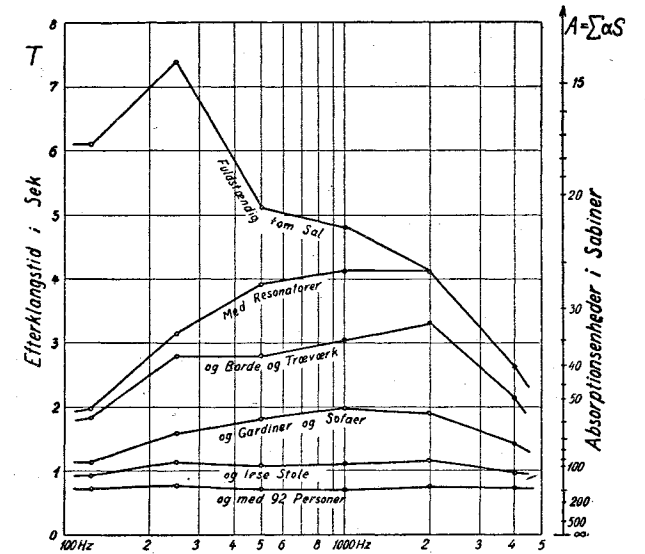
kvenser altid vil kræve en forholdsvis stor Tykkelse af Materialet. Af saadanne Materialer findes adskillige i Handelen.

Den haarde, perforerede Forplade er æstetisk og hygiejnisk set at foretrække for de egentlige porøse Absorbenter; den kan behandles med Maling, men ved smaa Huller maa det dog paases, at disse ikke tilstoppes. Se Figur 8.

3) En helt ubrudt Forplade har man ved den sidste Absorbenttype, der i sin simpleste Form bestaar af forholdsvis tynde Plader (Krydsfinér, Træfiber o. l.), opsat i ret store Flager, 0,25—1 m², paa et Lægteskelet. Pladens Masse og Egenstivhed plus Stivheden af det bagved liggende Luftrum vil bevirke, at Pladerne faar Resonansfrekvenser, ved hvilke Absorptionen er særlig stor. Resonansfrekvenserne vil ved ikke for tykke Plader ligge tilpas lavt, 100—400 Hz, og man kan i dette Omraade opnaa en stor Absorption, især hvis man tillige dæmper det bagved liggende Luftrum med et porøst Materiale. Se Figur 9.



Figur 9. Absorptionskoefficienten α for en typisk Masse-Stivheds Absorbent, bestaaende af en Krydsfinérplade anbragt paa et Lægteskelet foran den stive Væg, som Funktion af Tonehøjden.



Figur 10. Efterklangstiden for Lærerraadssalen paa Danmarks tekniske Højskole maalt paa forskellige Stadier af Montering.

Figur 10 viser, hvorledes Efterklangstiden i Lærerraadssalen paa Danmarks tekniske Højskole afhænger af det forskellige Udstyr, der findes i Salen. Den øverste Kurve viser Efterklangstiden som Funktion af Frekvensen, naar Salen er fuldstændig tom. Efterklangstiden er særlig stor ved lave Frekvenser. En Reduktion opnaaedes ved at opsætte en Del Helmholtz'ske Resonatorer; Resultatet er vist i Kurve Nummer 2. Derpaa blev der bragt Borde og andet Træværk ind i Salen, hvilket reducerede Efterklangstiden til den i Kurve 3 viste Værdi. En betydelig Reduktion hidførtes af Gardiner og Sofaer. De løst polstrede Stole bragte Efterklangstiden yderligere ned, saaledes at den ligger paa ca. 1 Sekund. 92 Personer ændrer ikke Efterklangstiden saa forfærdelig meget, idet Stolenes egen Dæmpning formindskes, naar Personerne sætter sig paa dem.

Beregningseksempel.

Regulering af Efterklangstid.

I et Auditorium 6 m × 8 m × 12 m er Efterklangstiden ved dybe, middel og høje Frekvenser (125, 500 og 2000 Hz) maalt til henholdsvis 2,8 sek., 1,6 sek. og 1,4 sek. for det tomme Auditorium. Rummet er ikke velegnet til Tale; især hurtig Tale vil være vanskelig at følge.

Auditoriet har upolstrede Siddepladser, og det hjælper derfor en Del paa Akustikken, hvis Auditoriet er fuldt besat (60 Personer), uden at Forholdene dog bliver tilfredsstillende. Der er hyppigst kun ca. 30 Tilhørere, og Efterklangstiden ønskes derfor indreguleret til sin gunstigste Værdi for dette Antal.

Regningerne indføres i et Skema som vist næste Side.

Beregningskema:

	125 Hz	500 Hz	2000 Hz
Efterklangstid for det tomme Rum	2,8	1,6	1,4
Absorptionsenheder A_1 i det tomme Rum	33	58	66
Absorptionsenheder A_2 for ca. 30 Personer	5	15	15
Samlet Absorption $A_1 + A_2$	38	73	81
Efterklangstid med 30 Personer	2,4	1,3	1,1
Absorptionsenheder A_3 i Loft	34	9	7
Absorptionsenheder A_4 paa Bagvæg	17	22	36
Samlet Absorption $A_1 + A_2 + A_3 + A_4$	89	104	124
Efterklangstid for reguleret Rum	1,0	0,9	0,75

Af Sabines Formel findes det samlede Antal Absorptionsenheder A_1 i det tomme Rum til:

$$A_1 = \frac{0,161 \cdot V}{t} \text{ (m}^2 \text{ Sabin)}$$

hvor V er Rummets Volumen i m^3 ($576 m^3$) og t Efterklangstiden i Sekunder.

Af hosstaaende Tabel findes Antallet af Absorptionsenheder A_2 hidrørende fra ca. 30 Personer; man har saa den samlede Absorption $A_1 + A_2$ i Rummet, naar der er 30 Personer til Stede. Efterklangstiden vil da kunne findes af Sabines Formel:

$$t = \frac{0,161 \cdot V}{A_1 + A_2} = \frac{93,7}{A_1 + A_2} \text{ (sek.)}$$

Efterklangstiden bør ved Middelfrekvensen (500 Hz) være ca. 0,8 sek. (se Fig. 4), svarende til et samlet Absorptionsareal paa $116 m^2$ Sabin. Der skal altsaa helst opsættes Materialer, der har de resterende Absorptionsenheder $116 \div 73 = 43 m^2$ Sabin ved 500 Hz. Desuden ser man, at Materialet bør absorbere mest ved dybe og mindst ved høje Frekvenser, og det vil da være formaals-

tjenligt bl. a. at anvende f. Eks. Træpaneler, der som vist paa Fig. 9 har stor Absorption ved dybe Frekvenser. Man kan f. Eks. opsætte Krydsfinérplader paa et Lægteskelet i Loftet. Som Eksempel er taget Tallene fra Fig. 7, der, idet Loftsarealet er $12 \times 8 = 96 m^2$, giver Absorptionsenhederne A_3 vist i Tabellen. Endvidere kunde man beklæde Bagvæggen med et Materiale, som havde Absorptionskurven vist i Fig. 8; idet Bagvæggen har Arealet $8 \times 6 = 48 m^2$, faas Absorptionsenhederne A_4 i Tabellen. Heraf kan nu af Sabines Formel udregnes Efterklangstiden i Rummet efter Opsætningen af Materialerne:

$$t_{\text{sab}} = \frac{0,161 \cdot 576}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$

Efterklangstiden ved Middelfrekvensen ses at være ca. 0,9 sek., hvilket er tilfredsstillende i Forbindelse med den ringe Stigning til 1 sek. ved dybe Frekvenser og Faldet til 0,75 sek. ved høje Frekvenser.

Nogle Materialers Absorptionskoefficienter:

Gulve:	125 Hz.	500 Hz.	2000 Hz.
Alm. ferniseret Trægulv paa Bjælker	0,15	0,10	0,06
Parketgulv af Teaktræ paa Stroer	0,15	0,10	0,06
Parketgulv i Asfalt	0,04	0,07	0,06
5 mm Tæppe	0,04	0,15	0,52
Linoleum paa Beton	0,02	0,03	0,04
Mure og Vægge:			
Beton, Kalkpuds o. l.	0,01	0,02	0,02
Tapet klæbet paa Mur	0,02	0,04	0,07
Absorptionsenheder pr. Stk.:			
Alm. siddende Personer (ikke over 1 pr. m^2)	0,17	0,47	0,50
Polstrede Stole	0,11	0,28	0,45

II. Lydisolation.

A. Luftlydisolation, B. Banklydisolation, C. Beregningsseksempel.

En Bygningskonstruktions lydisolerende Egenskaber karakteriseres ved *Luftlydisolationen* og *Banklydisolationen* (Trinstøjsisolationen) mellem de forskellige Rum. De to Benævnelser refererer til Lydgiverens Virkemaade, idet denne ved Luftlyd sætter Luften i Lydsvingninger uden direkte mekanisk at paavirke Væg eller Gulv, medens den ved Bankelyd eller Bygningslyd direkte sætter Bygningskonstruktionen i Svingninger som f. Eks. ved Bankning, Trinstøj o. l. Forskellen mellem Udbredelsesforholdene for de to Typer beror paa, at Energien i Luftlyd kun vanskeligt overføres til Bygningslyd.

A. Luftlydisolation.

Energien fra en Luftlydkilde i et Rum plantes til et Naborum i flere Trin, idet Lyd-

giveren i det første Rum frembringer Luftlyd, hvis Intensitet er omvendt proportional med Absorptionsarealet i dette Rum, hvorefter Luftlyden paavirker Skillevæggen, som atter sætter Luften i det andet Rum i Svingninger, hvis Intensitet er omvendt proportional med Absorptionsarealet i dette Rum.

For en given Lydkilde i det første Rum bliver Lydintensiteten i det andet afhængig af Absorptionsarealerne i begge Rum foruden af selve Skillevæggenes isolerende Evne. Kan man paa Forhaand fastsætte Rummenes Indretning og Montering (f. Eks. i en Kontorbygning eller et Hospital), bliver der Anledning til at finde den Kombination af Dæmpning i de to Rum, der sammen med en rimelig Isolationsevne for Skillevæggen giver den ønskede Nedsættelse af Lyd-

styrken i det andet Rum paa billigste Maade, idet stor Dæmpning af Rummene medfører mindre Krav til selve Skillevæggen. I andre Tilfælde (f. Eks. Beboelseshuse) kan man kun anslaa sandsynlige Værdier for Dæmpningen, svarende til sædvanlig Møblering af Rummene, og maa indrette Skillevæggene derefter.

Disse Forhold holdes ikke altid tilstrækkeligt ude fra hinanden.

Saaledes møder man hyppigt den Opfattelse, at en Skillevægs lydisolerende Evne bliver forbedret ved Opsætning af bløde Træfiberplader o. l. Denne Opfattelse skyldes vel nok hovedsagelig den Nedsættelse af *Rumstøjen*, som disse Pladers Lyddæmpning medfører. Selve Væggenes Isolation forøges kun forsvindende lidt ved Opsætning af saadanne Plader direkte paa Væggen.

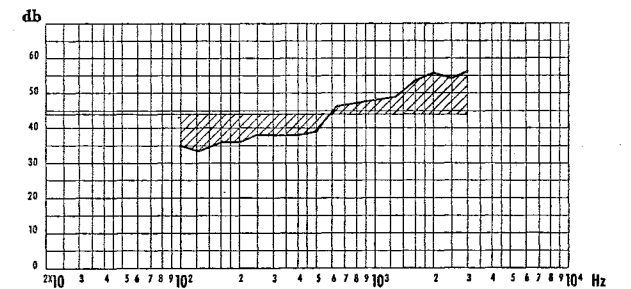
I Laboratoriet bestemmes Isolationsevnen af en Skillevæg, der er opsat i en Aabning mellem to Maalerum, ved at frembringe en kraftig Tone i det ene Rum og maale Lydstyrken baade i dette Rum, Senderummet, og det andet, Modtagerummet.

Luftlydisolationen angives i Decibel (se Fodnote Side 530) som 10 Gange Logaritmen til Forholdet mellem den Lydenergi, der pr. Sekund rammer Skillevæggen, og den, der passerer igennem til Naborummet. Ved praktiske Anvendelser er det bekvemt at definere Luftlydisolationen paa en anden Maade, som er ensbetydende med denne, nemlig som 10 Gange Logaritmen til Forholdet mellem Lydintensiteten i Senderummet og Maalerummet, idet dog Lydintensiteten i Maalerummet omregnes til den, man vilde faa, hvis Absorptionsarealet i dette Rum var lig med Skillevæggenes Areal. Lydisolationstallet er uafhængigt af Dæmpningen i Modtagerummet, og Dæmpningen i Senderummet har ingen Indflydelse paa Tallet, da man maaler Lydintensiteten her i Stedet for Lydkildens Effekt. Tallet bliver saaledes et Udtryk for selve Skillevæggenes Egenskaber.

Det har vist sig, at Dæmpningen er afhængig af Frekvensen. Dette kan ogsaa let konstateres ved at lytte til Radiomusik fra et tilstødende Værelse. Den lyder mørkere og mere hul end i Virkeligheden, idet Væggen dæmper de høje Toner langt mere end de dybe.

For en $\frac{1}{2}$ Stens Mur pudset paa begge Sider findes f. Eks. den i Figur 11 viste Isolutionskurve.

Man definerer da Skillevæggenes Isolationstal



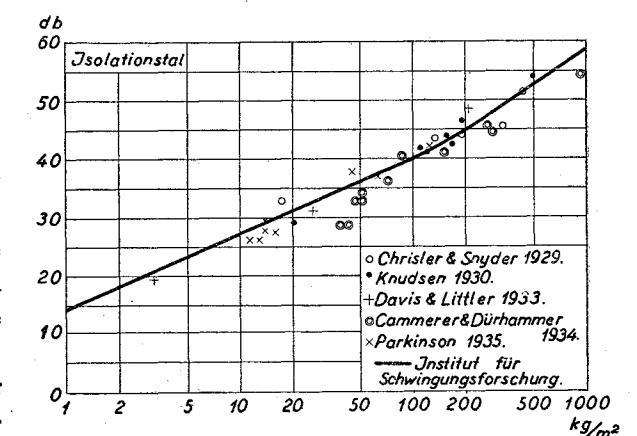
Figur 11. Eksempel paa Isolutionskurve for Skillevæg. Isolationstallet bestemmes som Middeltallet fra 100 til 3000 Hertz, naar Frekvensen afsættes i logaritmisk Maalestok, hvilket svarer til, at de skraverede Arealer er lige store.

(for Luftlyd) som Middeltallet af Isolutionskurven fra 100 til 3000 Hz, naar Frekvensen afsættes i logaritmisk Maalestok. Middeltallet bestemmes altsaa saadan, at de i Figur 11 antydede skraverede Arealer er lige store.

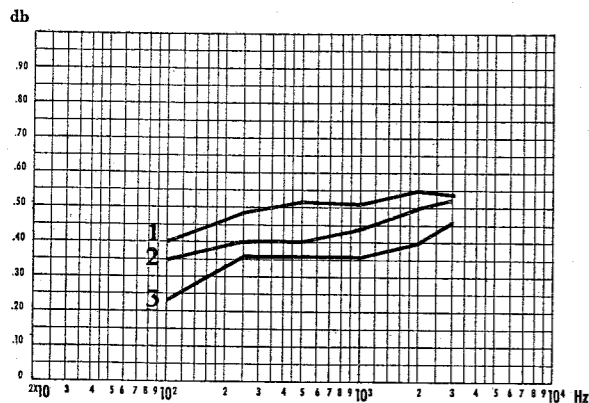
To Skillevægge med samme Isolationstal kan altsaa godt have forskellige Isolutionskurver, men da Forløbet i de fleste Tilfælde vil være en stigende Kurve omtrent som vist i Figur 11, giver Isolationstallet dog et meget godt Begreb om Væggenes isolerende Evne. Dertil kommer, at Øret ved smaa Lydstyrker opfatter dybe Toner daarligere end høje, saaledes at den viste, stigende Isolutionskurve i nogen Grad maa siges at være gunstig.

Ved simple Enkeltvægge vil Vægten pr. m^2 være næsten udelukkende bestemmende for Lydisolationens Størrelse, forudsat at Væggen er fri for Utætheder eller eventuelt er pudset; man har ved Maalinger fundet følgende i Figur 12 viste Afhængighed af Vægten. Se ogsaa Figur 13.

Man kan med mindre Vægt opnaa en væsentlig bedre Isolation ved at gaa over til dobbelte



Figur 12. Isolationstal for tætte Enkeltvægge som Funktion af Vægten pr. Kvadratmeter.

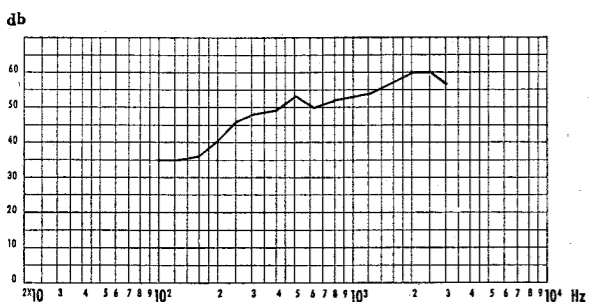
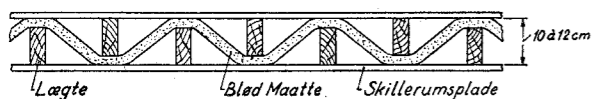


Figur 13. Isolationskurve for 1) $\frac{1}{2}$ Stensmur, 2) $\frac{1}{2}$ Stensmur og 3) Bræddevæg ($\frac{3}{4}$ " hævlede og pløjede Brædder, Pap, $\frac{3}{4}$ " ru Brædder og Puds).

Skillevægge. Man kan ved ret lette Dobbeltvægge opnaa udmærkede Resultater, men Konstruktionerne kræver altid en omhyggelig Udførelse, idet faste Forbindelser mellem de to enkelte Vægge uden for Fundamenterne vil nedsætte Lydisolationen væsentligt.

Paa Figur 14 er vist en typisk Konstruktion af en Dobbeltvæg og den opnaede Isolationskurve. Hulrummet inden i Skillevæggen skal helst dæmpes med et passende porøst Materiale, saa man undgaar Tværsvingninger i Luften i Hulrummet med deraf følgende Forringelse af Isolationen.

Der bestaar ingen simpel Sammenhæng mellem Isolationsevnen af Væggens enkelte Bestanddele og Isolationen af den færdige Væg saaledes som f. Eks. ved Varmeisoleringsberegninger. Man maa derfor basere Dimensioneringen paa Forsøg, og der er efterhaanden foretaget adskillige saadanne Isolationsmaalinger baade i Udlandet og herhjemme.



Figur 14. Typisk Konstruktion af en Dobbeltvæg og Isolationskurve for denne.

Ved en gennemført og økonomisk Lydisolering maa man tage Hensyn til alle de Veje, hvorigennem Lyden kan forplante sig, og afveje Isolationen (og Omkostningen) af de enkelte Dele i Konstruktionen, saaledes at den resulterende Isolation bliver saa god som mulig. F. Eks. kan det ikke nytte at konstruere en god Dobbeltvæg, hvis det meste af Lyden gaar igennem en Dør i denne. Ligeledes vil det virke forringende paa en god Væg, hvis den ikke er gennemgaaende, saa den f. Eks. foroven afsluttes ved et tyndt Lag Forskallingsbrædder i Stedet for at være ført op til Indskuddet.

En almindelig Dørs Lydisolation er ca. 20 db, og en almindelig let Vægs Lydisolation er f. Eks. 40 db. Heraf kan man udlede, at Lydgennemgangen gennem Døren vil overveje Lydgennemgangen gennem Væggen, saa længe Dørens Areal er større end en Hundrededel af Væggens, og der vil i saa Tilfælde næsten intet kunne opnaas ved at gøre Væggen bedre. Erstattes Døren med en Dobbeldør med Lydisolationen ca. 34 db, vil Væggens Isolation derimod blive af Betydning, blot Væggens Areal er større end 4 Gange Dørens.

Endnu mere Betydning har Vinduernes Isolationsevne over for Støj udefra. Her kan man normalt se helt bort fra Lydforplantningen gennem selve Ydermuren, da dennes Isolation er langt større end selv gode Dobbeltvinduers.

Tætheden af Døre og Vinduer spiller en Rolle for Lydtransmissionen. Man kan danne sig et Begreb om Betydningen af f. Eks. den aabne Dørspalte ved at regne, at den svarer til et vist Areal med Isolationen 0. Har selve Døren Isolationen 20 db, kan man tolerere et Spalteareal paa højst 1% af Dørens Areal. Er Døren derimod meget svær, med en Isolation paa 30 db, bør Spaltearealet holdes under 1% af Dørens Areal.

B. Bankelydisolation.

For en almindelig Skillevæg ligger Isolationstallet for Luftlyd mellem 40 og 50 db, svarende til at mellem en Titusindedel og en Hundredtusindedel af den indfaldende Lyds Energi passerer den. Naar selv denne Isolation ikke altid er tilstrækkelig, er Grunden det menneskelige Øres kolossale Følsomhed.

Den ringe Transmission gennem en saadan Væg kan forklares ved, at Lyden ved Overgangen fra Luft til Væg og derefter fra Væg til Luft svækkes kraftigt ved den Refleksion, der finder Sted mellem alle Stoffer af forskellig Tæthed.

Farligere for Lydisolationen vil det selvfølgelig være, hvis Væggen (Gulvet) paavirkes direkte af Støjtiveren, f. Eks. hvis en Maskine fastgøres til Væg eller Gulv, eller hvis man gaar paa Gulvet. Den lydisolierende Evne af et Gulv over for Trin kan som bekendt forbedres væsentlig ved Hjælp af Tæpper, medens Isolationsevnen for Luftlyd er omtrent uafhængig heraf. Foruden det tidligere nævnte Isolationstal for Luftlyd har man derfor fundet det nødvendigt at indføre endnu et Begreb, specielt for Etageadskillelsers Evne til at isolere for Bankelyd, nemlig Bankelydstallet.

Dette Bankelydstal bestemmes af den Støj, som et standardiseret Bankeapparat anbragt oven paa en Etageadskillelse frembringer i Rummet nedenunder.

Bankeapparatet bestaar af 5 Hamre, hver paa 500 g, der falder fra en Højde af 4 cm, saaledes at der ialt afgives 10 Slag pr. Sekund.

Støjen i Rummet nedenunder kunde man tænke sig bestemt ved Lydtrykket, men da Støjen indeholder meget dybe Toner, for hvilke Øret er meget lidt følsomt, vil det være rimeligt at tage Hensyn hertil og benytte en Støjmaaler, hvis Følsomhed over for Toner af forskellig Højde nogenlunde svarer til Ørets, saaledes at den viser den subjektive Lydstyrke, Hørestyrken, i Phon¹⁾.

Bankelydstallet (Trinstøjtallet) angives som den Hørestyrke i Phon, der fremkaldes ved Bankning med det standardiserede Bankeapparat, idet denne omregnes til den Værdi, man vilde faa, hvis Absorptionsarealet i Rummet var 1 m² Sabin²⁾.

Det bemærkes, at Bankelydstallet bliver større, jo daarligere Gulvet er, i Modsætning til Isolationstallet for Luftlyd, der bliver mindre ved daarlig Isolation. Da der i Definitionen af Bankeapparatet indgaar et vilkaarlig valgt Bankeapparat, er dette Tal ikke en fysisk Konstant

¹⁾ Sml. Fodnoten Side 530.

²⁾ Varierer Rummets Dæmpning med Tonehøjden, benyttes ved Omregningen Middeltallet af Absorptionsarealet for Omraadet 600—1200 Hertz.

af samme Art som Isolationstallet for Luftlyd, og det kan kun bruges til Sammenligning.

De almindelige Etageadskillelser af Træ med Lerindskud vil med Maalinger efter de moderne Normer give Bankelydstal paa omkring 90 Phon.

Massive Etageadskillelser af Jernbeton isolerer daarligere (Bankelydstal omkring 90—100 Phon). Det hjælper at anbringe bløde Gulvbelægninger eller Tæpper paa Gulvet, væsentligst fordi de nedsætter den Lyden energi, der frembringes ved Bankning eller Trin.

Den bedste Trinstøjsisolation opnaas ved i Etageadskillelsen at indlægge en blød Maatte eller lignende, saaledes at der ingen faste Forbindelser findes mellem Gulvbrædder og Loftbrædder (svømmende Gulv), men et virkelig godt Resultat kræver en konsekvent Gennemførelse af Adskillelsen, hvad der ikke er nemt at realisere. F. Eks. vil blot nogle Søm, der slaas gennem Gulvbrædderne og Maatten ned i Bjælkerne nedenunder, danne tilstrækkelig gode „Lydbroer“ til i væsentlig Grad at nedsætte Etageadskillelsens Isolationsevne.

Ligesom ved Luftlydisolering spiller det stor Rolle, at man ikke skaber Genveje, Kortslutninger, for Lyden, som kan ødelægge Virkningen af en isøvrigt god Isolation. At Spalter og Aabninger bør undgaas, siger sig selv. Er det samlede Areal af disse lille, spiller det dog ingen Rolle, med mindre Væggen isøvrigt isolerer særlig godt.

C. Beregningseksempel.

En sammensat Skillevægs Luftlydisolation.

Luftlydisolationen D i Decibel blev ovenfor defineret som 10 Gange Logaritmen til Forholdet mellem den Lyden energi N_1 , der pr. Sekund rammer Skillevæggen, og den Lyden energi N_2 , der passerer igennem til Naborummet, d. v. s.

$$D = 10 \log \frac{N_1}{N_2} = 10 \log \frac{1}{q}$$

hvor q gerne kaldes Væggens Transmissionstal, idet q er Forholdet mellem den transmitterede og den indfaldende Lyden energi.

Har man en Væg med Arealet F , der er sammensat af to Delarealer F_a og F_b med to forskellige Transmissionstal q_a og q_b , vil Væggens totale Transmissionstal q være bestemt af

$$q = \frac{q_a F_a + q_b F_b}{F_a + F_b}$$

Som Eksempel skal der betragtes Isolationerne af en Væg med Arealet $F = 6,6 \times 3 \text{ m}^2$, forsynet med en Dør af Areal $F_b = 0,8 \times 2,25 \text{ m}^2$.

Antages Væggens Dæmpning at være $D_a = 40$ db, (f. Eks. godt dobb. Bræddeskillerum med Puds), svarende til et Transmissionstal paa $q_a = 10^{-4}$, og antages Dørens Dæmpning at være $D_b = 20$ db, svarende til et Transmissionstal paa $q_b = 10^{-2}$, bestemmes det resulterende Transmissionstal af Formlen

$$q = \frac{q_a F_a + q_b F_b}{F_a + F_b} = \frac{10^{-4} \cdot 18 + 10^{-2} \cdot 1,8}{18 + 1,8} = 10^{-3},$$

hvortil svarer Dæmpningen

$$D = 30 \text{ db.}$$

De antagne Værdier 40 db og 20 db for Dæmpningen, henholdsvis Væg og Dør, svarer nogenlunde til de i Praxis fundne Resultater, og man ser, at Lydtransmissionen gennem Døren er langt den overvejende.

Der opnaas følgende intet her ved en bedre Vægkonstruktion; antages f. Eks. $D_a = 60$ db, hvilket er en meget høj Isolation, (mere end $2\frac{1}{2}$ Sten fuld Mur), faas:

$$q = \frac{10^{-6} \cdot 18 + 10^{-2} \cdot 1,8}{18 + 1,8} = 0,91 \cdot 10^{-3}$$

eller

$$D = 10 \log \frac{10^3}{0,91} = 30,4 \text{ db,}$$

altsaa en saa ringe. Forøgelse af Isolationen, at den næppe nok kan maales.

Skal der opnaas noget, maa Dørens Isolation forøges til $D_b = 30$ db, idet Døren og Væggen da vil have den samme Energitransmission:

$$q = \frac{10^{-4} \cdot 18 + 10^{-3} \cdot 1,8}{18 + 1,8} = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$D = 37 \text{ Decibel.}$$

Det ses af Eksemplet, at Forskellen i Decibel mellem Væggens og Dørens Isolation ikke maa være større end 10 Gange Logaritmen til Forholdet mellem Væggens og Dørens Areal.

Litteratur.

Af den store akustiske Litteratur kan der f. Eks. henvises til følgende Værker af særlig Interesse for Bygningsakustikken:

V. O. Knudsen: „Architectural Acoustics“, 1932. Et grundlæggende Værk om den samlede Bygningsakustik med særlig Vægt paa Lydregulering.

A. Schoch: „Die physikalischen und technischen Grundlagen der Schalldämmung im Bauwesen“, 1937. Har en

udmærket Fremstilling af Lydisolationens Problemer.

Josef Engl: „Raum und Bauakustik“, 1939. Oversigtsværk, som refererer mange nye Resultater fra Tidsskriftlitteraturen.

Fritz Ingerslev: „Lærebog i Akustik“, November 1944. Udgivet af Polyteknikerraadet. Skrevet som Lærebog for Bygningsingeniørstuderende ved Danmarks tekniske Højskole med Speciale i Husbygning. Indeholder Litteraturhenvisninger.

Omsætningstabel for forskellige Brændselsarter.

(Tekst til Tabellen næste Side).

Tabellen er udarbejdet af Teknologisk Institut som et Hjælpe middel, der kan benyttes til at omregne fra en Brændselsart til en anden, f. Eks. ved Indkøb af Brændsel. Udregningen er sket paa Grundlag af de anførte effektive Brændværdier og under Forudsætning af vel passede og vedligeholdte Fyrsteder. For en Ordens Skyld gør man opmærksom paa, at de i Handelsministeriets Cirkulære af 31. Maj 1940 angivne Brændselsrationer er fastlagt paa Grundlag af denne Tabel, idet Rationeringstallene dog er afrundede, og Rationerne af Tørv er tilmaalt relativt rigeligt.

Brugsanvisning:

Tabellen læses vandret.

Eksempler:

- 1) Et aarligt Brændselsforbrug paa 40 tons Kul skal omregnes til Tørv. Af Tabellens Linie 4 ses Omsætningstallene for 1 ton Kul; har de paagældende Tørv et Indhold af Vand og Aske paa 41 % (Kolonne 8: 37,5-42,5 %), faas Resultatet af $40 \times 2,50 = 100$ tons Tørv.
- 2) Man har Tilbud paa et Parti Brænde paa 35 Rummeter Bøgeknippel; hvor mange Hektoliter Koks (Cinders) kan Partiet erstatte? Af Tabellens Linie 17

ses, at 1 rm af det nævnte Brænde svarer til 3,7 hl Koks (Cinders) (Kolonne 1). Partiet kan altsaa erstatte $35 \times 3,7 = 130$ hl Koks (Cinders).

Forkortelser:

t=ton=1000 kg hl=Hektoliter rm=Rummeter.

Pladsforhold:

Til Udregning af Rumfangs- og Pladsbehov kan man benytte sig af følgende Tal:

Tørv fylder fra ca. 2 til 4,5 m³ pr. ton.

Brunkul og Briketter fylder ca. 1,5 m³ pr. ton.

Brænde. Rumfanget fremgaar direkte af Tabellen, idet 1 Rummeter fylder 1 m³.

Taget efter Brændværdi kan man regne med, at

et Kvantum Tørv fylder ca.	2-4 Gange	saa meget som tilsv.	Kvantum Koks
- - - - -	- - - - -	- - - - -	Kul
- - - - -	4-6 Gange	- - - - -	Kul
- - - - -	Brunkul - - -	1,5-2 Gange	- - - - -
- - - - -	- - - - -	3-4 Gange	- - - - -
- - - - -	- - - - -	- - - - -	Kul
- - - - -	Briketter - - -	- - - - -	det samme
- - - - -	- - - - -	1,5 Gange	saa meget
- - - - -	Brænde - - -	2-3 Gange	- - - - -
- - - - -	- - - - -	3-4 Gange	- - - - -
- - - - -	- - - - -	- - - - -	Kul