

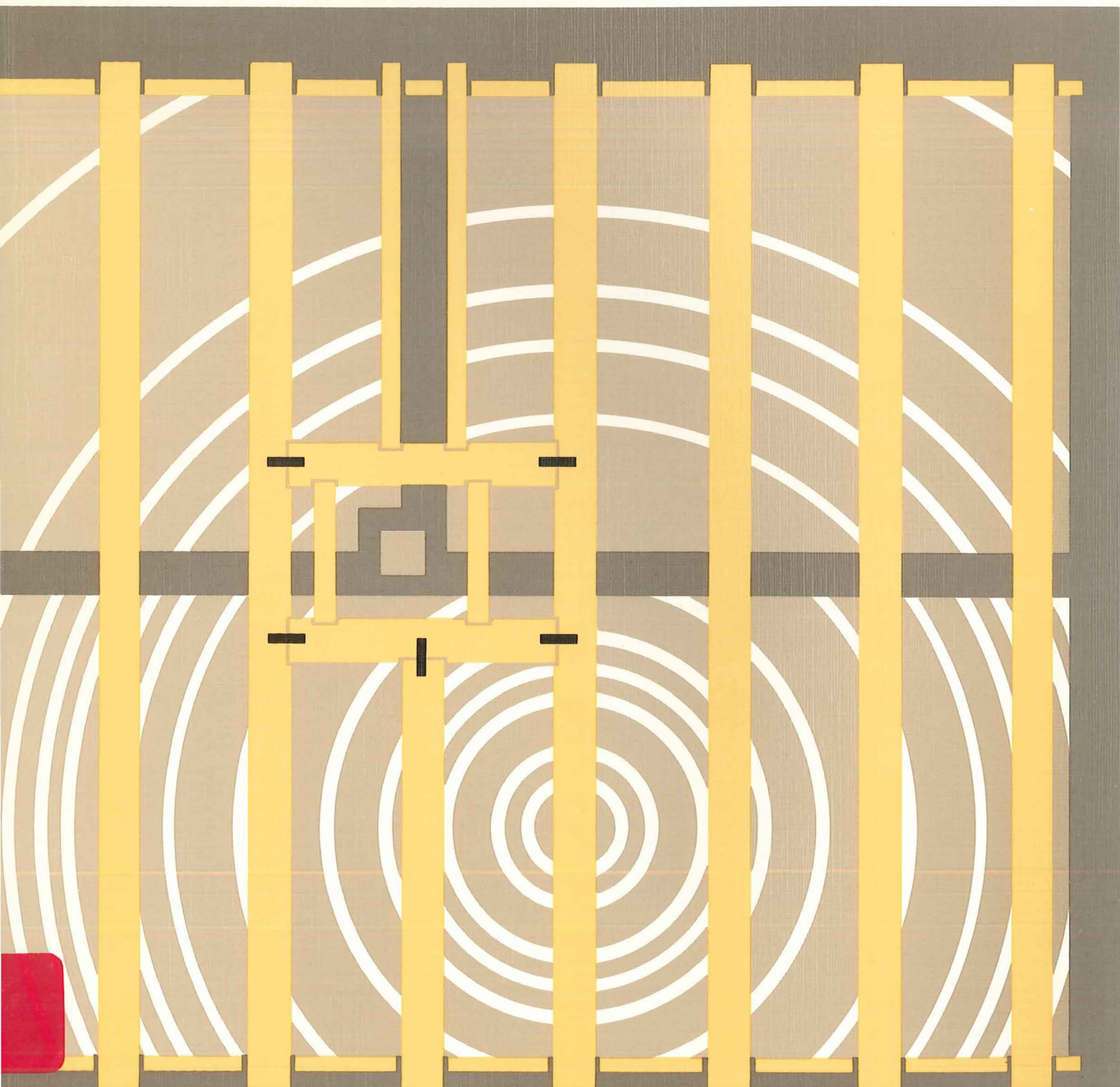
SBI- *publ.*

# Lydisolation mellem boliger



En undersøgelse i ældre bygninger  
med træetageadskillelser

SBI-RAPPORT 188 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1987



SBI- publ.

---

# LYDISOLATION MELLEML BOLIGER

En undersøgelse i ældre bygninger med trætagadskillelser

---

Jørgen Kristensen

Leonard Juul Petersen

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

00097 P

<sup>ex-2</sup>  
14 JULI 1987



SBI-rapporter er beretninger om afsluttede forskningsprojekter og afsluttede faser i fasedelte projekter samt beretninger fra visse konferencer og symposier.

SBI-publikationer. Statens Byggeforskningsinstituts publikationer findes i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning, Landbrugsbyggeri og Beton. Salg sker gennem boghandelen eller direkte fra SBI. Instituttets årsberetning og publikationsliste er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement. Instituttets publikationer kan også fås ved at tegne et abonnement. Det sikrer samtidig løbende orientering og alle nye udgivelser. Information om abonnementernes omfang og vilkår fås hos SBI.

ISBN 87-563-0660-1.  
ISSN 0573-9985.  
Pris: Kr. 76,25 inkl. 22 pct. moms.  
Oplag: 1.000.  
Tryk: SBI, Hørsholm.  
Renskrivning: Hanne Lisa Reder.  
Tegneassistance: Annette Juul Muusfeldt.  
Omslag: Henning Holmsted.  
Statens Byggeforskningsinstitut:  
Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 02 865533.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:  
SBI-rapport 188: Lydisolation mellem boliger. En undersøgelse i ældre bygninger med træetageadskillelser. 1987.

---

Indhold

---

FORORD .....	5
INDLEDNING .....	7
BYGNINGER SAMT KONSTRUKTIONER OG DERES BETYDNING FOR LYDISOLATIONEN ....	9
Bygninger fra før 1800 .....	9
Bygninger fra ca. 1800 til ca. 1850 .....	11
Bygninger fra ca. 1850 til ca. 1890 .....	11
Bygninger fra ca. 1890 til ca. 1950 .....	12
Byggeskikkens betydning for flanketransmission .....	14
UNDERSØGELSE AF LYDISOLATIONEN I ÆLDRE BYGNINGER .....	16
Behandling af måledata .....	16
Måleresultater .....	17
Luftlydisolation, etageadskillelser .....	17
Luftlydisolation, vægge .....	19
Trinlydniveau .....	22
Supplerende målinger .....	25
Undersøgelsens hovedresultater .....	26
FORBEDRING AF BYGNINGSDELES LYDISOLATION .....	28
Vægge .....	28
Etageadskillelser .....	30
ÆLDRE UNDERSØGELSER AF TRÆTAGEADSKILLELSERS LYDISOLATION .....	36
Træetageadskillelser som lydisolerende bygningsdele .....	37
Bjælkeafstande og dimensioner .....	38
Hulrum mellem bjælker .....	38
Fastgørelse af forskalling til dækundersider .....	39
Fastgørelse af gulv til bjælkelag .....	39

Etageadskillelser med synlige bjælkeundersider .....	41
Begrænsninger for lydisolationen .....	41
Udenlandske målinger af træetageadskillelsers lydisolations .....	41
Danske målinger af lydisolations før 1960 .....	46
Ældre undersøgelser af vægges lydisolations .....	46
KONKLUSION .....	47
SUMMARY .....	48
LITTERATUR .....	49
APPENDIKS .....	51
Målingernes udførelse .....	51
Vurdering af måleresultater .....	52
Vurdering af luftlydisolation og trinlydniveau .....	52

---

 Forord
 

---

I 1973 påbegyndte SBI en undersøgelse af lydforhold i ældre bygninger.

Hovedformålet med undersøgelsen var ved måling at klarlægge, hvordan luftlydisolationen og trinlydniveauet er i ældre bygninger. Allerede ved undersøgelsens begyndelse stod det klart, at det kunne blive vanskeligt at finde det nødvendige antal egnede måleobjekter og at der således forestod en opgave, der måtte strække sig over en årrække.

Delresultater af undersøgelsen er publiceret i 1982 i SBI-meddelelse 11: Forbedring af en traditionel træetageadskillelses lydisolations med gipspladebeklædt underloft.

Undersøgelsen har omfattet 37 bebyggelser og der er foretaget 218 målinger af etageadskillelsers lydisolations og 38 af vægges. I undersøgelsen har teknisk medarbejder Nina Herløv medvirket ved målingernes udførelse. En del af målingerne er udført af afdelingen for lydteknik ved Jysk Teknologisk.

Undersøgelsen har vist, at ingen af de målte ikke renoverede etageadskillelser opfylder bygningsreglementets krav til etageadskillelser i nye bygninger. Af de renoverede opfylder 53% af de målte etageadskillelser reglementets krav til lydisolations, medens 35% af måleresultaterne var mere end 2 dB ringere end reglementets krav. For målte 1/1-stensvægge er de tilsvarende tal 20% og 45%.

Undersøgelsens hovedresultater er fremlagt i statistisk behandlet form. Desuden er ved belysning med enkeltresultater redegjort for den isolation, der er opnåelig ved en vel gennemført renoveringsproces.

I rapporten omtales ændringer i byggeskikken, som må antages at indvirke på de akustiske forhold, og der beskrives akustiske virkninger af forskellige udførelser efter gængs håndværkerpraksis. Specielt er den akustiske virkning af træetageadskillelsens enkelte komponenter beskrevet. Beskrivelsen er i det væsentlige baseret på litteraturstudier.



Rapporten henvender sig hvad undersøgelsesresultaterne angår først og fremmest til byggeriets projekterende teknikere. Desuden kan den være til nytte for byggemyndigheder ved kravfastsættelse i forbindelse med renovering eller ombygning af ældre bygninger og ved vurdering af resultater opnået i sådanne bygninger.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

Byggeriets Akustiske Målestation

Marts 1987

Jørgen Kristensen

---

## Indledning

---

Formålet med en fornyelse af de ældre bygninger er at skabe acceptable boliger for endnu en eller flere generationer. For at dette kan ske må boligernes kvalitet hæves til et niveau, der ikke ligger meget under kvalitetsniveauet i nybyggede boliger.

En af forudsætningerne for at kunne hæve kvalitetsniveauet på en rationel måde er, at der eksisterer en almen tilgængelig viden både om de ældre bygningers tilstand og om de metoder og principper, som skal anvendes for at tilvejebringe den nødvendige komfort. Som et led i den nødvendige videnindsamling påbegyndte SBI en undersøgelse af lydisoleringen mellem boliger i ældre bygninger. Det viste sig vanskeligere end først antaget at finde egnede og tilgængelige måleobjekter. Det skyldtes, at den politiske og økonomiske udvikling i samfundet ikke bragte det forventede opsving i bygningsfornyelsen, og at mange bygninger hurtigt forfaldt, når de blev fraflyttet. Betingelserne for at kunne udføre adækvate lydisolationsmålinger var i de fleste tilfælde ikke mere til stede. Der manglede i reglen døre og meget ofte også ruder, dele af gulve, samt paneler. I flere af de undersøgte bygninger har sådanne forhold medført, at kun få målinger har kunnet udføres. De omtalte forhold vanskeliggør en rationel forsøgsplanlægning. Denne kompliceres yderligere af vanskeligheden ved at finde bygninger med de konstruktioner, der ifølge planlægningen skulle indgå i undersøgelsen.

Ved planlægningen af undersøgelsen har man søgt dels at belyse etageadskillelsers lydisolering, dels at finde lydisoleringen for de typer af vægge, for hvilke der ikke foreligger måleresultater. Når der især fokuseres på etageadskillelser, skyldes det, at det i de fleste tilfælde er dem, der primært indvirker på lydisoleringen mellem ældre boliger.

Foruden måleresultater for etageadskillelser og vægge er i rapporten medtaget enkelte andre måleresultater, der belyser tilstanden i ældre bygninger i relation til de krav, som stilles til lydforholdene i nye bygnin-

ger. I de fleste bygninger er der kun udført måling af lydforhold enten før eller efter en renovering, men i enkelte bygninger er lydisolationen målt både før og efter en renovering af de aktuelle bygningsdele.

I slutningen af rapporten beskrives i et appendiks målingernes udførelse og den benyttede måleprocedure, og hvorledes den enkelte målings seksten resultater vægtes til en værdi. Desuden anføres en måde til at vurdere de vægtede resultater for luftlydisolation og trinlydniveau i forhold til fastsatte grænser.

---

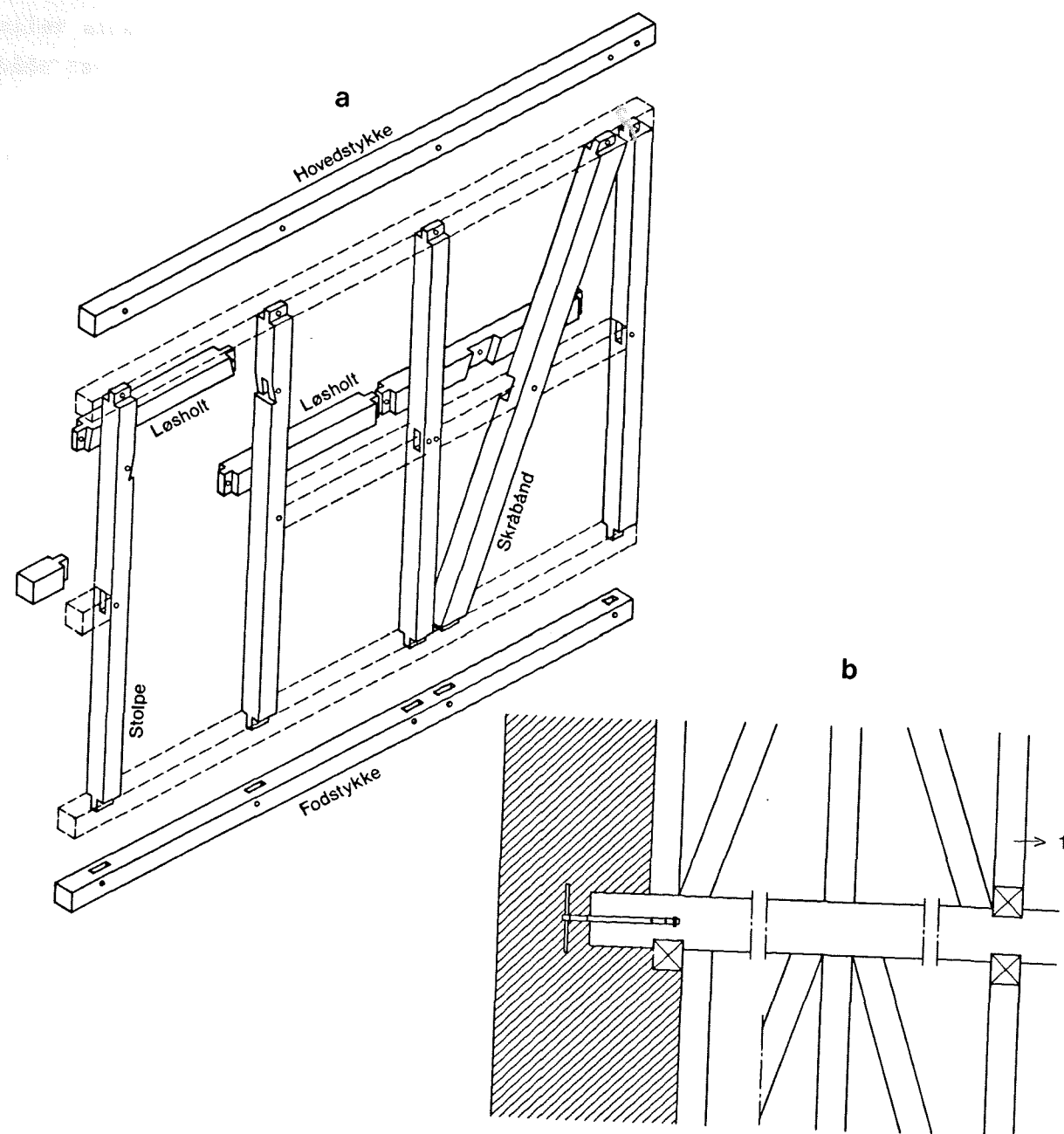
Bygninger samt konstruktioner og deres betydning for lydisolationen

---

En bygnings lydisolation bestemmes primært af dens bygningsdele, vægge og etageadskillelser, men er tillige afhængig af de enkelte bygningsdeles indbyrdes samlinger og disses tæthed. Undersøgelser af bygningers lydisolation forudsætter ikke nødvendigvis kendskab til bygningernes konstruktive forhold. Skal undersøgelsens resultater imidlertid benyttes til at skabe en generel viden om, hvorledes en forbedring af en eksisterende konstruktions lydisolation kan gennemføres, eller hvorledes en bygnings lydisolation kan bevares efter en ombygning, er det nødvendigt at kende både samlingsmetoderne og deres lydtekniske virkemåde. I det følgende gennemgås en række byggetekniske detaljer, der er anvendt i ældre bygninger. Formålet hermed er at give læsere med kendskab til akustik de nødvendige forudsætninger for at forstå, hvorledes lydtransmissionen finder sted, og andre læsere, en mulighed for kvalitativt at vurdere forskellige udførelsesmetoders indvirkning på lydtransmissionen.

#### Bygninger fra før 1800

Bygninger fra det syttende og attende århundrede findes kun bevaret i beskeden omfang i danske byer og er i dag underlagt en række bestemmelser vedrørende bevaring, der utvivlsomt vil forhindre væsentlige ændringer med det ene formål at forbedre lydisolationen. Bevarede byhuse fra den periode er stort set alle bygget med bindingsværksvægge, se figur 1. Etageadskillelserne er træbjælkelag med gulve af brædder eller i enkelte tilfælde af planker, dvs. med tykkelse på 50 mm eller mere. I dag har de fleste vægge murede felter mellem bindingsværket, men oprindeligt har mange vægge kun haft træbeklædt bindingsværk. Også etageadskillelserne er i tidens løb blevet ændret, f.eks. ved brandsikring med forskalling og puds. Hvor etagehøjden har tilladt det, er forskallingen anbragt på bjælkelagets underside, ellers mellem bjælkerne. De mere velstående borgers huse havde ofte en



Figur 1. Bindingsværk er en tømmerkonstruktion, hvor de enkelte dele er samlet til et bærende skelet, mens de øvrige vægmateriale alene indgår som udfyldning mellem tømmeret. Bindingsværksvægge består af et antal lodrette tømmerstykker, stolper, der med regelmæssige mellemrum er tappet ned i et tømmerstykke, fodstykket, og op i et andet stykke tømmer, hovedstykket. Mellemrummet mellem stolperne kaldes for fagene, og i hver væg findes mindst to skråbånd, som hælder i modsatte retninger. Når en tværvæg står på en bjælke, erstattes hovedstykket og fodstykket med bjælken. Understøttes bjælkerne i tværvæggen af en langsgående væg, nedkæmmes de i hovedstykket, dvs. der udskæres for bjælkerne i hovedstykket, og fodstykket i næste etage kammes over bjælkerne. Imellem stolperne indtappes vandrette tømmerstykker, løsholter, i nødvendigt omfang. Vægfeltene mellem bindingsværkstømmeret kaldes for tavlene.

a) Bindingsværksvæggenes bestanddele

b) En tværvæg, hvor fod- og hovedstykke er erstattet med bjælker, som understøttes af en langsgående væg 1, hvis opbygning svarer til a.

etage med stor højde f.eks. 6-10 alen (1 alen = 628 mm) ellers 4-6 alen og ofte under 4 alen i øverste etage. Da ydervæggene i reglen også var udført med bindingsværk, var faginddelingen fastlagt forholdsvist stramt. Oprindeligt skete adgangen til anden og eventuel tredje etage via en udvendig trappe og en såkaldt svalegang. Men i løbet af det attende århundrede er trapperne flyttet ind i huset. Det blev med vekslende held forsøgt at forbyde brugen af bindingsværk i ydervægge. I København skete det efter en større brand i 1728, hvor en stor del af byens bygninger nedbrændte, men først efter en ny stor brand lykkedes det.

#### Bygninger fra ca. 1800 til ca. 1850

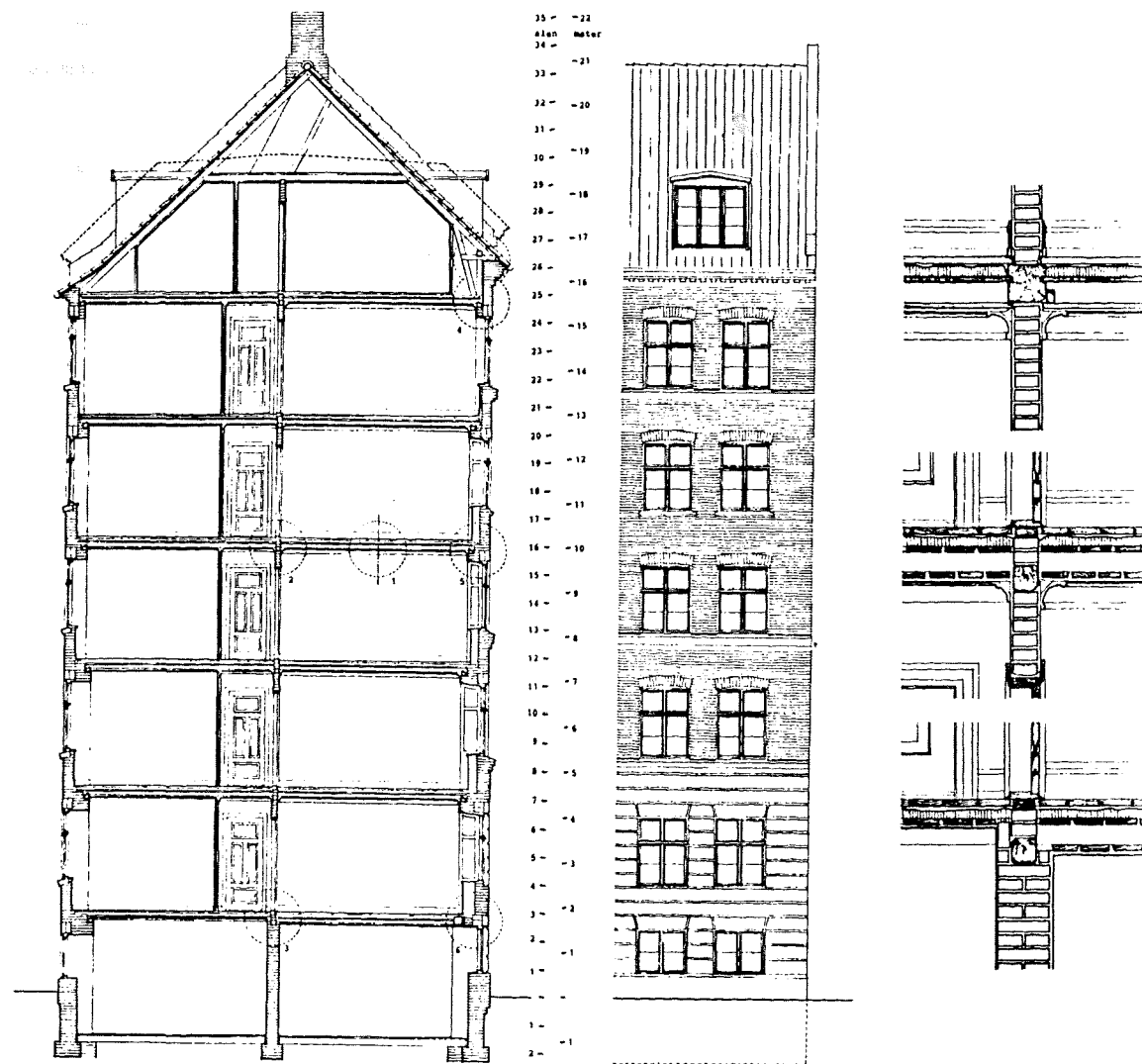
Den alvorlige brandkatastrofe i 1795 medførte et påbud fra bystyret om, at facade- og gavlmure skulle være grundmurede, og at etageadskillelser skulle udføres med ubrændbart indskud. Dette påbud fik i modsætning til tidligere tilsvarende påbud gennemslagskraft, og med bortfaldet af bindingsværk i ydervægge skete en frigørelse fra den meget stramme afhængighed mellem placeringen af facadestolper, indvendigt bindingsværk og bjælkelag. Der var ingen bestemmelser om etagehøjden i boliger, men facadens højde måtte normalt ikke overstige 18 alen (ca. 11 m) fra gadeniveau for bygninger i gader med mindre bredde end 24 alen (ca. 15 m). I gader med større bredde måtte facadens højde gå op til 24 alen.

De indvendige vægge er normalt udført med bindingsværk og har ens tykkelse, normalt  $4\frac{1}{2}$ " (ca. 120 mm), fra kælder til kvist. De grundmurede facadevægge med fundament af natur- eller teglsten har størst tykkelse i kælderen ofte  $2\frac{1}{2}$  sten (ca. 590 mm) og i øverste etage  $1\frac{1}{2}$  sten (ca. 350 mm).

#### Bygninger fra ca. 1850 til ca. 1890

Efter 1849 blev volde og mure omkring byer i vid udstrækning nedbrudt, og der skete en eksplosiv udvikling i byggeriets omfang. I København blev en foreløbig lov for byggeriet vedtaget i 1854, og i 1856 vedtog Rigsdagen "Bygningslov for Staden København og dens Forstæder", som dog ikke omfattede Frederiksberg, der fik sin egen lov i 1858. Der blev også vedtaget en tilsvarende byggelov for købstæderne, men ingen for resten af landet. Dog skete der en vis regulering af byggeriet gennem brand-politiloven af 1861.

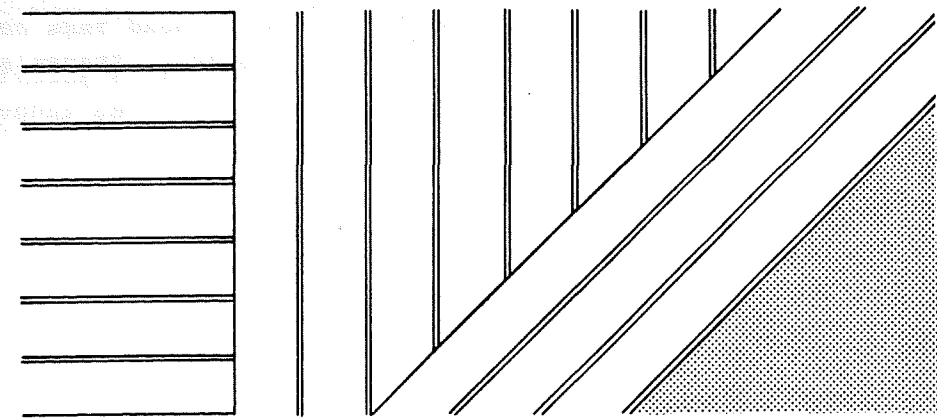
Byggelovene indførte nogle små ændringer vedrørende vægge og byggehøjde samt en bestemmelse om, at rumhøjden mindst skulle være 4 alen (2,51 m). Også etageadskillelsernes udførelse samt bjælkelagets hoveddimensioner blev fastlagt i loven, og de deri givne specifikationer holdt sig stort set uændrede langt ind i det tyvende århundrede. I figur 2 ses et snit i en typisk københavnsk bygning (Engelmark, 1983).



Figur 2. Københavnsk etageejendom fra perioden 1850-1900.

#### Bygninger fra ca. 1890 til ca. 1950

I 1889 fik København og i 1890 Frederiksberg nye byggelove. En af ændringerne i lovene fik betydning for lydisolationen. Det var en bestemmelse om, at bjælkelagsbærende vægge og vægge mod trapperum skulle udføres af grundmurede vægge. I praksis betød dette, at bindingsværksvægge i løbet af få år ikke mere blev anvendt i etageboligbyggeri. En del af bindingsværksvæggene blev erstattet med grundmurede vægge, medens den resterende del blev erstattet med lette vægge udført af to eller tre lag brædder med rørsvæv og puds, se figur 3. Efterhånden blev lette vægge også udført af slaggeplader eller andre ubrændbare materialer.



Figur 3. Viser opbygningen af bræddeskillevæg, der kan være to-lags eller trelags, som påsømmes rørsvæv og puds. Rørsvævet tjener til at fastholde pudslaget. Det ene lag brædder i en væg stilles lodret imellem en under- og en overliggende bjælke eller imellem indskudsdækket og loftsforaskallingen og fastsømmes dertil. Det andet lag brædder, der har en skrå retning (ca. 45° med gulv og loft), sømnes på det første lag. I trelags vægge sømnes et lag brædder på hver side af det første lag henholdsvis på skrå og vandret. Der er normalt benyttet 5/4" (33 mm) træ til de lodrette brædder, og 3/4" eller 1" (20 eller 26 mm) træ til skrå og vandrette brædder.

I årene omkring 1930 vandt betondæk samt hulstensdæk indpas i boligbyggeriet. Men først omkring 1950 blev træetageadskillelser for alvor udkonkurreret som dækttype i etageboligbyggeriet.

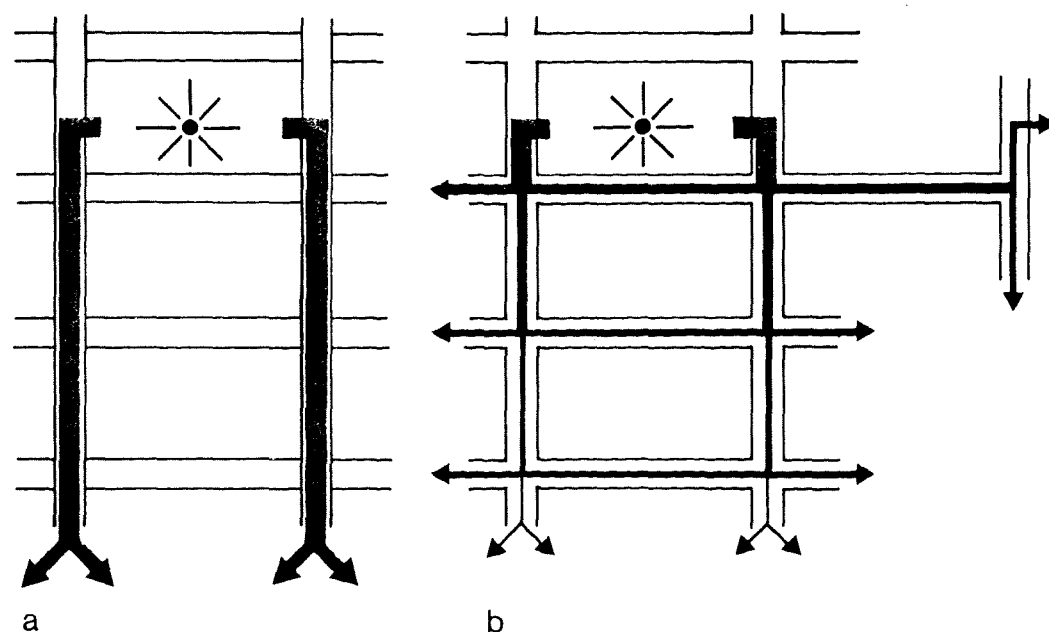
Til omkring 1880 blev vandinstallationer kun indlagt i få huse, men derefter fik de hurtigt stor udbredelse, og rindende vand blev efterhånden uundværligt i en bolig. Installationernes brug medførte imidlertid en del gene i form af støj. Med indførelse af beton- og hulstensdæk i boligbyggeri voksede støjproblemet, så det i nogle bygninger blev en plage for beboerne. Det skyldtes primært, at lydtransmission i de støbte dæk var langt større end i træetageadskillelser, så støjen fra installationerne kunne udbredes over hele bygningen uden nogen væsentlig dæmpning.

Ydervægge blev generelt udført som massive vægge. I begyndelsen af det tyvende århundrede blev det dog almindeligt at anvende hulmure i huse på to etager. Normalt er hulrummet for hver sjette kop (ca. 0,6 m) udmuret med en binderkolonne. Det blev efterhånden også lovligt at anvende hulmure i gavl- og bagvægge i en bygnings fire øverste etager. Ved bagvægge forstås facadevægge uden vindueshuller. I bygningers facadevægge blev brugen af hulmur kun tilladt i den øverste eller de to øverste etager.



### Byggeskikkens betydning for flanketransmission

Lydtransmissionen mellem to naborum sammensættes af to bidrag, transmissionen gennem rummenes fælles adskillelse og flanketransmissionen gennem de omgivende bygningsdele. Mellem to rum, der ikke har nogen fælles adskilende bygningsdel, bestemmes lydisolationen udelukkende af flanketransmissionen, der afhænger af transmissionsbetingelserne i byggesystemet. Mellem ensliggende rum i en ældre bygning med træetageadskillelser, figur 4a, og tilsvarende ensliggende rum i en bygning med betondæk, figur 4b, hvor rummene er omgivet med ens teglvægge, er forskellen at bjælkelaget giver en relativ svag lydteknisk kobling mellem et par modstående vægge i et rum, og at betondækket giver en stærk kobling mellem alle rummets vægge. Ved lydtransmission i en murstensvæg sker der et tab af lydenergi, hver gang lyden passerer et betondæk, idet en del af lydenergien afledes til betondækket og herigennem videre til omliggende vægge. Transmissionforholdene i forbindelse med en træetageadskillelse er forskellige herfra, idet der ikke sker energiafledning af nogen betydning fra væg til træbjælkelag. I bygningen med træetageadskillelser sker lydudbredelsen derfor fortrinsvis i lodret retning, i modsætning til bygningen med betondæk, hvor lydudbre-



Figur 4. Lydtransmission i tværvægge i en bygning dels med træetageadskillelse, skitse a, dels med betondæk skitse b. Direkte lydtransmission sker i begge tilfælde kun til rum, som har en skillevæg eller etageadskillelse fælles med det rum, hvori støjen frembringes (senderummet). I en bygning svarende til skitse a sker flanketransmission i skillevægge kun til rum, som har en eller to flankerende skillevægge fælles med senderummet. I en bygning svarende til skitse b sker flanketransmissionen ikke blot gennem vægge, men også gennem dæk, således at lydenergien fordeles både lodret og vandret.

delsen sker både i lodret og i vandret retning, se figur 4b. For ens lyd-påvirkning af to ensliggende rum vil lydtransmissionen i lodret retning derfor være størst i bygningen med træetageadskillelser og mindst i bygningen med betondæk og omvendt ved transmission i vandret retning. Det medfører, at der kan ventes en mindre lydisolation mellem to ensliggende rum f.eks. på 2. og 4. etage i en bygning med træetageadskillelse end i en bygning med betondæk og omvendt i vandret retning mellem to ensliggende rum med et mellemliggende rum.

Der foreligger ingen undersøgelser, som belyser flanketransmissionen i udmurede bindingsværksvægge. Det skønnes, at den er mindre end i murede vægge med tilsvarende tykkelse (ca. 120 mm) og måske også mindre end i 1/1-stensvægge. En sammenligning mellem 1/2-stensvægges og bindingsværksvægges flanketransmission er kun relevant for en bygnings øverste etager. Indvendige vægge opført på træbjælkelag indvirker ikke væsentlig på flanketransmissionen. I bygninger med betondæk kan lette vægge af moler, letbeton el.lign. undertiden bidrage væsentligt til flanketransmissionen mellem boliger i lodret retning.

---

 Undersøgelse af lydisoleringen i ældre bygninger
 

---

Undersøgelsen omfatter primært træetageadskillelsers lydisolering, fordi træetageadskillelsernes konstruktion i almindelighed er langt mere sammensat end f.eks. vægges og derfor lydteknisk vanskeligere at vurdere.

Undersøgelserne er udført i 37 bebyggelser, hvoraf 19 er beliggende i Københavnsområdet, 6 på øerne uden for Københavnsområdet og 12 i Jylland. En del af bygningerne var renoverede på måletidspunktet eller er senere blevet det. Det samlede antal målinger af luftlydisolering og trinlydniveau er ialt 256 og omfatter 112 etageadskillelser, 38 vægge, 2 entredøre og 7 trappereposer. Desuden er efterklangstiden målt i et enkelt trapperum. Når der kun er to målinger af døres lydisolering og én af trapperums efterklangstid, skyldes det, at de fleste døre og trapperum enten ikke var færdiggjort på måletidspunktet eller var i en sådan tilstand, at måleresultaterne ikke ville være relevante, fordi døre i lighed med vinduer ofte fornyes eller forbedres ved en renovering. Vedrørende forbedring af vinduers lydisolering henvises til (Kristensen, 1983). For trapperums efterklangstid gælder, at den altid på et senere tidspunkt kan føres kortere ved enkle bygningsmæssige foranstaltninger.

#### Behandling af måledata

Resultaterne er opdelt i grupper og undergrupper, og for hver gruppe er beregnet den aritmetiske middelværdi af resultaternes værdier i dB og standardafvigelsen heraf for en enkelt måling, samt mindste og største værdi for de vægtede værdier af luftlydisoleringen respektive trinlydniveauet. Det er antaget, at resultaternes værdier er normalfordelte. Standardafvigelsen på middelværdien kan beregnes ved division af den anførte standardafvigelse med kvadratroden af antallet af måleresultater i gruppen.

Måleresultaterne kan deles i tre hovedgrupper, nemlig luftlyd for henholdsvis vægge og etageadskillelser samt trinlyd for etageadskillelser.

De målte vægge falder i det væsentlige i to grupper: Murede vægge med tykkelser på 1/1-sten og derover, og murede vægge med mindre tykkelse, dvs. 1/2-sten og 6" sten.

Gruppen af etageadskillelserne kan deles efter loftets udførelse (uden og med underloft), efter bygningens tilstand (ikke renoveret, renoveret) og efter gulvets tilstand (med eller uden ekstra gulvbelægning).

Resultaterne af den statistiske behandling af data fra de enkelte grupper er vist i skemaerne 1-4. Grupperesultaterne er vurderet i forhold til de krav, som stilles i BR-82 til bygningsdeles lydisolering. Vurderingen er foretaget ved hjælp af det foreslåede afvigelseskriterium, se appendiks.

#### Måleresultater

Resultaterne af den statistiske behandling af de vægtede værdier for luftlydisolering og trinlydniveau udviser store forskelle mellem minimums- og maksimumsværdier, hvilket gør værdien af den statistiske behandling af tal materialet noget tvivlsom. Inden for hver enkelt gruppe er der en betydelig spredning, dels i etageadskillelsernes tilstand, dels i den måde forbedringen af etageadskillelserne er udført. I adskillige tilfælde har det end ikke været muligt at få eksakte oplysninger om en given etageadskillelse, ligesom udførelserne ofte afviger fra foreliggende tegningsmateriale. En sammenligning mellem de enkelte grupper indbyrdes kan ske på grundlag af antallet af måleresultater, der ligger henholdsvis over og under usikkerhedsområdet.

#### Luftlydisolering, etageadskillelser

Måleresultaterne sammenlignes med bygningsreglementets krav til etageadskillelsers lydisolering, der er 53 dB og i princippet gældende for nye og ombyggede etageadskillelser.

Skema 1 viser resultaterne dels for samtlige luftlydisolationsmålinger udført mellem beboelsesrum adskilt med etageadskillelser, dels for mindre grupper etageadskillelser karakteriseret ved en speciel tilstand eller udførelse, som normalt har indvirkning på lydisoleringen. Skemaets første hovedgruppe omfatter samtlige luftlydisolationsmålinger af etageadskillelser og underopdelinger heraf ud fra tre betingelser (underloft, ekstra gulv eller belægning og renoveringstilstand) som ikke gensidigt udelukker hinanden. Sammenlignes resultaterne for sammenhørende undergrupper, viser det sig, at der ikke er signifikant forskel mellem middelværdierne kun for tilstandene "renoverede" og "ikke renoverede" synes der at være en rimelig statistisk forskel. Dette ikke uventede, men nedslående resultat kan skyl-

	Antal observationer	Middeltal i dB	Standardafvigelse i dB	Maksimumværdi i dB	Minimumværdi i dB	Antal observationer $R' < 51$ dB	Antal observationer $51 \leq R' < 53$ dB	Antal observationer $53 \text{ dB} < R'_w$	Antal pct $R'_w < 51$ dB	Antal pct $51 \leq R'_w \leq 53$ dB	Antal pct $53 \text{ dB} < R'_w$	Frekvensforløb afbildet i figur nr.
<b>Luftlyd</b>												
Alle etageadskillelser	112	52.3	5.6	68	40	51	15	46	46	13	41	5
Uden underloft	74	50.2	4.4	61	40	49	9	16	66	12	22	6
Med underloft	38	56.5	5.2	68	43	2	6	30	5	16	79	7
Uden ekstra gulv	108	52.2	5.6	68	40	51	14	43	47	13	40	-
Med ekstra gulv	4	54.8	-	57	51	0	1	3	0	25	75	-
Ikke renoverede	35	48.9	1.8	52	44	30	5	0	86	14	0	8
Renoverede	77	53.9	6.0	68	40	21	10	46	27	13	60	9
Uden underloft												
Loft direkte på bjælkeunderside	64	50.3	4.3	61	40	43	8	13	67	13	20	-
Loft mellem synlige bjælker	10	49.5	4.9	56	44	6	1	3	60	10	30	10
Ikke renoverede	35	48.9	1.8	52	44	30	5	0	86	14	0	8
Renoverede	39	51.3	5.6	61	40	19	4	16	49	10	41	-
Uden ekstra gulv eller belægning	71	50.0	4.4	61	40	49	8	14	69	11	20	-
Med ekstra gulv eller belægning	3	54.0	-	56	51	0	1	2	-	-	-	-
Med underloft												
Ikke renoverede	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Renoverede	38	56.5	5.2	68	43	2	6	30	5	16	79	7
Uden ekstra gulv eller belægning	37	56.5	5.3	68	43	2	6	29	5	16	79	-
Med ekstra gulv eller belægning	1	57	-	-	-	0	0	1	-	-	-	-
Renoverede												
Uden ekstra gulv eller belægning	73	53.8	6.1	68	40	21	9	43	29	12	59	-
Med ekstra gulv eller belægning	4	54.8	-	57	51	0	1	3	-	-	-	-
Renoverede uden underloft												
Med lerindskud	6	53.8	3.5	55	45	5	0	1	-	-	-	-
Uden lerindskud eller med andet indskud	33	51.8	5.8	61	40	14	4	15	42	12	46	-
Renoverede med underloft												
Med lerindskud	31	56.8	5.7	68	43	2	4	25	6	13	81	-
Uden lerindskud eller med andet indskud	7	55.0	1.7	57	53	0	2	5	-	-	-	-

Skema 1. Resultater fra måling af luftlydisolation for samtlige målte etageadskillelser og delgrupper deraf. I venstre side er anført hovedgruppe og undergrupper af hovedgruppen. Når der i stedet for et tal er anført en streg, betyder det, at værdien ikke er udregnet eller er uinteressant. Frekvensforløbet er for nogle af grupperne vist i figurerne 5-10, se skemaets højre kolonne.

des at forskellen mellem de enkelte etageadskillelser udførelse er for store til, at de kan karakteriseres ved de i skemaet anførte tilstande, at forskelle i udførelsens kvalitet maskerer resultatet og at antallet af observationer i hvert fald i nogle af grupperne er for få.

Af resultaterne fra målingerne af lydisolationen for gruppen "alle" etageadskillelser fremgår, at gennemsnitsværdien for gruppen er 52,3 dB, standardafvigelsen for den enkelte måling 5,6 dB. Standardafvigelsen på middeltallet er 0,53 dB. For grupper med færre end 6 observationer er standardafvigelser ikke anført.

Blandt skemaets overraskende resultater kan nævnes, at undergruppen "ikke renoverede" kun indeholder værdier under 53 dB og udgør den mest homogene gruppe af alle, og at undergruppen "renoverede" indeholder både de bedste og de dårligste resultater fra den samlede gruppe. En nærmere analyse af etageadskillelserne viser, at resultater over ca. 60 dB alle stammer fra etageadskillelser med underlofter, som har nedhængningsdybde fra ca. 0,7 m til 1,0 m, og som er dæmpede med mineraluldsindlæg. De dårligste resultater er fra renoverede etageadskillelser, hvor det pudsede loft er erstattet med gipsplader og lerindskuddet samtidig er erstattet med mineraluld.

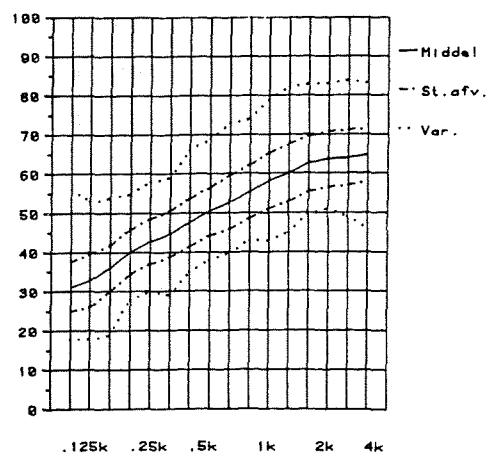
Antages tilstanden for "ikke renoverede" etageadskillelser at svare til de "renoverede" etageadskillelser tilstand før renovering, så viser resultaterne for de to undergrupper, at renoveringsprocessen generelt har medført en forbedring på ca. 5 dB, skønt nogle etageadskillelser lydisolation er blevet lidt forringet.

De få målinger af etageadskillelser med loft mellem synlige bjælker har givet ret dårlige resultater. Den lydtekniske udførelse af etageadskillelsen var i reglen også utilfredsstillende, idet hverken loft eller gulv var særlig tætte.

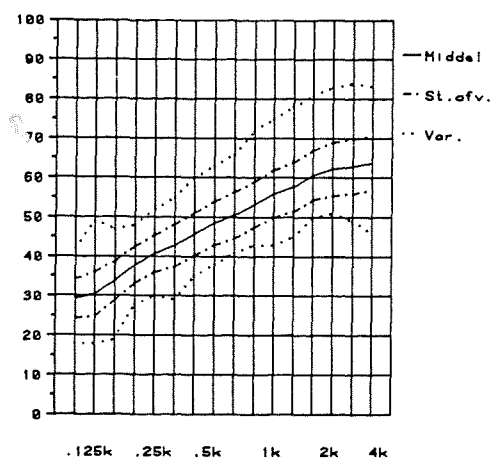
Luftlydisolationen som funktion af frekvensen er kun beregnet for enkelte grupper. Resultaterne for de øvrige undergrupper følger stort set frekvensforløbene som er vist i diagrammerne figur 5 til 10.

#### Luftlydisolation, vægge

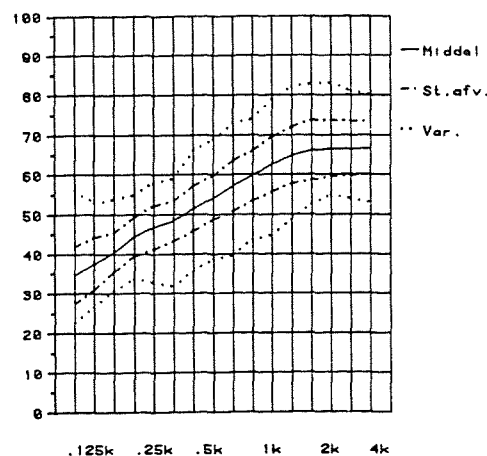
Der er kun målt lydisolation for et forholdsvis begrænset antal vægge, overvejende teglstensvægge. I skema 2 er vist resultaterne for to grupper bestående af murstensvægge henholdsvis med tykkelser på mindst 1/1-sten og med tykkelser mindre end 1/1-sten. Når 1/2-sten og 6"-sten er samlet i én gruppe skyldes det, at resultaterne er ens for de to vægtyper. Resultaterne viser, at vægge af normalsten eller 6" sten må påregnes at skulle forbedres ved renovering. Også for gruppen 1/1-sten eller tykkere trænger mere end halvdelen af væggene til en forbedring af lydisolationen.



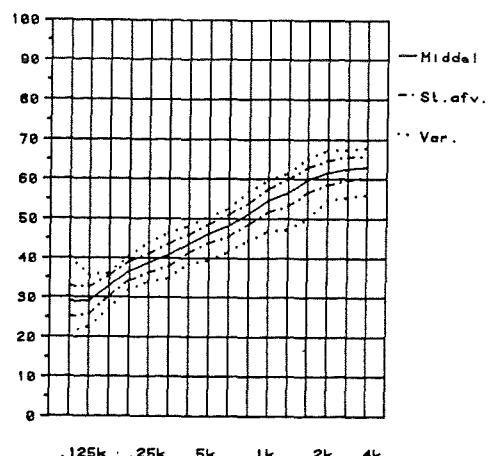
5) Alle etageadskillelser, 112 stk.



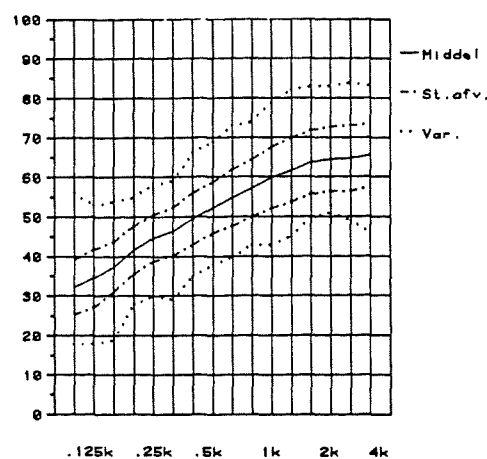
6) Alle uden underloft, 74 stk.



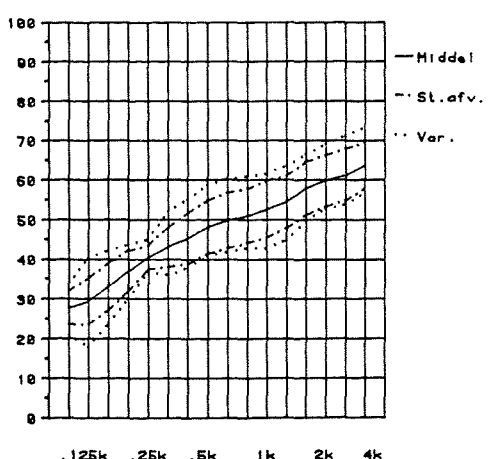
7) Alle med underloft, 38 stk.



8) Alle ikke renoverede, 35 stk.



9) Alle renoverede, 77 stk.



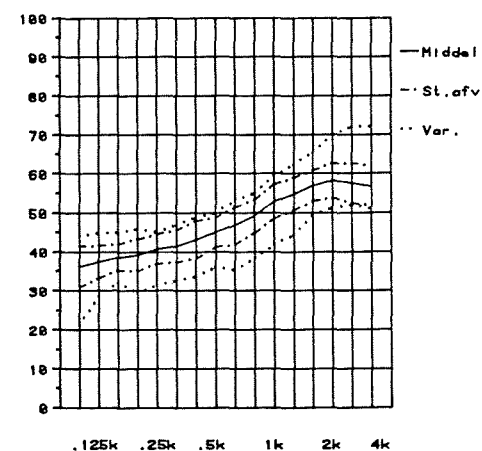
10) Alle med loft opsat mellem synlige bjælker, 10 stk.

Figur 5-10. Middelværdien af reduktionstallet  $R'$  plus/minus standardafvigelsen som funktion af frekvensen for etageadskillelser. Desuden er indtegnet øvre og nedre grænser for de respektive måleresultaters spredning. Vedrørende oplysninger om  $R'_w$  henvises til skema 1.

Luftlyd	Antal observationer	Middeltal i dB	Standardafvigelse i dB	Maksimumværdi i dB	Minimumværdi i dB	Antal observationer $R'_w < 50$ dB	Antal observationer $50 \leq R'_w \leq 52$ dB	Antal observationer $52 \text{ dB} < R'_w$	Antal pct $R'_w < 50$ dB	Antal pct $50 \leq R'_w \leq 52$ dB	Antal pct $52 \text{ dB} < R'_w$	Frekvensforløb afbildet i figur nr.
1/1-stens vægge	15	50.3	2.3	54	47	7	5	3	47	33	20	11
½-stens vægge eller 6"-stens vægge	12	45.0	1.3	48	43	12	0	0	100	0	0	12

Skema 2. Resultater fra måling af luftlydisolation for murede vægge.

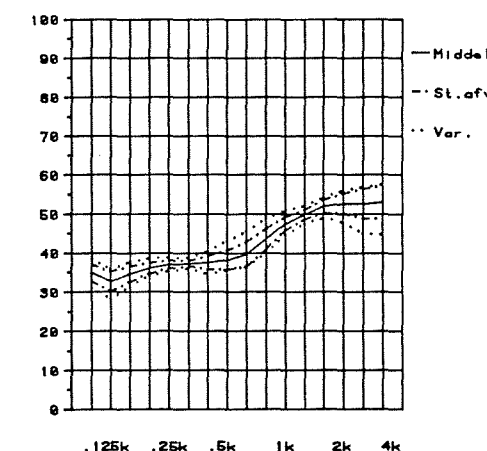
Luftlydisolationen som funktion af frekvensen målt for de to grupper findes i diagrammerne figur 11 til 12.



Figur 11-12. Middelværdien af reduktionstallet  $R'$  plus/minus standardafvigelsen som funktion af frekvensen for vægge. Desuden er indtegnet øvre og nedre grænser for måleresultaternes spredning. Vedrørende oplysninger om  $R'_w$  henvises til skema 2.

11) 1/1-stens vægge, 15 stk.

12) ½-stens- eller 6" stensvægge, 12 stk.





### Trinlydniveau

Måleresultaterne sammenlignes med bygningsreglementets krav til etageadskillelsers trinlydniveau, der er 58 dB og i princippet gældende for nye og ombyggede etageadskillelser.

Skema 3 viser resultaterne dels for samtlige trinlydniveaumålinger udført i beboelsesrum under en etageadskillelse i et beboelsesrum, dels for mindre grupper karakteriseret ved en speciel tilstand eller udførelse, som normalt har indvirkning på trinlydniveauet. Skemaet er opdelt i grupper, der svarer til dem, som er anvendt i skema 1.

Sammenlignes middelværdierne og tilhørende standardafvigelser viser det sig, at der ikke er signifikant forskel mellem middelværdierne. Dette kan ligesom for luftlydisolation skyldes, at forskellen mellem de enkelte etageadskillelsers udførelse er for store til at de kan karakteriseres ved de i skemaet anførte tilstande, at forskelle i udførelsens kvalitet maskerer resultatet og at antallet af observationer i hvert fald i nogle af grupperne er for få.

Af resultaterne fra målingerne af trinlydniveauet fremgår, at der må rejses de samme betæneligheder med hensyn til værdien af en statistisk behandling af disse resultater som til resultaterne for luftlydisolationen. Det bemærkes, at forskellen mellem største og mindste værdi er endnu større end for luftlydisolationen, medens forskellen mellem de procentdele af resultaterne, som enten kan opfylde eller ikke opfylde kravene i BR-82, ikke er stærkt afvigende fra resultaterne for luftlydisolation.

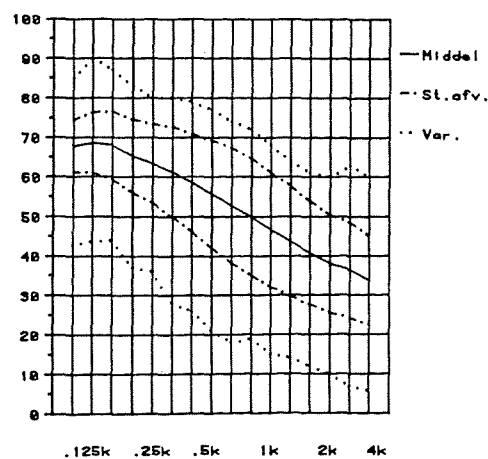
Blandt skemaets resultater kan fremhæves, at undergruppen "ikke renoverede" stort set kun indeholder resultater over 60 dB, og udgør den mest homogene gruppe af alle.

Både bedste og dårligste resultat findes flere steder i samme gruppe, og de stammer fra etageadskillelser, der er renoveret og uden underloft. En nærmere analyse af resultaterne viser, at de bedste resultater alle stammer fra etageadskillelser med tæppebelægninger, medens de dårligste resultater stammer fra etageadskillelser, hvor der intet er gjort for at reducere trinstøj. Flere af de dårligste resultater er fra etageadskillelser, der også er blandt de dårligste med hensyn til isolation mod luftlyd.

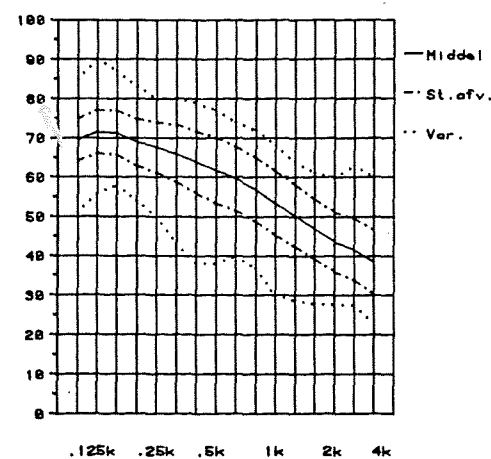
Trinlydniveauet som funktion af frekvensen er kun beregnet for de enkelte grupper. Resultaterne for de øvrige undergrupper følger stort set frekvensforløbene, som er vist i diagrammerne figur 13 til 18.

	Antal observationer	Middeltal i dB	Standardafvigelse i dB	Maksimumværdi i dB	Minimumværdi i dB	Antal observationer L' n,w < 58 dB	Antal observationer 58 ≤ L' n,w ≤ 60 dB	Antal observationer 60 dB < L' n,w	Antal pct L' n,w < 58 dB	Antal pct 58 ≤ L' n,w ≤ 60 dB	Antal pct 60 dB < L' n,w	Frekvensforløb afbildet i figur nr.
<b>Trinlyd</b>												
Alle etageadskillelser	95	60.1	8.0	77	39	29	11	55	31	12	57	13
Uden underloft	73	61.8	7.5	77	39	15	8	50	21	11	68	-
Med underloft	22	54.5	7.1	65	40	14	3	5	63	14	23	-
Uden ekstra gulv eller belægning	68	63.5	5.1	77	52	7	9	52	10	13	77	14
Med ekstra gulv eller belægning	27	51.8	7.8	69	39	22	2	3	82	7	11	15
Ikke renoverede	30	63.2	2.7	69	59	0	4	26	0	13	87	16
Renoverede	65	58.7	9.2	77	39	29	7	29	45	10	45	17
<b>Uden underloft</b>												
Loft direkte på bjælkeunderside	64	62.6	7.3	77	39	9	8	47	14	13	73	-
Loft mellem synlige bjælker	9	56.6	6.6	64	43	6	0	3	67	0	33	18
Ikke renoverede	30	63.2	2.7	69	59	0	4	26	0	13	87	16
Renoverede	43	60.9	9.4	77	39	15	4	24	35	9	56	-
Uden ekstra gulv eller belægning	58	64.1	5.1	77	52	4	7	47	7	12	81	-
Med ekstra gulv eller belægning	15	53.3	9.2	69	39	11	1	3	73	7	20	-
<b>Med underloft</b>												
Ikke renoverede	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Renoverede	22	54.5	7.1	65	40	14	3	5	63	14	23	-
Uden ekstra gulv eller belægning	10	60.0	4.3	65	53	3	2	5	30	20	50	-
Med ekstra gulv eller belægning	12	49.9	5.5	59	40	11	1	0	92	8	0	-
<b>Renoverede</b>												
Uden ekstra gulv eller belægning	38	63.7	6.5	77	52	7	5	26	18	13	69	-
Med ekstra gulv eller belægning	27	51.8	7.8	69	39	22	2	3	82	7	11	15
<b>Renoverede uden underloft</b>												
Med lerindskud	10	55.1	5.1	77	43	8	1	1	80	10	10	-
Uden lerindskud eller med andet indskud	33	62.7	9.8	62	39	7	3	23	21	9	70	-
<b>Renoverede med underloft</b>												
Med lerindskud	20	55.3	6.9	65	43	12	3	5	60	15	25	-
Uden lerindskud eller med andet indskud	2	47.0	-	51	40	2	0	0	-	-	-	-

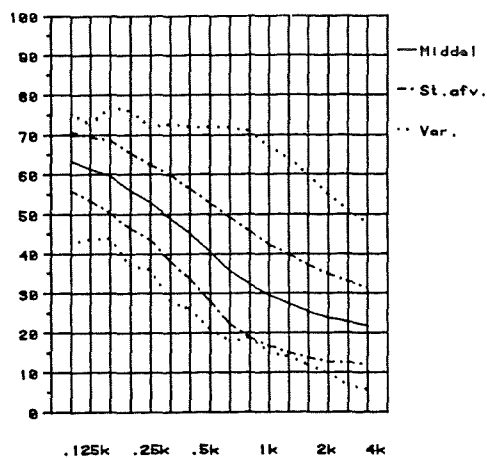
Skema 3. Resultater fra måling af trinlydniveau for samtlige etageadskillelser og delgrupper deraf. I venstre side er anført hovedgruppe og undergruppe og undergrupper af hovedgruppen. Når der i stedet for et tal er anført en streg, betyder det, at værdien ikke er udregnet eller er uinteressant. Frekvensforløbet er for nogle af grupperne vist i figurerne 13-18, se skemaets højre kolonne.



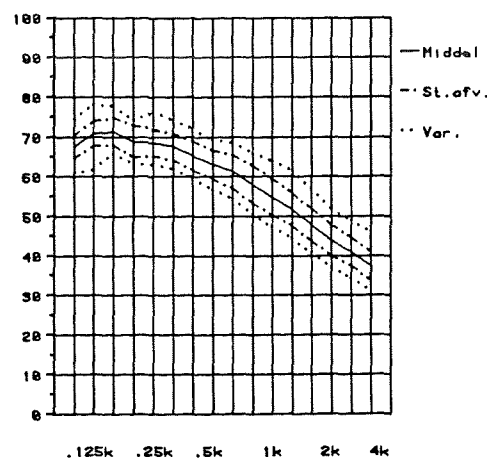
13) Alle etageadskillelser, 95 stk.



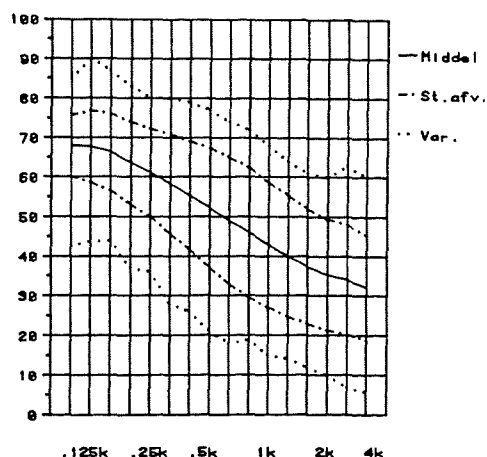
14) Alle uden ekstra gulv eller gulvbelægning, 68 stk.



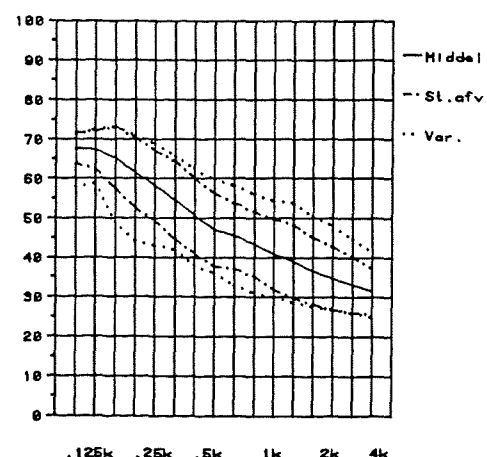
15) Alle med ekstra gulv eller gulvbelægning, 27 stk.



16) Alle ikke renoverede, 30 stk.



17) Alle renoverede, 65 stk.



18) Alle med loft opsat mellem synlige bjælker, 9 stk.

Figur 13-18. Middelværdien af trinlydniveauet  $L'_n$  plus/minus standardafvigelsen som funktion af frekvensen for etageadskillelser. Desuden er indtegnet øvre og nedre grænser for de respektive måleresultaters spredning. Vedrørende oplysning om  $L'_{n,w}$  henvises til skema 3.

### Supplerende målinger

Foruden krav til boligadskillelser og vægges lydisolering stilles i bygningsreglementet også krav til trinlydniveauet fra baderum og trapperum til boligers beboelsesrum, til lydisoleringen mellem trapperum og boliger, samt til efterklangstiden i trapperum.

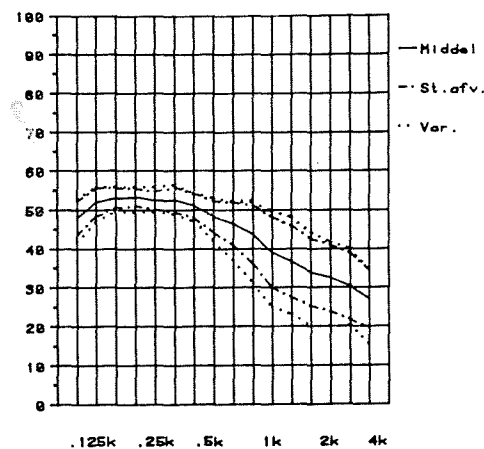
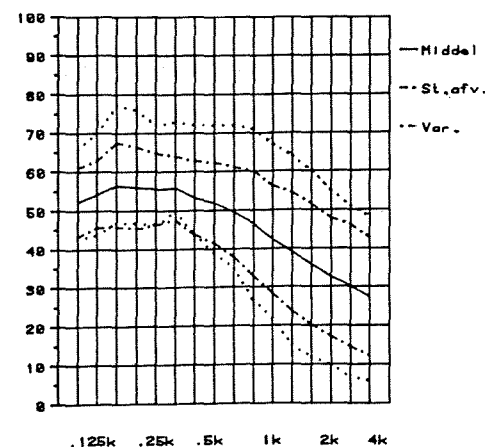
	Antal observationer	Middeltal i dB	Standardafvigelse i dB	Maksimumværdi i dB	Minimumværdi i dB	Antal observationer $L'_{n,w} < 58$ dB	Frekvensforløb afbildet i figur nr.
Trinlyd							
Badeværelse	6	48.2	6.3	55	40	6	19
Trappereposer	6	48.0	1.8	51	46	6	20

Skema 4. Resultater fra måling af trinlydniveau for baderum og trapper.

De få målinger som er udført af trinlydniveauet fra baderum til beboelsesrum viser, at trinlydniveauet for dem alle er mindre end 63 dB, som i BR-82 er øvre grænse for trinlydniveau fra baderum. Frekvensforløbet ses i figur 19. Trinlydniveauet fra trapper er også kun målt i få tilfælde, og trinlydniveauet fra trapper er alle mindre end den i BR-82 anførte øvre grænse på 58 dB. Frekvensforløbet ses i figur 20.

Der er kun målt to entredøre, og resultaterne for disse er begge 25 dB, dvs. væsentlig mindre end de 32 dB, som er den i bygningsreglementet anførte nedre grænse for lydisoleringen.

Endelig viser resultatet af målingerne af efterklangstiden i enkelte trapperum, at gennemsnitsværdien af efterklangstiden i frekvensområdet 500 Hz til 3150 Hz er mindre end den i bygningsreglementet anførte øvre grænse på 1,5 sekund.



Figur 19-20. Middelværdien af trinlydniveauet  $L'_{n}$  plus/minus standardafvigelsen som funktion af frekvensen for etageadskillelser i baderum og for trappereposer. Desuden er indtegnet øvre og nedre grænse for måleresultaternes spredning. Vedrørende oplysninger om  $L'_{n,w}$  henvises til skema 4.

- 19) Trinlydniveau i nærmeste beboelsesrum i forhold til etageadskillelse i baderum i en overliggende bolig, 6 stk.  
 20) Trinlydniveau i nærmeste beboelsesrum i forhold til trapperepos, 6 stk.

#### Undersøgelsens hovedresultater

Undersøgelsen i ældre ikke renoverede bygninger har vist, at lydisolationen mellem boligers beboelsesrum er fra 0 til 13 dB ringere, end der i bygningsreglementet BR-82 kræves mellem nye boliger. For en væsentlig del af de undersøgte bygningers vedkommende er lydisolationen dog kun fra 0 til 3 dB ringere. Trinlydniveauet fra trapperum er derimod i alle de målte tilfælde bedre end der kræves i nye bygninger.

Undersøgelsen i renoverede ældre bygninger har vist, at vægge meget ofte istandsættes på en måde, der samtidig forbedrer lydisolationen i forhold til den oprindelige vægs lydisolation. Forbedringen er i reglen tilstrækkelig til, at lydisolationen kan opfylde kravene i bygningsreglementet for nye vægge. I de tilfælde, hvor væggene blot udbedres giver de normalt den lydisolation, som kan forventes for en tilsvarende ny væg. For etageadskillelser er forholdene noget anderledes, idet en del af de renoverede etageadskillelser opnår en væsentlig forbedret lydisolation. I mange tilfælde kan lydisolationen opfylde de krav, der i bygningsreglementet stilles til sammenbyggede enfamiliehuse. Der er imidlertid også en del etageadskillel-

ser, hvor renoveringen set fra et lydteknisk synspunkt er mislykket. Lydisolationen er efter renoveringen blevet ringere, end den var før. Der er også konstateret en betydelig variation i resultaterne for nogenlunde ens konstruktioner. Dette rejser betydelig tvivl om værdien af laboratoriemålinger på træetageadskillelser, når resultater i praksis er så afhængige af udførelsen.

Når der benyttes almene lydtekniske principper for forbedring, og når udførelsen er lydteknisk korrekt, dvs. at op sætningen er i overensstemmelse med de lydtekniske forudsætninger og at alle forudsatte tætninger ved tilslutning til omgivende konstruktioner er udført, så svarer de opnåede resultater stort set også til de værdier, som anvises for sådanne konstruktioner.

---

 Forbedring af bygningsdeles lydisolations
 

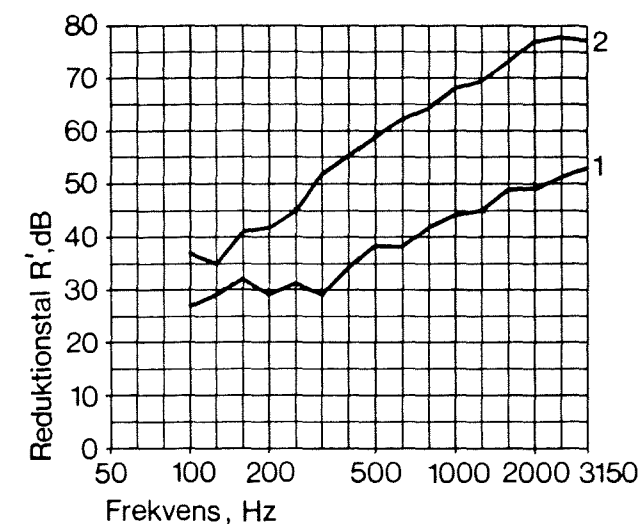
---

I praksis foretages forbedringsforanstaltninger ofte uden sikker viden om den eksisterende bygningsdels lydisolations. Det vil kun i få tilfælde kunne lade sig gøre at udføre relevante målinger både før og efter udførelsen af en forbedring. Forbedringerne, som omtales her, er derfor i hovedsagen vurderet i forhold til en gennemsnitsværdi for ikke forbedrede bygningsdele. Tætning af en utæt væg betragtes ikke som en forbedring, men alene som en nødvendig opretning før forbedring.

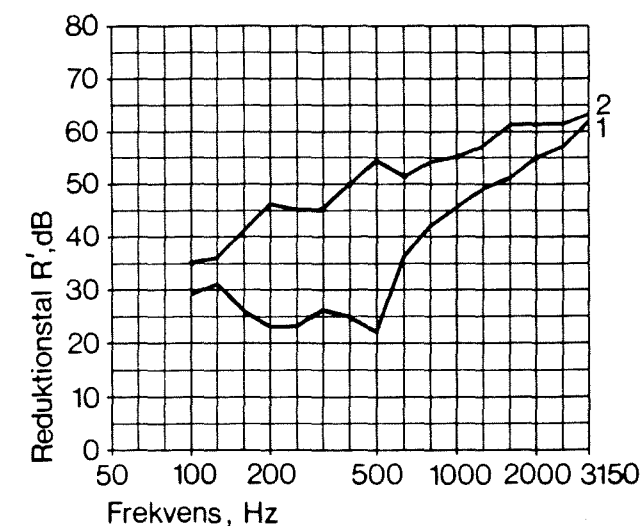
Forbedring af bygningsdeles lydisolations ved anvendelse af tunge materialer er i praksis kun muligt i meget få tilfælde. Der kan ved en fordobling af en bygningsdels masse kun opnås en isolationsforøgelse på ca. 5 dB. Dette er årsagen til at bogstavelig talt alle forbedringsforslag indeholder den samme løsning, nemlig opsætning af en let forsatskonstruktion foran og uafhængigt af den bygningsdel, som skal forbedres. Når stort set alle forslag til forsatskonstruktioner vises som gipsplader på stålskelet, skyldes det gode erfaringer med denne løsnings effektivitet. Dermed være ikke sagt, at andre pladetyper og skelettyper ikke kan give tilsvarende resultater.

#### Vægge

Murede vægge og især vægge med bindingsværk er i almindelighed i en så dårlig stand, at en overfladebehandling i alle tilfælde er nødvendig, og gipspladebeklædte forsatsvægge løser både dette og lydisolationsproblemet. Figur 21 viser lydisolations for en bindingsværksvæg med og uden forsatsvægge på begge sider.

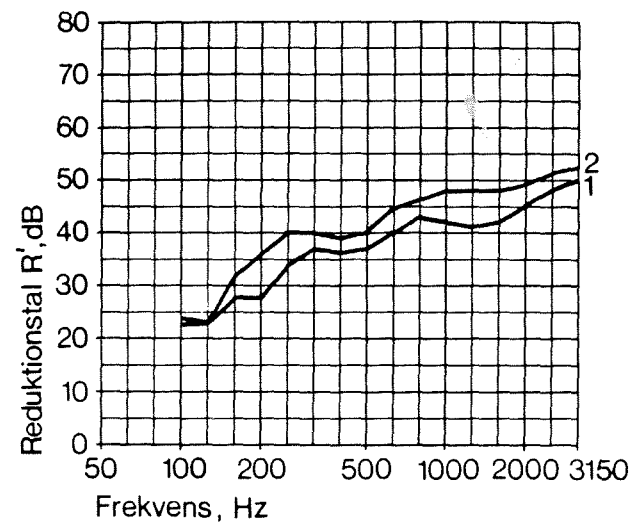


Figur 21. Lydisolationen  $R'$  som funktion af frekvensen for en  $4\frac{1}{2}$ " (ca. 120 mm) bindingsværksvæg uden og med forsatsvæg.  
 Kurve 1. Uden forsatsvæg,  $R'_w = 41$  dB  
 Kurve 2. Med forsatsvæg på begge sider. Forsatsvæggene er udført med to lag gipsplader på stålskelet.  $R'_w = 58$  dB.



Figur 22. Lydisolationen som funktion af frekvensen for en to lags bræddewæg med rørvæg og puds uden og med forsatsvæg.  
 Kurve 1. Uden forsatsvæg,  $R'_w = 34$  dB  
 Kurve 2. Med forsatsvæg bestående af to lag gipsplader på stålskelet opsat ved væggenes ene side,  $R'_w = 54$  dB.





Figur 23. Lydisolationen som funktion af frekvensen for en tre lags bræddewæg med rør væv og puds, uden og med forsatsvæg.  
 Kurve 1. Uden forsatsvæg,  $R'_w = 41$  dB  
 Kurve 2. Med forsatsbeklædning bestående af et lag gipsplader på ca. 20 mm lister fastgjort direkte på væggen. I hulrummet indlagt mineraluld.  $R'_w = 45$  dB.

Tilsvarende resultater kan opnås med  $\frac{1}{2}$ -stens og 6"-stens vægge. Med 1/1-stensvægge kan opnås endnu bedre resultater.

I figur 22 vises lydisolationen for en to lags bræddeskillevæg med rør væv samt puds henholdsvis med og uden en forsatsvæg. I figur 23 vises lydisolationen for en pudset 3 lags bræddeskillevæg og en tilsvarende væg med en forsatsbeklædning bestående af ca. 20 mm lister opsat direkte på væggen som underlag for et lag plader. Denne løsning er ikke meget billigere end en forsatsvæg, og den isolerer væsentlig ringere, ved lave frekvenser forringer den endda væggen lydisolation. Dette er generelt for beklædninger med ringe afstand mellem plader og eksisterende vægoverflader, som derfor ikke kan anbefales.

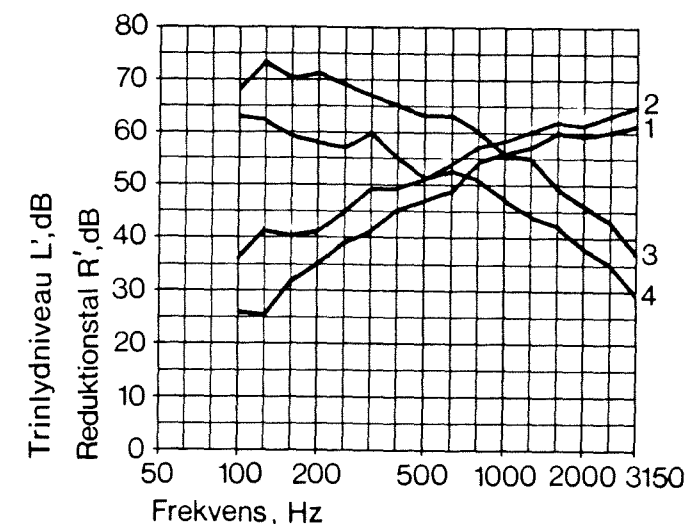
Døres lydisolation kan forbedres ved opsætning af tætningslister og udførelse af en brandsikring, som forøger dørpladens lydisolation, men den kan næppe forventes at stige til 32 dB. En lydisolering, som kan sikre dette, vil utvivlsomt blive så dyr, at en dørudskiftning er en mere økonomisk løsning. En lydisolering til omkring 30 dB vil utvivlsomt kræve udskiftning af beslag, blænding af brevindkast mv., hvortil kommer tætning omkring karm og måske udskiftning af understykke.

#### Etageadskillelser

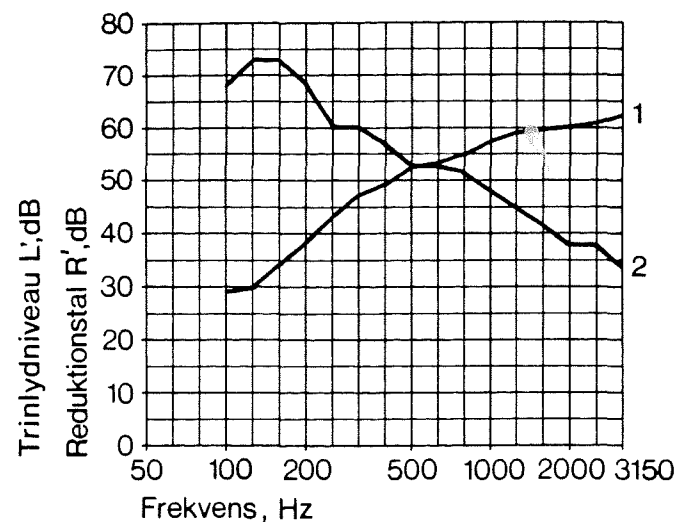
Etageadskillelser kan på samme måde som vægge forbedres med en forsats-

konstruktion. I figur 24 ses luftlydisolation og trinlydniveau for en etageadskillelse før og efter montering af et nedhængt loft. I figur 25 ses resultater for den samme etageadskillelse forsynet med en underbeklædning. Resultaterne viser, at beklædningen ikke giver en tilfredsstillende forbedring af lydisolationen. Prisforskellen mellem disse to typer af forbedringer udgøres alene af prisforskellen mellem materialerne, idet arbejdslønnen stort set er den samme for opsætning af de to konstruktioner (Kristensen, 1982).

Renovering af etageadskillelser kan føre til forringelser, se figur 26, hvor resultatet nærmest må betegnes som katastrofalt sammenlignet med etageadskillelsen i figur 24 før forbedring. Ved renoveringen er lerindskuddet fjernet og erstattet med mineraluld. Dette har foruden lydtekniske problemer også medført et forøget vibrationsproblem, idet færdset på gulvet fører til forholdsvis store lodrette bevægelser, hvilket af underboere opfattes som et uacceptabelt følgeproblem.



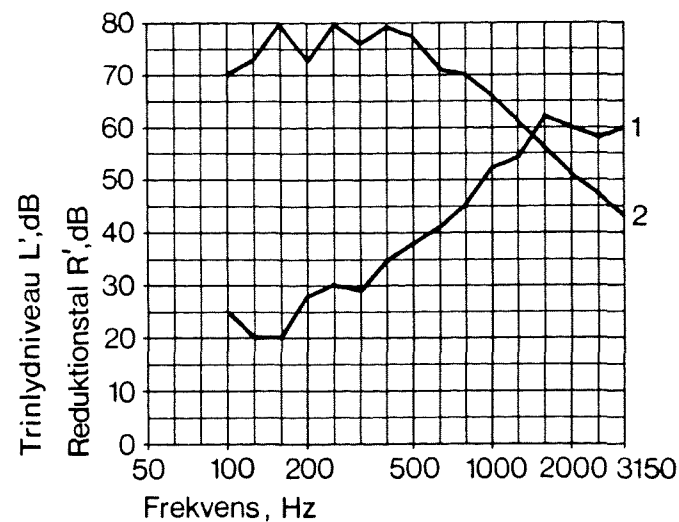
Figur 24. Luftlydisolationen, kurve 1 og 2, og trinlydniveauet, kurve 3 og 4, som funktion af frekvensen for en etageadskillelse uden og med underloft, der består af to lag gipsplader på nedhængt stålskelet udført af 45 mm bæreprøfil og 25 mm monteringsprofil med en samlet nedhængsdybde på 120 mm plus pladetykkelse 2 x 13 mm. I hulrummet indlagt 50 mm mineraluld af A-typen.  
 Kurve 1. Uden underloft  $R'_w = 48$  dB  
 Kurve 2: Med underloft  $R'_w = 55$  dB  
 Kurve 3: Uden underloft  $L'_{n,w} = 63$  dB  
 Kurve 4: Med underloft  $L'_{n,w} = 53$  dB



Figur 25. Lydisolationen som funktion af frekvensen for en etageadskillelse med underloftsbeklædning, der består af to lag gipsplader på 16 mm stålprofiler fastgjort direkte på loft. I hulrummet indlagt 15 mm mineraluld af typen pladebatts.

Kurve 1: Luftlydisolation,  $R'_w = 52$  dB

Kurve 2: Trinlydniveau,  $L'_{n,w} = 62$  dB



Figur 26. Lydisolationen som funktion af frekvensen for en renoveret etageadskillelse. Lerindskud og indskudsdæk er erstattet med 100 mm mineraluld (type til brandisolering) udlagt på ståltråd, gulvet er fornyet og det pudse loft erstattet af gipspladebeklædning på spredt forskalling.

Kurve 1: Luftlydisolation  $R'_w = 40$  dB

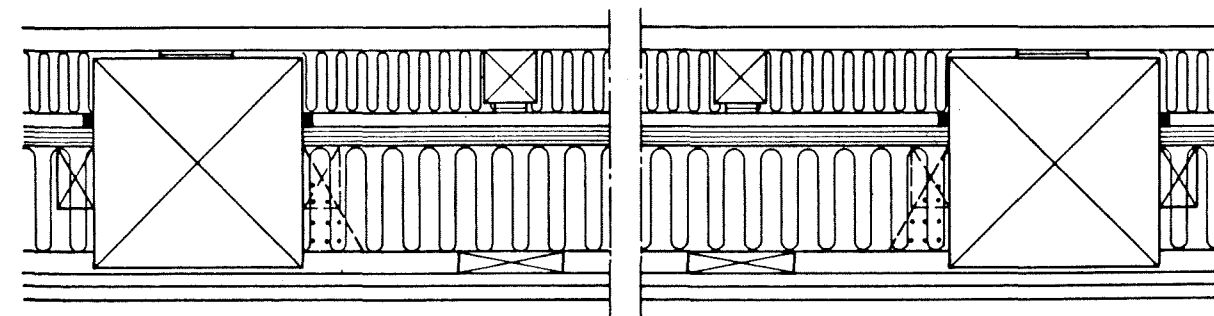
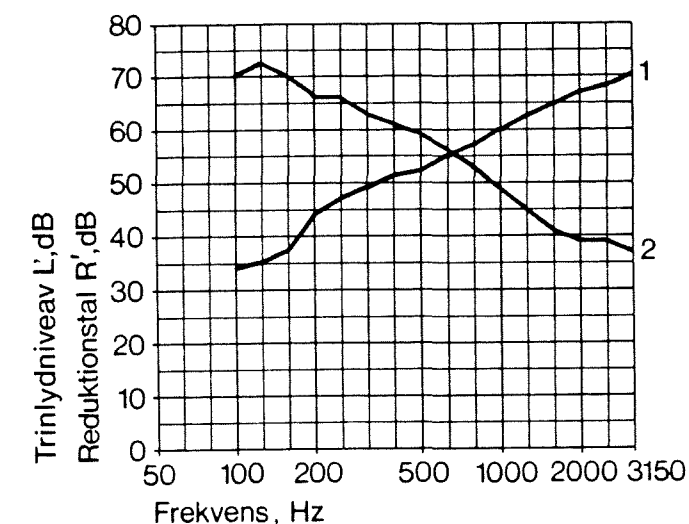
Kurve 2: Trinlydniveau  $L'_{n,w} = 73$  dB

En renovering med et positivt resultat vises i figur 27. I dette tilfælde er forbedringen sket uden væsentlig forøgelse af etageadskillelsens tykkelse. På skitsen af etageadskillelser er vist en forøgelse af tykkelsen med ca. 10 mm, men i praksis var den noget mere på grund af nødvendig afretning. Både gulv og loft er i princippet uafhængigt af bjælkerne.

I figur 28 vises resultatet af en anden renovering, hvor etageadskillelsens tykkelse kun er forøget ubetydeligt, og hvor underloftet består af en selvstændig konstruktion.

Renovering ved i ombygning af ældre erhvervsbygninger til boligformål sker ofte således, at en del bjælker bevares som synlige lofts bjælker.

Figur 29 viser resultatet fra en sådan ombygning, hvor gulvet var udført

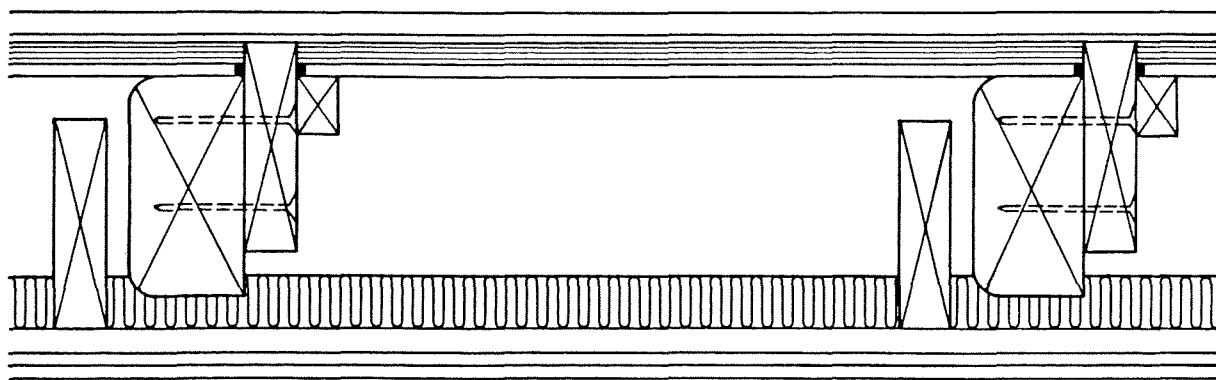
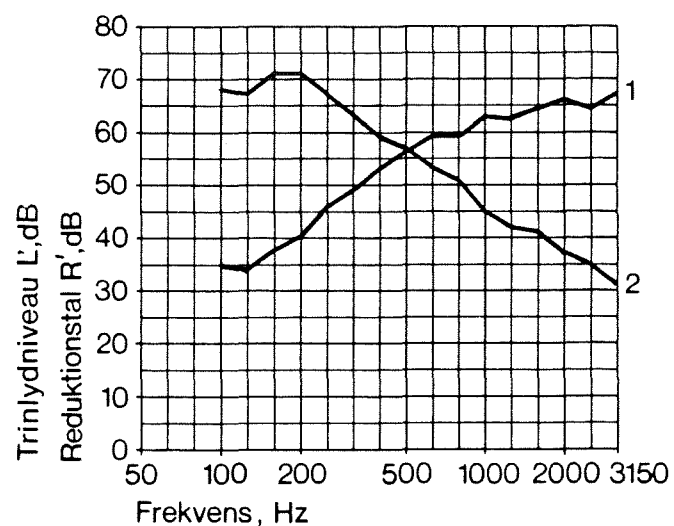


Figur 27. Lydisolationen som funktion af frekvensen for en renoveret etageadskillelse, hvor gulv, loft og indskud er fjernet. Renoveringen udført som vist med gulvbrædder på lægter på lydisolerende brikker, 13 mm gipsplade fuget langs bjælker, 19 mm krydsfiner oplagt på trempler og lægter, 2 x 13 mm gipsplader på forskalling parallelt med gulvbjælker og fastgjort til tremplernes underside. I hulrum under gulv 50 mm mineraluld og mellem trempler 100 mm mineraluld (type til brandisolering) fastholdt på tråd.

Kurve 1: Luftlydisolation  $R'_w = 55$  dB

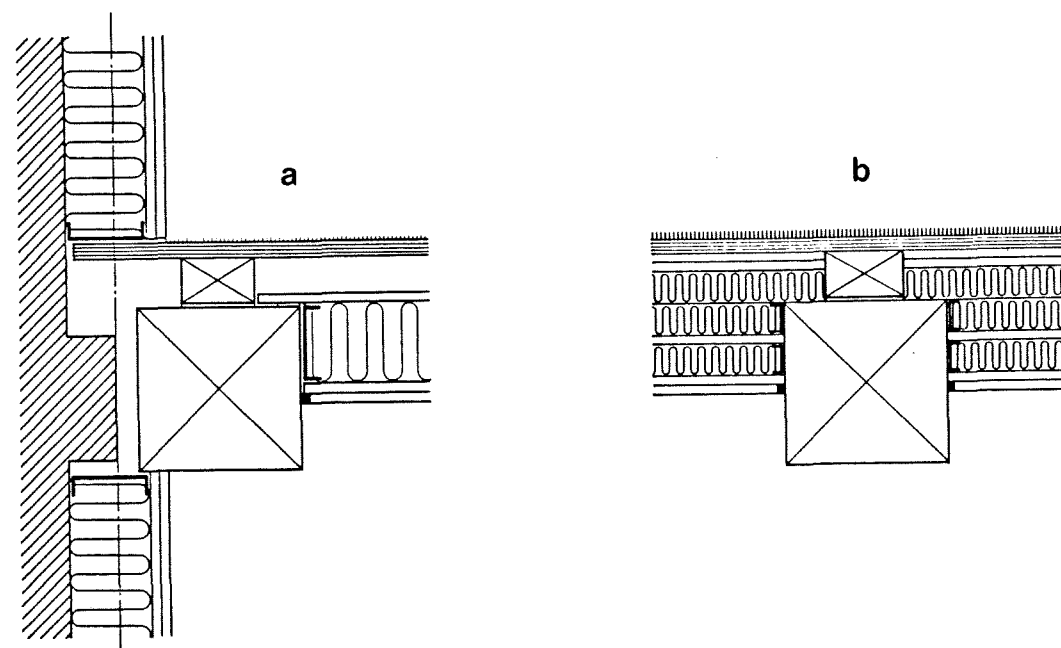
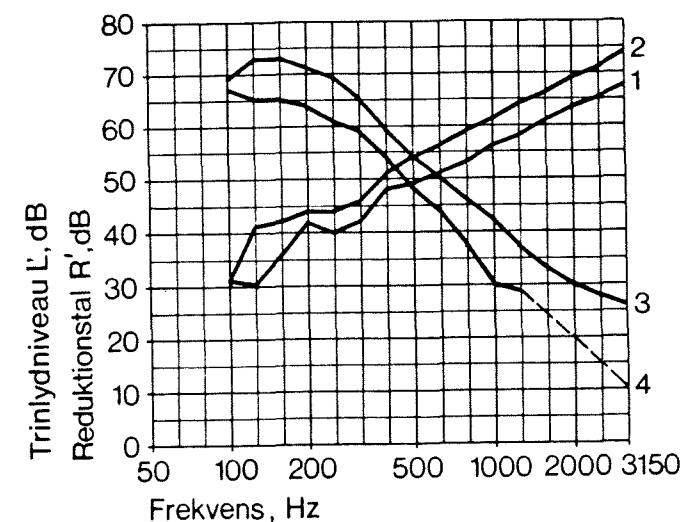
Kurve 2: Trinlydniveau  $L'_{n,w} = 61$  dB

med plader og tæppebelægning i stedet for brædder. Da en forbedring blev anset for påkrævet, og en sådan ikke kunne ske fra gulvsiden, blev etageadskillelsen forbedret fra undersiden ved påskæning af gipsplader på gulvets underside. Resultatet af den opnåede forbedring er også vist i figur 29.



Figur 28. Lydisolationen som funktion af frekvensen for en renoveret etageadskillelse, hvor gulv, loft og indskud er fjernet. Renoveringen er udført som vist med 22 mm gulvbrædder, 16 mm krydsfiner, 13 mm gips fuget langs tilslutning til bjælker, 50 mm mineraluld af A-typen, spredt forskalling og 2 lag 13 mm gipsplader.

Kurve 1. Luftlydisolation  $R'_w = 54$  dB  
Kurve 2. Trinlydniveau  $L'_{n,w} = 62$  dB



Figur 29. Luftlydisolationen, kurve 1 og 2, og trinlydniveauet, kurve 3 og 4, for en ombygget etageadskillelse og et forslag til forbedring af denne.  
Kurve 1. Eksisterende ombygning,  $R'_w = 52$  dB  
Kurve 2. Forbedring af ombygning,  $R'_w = 56$  dB  
Kurve 3. Eksisterende ombygning  $L'_{n,w} = 64$  dB  
Kurve 4. Forbedring af ombygning  $L'_{n,w} = 57$  dB

Skitse a. Ombygget etageadskillelse med tæppebelægning på 22 mm krydsfiner oplagt på planker på bjælkelag. Mellem plankerne er på bjælkelaget udlagt et lag gipsplader. Stålfiler er fastgjort til bjælkesiderne langs oversiden af bjælker og to lag gipsplader er fastgjort til undersiden af stålfilerne. I hulrummet mellem gipspladerne er udlagt 100 mm mineraluld.

Skitse b. Den forbedrede ombygning to lag gipsplader skruet fast til krydsfineren. Hulrummet mellem gulv og gipsplade ved underside af stålfiler er udfyldt med 90 mm mineraluld af A-typen. Endnu et stålfiler er opsat under gipspladen og to lag gipsplader fastgjort til undersiden heraf. I hulrummet mellem gipspladerne er udlagt 45 mm mineraluld af A-typen. Der er fuget mellem det første lag gipsplader og bjælker.

Undersøgelser af træetageadskillelsers lydisolations blev i Tyskland og England påbegyndt ret få år efter 2.verdenskrigs afslutning. Undersøgelserne omfattede målinger af forskellige typer af konstruktioner i nye og i eksisterende bygninger, og i Vesttyskland desuden målinger af nye konstruktioner under laboratorieforhold.

Både i Vesttyskland og England blev ret tidligt indført mere eller mindre bindende grænser for minimumslydisolationen mellem boliger.

I Danmark er kun foretaget enkelte målinger i bygninger med træetageadskillelser, (Ingerslev 1952, 54 og 57), hvilket skal ses i sammenhæng med at anvendelse af træetageadskillelser i fleretages beboelsesbygninger var i hastig tilbagegang. I Norge, hvor beboelsesbygninger i vid udstrækning blev udført med bærende konstruktion i træ, er foretaget en del målinger af træetagers lydisolations (Berg 1956).

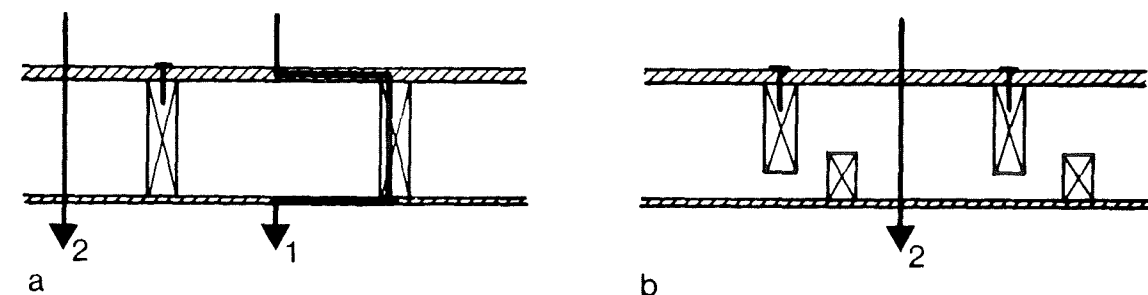
I den traditionelle danske udførelse af træetageadskillelser indgår bjælkelag udført med heltømmer. I England og Tyskland er efter 2.verdenskrig udviklet etageadskillelser, hvori der benyttes træ i mindre dimensioner. Typisk er i stedet for tømmer benyttet planker med bredde 50-75 mm og højde 200 - 225 mm og med en noget mindre bjælkeafstand, end der er anvendt mellem bjælker i traditionelle danske træetageadskillelser.

Efter 1945 blev laboratorieundersøgelser i specielle rum opført inde i en bygning almindelige. Målerummene kan enten være udført således, at der i princippet kun transmitteres lyd fra et rum til et andet gennem den adskilende bygningsdel, eller således at der foruden lydtransmission gennem den rumadskillende bygningsdel også transmitteres lyd gennem en flankerende bygningsdel. I Vesttyskland blev opbygningen af prøvestande til måling af bygningsdeles eller -komponenters lydisolations standardiseret (DIN 52210) allerede omkring 1950.

Undersøgelserne kan også udføres i et prøvehus, hvori bygningsdele indbygges under normale betingelser. Sidstnævnte metode er benyttet i England som supplement til målinger i bygninger.

#### Træetageadskillelser som lydisolerende bygningsdele

Træetageadskillelser kan i princippet opfattes som et bjælkeskelet med et overdæk og et underdæk, figur 30, samt eventuelt med et mellemliggende indskudsdæk. Lydtransmissionen sker såvel via gulv - bjælker - loft som via gulv - hulrum - (eventuelt med indskudsdæk) - loft.



Figur 30. Lydtransmissionen gennem en træetageadskillelse sker primært via gulv-bjælke-underbeklædning, som vist ved transmissionsvej 1 i skitse a. Transmissionen via gulv-hulrum-underbeklædning, transmissionsvej 2, kan være større end via transmissionsvej 1, når gulv eller underbeklædning ikke er tilstrækkelig tætte. Opsættes underbeklædningen på et selvstændigt bjælkelag, skitse b, findes kun transmissionsvej 2, og transmissionen ad denne er væsentlig mindre end summen af transmissionerne ad vejene 1 og 2 i skitse a.

Et bjælkelag med ensidig beklædning har mindre lydisolations end med den halve beklædningstykkelse på hver side. Det vil sige, at trods den ringe afstand mellem bjælkerne i bjælkelaget, som medfører en relativ stor stivhed for gulv og loft, udviser konstruktionen alligevel en dobbeltkonstruktionsvirkning. Lydtransmission gennem utætheder kan nedsætte en etageadskillelses lydisolations. Det er derfor både for luftlyd og trinlyd nødvendigt at tætnes langs tilslutningerne til omgivende vægge. For etageadskillelser spiller belastningen en rolle, idet trinlydniveauet efter nogen tids forløb stiger to til tre decibel. Det er generelt vanskeligere at opnå et tilfredsstillende lavt trinlydniveau end en tilfredsstillende luftlydisolation.

En eventuelt forbedring af lydisolations for etageadskillelsen i figur 30 kan ske ved at frigøre gulv og/eller loft fra bjælkelaget, men der er også andre muligheder. Disse omtales, for at belyse lydisolations afhæn-



gighed af etageadskillelsens forskellige parametre, i det følgende hver for sig.

#### Bjælkeafstande og dimensioner

Bjælke dimensionen har ingen væsentlig indvirkning på resultaterne. En undersøgelse omtalt i (Reiher, 1960) viste, at forskellen mellem resultaterne for ens træetageadskillelser med bjælke dimensioner på 140 x 240 mm henholdsvis 240 x 300 mm stort set højst var 1 dB. Bjælkeafstanden bør være så stor som mulig og mindst 0,6 m. Når forskallingen er fastgjort i bærelægter, der er fastgjort til bjælkelaget med elastiske ophæng, er bjælkeafstanden uden væsentlig betydning.

#### Hulrum mellem bjælker

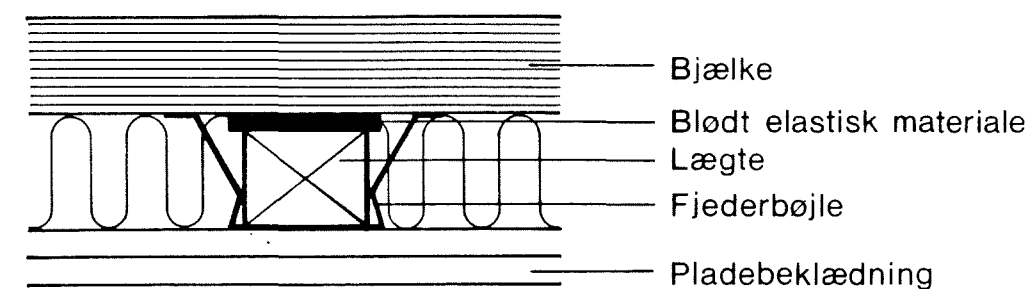
Hulrum uden lydabsorberende materiale forringer lyd isolationen. Ved at indlægge lydabsorberende materiale, mineraluld, sand el.lign., i hulrummet dæmpes stående lydbølger, hvorved risikoen for at disse kan bidrage til en forøget lydtransmission gennem hulrummet reduceres. Ved indlæg af mineraluld opnås den største effekt med de første 50 mm og med relativt tætte uldtyper. Der kan opnås både en vis hulrumsdæmpning og samtidig en reduceret lydudstråling fra loftet med sandlag direkte udlagt på lofts forskallingen. Lerlag på forskallingen kan derimod virke forringende, idet leret dels ikke er særligt lydabsorberende, dels forøger stivheden af loftet og dermed lydudstrålingen derfra. En hel eller delvis udfyldning af hulrummet med mineraluld medfører kun en ringe forbedring af lyd isolationen. Ved normale indskudsdæk med mineraluld, sand eller slagge er isolationen nogle få dB bedre. Tungere og mere sammenhængende indskud som stampet ler kan forøge lyd isolationen noget mere, sandsynligvis indtil 5 dB. Det skyldes, at lerlaget foruden at virke som en masse med større tæthed end sand og slagge også skaber kobling mellem bjælkerne og derved får en dæmpende virkning på bjælkernes udsvingsamplituder.

Den praktiske værdi af et lydteknisk godt indskud vokser i princippet med bjælkeafstanden, men får først væsentlig betydning, når loftskonstruktionen frigøres fra bjælkelaget. I sådanne tilfælde er det en fordel både med et lyd isolerende og lydabsorberende indskud.

#### Fastgørelse af forskalling til dækundersider

Koblingen mellem bjælkekonstruktionen og loftskonstruktionen er bestemmende for lydtransmissionen gennem bjælkerne til loftkonstruktionen. Lydtransmissionen gennem den faste forbindelse, figur 30, skitse a, er ofte mere end 20 dB større end transmissionen via den adskilte forbindelse, skitse b. Forsøg (Gösele, 1975) har vist, at i forhold til en limet forbindelse er en sømforbindelse 10-14 dB bedre, en forbindelse via en ophængt, sekundær bærelægte ca. 20 dB bedre og en adskilt loftkonstruktion 25-30 dB bedre. I Tyskland ophænges loftkonstruktioner ofte med fjederbøjler, se figur 31. Denne ophængsmetode benyttes også i Norge, og den er afprøvet ved forsøg i Danmark (Kristensen, 1982).

Normalt anses puds på rørvæv på forskalling at give bedre luftlydisolation end to lag gipskartonplader på forskalling, men det bør erindres, at de fleste offentliggjorte resultater, som viser dette, er fra målinger på etageadskillelser med gipspuds. Kalkpuds giver sandsynligvis noget ringere værdier. Forudsætningen for at loftet yder den maksimale lyd isolation er, at det slutter lufttæt til de omgivende vægge.



Figur 31. Fastgørelse af underbeklædning til bjælkelag ved hjælp af specielle bøjler (federbügler) som bevirker en delvis elastisk ophængning. Lægter opsættes pr. 0,6 m med bøjler som fastgøres i bjælkerne. Pladebeklædning eller pudsbærer fastgøres i lægtesystemet. Det er nødvendigt at opsætte lægter langs alle vægge for at opnå en tilfredsstillende tæthed. Sidstnævnte lægter fastgøres uden bøjler.

#### Fastgørelse af gulv til bjælkelag

Gulves lyd isolation kan lige som lofters forøges ved at gøre koblingen til bjælkelaget svagere, dvs. gøre forbindelsen mindre stiv. Det kan ske ved at der indskydes lyddæmpende lag mellem gulv og bjælker, hvorved gulvet gøres

svømmende. Etageadskillelsernes lydisolations kan også forøges ved at forsyne gulvet med en lydæmpende belægning, hvorved trinlydniveauet forbedres, eller ved at lægge et nyt svømmende gulv ovenpå det eksisterende gulv, hvorved både luftlydisolation og trinlydniveau forbedres.

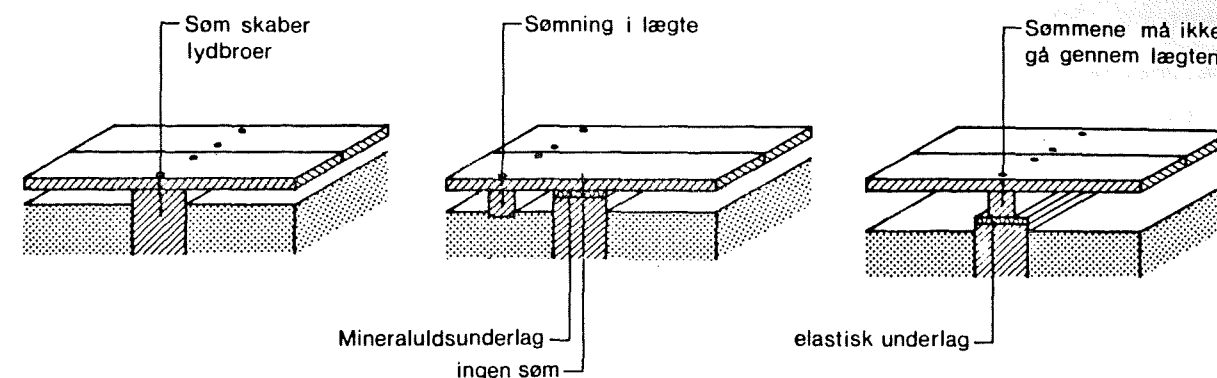
Gulve er normalt udført med brædder, men kan også være udført med planker og i nyere tid desuden med spånplader. Trinlydniveauet er normalt ret højt under træetageadskillelser. For et bjælkelag med forskalling og puds, men uden gulv, er trinlydniveauet ca. 80 dB. For samme etageadskillelse med indskud og gulv er trinlydniveauet 75 dB, når der bankes på gulvet over bjælkerne, og 69 dB, når der bankes på gulvet over bjælkelagets mellemrum (Reiher, 1960).

Gipspladelag under gulve udført med brædder eller spånplader forbedrer lydisolationsen. Der findes eksempler på, at forbedringen af trinlydniveauet kan blive ca. 10 dB. Forbedringen sker især ved lave frekvenser. Med tynde belægninger oven på gulve sker forbedringen af trinlydniveauet især ved høje frekvenser. Bedre lydisolations i et bredt frekvensområde kan opnås med gulve udlagt på dæmpende underlag med ringe stivhed og med en tykkelse på mindst 20 mm. Sømning af gulve bør ikke ske gennem dæmningslag, figur 32.

Tæppebelægning og andre tynde belægninger med stor trinlyddæmpning udlagt på et gulv forbedrer trinlydniveauet væsentligt ved høje frekvenser, herved høres imidlertid resonanser ved lave frekvenser tydeligere, og jo ringere dæmpningen i hulrummet er, desto mere fremhæves en hul, rumlende eller drønende lyd.

Tæppebelægning og andre tynde belægninger med stor trinlyddæmpning udlagt på et gulv forbedrer trinlydniveauet væsentligt ved høje frekvenser, herved høres imidlertid resonanser ved lave frekvenser tydeligere, og jo ringere dæmpningen i hulrummet er, desto mere fremhæves en hul, rumlende eller drønende lyd.

Udlægges et tyndt lag bly, ca. 60 kg/m<sup>2</sup>, på bræddegulv under en hård træfiberplade opnås kun en forbedring af trinlydniveauet på 4-5 dB (Utley, 1977). Svømmende gulve på eksisterende træetageadskillelser kræver mere eftergivende underlag end svømmende gulve på støbte dæk for at give samme reduktion af trinlydniveauet. Tykkelsen af underlaget bør være mindst 30 mm og stivheden højst 20 MPa/m. Svømmende gulve forbedrer både luftlydisolationen og trinlydniveau, og forbedringen vil hyppigt være 5-10 dB.



Figur 32. Søm i gulvbrædder og bjælkelag, skitse a, etablerer en god transmissionsvej for lyden og dermed en relativ dårlig lydisolations både med hensyn til luft- og trinlyd. Det er lydteknisk set mere fordelagtigt at indlægge et elastisk materiale mellem bræddelaget og gulvbjælker, hvilket kan udføres som vist i skitse b eller c.

#### Etageadskillelser med synlige bjælkeundersider

Dæk med synlige bjælker findes i reglen i ældre, erhvervsmæssigt udnyttede huse, f.eks. pakhuse. Heri er gulvene i reglen udført med planker, dvs. tykkelser på 50 mm eller mere. Ved ombygning til boligformål er en tæt underbeklædning altid nødvendig. En yderligere forbedring af dækkets lydisolations kan ske med 25-40 mm beton, f.eks. fliser, hvorpå der lægges et svømmende gulv. Forbedringen ved brug af fliser er større end med en sammenhængende svømmende betonplade.

#### Begrænsninger for lydisolationsen


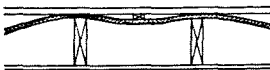


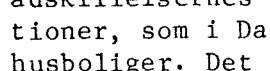
Etageadskillelsers lydisolations begrænses normalt af de omgivende vægges flanketransmission. I traditionelle huse med 1/1-sten vægge er grænsen for den opnåelige lydisolations omkring 57 dB for luftlydisolation og 53 dB for trinlydniveau. Ved at forsyne de omgivende vægge med forsatsvægge kan lydisolationsen forøges betydeligt.

#### Udenlandske målinger af træetageadskillelsers lydisolations


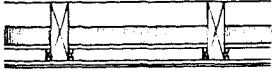
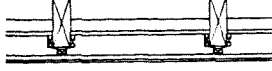

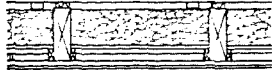

Målinger af træetageadskillelsers lydisolations er udført i adskillige europæiske lande. Her omtales især resultater fra målinger udført i England og Vesttyskland.

Etageadskillelserne i efterkrigstidens bygninger i disse lande afviger konstruktivt fra traditionelle danske ved at de bærende bjælkelag er udført med bjælker med mindre bredde. De engelske konstruktioner, hvor der er an-

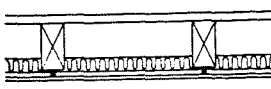
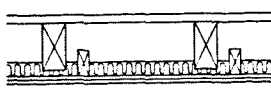
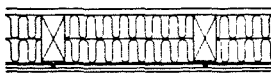

vendt ca. 50 mm planker til bjælkelag, minder meget om dem, som her i landet hyppigt benyttes mellem to beboelseslag i enfamiliehuse og rækkehuse. I de tyske konstruktioner benyttes i reglen noget større bjælke dimensioner end i de engelske, men samtidig også generelt en noget større bjælkeafstand. En sammenstilling af resultater fra en engelsk undersøgelse omtalt i (Parkin, 1960) er vist i skema 5. Lydisolationen er generelt en del ringere

Etageadskillelse	Type	Loft	Luftlydisolation $R', \text{dB}$	Trinlydniveau $L'_{n,w} \text{dB}$
a: Med trægulv		Gipspladebeklædning		
	a		37	78
	b		41	68
	c		47	61
	d		38	73
b: Med svømmende trægulv på mineraluld		Gipsbeklædning + 50 mm mineraluld		
	a		39	78
	b		48	63
c: Svømmende trægulv på mineraluld og med indskudsdæk med 25 mm sand		Puds på metalvæv		
	a		42	74
	b		46	65
	c		49	59
		Puds på metalvæv + 50 mm sand		
	a		47	67
	b		51	54
d: Med trægulv på mineraluld under gulv		Puds på træunderlag		
	a		49	63
	b		52	52

Skema 5. Resultater fra engelske målinger på etageadskillelser i en række beboelsesbygninger udført i årene 1948 til 1956. Både med hensyn til etageadskillelsernes opbygning og deres lydisolation har de lighed med konstruktioner, som i Danmark benyttes til adskillelse mellem interne rum i rækkehusboliger. Det er karakteristisk for undersøgelsesresultaterne, at flanketransmissionen gennem forholdsvis tynde indervægge i væsentlig grad influerer på den opnåelige lydisolation. De fleste af de anførte resultater er middelværdien af mellem to og fire enkeltmålinger.

Etageadskillelse	Loftstype + evt. indskuds- materiale	Masse $\text{kg/m}^2$	Lab-målinger $R_w$	Lab-målinger $L_{n,w}$ dB	Feltmålinger $R'_w$	Feltmålinger $L'_{n,w}$ dB
Traditionel etageadskillelse med heltømmer og lerindskud, svarende til dansk tradition	Forskalling med puds	-	-	-	48	-
a: Med brædegulv og uden indskudsdæk	Uden beklædning	-	29	89	-	-
	Forskalling med gipspuds + pap og 150 mm slagger	190	41	72	-	-
	35 mm træbeton med puds	-	42	-	-	-
b: Med brædegulv og indskudsdæk	120 mm slaggeindskud					
	Forskalling med puds	180	47	69	45	67
	50 mm sandindskud					
	Forskalling med puds	160	48	64	-	-
	80 mm lerindskud					
	Forskalling med puds	210	-	-	45	67
	50 mm sandindskud					
	Gipsbeklædning på forskalling	140	46	69	-	-
c: Med brædegulv, indskudsdæk og forskalling fastgjort med fjederbøjler	50 mm sandindskud					
	Puds	160	57	53	53	55
	30 mm mineraluldsindskud					
	Puds	80	56	56	-	-
	50 mm sandindskud					
	Gipsbeklædning	140	54	57	-	-
d: Med brædegulv på indskud på blødgulv eller højtsiddende indskudsdæk	50 mm sandindskud	-	56	61	-	-
	Forskalling med puds					
	50 mm sand på 20 mm mineraluldsindskud					
	Forskalling med puds	-	56	55	-	-
	50 mm sandindskud					
	Puds på forskalling fastgjort med fjederbøjler	-	60	45	-	-
e: Brædegulv på stråer på 150 mm slagger på indskudsdæk	Forskalling med puds + 30 mm ler	220	56	57	-	-
						
f: Flisebelægning på 150 mm beton på indskudsdæk	Forskalling med puds	-	53	76	-	-
						

Skema 6. Resultater fra tyske målinger af etageadskillelser luftlydisolation  $R_w$  og trinlydniveau,  $L_{n,w}$  i årene fra ca. 1950 til ca. 1960. Etageadskillelsernes opbygning har bortset fra anvendelse af planker eller halvtømmer i stedet for heltømmer til bjælkelag en betydelig lighed med konstruktioner, der i Danmark er benyttet til adskillelse mellem boliger i ældre bygninger.

Etageadskillelse	Lab.-målinger			Skønnet værdier i praksis	
	Masse kg/m <sup>2</sup>	R <sub>w</sub> dB	L <sub>n,w</sub> dB	R' <sub>w</sub> dB	L' <sub>n,w</sub> dB
 Trægulv (38 mm) Mineraluld (60 mm) Gipsbeklædning på træunderlag fastgjort med fjederbøjle	75	53	65	50	60
 Trægulv (38 mm) Mineraluld (60 mm) Gipsbeklædning (2 lag) på uafhængigt underlofts- bjælkelag	90	60	60	55	55
 Trægulv (25 mm) Mineraluld (200 mm) og sand (20 mm) på loftsbe- klædning Gipspladebeklædning på træunderlag fastgjort med fjederbøjle	110	57	60	55	55
 Dækparket (10 mm) på trægulv (25 mm) på mineraluld (25 mm) på beton (40 mm) på træplader (38 mm) Mineraluld (60 mm) Gipspladebeklædning mellem bjælker	165	63	50	55	-

Skema 7. Resultater fra tyske målinger udført i laboratorium (Gösele, 1975). Resultaterne kan betragtes som de øvre grænser for lydisolationen i praksis, når flanketransmissionen er forsvindende, hvilket kan være tilfældet i bygninger udført med lette materialer. De skønnede værdier for lydisolationen i praksis (med apostrof), når der anvendes massive vægge, svarer rimeligt til denne undersøgelses resultater. De skønnede værdier for trinlydniveauet L'<sub>n,w</sub> forudsætter, at de viste konstruktioner er forsynet med belægning svarende til tæpper eller anden tynd belægning med underside af filt, kork, plastskum el.lign.

end mellem danske etageboliger, og erfaringerne fra de viste forsøg vil have større interesse for tæt-lav bebyggelse end for etagebyggeri. Nyere resultater fra et forsøgshus (Utley, 1978) antyder dog, at det er muligt at opnå en luftlydisolation nær ved 50 dB og trinlydniveau på omkring 65 dB uden at der anvendes helt urimelige konstruktioner.

Der findes en del tyske resultater hovedsagelig baseret på laboratoriemålinger (Gösele 1952, 1962 og Reiher 1960), som er sammenstillet i skema 6 og fra (Gösele, 1975) i skema 7. I skema 6 er dog også anført en række resultater fra feltmålinger og i skema 7 et skøn over forventede værdier i praksis. De bør dog anvendes med forsigtighed, da forskelle i byggeskik og udførelse kan gøre det foretagne skøn mere usikkert.

For flere af de viste etageadskillelser vil lydisolationen utvivlsomt være tilfredsstillende efter danske forhold. De fleste eksempler vedrører nye konstruktioner og ikke forbedringer af eksisterende etageadskillelser.

For et trægulv som i skitse b, indskudsmateriale type 2 i skema 6 er resultater fra målinger udført med en standardiseret bankemaskine, trinlydniveauet 64 dB, medens resultater fra målinger af støj fra en gående person iført sko med lædersåler (trinstøjniveau) 47 dB, dvs. trinstøjniveauet er 17 dB lavere end trinlydniveauet, begge er vurderet ved L<sub>n,w</sub>. For et gulv svarende til skitse d, indskudsmateriale, type 2, er de tilsvarende værdier 55 dB og 42 dB, der giver en forskel mellem trinstøjniveauet og trinlydniveauet på kun 13 dB (Reiher, 1960). Forskellen mellem gulvene er således

	R' <sub>w</sub> dB	L' <sub>n,w</sub> dB
Etageadskillelser:		
Traditionel træetageadskillelse med lerindskud	44	68
Etageadskillelse med jernbjælkelag med flangetræ og lerindskud	47	64
Vægge:		
1/1-sten pudset	53	
3/4-sten pudset	50	
Bræddeskillerum, 3 lags pudset	40	

Skema 8. Resultater fra danske målinger i beboelsesbygninger udført fra ca. 1950 til ca. 1955. Måleresultaterne ligger inden for variationsområdet af denne undersøgelses resultater.



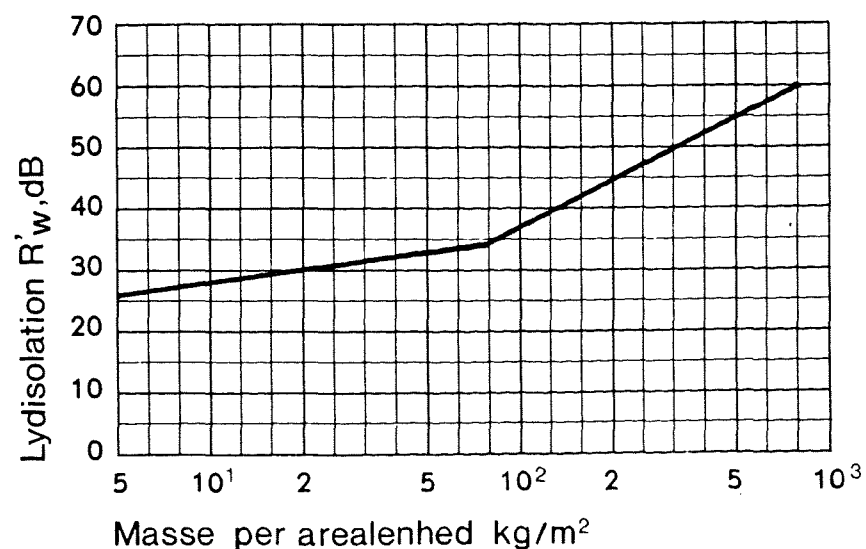
9 dB for trinlydniveauet men kun 5 dB for trinstøjniveauet. Dette viser, at den standardiserede støjkilde (bankemaskinen) og en virkelig støjkilde (fodtrin) ikke vurderes ens.

#### Danske målinger af lydisolation før 1960

I (Ingerslev 1952, 1954 og 1957) er anført en del måleresultater fra laboratorium og enkelte fra praksis. I laboratorium er navnlig undersøgt trinlydniveau under etageadskillelser, men kun i få tilfælde under træetageadskillelser. Desværre er målingerne udført før bankemaskinen blev standardiseret, og målingerne er overvejende udført med en bankemaskine forsynet med slagflader af træ. Resultaterne er derfor alt i alt temmelig usikre. Enkelte resultater fra praksis er vist i skema 8. De viste resultater er fra målinger udført med metalhamre, hvis resultater er 2-3 dB større end med træhamre.

#### Ældre undersøgelser af vægges lydisolation

Der er udført adskillige undersøgelser af vægges lydisolation, men de er overvejende udført i laboratorium, og væggenes konstruktion afviger i almindelighed en del fra den, som er benyttet i det traditionelle byggeri. Af denne grund og fordi lydisolationen for enkeltvægge med rimelig nøjagtighed kan bestemmes af diagrammet i figur 33 ud fra deres masse, er vægges lydisolation ikke omtalt her. Enkelte danske måleresultater fra praksis, er vist i skema 8.



Figur 33. Lydisolationen som funktion af massen pr. arealenhed for massive konstruktioner. Diagrammet gælder normalt også rimeligt for konstruktioner med hulrum.

#### Konklusion

Undersøgelsen har vist, at en række detaljer, der har betydning for etageadskillelsers lydisolation, ikke er udført tilfredsstillende ved renovering. For en del af de målte renoverede etageadskillelser var projekteringen mangelfuld, idet der intet var gjort for at forbedre lydisolationen. I flere tilfælde har der endog været tale om en direkte forringelse i forhold til udgangspunktet.

Lydisolationen mellem boliger i ældre ikke renoverede bygninger er generelt ringere end der kræves mellem nye bygninger.

Mellem boliger i renoverede bygninger kan med kendte principper og udførelsesmetoder opnås samme eller bedre lydisolation end der kræves mellem nye boliger. Alligevel er lydisolationen for cirka 25% af de målte renoverede etageadskillelser mere end 2 dB ringere, end der kræves for nye etageadskillelser.

De væsentligste konklusioner af undersøgelsen er derfor:

- der bør udarbejdes klare krav til lydforhold ved renovering af ældre bygninger,
- afvigelseskriterier for måleresultater ved vurdering af lydforhold bør fastsættes.

---

 Summary
 

---

SBI Report 188: Sound insulation between dwellings.
An investigation in buildings with wood joist floors.

This report describes an investigation of sound insulation between dwellings in buildings erected before 1925. Measurements were taken in a number of buildings before and after renovation. Altogether 256 measurements of sound insulation and impact noise were carried out.

The first section deals with building methods, materials and regulations applied between approximately 1800 and 1950.

The second section deals with the results of this investigation, partly using statistical methods, and the third section describes several examples of improving sound insulation during renovation.

The fourth section deals mainly with sound insulation of wood-joist floors by describing the influence of single components e.g. girders, pugging, cavities, floors and ceiling materials etc. on sound insulation and further utilizes foreign results on the same subject.

The conclusion of this investigation is as follows: approximately 50 per cent of the measurements show satisfactory sound insulation even when compared with the legal requirements for new buildings.

Generally non-renovated buildings have poor sound insulation compared with today's standard and in some cases sound insulation has as a result of deteriorated renovation.

---

 Litteratur
 

---

Berg, R. og Høy, E. 1956. Målinger av luftlydisolasjon i bolighus. Rapport 22. Norges Byggforskningsinstitut. Oslo.

Berg, R. og Høy, E. 1956. Målinger av bankelyd i bolighus. Rapport 23. Norges Byggforskningsinstitut. Oslo.

Bodlund, K. 1986. Ljudisolering i ombyggnadsobjekt med träbjälklag. Rapport R54:1987. Byggforskningsrådet. Stockholm.

DIN. 1984. Luft- und Trittschalldämmung, Prüfstände für Schalldämm - Messungen an Bauteilen. DIN 52210. Teil 2. Berlin.

DS. 1982. Akustik. Vurdering af lydisolation. Del 1. Luftlydisolation i bygninger og af bygningsdele. Del 2. Trinlydniveau. DS 2186. Dansk Standardiseringsråd. København.

Engelmark, J. 1983. Københavnsk etageboligbyggeri 1850-1900. En byggeteknisk undersøgelse. SBI-rapport 142. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm.

Gösele, K. 1952. Die Schalldämmung von Holzbalkendecken. Heft 23. Institut für technische Physik. Stuttgart.

Gösele, K. 1962. Untersuchungen zur Verbesserung des Schallschutzes von Holzbalkendecken. Heft 47. Institut für technische Physik. Stuttgart.

Gösele, K. 1975. Schalldämmende Holzbalkendecken. Informationsdienst Holz. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau i.d. Deutschen Gesellschaft Holzforshung. München.

Ingerslev, F. og Ranfelt, V.E.B., 1952. Trinlyd i beboelsesejendomme. SBI-rapport 8. Statens Byggeforskningsinstitut, København.

Ingerslev, F. og Petersen, J., 1954. Luftlyd i beboelsesejendomme.  
SBI-rapport 12. Statens Byggeforskningsinstitut, København.

Ingerslev, F. et al 1957. Akustiske problemer i skolebygninger.  
SBI-rapport 23. Statens Byggeforskningsinstitut. København.

Kristensen, J. og Petersen, L.J., 1982. Forbedring af en traditionel  
træetageadskillelse med gipspladebeklædt underloft. SBI-meddelelse 11.  
Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm.

Kristensen, J. 1983. Bygningers lydisolering, ældre bygninger.  
SBI-anvisning 136. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm.

Parkin, P.H. et al 1960. Field Measurements of Sound Insulation between  
Dwellings. National Building Studies. Research Paper 33. Her Majesty's  
Stationary Office. London.

Reiher, H. et al 1960. Schalltechnische Untersuchungen an Holzbalkendecken.  
Berichte aus der Bauforschung. Heft 14. Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn.  
Berlin.

Schultze, H. 1979. Möglichkeiten und Probleme für den Holzbau aufgrund der  
Anforderungen und Empfehlungen für den Schallschutz. VDI-Berichte 336.  
Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf.

Utley, W.A. 1977. Methods for improving the sound insulation of existing  
simple wood joist floors. Current Paper CP 27/77. Building Research  
Establishment. Garston, Watford.

Utley, W.A. and Cappelen, P. 1978. The sound insulation of wood-joist  
floors in timber frame constructions. Current paper CP 46/78.  
Building Research Establishment. Garston, Watford.

---

## Appendiks

---

I det følgende er der redegjort for måle- og vurderingsgrundlaget, og der er fremsat et forslag til vurdering af den målte lydisolation i relation til fastsatte krav.

### Målingernes udførelse

Målinger i nybyggeri udføres normalt i indflytningsfærdige boliger. Denne situation forekom kun i en mindre del af de undersøgte bygninger, og det har ofte været nødvendigt at slå af på kravene til den tilstand, hvori bygninger bør være, når der skal måles. Der er udført målinger i ubeboede kondemnerede bygninger, i beboede ikke kondemnerede bygninger og i bygninger under renoveringsfasen både på tidspunkter, hvor det har været muligt at måle under normale betingelser, og på tidspunkter, hvor betingelserne har været i underkanten af det måleteknisk acceptable.

Hver måling omfatter en bestemmelse af luftlydisolationen eller trinlydniveauet per 1/3 oktav som funktion af frekvensen inden for frekvensbåndet ca. 90 Hz til ca. 3550 Hz.

Ved luftlydisolutionsmålinger benyttes to højttalerpositioner i senderum og to positioner for et stativ med roterende mikrofonbom i både sende- og modtagerum, dvs. to mikrofonbaner per rum. Ved trinlydniveaumålinger benyttes 3 eller 5 positioner for bankemaskine afhængig af gulvarealet og 2 positioner for stativ med roterende mikrofonbom. Omløbstiden for mikrofonen, der er placeret mindst 0,7 m fra omløbspunktet, er 32 sekunder. Lydtrykniveauet integreres over et halvt sekund, hvorefter det aflæses af en minidatamat. Dette gentages successivt under mikrofonens bevægelse i cirkelbanen. Den samlede integrationstid er i hvert rum lig med antallet af højttaler- eller bankemaskinepositioner gange 32 sekunder.

De målte lydtrykniveauer afhænger af rummenes absorptionstilstand, og korrektionsværdien for lydtrykniveauet kan beregnes ved hjælp af efter-

klangstiden i modtagerummet. Efterklangstiden måles, medens mikrofonen bevæges i cirkelbanen. På grundlag af 5 efterklangsforløb i hver mikrofonbane i modtagerummet beregnes efterklangstiden af en ensembleværdi, dvs. en værdi dannet ved successive additioner af de i efterklangsforløbene sammenhørende og på energibasis målte lydtrykniveauer.

I datamaten beregnes lydtrykniveauerne i sende- og modtagerum eller kun i modtagerum og korrektionen for efterklangstiden. På grundlag af lydtrykniveau og korrektion beregnes dels luftlydisolationen henholdsvis trinlydniveauet som funktion af frekvensen, dels den tilhørende vægtede værdi  $R'_w$  eller  $L'_{n,w}$ .

#### Vurdering af måleresultater

Resultaterne for både luftlydisolation og trinlydniveau begge som funktion af frekvensen vurderes i forhold til hver sin kurve med standardiserede frekvensforløb efter numerisk ens afvigelseskriterier, som er fastlagt i (DS, 2186 1982). Ved vurderingen vægtes resultaterne fra de seksten 1/3 oktaver således, at luftlydisolationen og trinlydniveauet hver angives ved ét tal og symboliseres ved henholdsvis  $R'_w$  og  $L'_{n,w}$ . R står for sound reduction, apostroffen for feltmåling, w for weighted, L for level og n for normalized.

I praksis benyttes de vægtede værdier  $R'_w$  og  $L'_{n,w}$  til at karakterisere henholdsvis luftlydisolationen og trinlydniveauet. Da luftlydisolationen udtrykker en forskel mellem lydtrykniveauer i to rum, vil den blive desto større jo bedre adskillelsen mellem de to rum isolerer. Omvendt vil trinlydniveauet, som udtrykker størrelsen af lydtrykniveauet i et rum frembragt af en bankemaskine placeret i et andet rum, blive desto mindre jo bedre etageadskillelsen isolerer mod bankestøjen.

En relativ stor usikkerhed ved en enkelt 1/3 oktav har kun en forholdsvis ringe indvirkning på de vægtede resultater. Med den benyttede måleprocedure, der er omtalt i afsnittet om målingernes udførelse, ligger reproducerbarheden af et måleresultat inden for  $\pm 1$  dB. Med andre og mindre omfattende måleprocedurer kan den blive væsentlig ringere, dvs. at usikkerheden på bestemmelse af den vægtede værdi kan være  $\pm 2$  dB eller måske større.

#### Vurdering af luftlydisolation og trinlydniveau

Luftlydisolation og trinlydniveau vurderes i forhold til grænseværdier anført i bygningsreglementet. Disse størrelser er mindsteværdier for luftlydisolationen og størsteværdier for trinlydniveauet, hvilket i princippet betyder, at alle resultater skal være bedre end eller lig med de stillede kravværdier. Med betegnelsen bedre menes for luftlydisolation større og for

trinlydniveau mindre. Det er vanskeligt at administrere reglementet alene ud fra henholdsvis mindste- og størsteværdier, idet virkeligheden normalt vil være således, at en del resultater er bedre end kravet i BR, medens andre er dårligere. Bygningsmyndighederne tvinges derfor til at skulle fortolke nogle måleresultater uden at have en fast rettesnor herfor. Det medfører naturligvis en relativ stor variation i bedømmelsen forårsaget dels af usikkerhed i skønnet, dels af bygningsmyndighedernes forskellige holdning til problemet.

For nybyggeri vil det med den nævnte målepræcision være rimeligt at kræve, at måleresultatet skal være mindst én dB bedre end kravet i bygningsreglementet for med sikkerhed at opfylde dette og mere end én dB dårligere for at udelukke at det opfylder.

Efter forfatterens opfattelse bør vurderingen af lydisolation i nye og renoverede bygninger principielt ske ud fra samme funktionskrav. Da erfaringsgrundlaget for renoverede bygninger ikke er så vel underbygget som for nyt, vil det dog i en overgangsperiode være rimeligt at acceptere lidt større afvigelser end i nye bygninger.

I denne rapport er måleresultaterne vurderet efter nedenstående forslag til afvigelseskriterium for lydisolation i forhold til en grænseværdi K.

1. Middelværdien af måleresultater for en bygningsdels type bør opfylde:

For nye bygninger:

$$R_{w,mid} \geq K \text{ dB eller } L'_{n,w,mid} \leq K \text{ dB}$$

For renoverede bygninger:

$$R'_{w,mid} \geq K - 0,5 \text{ dB eller } L'_{n,w,mid} \leq K + 0,5 \text{ dB}$$

2. Hvert enkelt måleresultat bør opfylde:

For nye bygninger:

$$R_w \geq K - 1 \text{ dB eller } L'_{n,w} \leq K + 1 \text{ dB}$$

For renoverede bygninger:

$$R'_w \geq K - 2 \text{ dB eller } L'_{n,w} \leq K + 2 \text{ dB}$$

Bygningsdele i ældre bygninger bør renoveres således, at der opnås en rimelig lydisolation mellem boliger.

Af denne rapport fremgår, at en fjerdedel af de undersøgte, renoverede etageadskillelsers lydisolation er utilstrækkelig. De væsentligste årsager hertil er en lydteknisk set mangelfuld udførelse.

Rapporten henvender sig til projekterende teknikere og byggemyndigheder.