



# Forblad

**Lydisolation og rumakustik**

**Ole Remfeldt**

**Tidsskrifter**

**Arkitekten 1948, Ugehæfte**

**1948**

# Lydisolation og rumakustik

Af civilingeniør Ole Remfeldt

534.84; 699.844

Med Docent, Dr. techn. Per V. Brüels Bog „Lydisolation og Rumakustik“ (Chalmers Tekniska Högskolas Handlingar Nr. 55, 262 Sider) har vi faaet en længe savnet Lærebog i Akustik. Som Haandbog er Bogen ogsaa meget værdifuld, da den indeholder en hel Del praktiske Tabeller til Brug ved akustiske Beregninger. Forfatterens store Erfaring i akustiske Spørgsmaal stammer for den teoretiske Dels Vedkommende fra hans Arbejde med Doktorafhandling og Opbygningen af Akustiklaboratoriet ved Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg samt ved Arbejdet som Docent samme Sted. Hans Arbejde som projekterende Ingeniør ved Radiohusets Opførelse i København og øvrige raadgivende Virksomhed indenfor det akustiske Omraade har nedfældet rige praktiske Erfaringer, som man høster stor Glæde af i den foreliggende Bog. Bogen indeholder de fleste af de lydtekniske Problemer, som Arkitekter kommer ud for i Praksis. En Gennemgang af Bogens Afsnit er derfor sikkert af Interesse for *Arkitektens* Læsere.

I første Afsnit opstilles alle *Grundbegreberne* indenfor Akustiken: Lyd, Frekvens, Lydhastighed, Bølgelængde, Lydtryk, Lydspektrum, Overtoner, Intensitet, Lydisolation, Absorption og Efterklangstid m. m. Forfatteren indfører her det nye Begreb effektiv Isolation. De i Sverige vedtagne Normer for Lydisolation i Nybygninger anvender dette Begreb (se *Arkitekten* Nr. 25, 1946, S. 138).

*Fysiologisk Akustik* behandles i andet Afsnit. Der gives en kort Beskrivelse af Ørets Opbygning, og paa Fig. 1, som er hentet fra dette Afsnit, vises hvorledes Dækmembranen og Nervetraadene i Øret svinder ind efter en Tids kraftig Støjpaavirkning. Denne Viden har stor praktisk Betydning, idet mange Arbejdere, f. Eks. i Sværindustrier, Savværker m. m., efterhaanden faar nedsat deres Hørelse paa Grund af den stærke Støj, som de daglig er udsat for. Der bør derfor gøres alt for at bringe Lydintensiteten ned i saadanne Industrielokaler ved at opsætte absorberende Materiale paa Loft og Vægge.

Hvilket Lydniveau, der bør tilstræbes i et Lokale, er naturligvis afhængigt af dettes Brug. I Tabel I vises de højst tilladelige og de passende Værdier for en Del forskellige Rum.

**Tabel 1. Højeste tilladelige Lydstyrke for forskelligt Arbejde**

| Lokale                               | Phonstyrke      |                    |
|--------------------------------------|-----------------|--------------------|
|                                      | Højst tolereres | Passende Middeltal |
| Radiostudier .....                   | 15              | 10                 |
| Sygehuse .....                       | 18              | 12                 |
| Soveværelser .....                   | 20              | 16                 |
| Arbejdsrum for krævende Tankearbejde | 35              | 28                 |
| Biblioteker .....                    | 38              | 32                 |
| Skolestuer .....                     | 38              | 32                 |
| Enkeltmandskontorer .....            | 40              | 35                 |

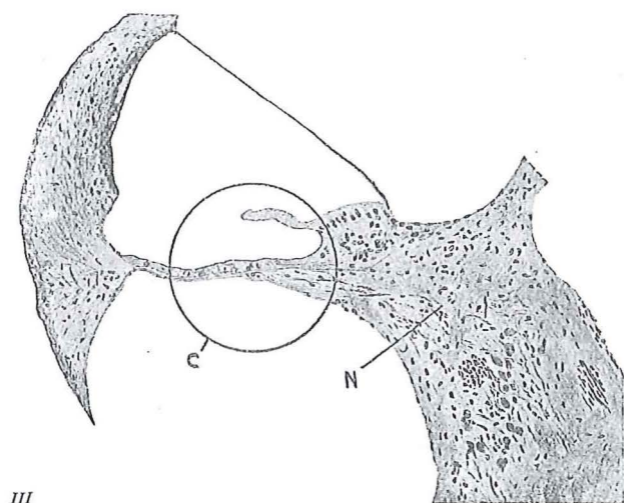
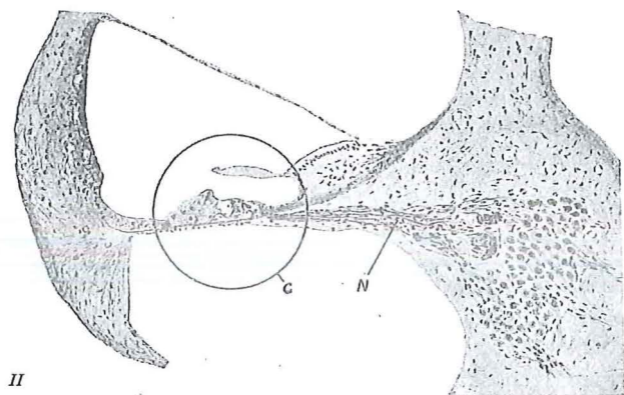
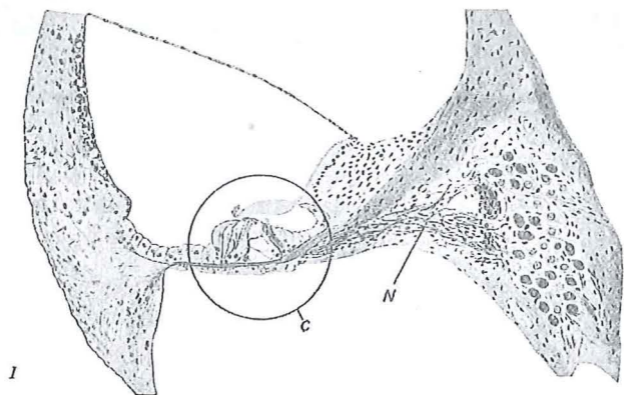


Fig. 1. Ørenerve *N* og Dækmembran *C* af et Øre, som har været udsat for Støjbeskadigelse. I normalt Øre, II et Øre udsat for Støj i 3 Uger, III Støjpaavirkning i 3 Maaneder.

| Lokale                             | Phonstyrke       |                    |
|------------------------------------|------------------|--------------------|
|                                    | Højest tolereres | Passende Middeltal |
| Større Kontorer .....              | 55               | 40                 |
| Finere Restauranter .....          | 60               | 42                 |
| Værksted for finere Arbejde .....  | 60               | 38                 |
| Ekspeditionslokaler .....          | 63               | 45                 |
| Almindelige Restauranter .....     | 65               | 55                 |
| Værksted for grovere Arbejde ..... | 90               | 60                 |
| Flyvemaskinekabine .....           | 95               | 80                 |

# Til Sammenligning tjener Tabellen over forskellige Støjkilders Styrke.

**Tabel II. Forskellige almindelige Støjniveauers Styrke i Phon**

|   |      |   |
|---|------|---|
|   | Phon |   |
|   | 130  | Grænse for Smertefornemmelser.                                      |
|   | 120  | Flyvemaskinemotor i 3 m's Afstand.                                  |
|   | 110  | Flyvemaskinemotor i 10 m's Afstand.                                 |
|   | 100  | Fartøjsnitning. Flyvemaskine.<br>Høje Skrig i Rum med haarde Vægge. |
| Gadestøj                                  | {    | 90 Stort Orkester. Nitning.   |
|   |      | 80 Meget kraftig Radiomusik.  |
|   |      | 70 Gadestøj. Højrøstet Tale i Værelse.                              |
| Lydniveau i Kontorlokaler                 | {    | 60 Alm. Radiomusik og Tale i Værelse.<br>Alm. Støj.                 |
|   |      | 50 Lavmælt Samtale i Værelse.<br>Meget rolige Salonvogne.           |
|   |      | 40 Svag Radiomusik. Stille Restauranter.                            |
| Lydniveau i almindelige Opholdsstuer etc. | {    | 30 Hvisken i Værelse. Stille Villaveje.                             |
|   |      | 20 Sagte Hvisken. Stille Værelse.                                   |
|   |      | 10 Ganske svag Vind i Skov.   |
|   | 0    | Hørbarhedsgrense.   |

Afsnit 3, der indeholder rent teoretiske Undersøgelser over *Lydfelter*, vil nok falde lidt tungt for de fleste Arkitekter og Bygningsingeniører paa Grund af disses ringe Kendskab til de elektriske Analogier og den komplekse Regning. De Ideer, der fremføres her, er først udformet af den amerikanske Professor P. M. Morse, medens Indførelsen af Realimpedansbegrebet, som væsentligt forenkler Regningerne, er indført af Dr. Brüel. Lydfelternes Teori har stor Betydning for Rumakustiken, men ønsker man at springe dette Afsnit over, kan man alligevel opnaa godt Udbytte af at læse Bogens øvrige mere praktiske Afsnit.

I Afsnit 4 behandles de forskellige *absorberende Materialer* udførligt. De deles i tre Hovedgrupper: 1) Porøse Materialer, 2) Membranabsorbenter og 3) Resonansabsorbenter.

1) De porøse Materialer, som vævede Stoffer, Vat, Glasuld, Stenuld m. fl., absorberer især de høje Frekvenser. Ved en Forøgelse af det porøse Materiales Tykkelse opnaar man større Absorption for de lave

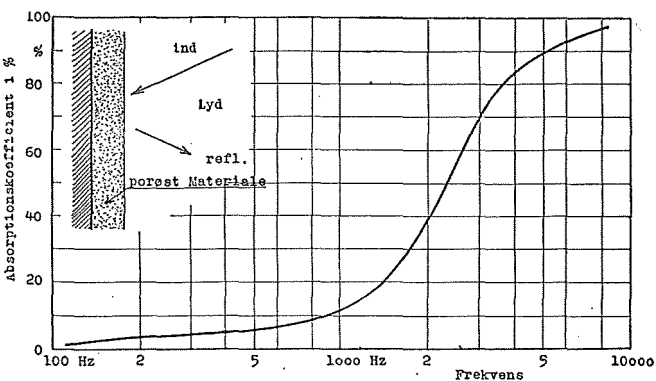


Fig. 2. Karakteristisk Absorptionskurve for porøse Materialer.

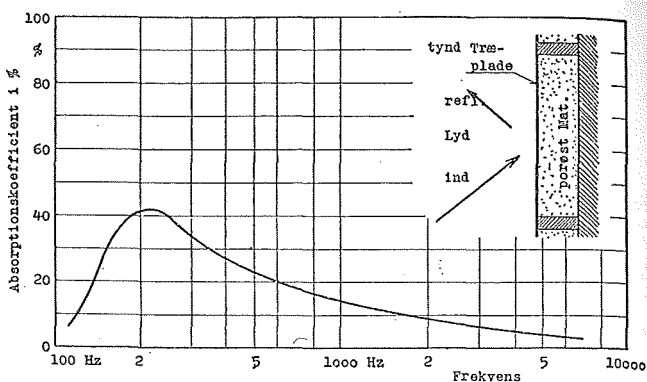


Fig. 3. Membranabsorbents karakteristiske Absorptionskurve.

Frekvenser, hvorimod Tykkelsen ingen nævneværdig Indflydelse har paa de højere Frekvenser. Fig. 2 viser en karakteristisk Absorptionskurve.

2) Membranabsorbenterne bestaar af lufttæt Stof som Voksdug, Papir, Træfiberplade, Krydsfiner e. l., udspændt nogle faa Centimeter fra en fast Væg. Mellemrummet mellem Stoffet og Væggen er ofte udfyldt med et porøst Materiale. En karakteristisk Absorptionskurve er vist paa Fig. 3. Maximal Absorption findes ved Absorbentens Resonansfrekvens.

3) Resonansabsorbenterne er den mest anvendte Type af Absorbenter, idet det for disses Vedkommende er muligt ved Opbygningen at fastlægge Absorptionskurven efter Ønske. Der findes mange forskellige Typer af Resonansabsorbenter, men i store Træk er de alle opbygget af en gennemhullet eller slidset Plade i nogle faa cm's Afstand fra en fast Væg. Paa Bagsiden af Pladen kan der for at opnaa Dæmpning være klistret porøst Papir eller Stof. Større Dæmpning opnaas desuden ofte ved at fylde Mellemrummet mellem Plade og Væg med et porøst Materiale. En karakteristisk Absorptionskurve er vist paa Fig. 4.

Allerede i Oldtiden har man i græske og romerske Friluftsteatre anvendt Resonatorer for at opnaa en kunstig Efterklangstid, idet Resonansabsorbenter delvis genudstraaler den absorberede Lydenergi. I gamle danske og svenske Kirker har man fundet de saakaldte Lydpotter, der har bidraget til at formindske Efterklangstiden ved de lave Frekvenser. Paa Fig. 5 er vist nogle af disse Lydpotter.

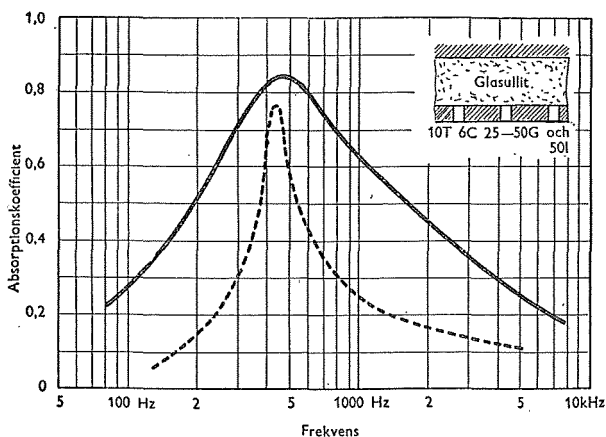
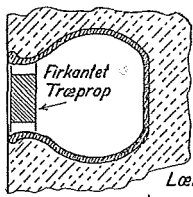


Fig. 4. Karakteristiske Kurver for Resonansabsorbenter med forskellig Dæmpning.



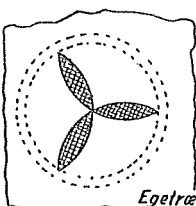
Set forfra



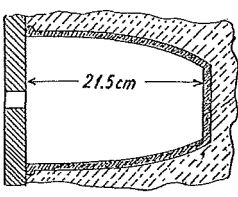
Længdesnit

14,5cm

St. Nicolai Kirke i Svendborg.  $f_{res} = ca. 225 \text{ Hz.}$ ;  $T_{max} = 0,3 \text{ Sek.}$  I Halsaabningen sidder en Træprop for at formindske Aabningsarealet.

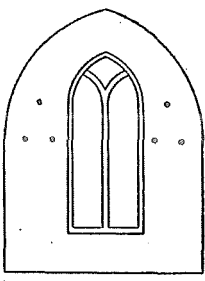


Egetræsplade

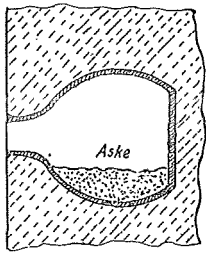


21,5cm

Bjerresjö Kirke i Skaane.  $f_{res} = ca. 220 \text{ Hz.}$ ;  $T_{max} = 0,4 \text{ Sek.}$  Lydpotten er dækket med en Egetræsplade, hvor Hularealet er en heri udskåret Figur.



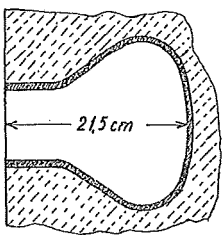
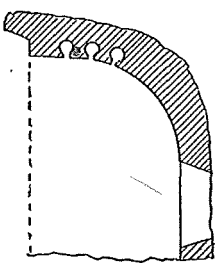
ca. 5m



Aske

19,5cm

Vor Frue Kirke i Svendborg.  $f_{res} = ca. 155 \text{ Hz.}$ ;  $T_{max} = 0,9 \text{ Sek.}$  I flere af Potterne findes Aske, der vil dæmpe Lyden. Potterne er anbragt i Koret i Grupper paa tre omkring Vinduerne.



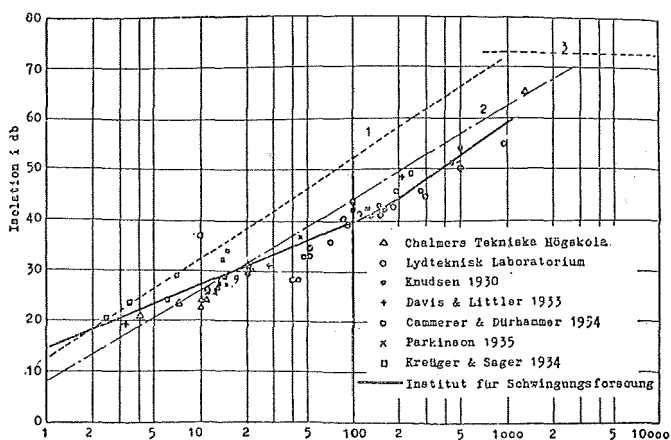
21,5cm

Nylars Kirke paa Bornholm.  $f_{res} = ca. 240 \text{ Hz.}$ ;  $T_{max} = 0,15 \text{ Sek.}$  Lydpotterne findes indmuret i Hvælvingen over Koret.

Fig. 5. Lydpotter fra gamle danske og svenske Kirker. (Pedersen).

**Lydisolering og Støjdæmpning**, der behandles i 5te Af-snit, omfatter de almindeligt forekommende bygningstekniske Problemer med Isolering overfor Luftlyd og Stødlyd. Massive Konstruktioner skal, for at faa den bedste Isolation overfor Luftlyd, gøres saa tunge som muligt, idet Isolationen afhænger af Bygningselementets Arealvægt og er saa godt som uafhængig af det anvendte Materiale. Isolationens Afhængighed af Arealvægten er vist paa Fig. 6, hvor der foruden Maalresultater er angivet Kurver for forskellige teoretiske Beregningsformler.

Vil man for samme Arealvægt opnaa større Lydisolation, maa man i Stedet for at have en massiv



Skillevæggenes Vægt i  $\text{kg/m}^2$   
 Forholdet mellem Isolationsevne og Arealvægt ved Skillerum.

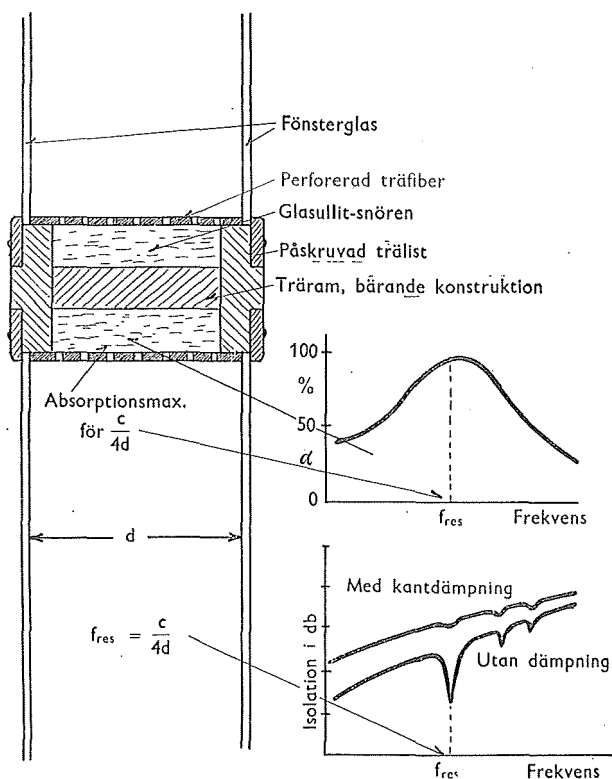
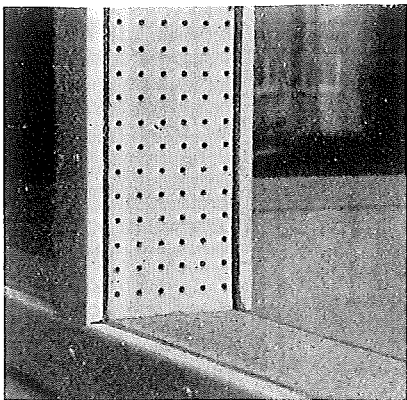


Fig. 7. Tværsnit af en Dobbeltvæg forsynet med absorberende Karmindlægninger.

Konstruktion gaa over til en Dobbeltkonstruktion. Af stor Vigtighed er det her, at de enkelte Dele af Dobbeltkonstruktionen er fuldstændigt adskilte, idet faste Forbindelser vil skabe saakaldte Lydbroer, hvorved Dobbeltkonstruktionens Virkning nedsættes. Isolationen af en Dobbeltkonstruktion vokser med forøget Mellemrum. Da Nettoarealet af Bygningen samtidigt med voksende Mellemrum nedsættes, sættes der af økonomiske Hensyn en praktisk Grænse for Mellemrummets Størrelse. Man bygger derfor sjældent med mere end 6-10 cm Mellemrum, men kan til Gengæld opnaa større Isolation ved at anbringe absorberende Maatter i Mellemrummet.

Fig. 8. Detaille af Dæmpningen i Karmen

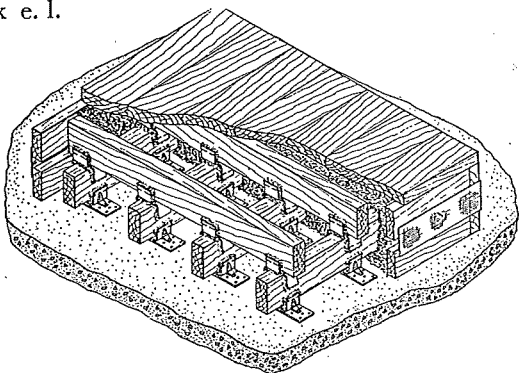


Paa Fig. 7 og 8 vises Konstruktion af en Glasskillevej, der giver en udmærket Isolation. Konstruktionen bestaar af to enkelte Lag Glas. Langs Mellemrummets Kanter er anbragt Resonansabsorbenter, der har maximal Absorption paa Hovedresonansfrekvensen for Luftmellemrummets Egensvingninger.

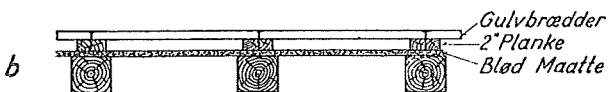
Stødd lyd forplanter sig som Svingninger i Bygnings-elementerne. Dæmpningen for Længdesvingninger i Bygninger er i Bogen angivet til

|  |    |            |
|--|----|------------|
| 1) Murstenshus .....                       | 19 | phon/Etage |
| 2) Betonhus .....                          | 8  | —          |
| 3) Staalskelethus .....                    | 8  | —          |
| 4) Staalskelethus med Dæmpningsplade ..... | 18 | —          |

1) og 4) giver saaledes den største Dæmpning. Dæmpningspladerne til Staalskeletbygninger udføres af Kork e. l.



Trægulv lagt paa lydisolerende Holdere.



Fejlagtig (a) og rigtig (b) Sømming af Trægulv lagt paa porost Materiale.

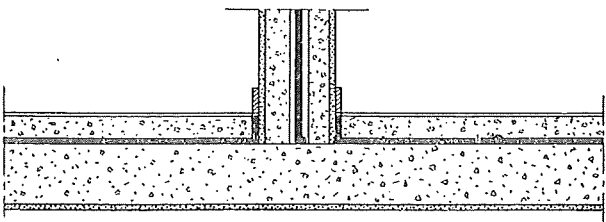


Fig. 9. „Svømmende“ Gulv paa Etageadskillelse af Beton.



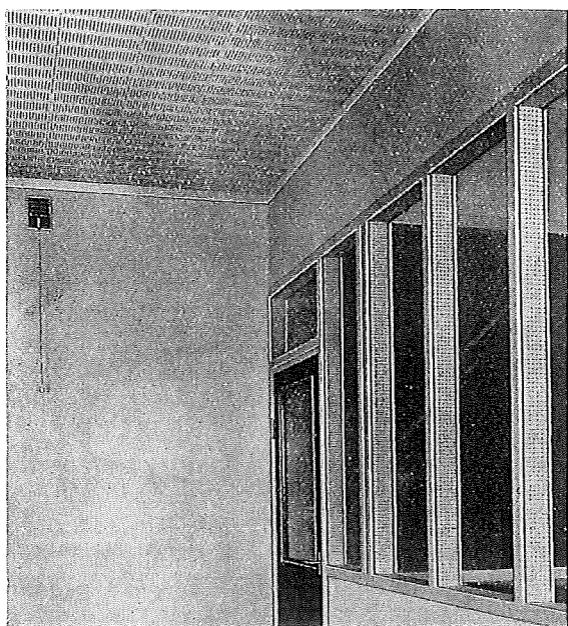


Fig. 10. Chefsrum med lydabsorberende Loft og kraftig Glasskillevæg mod Sekretærrummet. (Thulehuset i Stockholm.)

Den mest almindelige Stødlyd i Beboelseshuse er Trinstøjen. En god Isolation mod denne faas ved svømmende Gulve eller ved Trægulv paa Strøer baaret af særlige lyddæmpende Holdere. Paa Fig. 9 er vist Eksempler paa saadanne Gulvkonstruktioner. Støjdæmpning i Lokaler sker efter nøjagtig Støj-analyse med Opsætning af absorberende Materialer paa Loft og Vægge. Den største Reduktion af Støj-niveauet, man paa denne Maade kan opnaa, er ca. 10 db. Den nedsatte Efterklangstid, der følger med en forøget Absorption, vil samtidigt gøre Opholdet i Lokalet meget behageligere. I nogle Tilfælde er det desuden muligt ved Ændring af selve Støjkilden at nedsætte Støjniveauet. Paa Figurerne 10, 11 og 12 ses lyddæmpende Vægge og Loft.

Sjette Afsnit omhandler *Rumakustiken* og er vel nok det Afsnit af Bogen, som er interessantest for Arkitekter, idet Forfatteren her gør udførligt Rede for de forskellige akustiske Krav, der stilles til Rum med forskellig Anvendelse, og for hvorledes man kan opfylde disse Krav. Alle nyere Betragtninger er her medtaget, og Emnet er behandlet meget fordømsfrit. Forfatteren medbringer fra sin Doktorafhandling det nye Begreb: Rumvirkning. Før dette Begreb blev indført, betragtede man Rummets Efterklangstid som et omtrent fyldestgørende Kriterium for dets akustiske Godhed. Dette stemmer imidlertid ikke med Erfaringerne, der viser, at et større Rum skal have noget længere Efterklangstid end et mindre for at opnaa samme Godhed.

Rumvirkningen defineres som Forholdet mellem Efterklangslyd og Førstelyd. Ved Førstelyd forstaas den direkte Lyd plus Summen af den reflekterede Lyd, der naar Øret med en Tidsforkortelse paa mindre end  $\frac{1}{15}$  sek. Efterklangslyden er Summen af den

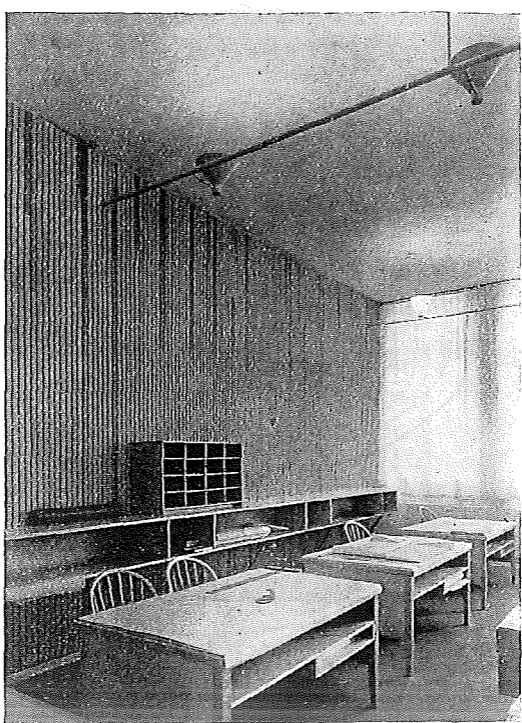


Fig. 11. Lyddæmpende Panel i Tegnestue paa Chalmers Tekniska Högskola.

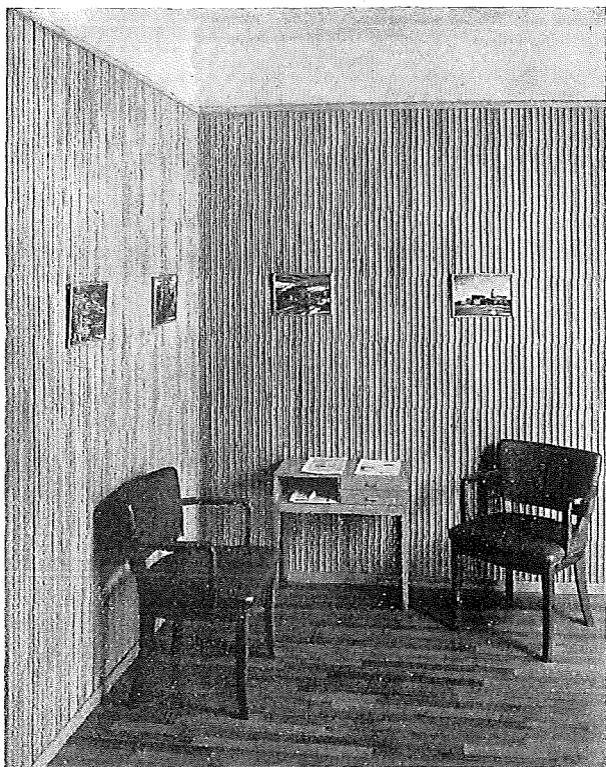


Fig. 12. Lyddæmpende Væg i et Konferencerum. (Junckers Savværk A/S Køge.)

reflekterede Lyd, der naar Øret med større Forsinkelse end  $\frac{1}{15}$  sek. Naar dette Forhold skal være konstant, afhænger Rummets akustiske Godhed foruden af Efterklangstiden ogsaa af Rummets Form og Størrelse, Absorptionsmaterialernes Anbringelse, Lydgiverens og Tilhørernes Placering. Dette stemmer godt med Erfaringerne. Kravet om noget længere Efterklangstid ved større Rum end ved mindre, naar

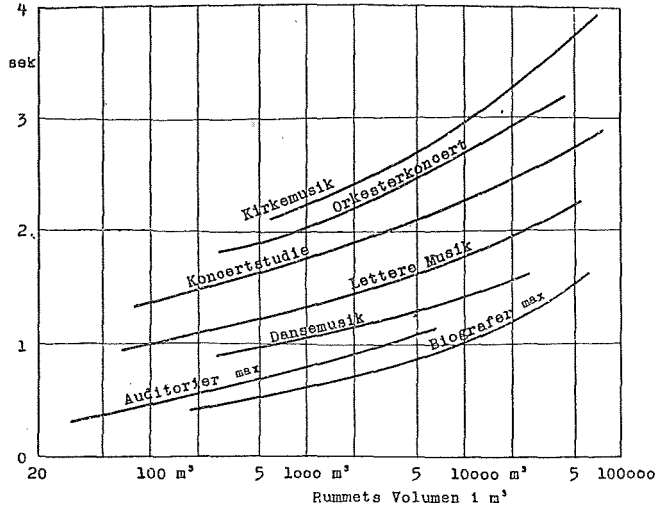


Fig. 13. Optimal Efterklangstid ved Middelfrekvenserne.

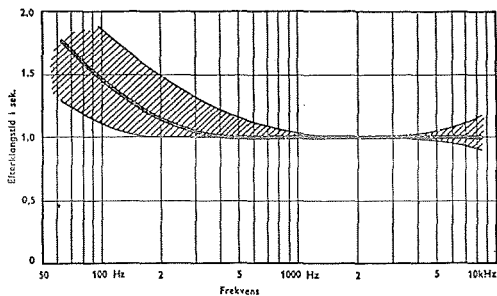


Fig. 14. Efterklangstiden som Funktion af Frekvensen. Det skraverede Areal giver Spillerummet for forskellige Forfatteres Opgivelser.

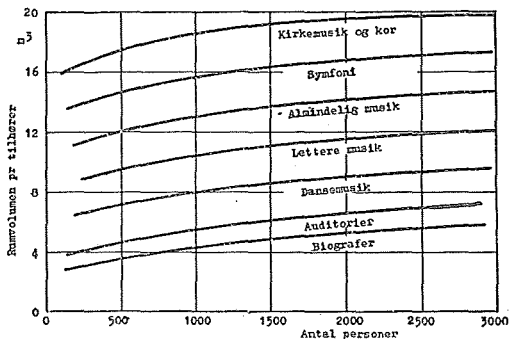


Fig. 15. Minimumvolumen per Tilhører i forskellige Rum. For Biografer kan Kurven ofte ligge endnu lavere.

alt andet er lige, opfyldes ogsaa ved at holde Forholdet mellem Efterklangstid og Førstelyd konstant. Størrelsen af dette Forhold er afhængigt af Rummets Anvendelse og falder efter følgende Skala: Kirke-musik – Lettere Musik – Dansemusik – Biograf og Foredrag (Fig. 13).

Disse Kurver gælder for Middelfrekvenserne. Desuden maa man ved Musikrum være opmærksom paa Efterklangstiden som Funktion af Frekvensen. Denne er efter forskellige Forfatteres Mening meget kritisk for Rummet og bør falde indenfor det paa Fig. 14 skraverede Omraade. Ved Arbejdet paa Radiohuset viste det sig dog gavnligt at sænke Efterklangstiden for Omraadet 300–500 Hz. Paa Fig. 15 er vist det mindste Volumen pr. Tilhører, som er nødvendigt for praktisk at opnaa en god Akustik.



Fig. 27. Fotograf af lille Auditorium paa Chalmers Tekniska Högskola.

*Auditorier og Skolerum* kan for mindre Rums Vedkommende udføres rektangulære. De hygiejniske Forhold kræver haarde Væg- og Loftflader, hvilket medfører daarlige akustiske Forhold med højt Støjniveau. Det viser sig, at Børns Høreevne efter længere Tids Ophold i saadanne meget haarde Klasseværelser bliver nedsat. Man bør derfor i det mindste indføre en kraftig absorberende Bagvæg, saa Efterklangstiden holder sig under 0,8 sek. En saadan absorberende Bagvæg i et Auditorium ses paa Fig. 27.

*Biografteatre.* I dette Afsnit gør Forfatteren grundigt Rede for de akustiske Forhold, der bør iagttages ved Bygning af Biografteatre. Saaledes opstilles Hovedreglen, at Højttalernes Placering, Absorptionsmaterialets Fordeling og Mængde, Rummets, Loftets og Væggens Form skal fastlægges saaledes, at den lavest mulige Efterklangstid opnaas i Forbindelse med jævn Lydfordeling. I de ældre Biografer blev der navnlig ikke taget Hensyn til, at Efterklangstiden skulde være meget lav, men man ved nu, at dette er nødvendigt, hvis man skal have en god Gengivelse af Filmens Lyd. Navnlig for Scener optaget paa Steder med kort Efterklangstid er det vigtigt at holde den korte Efterklangstid i Rummet.

Biograferne bør ikke bygges for langstrakte, idet der da opstaar Forskel i Tid mellem Billede og Lyd, men Forholdet bør være omkring 1,4:2. Det paapeges, at dette Forhold er ret kritisk, idet væsentlig større Længde giver daarlig Lydfordeling samtidig med den omtalte Tidsforskel mellem Billede og Lyd. Gøres Bredden væsentligt større, vil man faa daarlige Lydforhold i Siderne af Rummet paa Grund af Højttalernes Retningsvirkning.

Der gives meget indgaaende Beskrivelse af Volumen pr. Tilhører, Billedfeltets Størrelse og Højde fra Gulvet samt Stolens Placering i Forhold til hinanden. Det er desuden ligesom i Foredragssale og Koncert-

sale formaalstjenligt, at de bageste Rækker hæves noget i Forhold til de forreste, saaledes at alle har frit Udsyn til Lærredet. Paa Fig. 28 er der angivet forskellige Gulvkurver, som alle er gode.

Da der kræves saa lav Efterklangstid som mellem 0,3-0,6 sek, skal der være ret store absorberende Flader i Rummet. Man bør derfor have tykke Løbere paa Gangene og kraftigt absorberende Stole, samtidigt med at alle Balkonkanter og de Steder paa Loft og Sidevægge, som ikke udnyttes til Reflektion af direkte Lyd, forsynes med Absorptionsmateriale. Tidligere har det været almindelig Praksis ogsaa at gøre Bagvæggen absorberende, men Forfatteren gaar stærkt ind for, at alle Bagvægge i Biografer bør udnyttes som Reflektorer for at faa tilstrækkelig stort Lydniveau paa de bageste Pladser. Bagvæggene skal derfor udføres haarde og være skraatstillede. Forskellige i Praksis indhøstede Erfaringer i Forbindelse med nøjagtige Undersøgelser i Lysmodel har vist, at bedre Resultat opnaas med de haarde Bagvægge.

En Del Trykfejl skæmmer Bogen, og ogsaa det rent typografiske lader lidt tilbage at ønske. Til Gengæld indeholder den en Mængde overordentlig pæne Figurer, og der er ingen Tvivl om, at foreliggende Bog vil have stor Betydning for alle Arkitekter og raadgivende Ingeniører. Her er praktisk talt alle Rum, for hvilke der stilles særlige akustiske Krav, sagligt og praktisk behandlet i en saadan Form, at enhver selv uden Kendskab til den vanskeligere Teori for Lydbølger og Ly felter kan finde de vigtigste Oplysninger, der er nødvendige for Løsningen af en speciel Opgave.

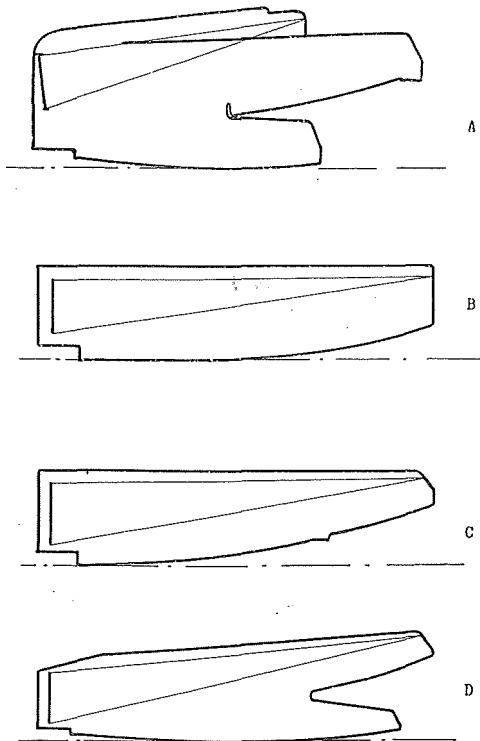


Fig. 28. Længdesnit af forskellige nyere Biografteatre.

Klicheerne er venligst udlaant af Bogens Udgiver.