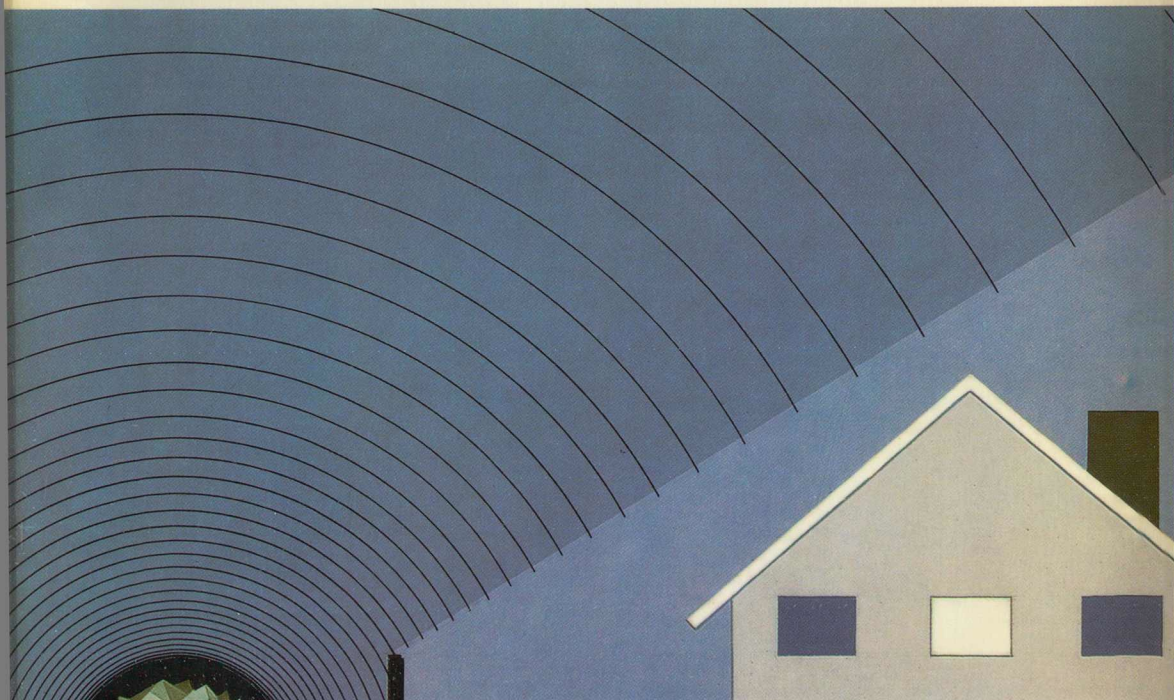


BILAGEDEL

# TRAFIKBULLER



## Ur KB:s samlingar

Digitaliserad år 2013



National Library  
of Sweden

1974 : 61

NOS

BILAGEDEL

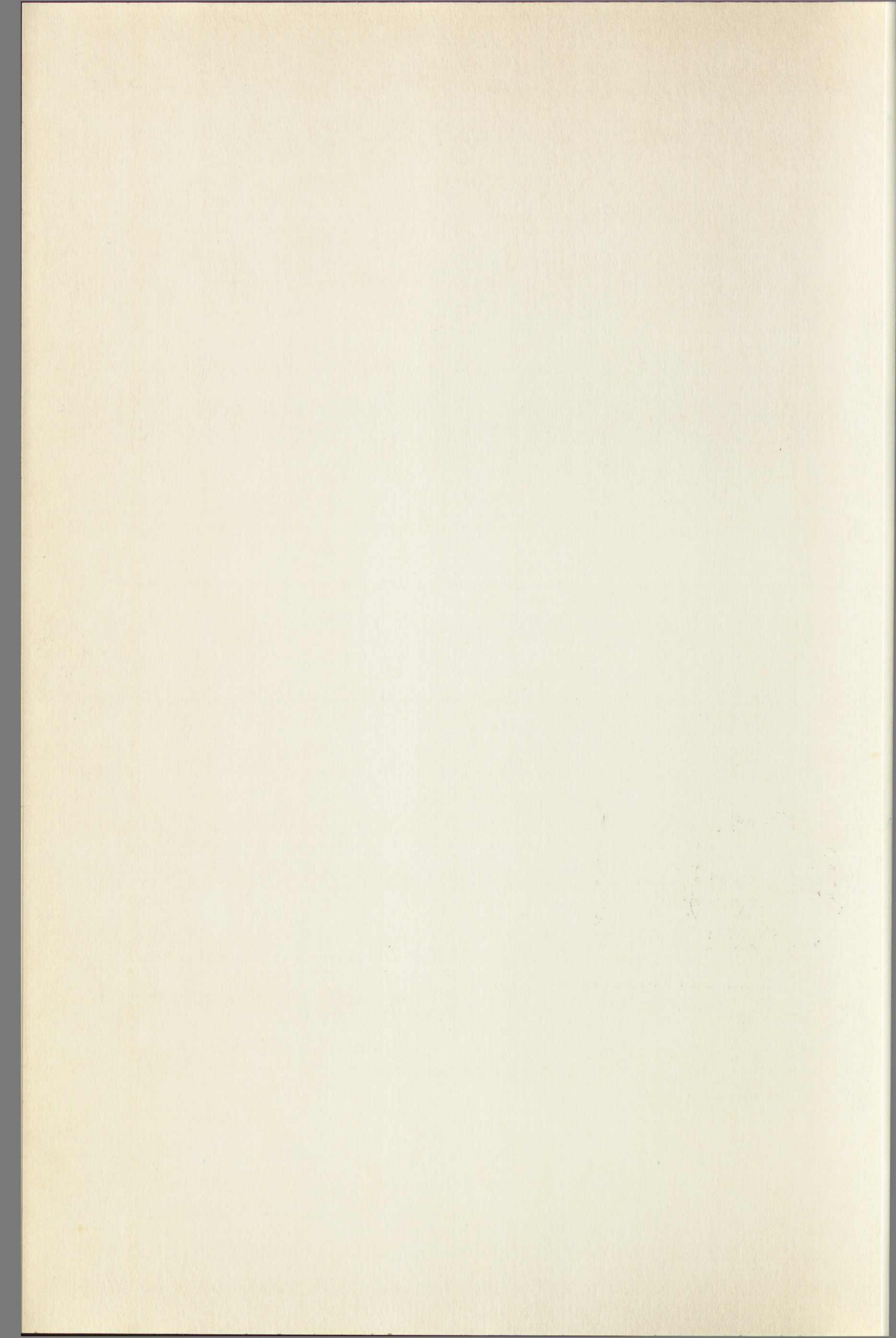
TRAFIKBULLER



1974 : 61

SOU

BETÄNKANDE AVGIVET AV TRAFIKBULLERUTREDNINGEN • STOCKHOLM • 1974





Statens offentliga utredningar  
SOU 1974:61  
Kommunikationsdepartementet

# Trafikbuller

Bilagedel

Specialbilagor till trafikbullerutredningens betänkanden  
Stockholm 1974

ISBN 91-38-02052-1

# Förord

Trafikbullerutredningen redovisar i denna särskilda bilagedel följande fyra specialbilagor.

1. Ljud från fysikalisk synpunkt.
2. Ljudets utbredningsförhållanden.
3. Fysikaliska mått och mätmetoder för buller.
4. Buller från medicinsk och hygienisk synpunkt.

Bilagorna ingår i underlagsmaterialet för utredningens betänkanden om vägtrafikbuller, flygbuller och buller från fritidsbåtar.

Bilagorna har utarbetats av utredningens experter med bistånd av vissa utomstående experter.

Bilaga 1 har i allt väsentligt utarbetats av utredningens expert laborator Anders Kajland. Det huvudsakliga arbetet med bilaga 2 har utförts av biträdande professor Sven Lindblad, docent Hans Jonasson och civilingenjör Sten Ljunggren. Bilaga 3 har i huvudsak utarbetats av laborator Anders Kajland och överingenjör Sten Wahlström och bilaga 4 av utredningens experter docent Gunnar Lidén och byrådirektör Guldbbrand Skjönberg med bistånd av bl a docenterna Göran Bredberg, Lennart Levi och Erland Jonsson.

Bilagedelen framläggs härmed samtidigt med utredningens betänkande "Vägfrikbuller" SOU 1974:60.

Stockholm i juni 1974.

För trafikbullerutredningen

*Paul Jansson*

*Ordförande*

Taloudenjohtaja esitti talousraportin ja sen pohjalta tehty päätös.

1. Ehdotettiin, että...
2. Ehdotettiin, että...
3. Ehdotettiin, että...
4. Ehdotettiin, että...

Yhteinen päätös: Talousraportti hyväksyttiin ja esillä olleita asioita käsiteltiin.

Seuraava kokous pidetään...  
Kokouksen puolesta: [Nimi]  
Pöytäkirjasta: [Nimi]

Stokholm, joulukuun 1977  
För styrelsen  
Jan Jansson  
Ordförande

# Innehåll

Förord .....	3
Bilaga 1 <i>Ljud från fysikalisk synpunkt</i> .....	7
1.1 Grundläggande begrepp och definitioner .....	7
1.2 Geometrisk och vågteoretisk ljudutbredning .....	9
1.3 Nivåfördelning i frekvens och tid .....	11
Bilaga 2 <i>Ljudets utbredningsförhållanden</i> .....	13
2.1 Ljudets reflexion, fokusering och böjning .....	13
2.2 Riktverkan hos ljudkällor .....	14
2.3 Inverkan av atmosfären .....	15
2.3.1 Atmosfärisk dämpning .....	15
2.3.2 Inverkan av turbulens .....	16
2.3.3 Inverkan av dimma, regn och fallande snö .....	18
2.4 Mark- och vattenytors inverkan på ljudutbredningen .....	18
2.4.1 Fysikalisk förklaring .....	18
2.4.2 Praktiska exempel .....	20
2.5 Skärmars inverkan på ljudutbredningen .....	21
2.5.1 Fysikalisk förklaring .....	21
2.5.2 Teoretiska beräkningsmetoder .....	22
2.5.3 Empiriska metoder .....	22
2.6 Inverkan på ljudutbredningen över mark av vind och tempera- tur .....	24
2.6.1 Kvalitativ genomgång .....	24
2.6.2 Redovisade mätningar .....	26
2.7 Inverkan av vegetation på ljudutbredningen .....	27
2.8 Ljudisolering hos byggnadskonstruktioner .....	28
2.8.1 Rumsakustiska grundbegrepp och definitioner .....	28
2.8.2 Ljudisolering .....	32
2.9 Ljudutbredning i tät stadsbebyggelse (gatubuller) .....	41
2.9.1 Ljudutbredning på grund av multipelreflexer i gaturum .....	42
2.9.2 Ljudutbredning och skärmningseffekter i tät bebyggelse .....	44



Bilaga 3 <i>Fysikaliska mått och mätmetoder för buller</i> . . . . .	54
3.1 Den subjektiva uppfattningen av ljudet . . . . .	54
3.1.1 Hörnivå och hörstyrka . . . . .	54
3.1.2 Tonhöjd . . . . .	56
3.2 Teknisk beskrivning av bullrets störningspotential. Konstruktion av expositions mått . . . . .	56
3.2.1 Olika faktorerers betydelse för bullrets störningspotential . . . . .	56
3.2.2 Konstruktion av expositions mått . . . . .	60
3.3 Emissionsmätning . . . . .	62
3.3.1 Mättenheter . . . . .	62
3.3.2 Internationell standardisering . . . . .	63
3.4 Immissionsmätning . . . . .	65
3.4.1 Mättenheter . . . . .	66
3.4.2 Bullerdos, ekvivalent ljudnivå . . . . .	66
3.4.3 Internationell standardisering . . . . .	66
Bilaga 4 <i>Buller från medicinsk och hygienisk synpunkt</i> . . . . .	69
4.1 Örats byggnad och funktion . . . . .	69
4.1.1 Örat . . . . .	70
4.1.2 Samband mellan ljudets subjektiva och objektiva egenskaper . . . . .	71
4.1.3 Några vanliga hörselphenomen . . . . .	76
4.2 Bullers inverkan på människans hälsa och välbefinnande . . . . .	78
4.2.1 Bullers hörselskadande effekt . . . . .	78
4.2.2 Fysiologiska effekter av buller . . . . .	84
4.2.3 Bullers effekt på sömnen . . . . .	88
4.2.4 Psykologiska effekter av buller . . . . .	91
4.2.5 Buller som stressor . . . . .	96
4.2.6 Buller och sjukdom . . . . .	99
4.2.7 Vibrationer . . . . .	100
4.3 Bullers inverkan på olika mänskliga aktiviteter . . . . .	101
4.3.1 Bullers inverkan på olika slags arbete . . . . .	101
4.3.2 Bullers effekt vid rekreation och vila . . . . .	104
4.3.3 Bullers samtalsstörande effekt eller andra effekter innebärande interferens med önskvärt ljud . . . . .	104
4.4 Bullers inverkan på olika grupper av människor . . . . .	107
4.4.1 Demografiska karakteristika . . . . .	107
4.4.2 Attitydkarakteristika . . . . .	109
4.4.3 Speciellt känsliga grupper . . . . .	112
4.5 Mätning och studium av bullrets störande och skadande effekt . . . . .	114
4.5.1 Socialepidemiologiska metoder . . . . .	114
4.5.2 Laboratoriemässiga och kliniska metoder . . . . .	116
4.6 Samband mellan bullerexposition och störning . . . . .	117

# Bilaga 1      Ljud från fysikalisk synpunkt

## 1.1 Grundläggande begrepp och definitioner

Ljud består av elastiska svängningar med omväxlande förtätningar och förtunnningar som i luft utbreder sig med en hastighet av ca 340 m/s. Svängningarna kan ske med olika svängningstal (frekvens) och med olika svängningsamplitud (tryckskillnad mellan förtätning och förtunning). Från fysikalisk synpunkt är ett ljud i en viss punkt entydigt definierat av ljudtrycket eller ljudintensiteten som funktion av tiden och rörelseriktningen. Ljudet kan beskrivas av sitt ljudspektrum, d v s ljudtryck eller ljudintensitet som funktion av frekvens indelad i smalare eller bredare frekvensband.

Svängningstalet mäts i svängningar per sekund, Hertz, Hz. Det mänskliga örats känslighet omfattar frekvensområdet från ca 20 Hz upp till ca 16 000 Hz.

Då ljud utbreder sig i luften innebär det ett energiflöde. Den ljudenergi som per tidsenhet strömmar ut från en ljudkälla, d v s ljudkällans akustiska effekt, mäts i W.

Ljudintensiteten anger ljudeffekten per ytenhet i ljudets fortplantningsriktning och uttrycks i  $W/m^2$ . Mot en viss ljudintensitet svarar ett visst ljudtryck, som uttrycks i Pa. Ljudintensiteten är proportionell mot kvadraten på ljudtrycket; för en plan fortskridande våg blir det matematiska sambandet:

$$I = \frac{p^2}{c \cdot \rho_0} = \frac{p^2}{Z_s} \quad (1)$$

där  $I$  = ljudintensiteten ( $W/m^2$ )

$p$  = ljudtrycket (Pa)

$c$  = ljudets hastighet (m/s)

$\rho_0$  = luftens densitet ( $kg/m^3$ )

$Z_s$  = specifik akustisk impedans (mediets motstånd mot tryckförändring)

Lämpliga instrument för direkt registrering av ljudintensitet finns ej.

För mätning av ljud använder man därför i regel ljudtrycksmätare, som vanligtvis anger effektivvärdet (d v s indikerar ljudets tidsmedelvärde på effektbasis).

En fysikaliskt eller akustiskt sett ren ton innehåller endast en frekvens medan en "ren" musikton består av en grundton med överlagrade övertoner i visst harmoniskt samband. Brusljud betecknar ljud som innehåller en oregelbunden blandning av frekvenser där alla frekvenser inom visst frekvensområde är representerade. Talljud utgörs av en blandning av rena toner och brusljud.

Örats känslighet är störst i frekvensområdet 1 000 – 4 000 Hz. Under gynnsamma betingelser ger ett ljudtryck av  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa ett just förnimbart ljudintryck hos en normalhörande person (hörtröskel). Obehag och smärta uppstår vid ljudtryck på 20 – 200 Pa. Motsvarande ljudintensiteter är för hörtröskeln  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup> och för smärtgränsen 1 – 100 W/m<sup>2</sup>.

På grund av den stora skillnaden i intensitet mellan hörtröskel och smärtgräns använder man med fördel en logaritmisk skala för att uttrycka ljudintensitet och ljudtryck. Ljudintensitetsnivå respektive ljudtrycksnivå definieras på följande sätt:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (3)$$

$L_I$  = ljudintensitetsnivå

$L_p$  = ljudtrycksnivå

$I$  = ljudintensitet

$I_0$  = referensvärde för ljudintensitet ( $=10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>)

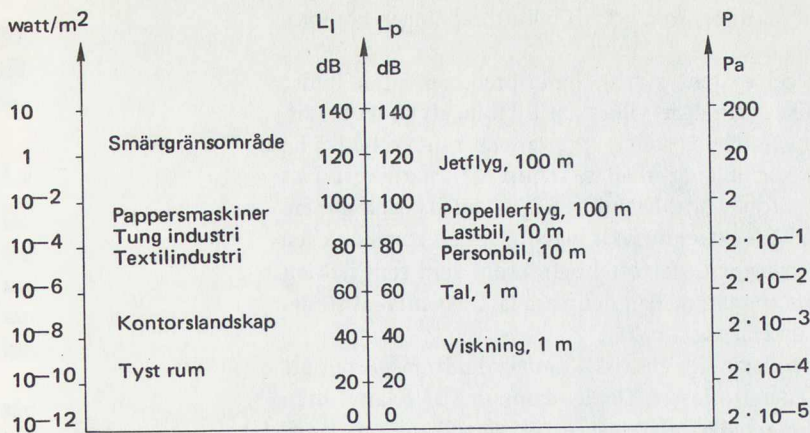
$p$  = ljudtryck

$p_0$  = referensvärde för ljudtryck ( $=2 \cdot 10^{-5}$  Pa)

Som referensvärden för ljudintensitet och ljudtryck har man valt de ovan nämnda värdena för hörtröskeln, vilket medför att de båda nivåerna antar värdet 0 vid hörtröskeln. Ljudintensitetsnivå och ljudtrycksnivå är dimensionslösa storheter som uttrycks i decibel, dB. Proportionalitetsfaktorn är beroende av bl a luftens statiska tryck och temperatur som visats ovan (1). Därför motsvarar referensvärdena för ljudintensitet och ljudtryck varandra strängt taget endast för vissa kombinationer av statiskt tryck och temperatur. Avvikelserna är dock, när det gäller normala tryck- och temperaturvariationer, vanligtvis så små, att man utan olägenhet kan sätta ljudintensitetsnivå och ljudtrycksnivå lika i praktiska fall (skillnaden blir sällan större än några tiondels dB). I figur 1.1 ges några exempel på ljudintensitet och ljudtryck liksom motsvarande nivåer för några vanliga ljud.

Decibelskalans logaritmiska konstruktion gör att man vid addition av bidragen från olika ljudkällor först måste räkna om bidragen till ljudintensiteter och addera dessa. En intensitetsfördubbling ger en nivåökning med 3 dB vilket gäller såväl ljudtrycksnivå som ljudintensitetsnivå. När ljudintensiteten ökar till den dubbla ökar ljudtrycket på grund av sambandet (1) med en faktor  $\sqrt{2}$ .

På grund av det stora effektområde som förekommande ljudkällor kan omspanna använder man sig även när det gäller akustisk effekt av en logaritmisk skala i dB. Som referenseffekt har man internationellt överenskommit att använda  $10^{-12}$  W.



Figur 1.1 Exempel på styrkan hos några ljud.

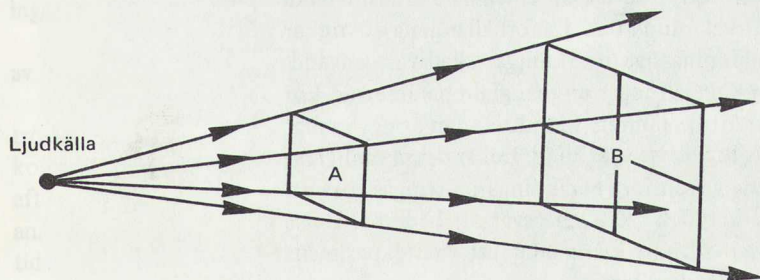
## 1.2 Geometrisk och vågteoretisk ljudutbredning

Från en tänkt ljudkälla, i fritt fält, som utstrålar akustiska effekten P watt likformigt åt alla håll, kommer ljudintensiteten i en punkt på avståndet r meter att bli

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (4)$$

Intensiteten avtar omvänt proportionellt mot kvadraten på avståndet till ljudkällan. Som framgår av figur 1.2 kommer ljudeffekten på dubbla avståndet från ljudkällan att vara fördelad på en fyra gånger så stor yta, vilket innebär att ljudintensiteten är fyra gånger lägre. Detta gör att ljudintensitetsnivån – och därmed även ljudtrycksnivån – sjunker med 6 dB vid en fördubbling av avståndet. Detta samband brukar kallas avståndslagen.

I det föregående exemplet har ljudutbredningen visats ur rent geometrisk-fysikalisk synpunkt. Detta innebär att ljudutbredningen betraktas som om den bestod av energistrålar som rör sig rätlinjigt. Emellertid



Figur 1.2 Om avståndet till B är dubbelt så stort som till A, fördelas ljudeffekten på den fyrdubbla ytan. Intensiteten har alltså minskat till en fjärdedel. Intensiteten är omvänt proportionell mot kvadraten på avståndet till ljudkällan.

tillkommer många andra faktorer, som gör att ljudutbredningen kommer att avvika från dessa enkla lagar.

En ljudkälla har i regel ej rent sfärisk ljudutbredning, utan ljudet utstrålar olika starkt i olika riktningar, vilket har till följd att ljudet beträffande såväl frekvenssammansättning som styrka varierar runt en ljudkälla. Mycket stora skillnader kan ibland erhållas, främst då i närfältet, d v s inom avstånd som ej är stora i förhållande till ljudkällans egna dimensioner. Vissa ljudkällor är extremt riktungsstrålande, som t ex en jetmotor enligt by-pass-principen, där ett högfrekvent ljud från fläkten avges huvudsakligen snett framåt, medan det mera lågfrekventa jet-strålebullret huvudsakligen emitteras snett bakåt.

Eftersom luften ej är fullständigt elastisk kommer ljudtransporten att vara förenad med vissa energiförluster. Denna dämpning är relativt liten per längdenhet, och kommer därför främst att ge sig tillkänna på långa avstånd. Genom de snabbare tryckvariationerna för ljud med hög frekvens kommer förlusterna att bli större och därmed också molekyldämpningen att bli större för högfrekventa ljud än för lågfrekventa.

Ljudets utbredning i luften kan också förändras till sin riktning genom olikheter (gradienter) i lufttemperatur och -fuktighet samt vind. Om t ex lufttemperaturen och/eller vindstyrkan stiger i riktning uppåt, kommer en snett uppåt riktad ljudfront att kunna böjas av nedåt och när den åter når marken kommer den att förstärka det närmare marken transmitterade ljudet. Relativt kraftiga ljudförstärkningar av dessa effekter kan ibland konstateras.

Om ljudet passerar över en yta som ej är helt reflekterande, kommer en viss absorption av ljudenergi att ske i denna. Man får också en inbördes påverkan mellan direkttransmitterat och reflekterat ljud (interferens). Tillsammans förorsakar dessa båda effekter den s k markdämpningen. Hinder av olika slag i ljudets väg påverkar också på ett väsentligt sätt ljudutbredningen.

Interferensfenomen mellan direktljud och från ytor och föremål reflekterat ljud samt ljud som avböjts vid kanter förorsakar ofta stora lokala ljudnivåvariationer som kan vara svåra att förklara. Med utgångspunkt från vågteoretiska beräkningar har man kunnat förklara dessa variationer kvalitativt. Man utgår vid beräkningarna från kända förhållanden beträffande vågrörelsers beteende vid reflexion i gränsskikt mellan olika medier samt böjningen vid hinder. Förutsättningen för att man med beräkningar skall komma till rätt resultat är emellertid att de olika gränsskikten etc är tillräckligt väl kända och att förhållandena i övrigt är renodlade för att enkla schablonmässiga beräkningar skall vara användbara. I den vågteoretiska beräkningen ingår en mångfald parametrar. För många av dessa är värdet svårt att bestämma. I konkreta fall är det vanligt att det ingår parametrar vilkas betydelse ej är känd. Det är också vanligt att man för att matematiskt kunna genomföra beräkningarna tvingas göra ett antal approximationer, vilkas betydelse kan vara svår att bedöma. Dessa förhållanden har medfört att man haft svårigheter att i fältexperiment verifiera de teoretiskt grundade sambanden.

På senare tid har man emellertid med vågutbredningsteoretiska utgångspunkter kunnat få förklaring på vissa tidigare iakttagna avvikelser

från den geometriska ljudutbredningen som man ej närmare vetat orsaken till. Vågutbredningsteorin samt hur den kan användas för att beräkna bl a skärmverkan och markdämpning behandlas vidare i bilaga 2.

### 1.3 Nivåfördelning i frekvens och tid

Den mänskliga hörseln kan som inledningsvis nämnts uppfatta ljud inom frekvensområdet ca 20 – 16 000 Hz. Ljud kan i frekvenshänseende vara sammansatta på olika sätt, och för att åskådliggöra ett ljuds frekvenssammansättning brukar man upprita ljudets frekvensspektrum, d v s ljudtrycksnivå som funktion av frekvens.

Det enklaste ljudet, en fysikaliskt ren ton, sinuston, representeras i ett sådant diagram av en enda punkt. En musikton består av en grundton och ett antal övertoner till denna och representeras därför av ett antal punkter i diagrammet. Ett instruments speciella klang beror på olika styrka hos övertonerna.

De flesta förekommande ljud har dock ett kontinuerligt spektrum, d v s de består av en blandning av alla frekvenser inom ett visst frekvensområde. Dessa så kallade brusljud beskrivs genom att ange nivån inom smalare eller bredare frekvensband. Vanligen gör man mätningar i oktavband eller delar därav t ex tredjedelsoktavband, tersband. Oktavbandet täcker frekvensområdet från en frekvens till den dubbla frekvensen. Internationellt antagen standard finns numera för det hörbara frekvensområdets uppdelning i oktavband och tersband.

Vissa ljud kan utgöra en blandning av brusljud och mer eller mindre rena tonkomponenter. Sådana ljud, ofta kallade ljud med blandat spektrum, förekommer ofta från motorer och maskiner där rotationsfrekvensen eller multiplar av denna kan ge toner.

Ett ljud som under lång tid ej förändras i ljudnivå och frekvenssammansättning kallas ett stationärt ljud. Om nivån eller frekvensfördelningen varierar med tiden, betecknar man detta som ett fluktuerande ljud. Fluktuationerna i nivå kan beskrivas på olika sätt t ex genom angivande av maximinivå och miniminivå eller av den nivå som överskrider viss procentuell andel av den betraktade tidsperioden. 10, 50 och 90 %-nivåerna är därvid de vanligast använda. Detta sätt att karakterisera ljudets tidsfluktuationer tar emellertid inte hänsyn till hur snabbt och ofta fluktuationerna sker. För en sådan beskrivning finns för närvarande ingen vedertagen metod.

Vid kortvariga – transistenta – ljud med mycket snabb nivåförändring av typen slagljud, skott etc talar man om impulslyd.

En vanlig ljudnivåmeter har huvudsakligen på grund av den mekaniska trögheten hos visarinstrumentet en begränsad reaktionshastighet (tidskonstant). Impulslyd kan därför ej uppmätas med ett sådant instrument, eftersom det ej hinner ge fullt utslag under den korta tid ljudet varar. En analys av sådana ljud kräver elektroniska instrument med mycket kort tidskonstant av typen oscilloskop.

En speciell typ av impulslyd utgör de så kallade överljudsbangarna, d v s en plötslig tryckvåg bestående av ett övertryck och ett därpå följande undertryck. Bangen alstras i luften då flygplan rör sig i överljudsart. Man

mäter denna tryckvågs maximala momentana övertryck eller tryckförändringens tidsförlopp i mb (millibar). Eftersom grundtonen i tryckvågen ligger utanför hörbarhetsområdet och genom att förloppet ej som vanligt ljud representerar ett periodiskt svängningsförlopp är det här ej meningsfullt att uppmäta en ljudtrycksnivå i dB.

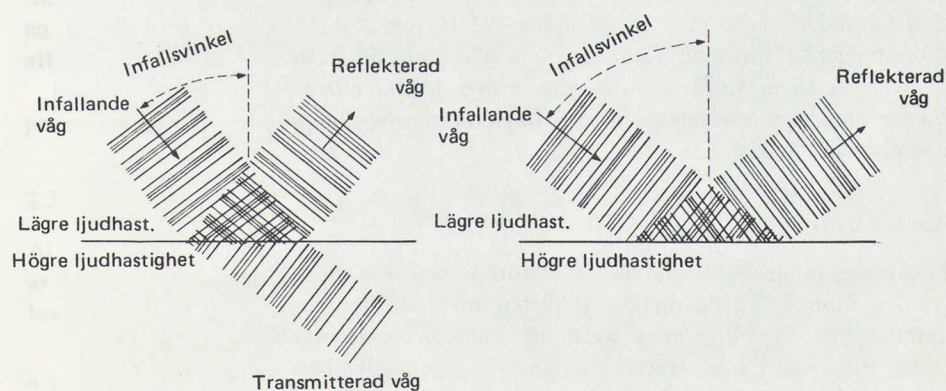
## Bilaga 2 Ljudets utbredningsförhållanden

### 2.1 Ljudets reflexion, fokusering och böjning

En ljudvåg som faller in mot en gränsyta mellan två medier kommer delvis att passera (transmittera) genom det andra mediet, delvis att reflekteras. För flertalet ytor som förekommer i vår omgivning reflekteras den största delen av ljudenergin, exempelvis för betong, glas och liknande 99 %, för trä ca 95 %. Även markytan reflekterar i allmänhet huvudparten av ljudet.

Vid gränssytor mellan medier med liten skillnad i ljudhastighet, t ex mellan två luftmassor med olika temperatur, framträder mer komplicerade egenskaper hos reflexionen. Kvoten mellan reflekterad och transmitterad energi är beroende av infallsvinkeln och i det fall ljudet från ett medium med lägre ljudhastighet (t ex kallare luft) träffar gränssytan mot ett med högre ljudhastighet (varmare luft) kommer allt ljud att reflekteras vid tillräckligt snett infall, s k totalreflexion.

När ljudet passerar gränssytan kommer också en viss riktningsändring att ske: den reflekterade vågens riktning har samma vinkel mot normalen som den infallande, och den transmitterade vågen böjs av mer ju större



Figur 2.1 En ljudvågs beteende vid gränssyta mellan två medier. Högra figuren visar totalreflexion till följd av större infallsvinkel eller större skillnad i ljudhastighet mellan medierna.



skillnaden är i ljudhastighet mellan de två medierna.

Dessa mer komplicerade fenomen uppträder givetvis även vid reflexion mot fasta ytor, men genom att skillnaden i ljudhastighet mellan luft och fasta ämnen är stor kan man vanligtvis räkna med totalreflexion. Vid strykande infall mot porösa ytor, som hos gräsbevuxen mark, kan problemet dock inte behandlas så enkelt. Se närmare härom i avsnitt 2.4.

Vid stora ytor gäller för ljud samma reflexionslagar som för ljus. Reflekterat ljud adderas till direkt ljud varvid resultatet beror på ljudtryckens tidsläge. Ljudet försenas av längre väg och vid reflexion mot porös yta. Jämmt antal halv våglängders skillnad ger addition, udda antal subtraktion av ljudstyrkan. Denna interferens är frekvensberoende, varför komponenter i ljud med många frekvenser samtidigt (brus, buller) i en punkt adderas på olika sätt. Man kan oftast anta att det totala ljudet är ca 3 dB starkare än det ljud som förelåg innan reflexion skett.

Konkava ytor kan fokusera ljudet till ett litet område så att förhöjd ljudnivå erhålls där. Inomhus i lokaler med välvda tak kan denna effekt vara mycket påfallande och även utomhus kan motsvarande fenomen uppstå intill böjda byggnadsfasader. Fokusering utomhus uppstår dock oftare till följd av vind- och temperaturvariationer i atmosfären. Se närmare härom i avsnitt 2.6.

Vid reflexion mot ytor av samma storleksordning som våglängden kan man i vissa riktningar få en kraftigare reflex än vid mycket stora ytor. Detta något paradoxala förhållande kan visas teoretiskt och har också spårats vid trafikbullermätningar i praktiken. Inom ett område framför fasader på villor, kiosker o d kan således något högre nivå fås än framför en vidsträckt fasad.

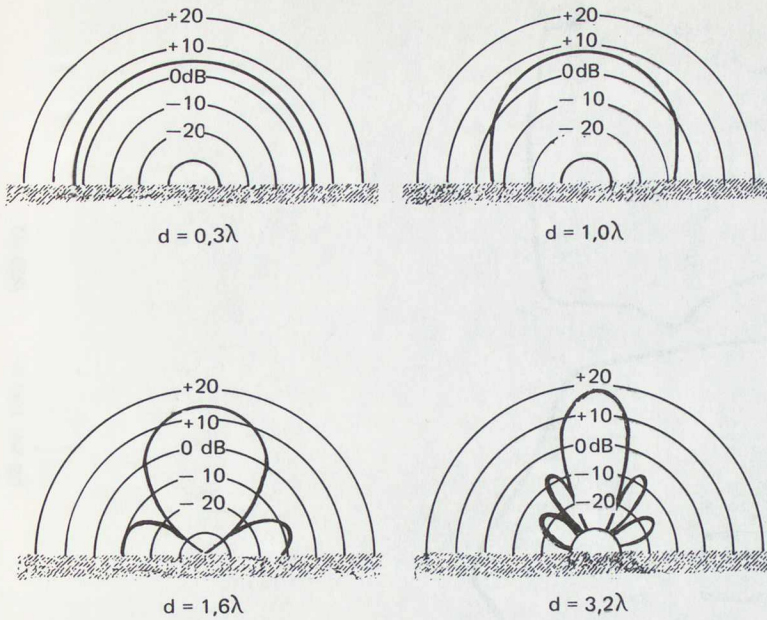
En följd av ljudets relativt stora våglängd är att ett hinder inte kommer att kasta en fullständig ljudskugga. Ljudet kommer att böja av kring hindrets kanter, och på stort avstånd bakom hindret är dettas inverkan obetydlig.

Bakom regelbundet formade föremål kan t o m en förstärkning liknande den ovan nämnda vid reflex mot små ytor erhållas.

Ljudets böjning medför att skärmar får en begränsad effekt, speciellt vid låga frekvenser. Alla mått på akustiska anordningar måste nämligen sättas i relation till ljudets våglängd. I oktavbanden 125 Hz och 250 Hz, som ofta är dominerande för vägtrafikbuller, är våglängden vid mittfrekvensen 2,7 resp 1,35 m, varför skärmhöjden många gånger blir av samma storleksordning som våglängden med åtföljande måttlig dämpning. Se närmare härom i avsnitt 2.5.

## 2.2 Riktverkan hos ljudkällor

En ljudkällas riktverkan är beroende av dess storlek och för stora ljudkällor även dess form. I förhållande till våglängden små ljudkällor kan vanligen betraktas som "punktformiga", dvs de utstrålar ljudenergi likformigt i alla riktningar. Som exempel på inverkan av ljudkällans storlek kan tas en cirkulär kolv som svänger i ett hål i en stor vägg, se figur 2.2. Då kolvens diameter är liten i förhållande till ljudets våglängd sker ljudspridningen nästan likformigt i olika riktningar; då kolven är stor



$d$  = kolvens diameter  
 $\lambda$  = ljudets våglängd

Figur 2.2 Ljudutstrålningen i olika riktningar från en cirkulär kolv som svänger i ett hål i en oändligt stor, stel vägg. Cirkeln för 0 dB anger den utstrålning som en punktförmig ljudkälla ger i fria rummen.

$d$  = kolvens diameter  
 $\lambda$  = ljudets våglängd

i förhållande till våglängden erhålls utpräglad riktverkan.

När ljudet adderas från till exempel olika delar av en bil kan olika tidslägen för ljudkällorna samt vägskillnader inverka. Den riktverkan som erhålls beror därför mer på att ljudkällorna skymms i vissa sektorer än på att de har riktverkan i sig själva. Inom ett begränsat vinkelområde kan exempelvis en bil sålunda betraktas som en punktförmig ljudkälla, vilket bl a innebär att den sk avståndslagen är tillämplig.

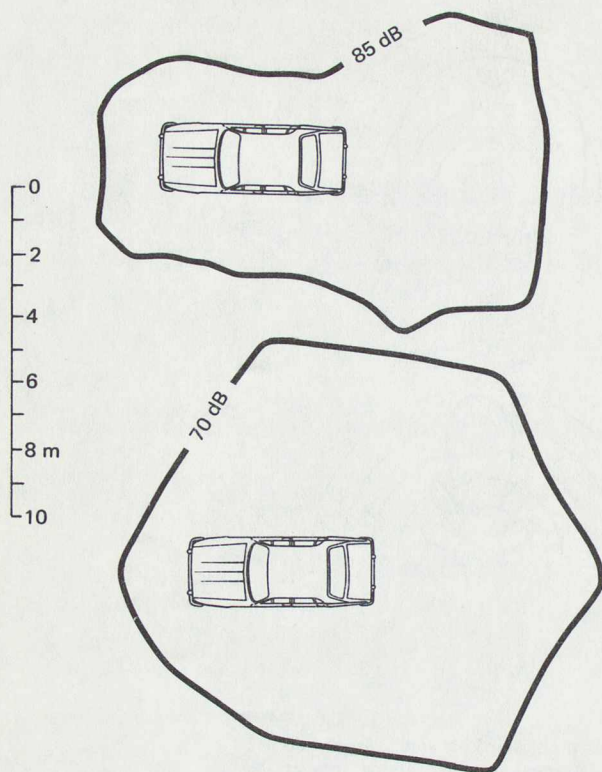
Figur 2.3 visar riktverkan i horisontalplanet för två olika stillastående personbilar.

### 2.3 Inverkan av atmosfären

Atmosfären inverkar på ljudutbredningen dels genom förluster orsakade av det homogena lufthavets egenskaper, dels genom vindar och temperaturdifferenser, nederbörd och andra "störningar" i luften.

#### 2.3.1 Atmosfärisk dämpning

Vid ljudutbredning i luft (liksom i andra medier) övergår en del av ljudenergin i värme. Dessa utbredningsförluster är relativt väl kända.



Figur 2.3 Uppmätt riktverkan i horisontalplanet för två personbilar. Enligt Cederlöf m fl.

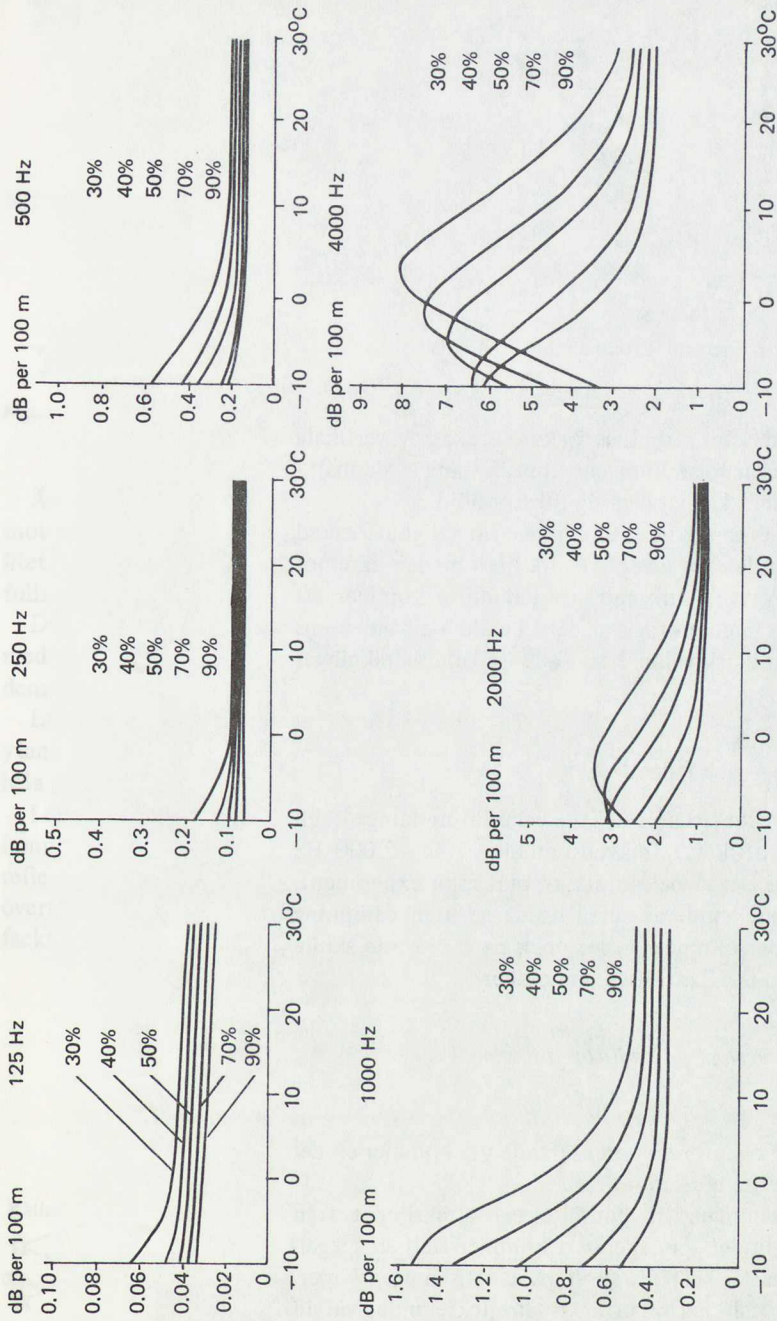
Dämpningen är liten vid låga frekvenser och ökar snabbt med stigande frekvens. Den får praktisk betydelse vid avstånd överstigande några hundratal meter. Se figur 2.4.

Vid fältmätningar har man funnit en atmosfärisk dämpning som är avsevärt mindre än den som framgår av de laboriermätta kurvorna i figur 2.4. Någon godtagbar förklaring till detta har ännu inte kunnat ges; s k icke-linjär ljudutbredning synes vara en trolig orsak. Som en grov tumregel för praktiskt bruk kan man räkna med att de laboriermätta dämpningsvärdena för frekvenser över 1 000 Hz minskas till hälften.

Den relativa fuktigheten varierar med årstiden och med tiden på dygnet. Årsvariationen i Sverige framgår approximativt av figur 2.5. På denna är överlagrad en dygnsvariation som är störst över land och som vintertid kan uppgå till  $\pm 15\%$  och sommartid till  $\pm 25\%$ .

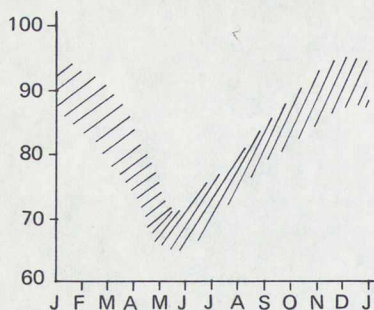
### 2.3.2 Inverkan av turbulens

När en luftmassa rör sig över marken uppstår ett turbulent gränsskikt, dvs marken orsakar virvlar i de nedre luftlagren. Gränsskiktet kan sträcka sig till åtskilliga hundra meters höjd. Markytans jämnhet bestämmer graden av turbulens, varför den blir mindre utpräglad över vattenytor än över land.



Figur 2.4 Atmosfärisk dämpning vid olika frekvenser som funktion av temperatur och relativ fuktighet. Enligt Harris 1966 (14).

% Relativ fuktighet



Figur 2.5 Relativa fuktighetens årsvariation. Efter handboken BYGG.

Under varma soliga dagar kan turbulens också orsakas av vertikala luftförelser som uppstår genom solstrålningens uppvärmning av de marknära luftlagren. Sådan turbulens kan sträcka sig till stor höjd.

Turbulensens praktiska inverkan på ljudutbredningen är dåligt utforskad; vid utbredning i fritt fält torde dess inverkan vara liten medan däremot vid utbredning nära marken stora fluktuationer i ljudnivå kommer att uppstå. Möjligheterna att ur meteorologiska data beräkna turbulensens inverkan är små; för överljudsknallar har dock sådana beräkningar utförts.

### 2.3.3 Inverkan av dimma, regn och fallande snö

Dimma och regn har mycket liten effekt på ljudutbredningen; en dämpning om maximalt 1 dB/km i frekvensområdet 100 – 2 000 Hz anges i litteraturen och har också bekräftats av praktiska experiment. Fallande snö är inte närmare studerad, men borde ge liten dämpning analogt med regn. Vissa undersökningar tyder dock på att så inte skulle vara fallet, och effekten får tills vidare anses vara osäker.

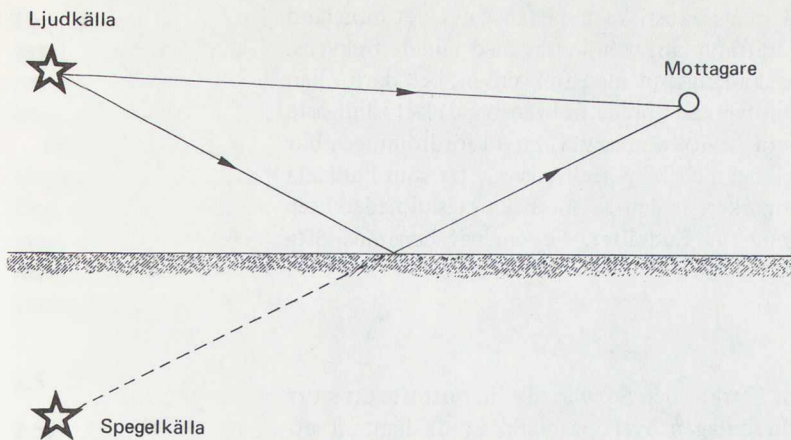
## 2.4 Mark- och vattenytors inverkan på ljudutbredningen

### 2.4.1 Fysikalisk förklaring

Om en ljudkälla befinner sig ovanför en reflekterande yta kommer en del av det utstrålade ljudet att reflekteras mot denna.

I observationspunkten sammansätts ljudfältet av direktljudet från källan och det reflekterade ljudet som skenbart kommer från en spegelkälla. Spegelkällans karaktär bestäms av ytans akustiska egenskaper; lättast att behandla är det fall när ytan är totalreflekterande, varvid spegelkällan blir en exakt motsvarighet till den verkliga källan. Vatten, asfalt, betong o d kan i praktiken betraktas som totalreflekterande.

Eftersom de två vägarna från ljudkällan till mottagaren (eller om man så vill från mottagaren till källan resp. spegelkällan) inte är lika långa kommer vägen från spegelkällan att bli något fördröjd.



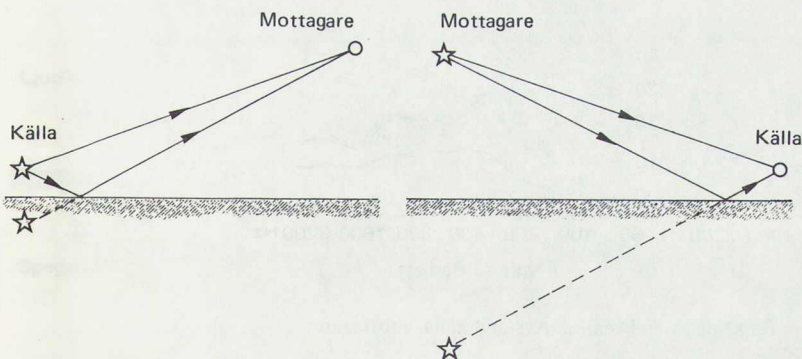
Figur 2.6 Ljudkälla över ett totalreflekterande plan.

Är vägskillnaden en halv våglängd eller ett udda antal halva våglängder motverkar ljudfälten varandra så att det resulterande ljudtrycket blir litet. Är vägskillnaden ett antal hela våglängder, samverkar ljudfälten fullständigt. Mellan dessa ytterligheter kan alla mellanfall förekomma.

Det förhållandet att vanligen förekommande bullerkällor strålar ut ljud med många olika våglängder gör att förstärknings- och utsläckningstendenserna inte är så markanta vid bredbandsmätningar.

Ett specialfall är då källa eller mottagare ligger nära den reflekterande ytan. Vägskillnaden blir då liten och ljudfälten kommer att samverka i hela det låg- och mellanfrekventa området. Se figur 2.7.

I det fall ytan inte är totalreflekterande kan dels ljudvågornas amplitud komma att minska vid reflexionen, dels en fördröjning uppstå vid själva reflexionen. En fördröjning på en halv våglängd innebär att ett infallande övertryck kommer att reflekteras som ett undertryck och vice versa. På fackspråk kallas fördröjningen fasvridning.



Figur 2.7 Ljudkälla eller mottagare nära ett totalreflekterande plan.

x Fördröjningen beror på ytans akustiska impedans, dvs det motstånd ljudvågorna möter då de träffar ytan, och ändras med ljudets frekvens. Den varierar emellertid ganska långsamt med frekvensen, och därför kan man i vissa fall få påtaglig motverkan i breda frekvensband. Det vanligaste fallet är strykande infall mot bevuxen markyta, varvid fördröjningen blir en halv våglängd vid medelhöga och höga frekvenser. Eftersom ljudkälla och mottagare ligger nära marken är den geometriska vägskillnaden liten och man får en försvagning av ljudfältet. Fenomenet benämns ofta markdämpning.

#### 2.4.2 Praktiska exempel

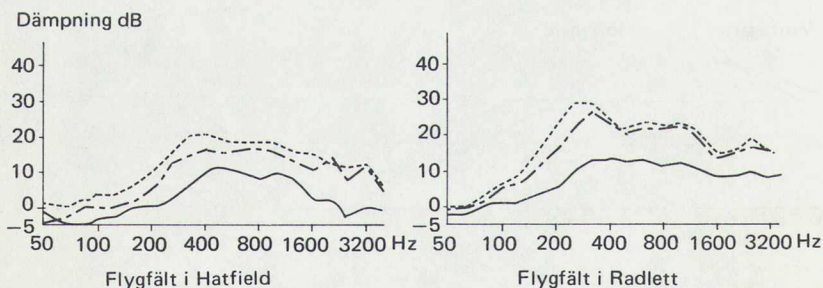
Vid försök i Storbritannien (Parkin och Scholes, 39) har utförts ett stort antal mätningar på ljudutbredningen över gräsmark. Ljudkällan, en jetmotor, var placerad 2 m över marken och mottagarhöjden var 1,5 m. Dämpningen är relaterad till en referenspunkt 17,5 m från ljudkällan, från vilken man gjort den vanliga geometriska avståndskorrigeringen med 6 dB per avståndsfördubbling.

Redan vid referenspunkten är markens inverkan påtaglig, varför kurvorna i figur 2.8 inte visar hela markdämpningen. Som framgår av kurvorna erhålls skiljaktiga dämpningar trots likartade förhållanden vid de båda mätningarna.

#### Sammanfattning

Marken påverkar *alltid* ljudutbredningen. Är marken mycket hård, erhålls totalreflexion. Om vägskillnaden mellan direkt och reflekterat ljud då är liten i förhållande till ljudets våglängd, förstärks ljudnivån 6 dB jämfört med fallet utan mark.

Vid mark som är porös erhålls s k markdämpning. Dämpningens storlek beror på avståndet mellan källan och mottagaren, dessas höjd över markplanet samt markens akustiska egenskaper. Dämpningen är starkt frekvensberoende. Den är i allmänhet liten vid låga frekvenser (under 250



Figur 2.8 Markdämpning som funktion av frekvensen. Avstånd källa—mottagare:  
 — 110 m,  
 - - - 340 m; Enligt Parkin & Scholes (37–40).  
 ····· 600 m.

Hz), når sitt maximum vid medelhöga frekvenser (250 – 1 000 Hz) och avtar sedan åter något vid de högsta frekvenserna. Höjes ljudkällan och/eller mottagaren över markplanet, minskar dämpningen vid medelhöga och höga frekvenser medan den blir oförändrad eller bättre vid låga.

För trafikbuller som mäts i dB(A) innebär ovanstående att markdämpningen för det enstaka fordonet är  $0 - 3 \text{ dB(A)}$  per avståndsfördubbling. Den största dämpningen uppnås då ljudutbredningen sker över bevuxen mark och såväl källa som mottagare befinner sig nära marken. Den minsta dämpningen erhålls vid ljudutbredning över t ex asfalt, betong eller vatten när källa och mottagare befinner sig högt över markplanet.

## 2.5 Skärmars inverkan på ljudutbredningen

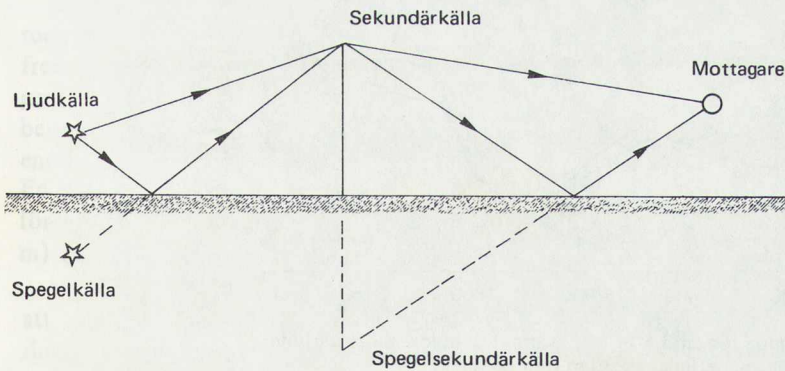
### 2.5.1 Fysikalisk förklaring

När en skärm placeras på marken påverkas ljudutbredningen på olika sätt. Effekten av skärmen studeras i tre steg.

1. Ljudutbredning från ljudkällan till skärmkrönet. Denna behandlas i princip som ljudutbredning över mark.
2. Den "egentliga skärmdämpningen", som beror på bl a brytningsvinkeln vid passagen av skärmkrönet.
3. Ljudutbredning från skärmen till mottagaren. Man kan då räkna som om det finns en sekundärljudkälla på skärmkrönet och behandla det hela som ljudutbredning över mark. Sekundärljudkällan har speciella egenskaper; den har bl a stark riktverkan, så att den våg som går nedåt mot marken är svagare än den direkta.

Vid tunna skärmar kan visst ljud passera genom skärmen. För de flesta helt täta skärmar är dock detta ljud försumbart jämfört med det som passerar över skärmen. Ifall skärmen är genombruten, exempelvis ett spjalstaket, kommer dock så mycket ljud att gå rakt igenom att man måste ta hänsyn till det.

Det intressanta med en skärm är givetvis den förbättring som erhålls



Figur 2.9 Ljudutbredning över mark med skärm.



jämfört med förhållandet utan skärm, den s k insättningsljuddämpningen. Utan skärm får man en markdämpning som kan vara stor om källa och mottagare ligger nära marken. När skärmen sätts in får man också en viss markdämpning i steg 1 och 3, men genom att skärmkrönet ligger ganska högt blir den mindre än den var utan skärm. Den egentliga skärmdämpningen (steg 2) är dock så stor att en skärm alltid medför någon minskning av ljudnivån.

En skärm kommer därför att ge störst förbättring på platser där markdämpningen är liten, exempelvis där vägen går fram en bit ovanför omgivande terräng eller där marken är hårdgjord.

### 2.5.2 Teoretiska beräkningsmetoder

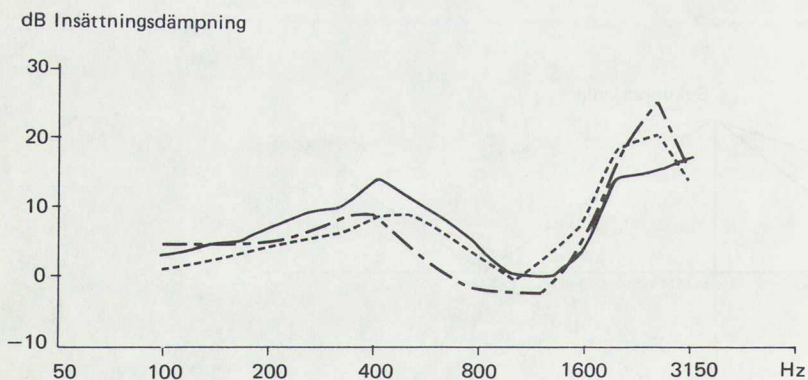
Ett antal beräkningsmetoder finns för den egentliga skärmdämpningen, som alltså är den dämpning som skulle fås om skärmen sträckte sig nedåt i oändlighet och marken inte fanns. Marken har dock en avgörande inverkan; trots det har flera praktiska beräkningsmetoder föreslagits som grundats direkt på de teoretiska metoder som försummar marken.

En svensk akustiker, Lindblad (30), har utarbetat en metod som tar hänsyn till markens akustiska impedans. Ett exempel på uppmätta och beräknade värden visas i figur 2.10.

### 2.5.3 Empiriska metoder

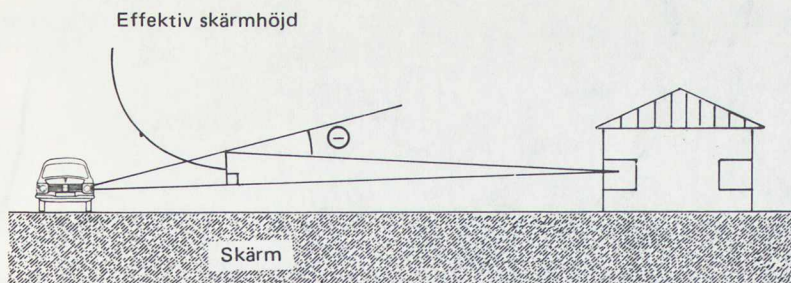
Praktiska mätningar lider ofta av den bristen att insättningsljuddämpningen inte går att få fram därför att man inte känner den markdämpning som skulle erhållas utan skärm.

Ett par svenska akustiker, Elvhammar och Ingemansson (10), anger en huvudsakligen empirisk metod som ger insättningsdämpningen i dB. Någon hänsyn till olika markdämpning tas inte i metoden, varför den kan slå fel i enskilda fall. Den är utarbetad för gräsbevuxen mark.

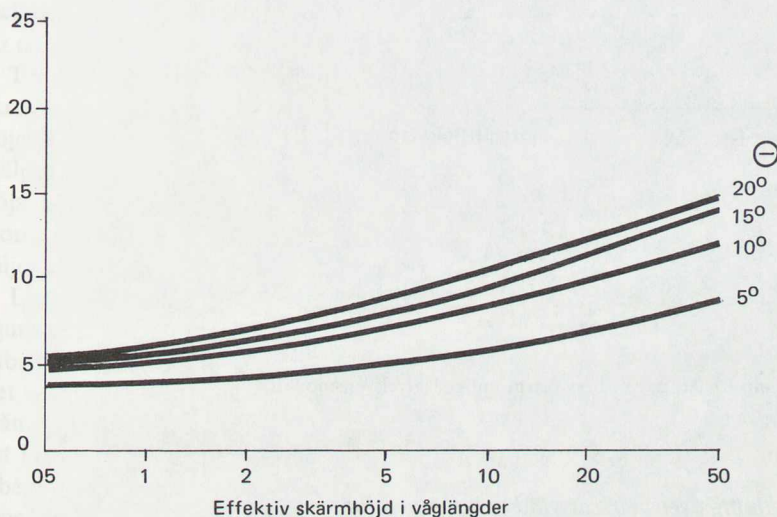


Figur 2.10 Insättningsdämpning för en 3,5 m hög skärm. Källhöjd = mottagarhöjd = 0,7 m, både källa och mottagare befinner sig 30 m från skärmen.

— uppmätt — — — — — beräknat för två antagna markimpedanser. Enligt Lindblad 1969.



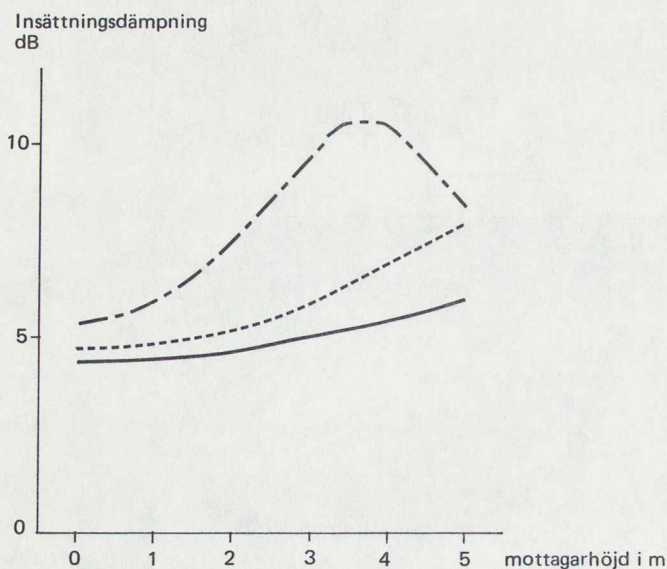
Dämpning dB



Figur 2.11 Empirisk kurvskara för bestämning av skärmdämpning vid vägtrafikbuller. Enligt Elvhammar & Ingemansson.

Både markdämpning och "egentlig skärmdämpning" är frekvensberoende. Den resulterande insättningsdämpningen är därför ännu mer frekvensberoende än markdämpningen. Liksom vid ljudets passage genom fönster är det de högre frekvenserna som dämpas mest. När man beräknar inomhusnivåer i skärmade hus kan man därför tillåta sig att endast ta med de låga frekvenserna, oktavbanden 125 eller 250 Hz. En svensk akustiker, Jonason (26), har beräknat insättningsdämpningen för en skärm under antagande att oktavbandet 125 Hz (våglängd ca 2,7 m) dominerar, se figur 2.12.

Insättningsdämpningen stiger med mottagarens höjd över marken trots att skärningen av direkt ljud minskar. Orsaken är gångskillnadsändringar på mottagarsidan. Vid 125 Hz kan marken betraktas som totalreflekterande och den kraftigaste minskningen i ljudnivån kommer att ske vid vägskillnader omkring 1,4 m.



Avstånd källa-skärm-mottagare

- 20 + 60
- - - 20 + 40
- · - 20 + 20

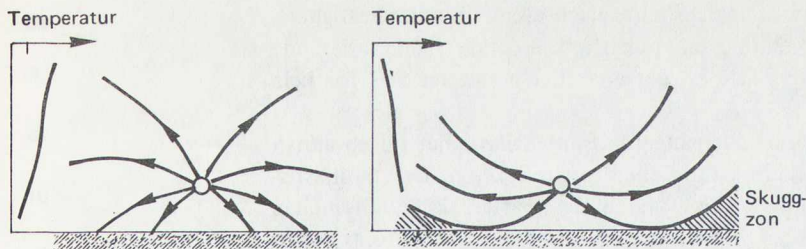
Figur 2.12 Insättningsdämpning för en 2,8 m hög skärm enligt lågfrekvensmodell. Jonasson 1971.

## 2.6 Inverkan på ljudutbredning över mark av vind och temperatur

### 2.6.1 Kvalitativ genomgång

Variationer i temperatur medför varierande ljudhastighet i luften. Ljudhastighetsvariationer och luftens varierande hastighet medför att ljudet böjer av från den linjeräta utbredning som är för handen vid stationärt medium och samma hastighet överallt i mediet. Över öppen terräng varierar temperaturen ganska snabbt med höjden men långsamt i horisontalplanet. Ljudhastigheten ökar ca 0,6 m/s för varje grads temperaturhöjning. Oftast behöver man endast ta hänsyn till temperaturvariation med höjden.

Med höjden ökande hastighet böjer ljudet nedåt och omvänt. Från källa till observationspunkt går ljudet den väg som tar kortast tid. Om hastigheten är högre på större höjd väljer ljudet en högre bana än den räta linjen mellan källa och observationspunkt. Med höjden ökande temperatur benämns inversion eller positiv gradient. Gradient innebär förändring per längdenhet, i detta fall med höjden. Negativ temperaturgradient kallas på engelska "lapse" och på svenska normal temperaturfördelning. Normal innebär inte vanligast förekommande, utan innebär att ostörd atmosfär utan stark in- eller utstrålning får negativ, normal gradient. Vid



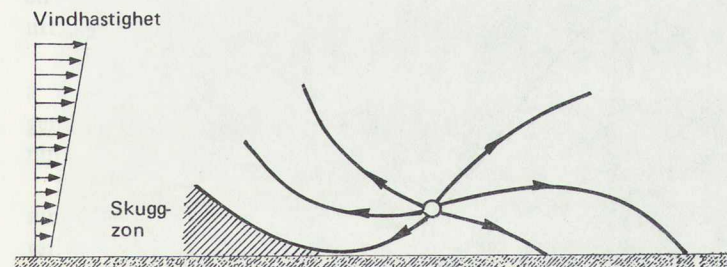
Figur 2.13 Inverkan av med höjden stigande temperatur (positiv temperaturgradient eller inversion) till vänster och med höjden avtagande temperatur (negativ gradient eller normal temperaturfördelning) till höger.

negativ temperaturgradient ligger den snabba vägen under den räta linjen mellan källa och observatör. Denna kurva kan avbrytas av markytan. Man får en skärmning av denna ljudväg, en skuggzon, se figur 2.13.

Till ljudhastigheten adderas luftens rörelsehastighet. Genom markytans skrovlighet bromsas lufrörelsen närmast denna så att man får en med höjden ökande vindstyrka. Vid ren medvind kommer därför ljudet att hjälpas fram mer på större höjder än på lägre, vilket innebär att ljudet böjs nedåt, väljer en högre bana. Vid motvind kommer ljudvågor på större höjd att hindras mer än de på lägre varför ljudvågorna böjer uppåt, väljer en lägre, ev. avbruten bana, se figur 2.14.

Ljudhastighet och vindhastighet måste adderas med sina riktningar. Ljudets hastighet i vertikalled kan dock oftast försummas vid här aktuella utbredningsfall, varför man kan säga att vid medvind adderas ljudhastighet och vindhastighet och vid motvind skall vindhastigheten subtraheras från ljudhastigheten. Vind vinkelrätt mot ljudutbredningsriktningen gör att ljudet böjer av i vindriktningen eller mellan två punkter väljer en bana i båge på lovartsidan av linjen mellan dessa. Den omväg ljudet då gör är emellertid liten och eftersom ingen markyta kommer in som skär av ljudstrålarna eller medför annorlunda reflektionsmönster på grund av avböjningen spelar denna liten roll.

Oftast har man både vindgradient och temperaturstyrd hastighetsgradient. Gradienterna samverkar vid inversion för ljud i vindriktningen och vid negativ temperaturgradient för ljud mot vindriktningen. I övriga kombinationer motverkar den ena gradienten den andra. Om hastighetsgradienten på grund av vind är den större vid negativ temperaturgradient,



Figur 2.14 Inverkan av vind på ljudutbredningen.

uppstår därför ingen ljudskugga. Summaeffekten av de olika hastighetsgradienterna medför komplicerat hastighetsberoende med varierande höjd. Gradienten behöver inte ha det ena eller andra tecknet för hela höjdområdet.

Om luften skiktas så att övergångarna från en hastighet till en annan sker språngvis, erhålls ljudbrytning eller totalreflektion. Om ljudhastigheten är större i ett högre skikt och ljudet träffar skiljeytan mellan skikten under mycket sned vinkel, kan därför allt ljud reflekteras nedåt.

### 2.6.2 Redovisade mätningar

I en undersökning (Wiener och Keast, 58) har man mätt inverkan av vind och temperatur på markdämpningen. En principskiss över mätningarna framgår av figur 2.15. I figur 2.16 visas några resultat. Observera att de meteorologiska omständigheterna skiljer sig i de olika diagrammen.

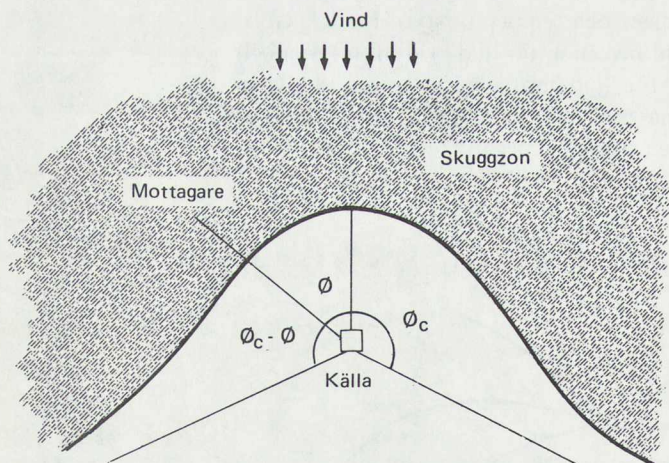
Figureerna visar att dämpningen är starkt avståndsberoende. I figur 2.17 visas i stället frekvensberoendet för två avstånd.

Den kraftiga dämpningstoppen vid 200 – 300 Hz beror på interferens från markreflexen. Vid korta avstånd påverkas endast frekvenserna över toppen, medan vid större avstånd även lägre frekvenser påverkas vid en omkastning av vindriktningen.

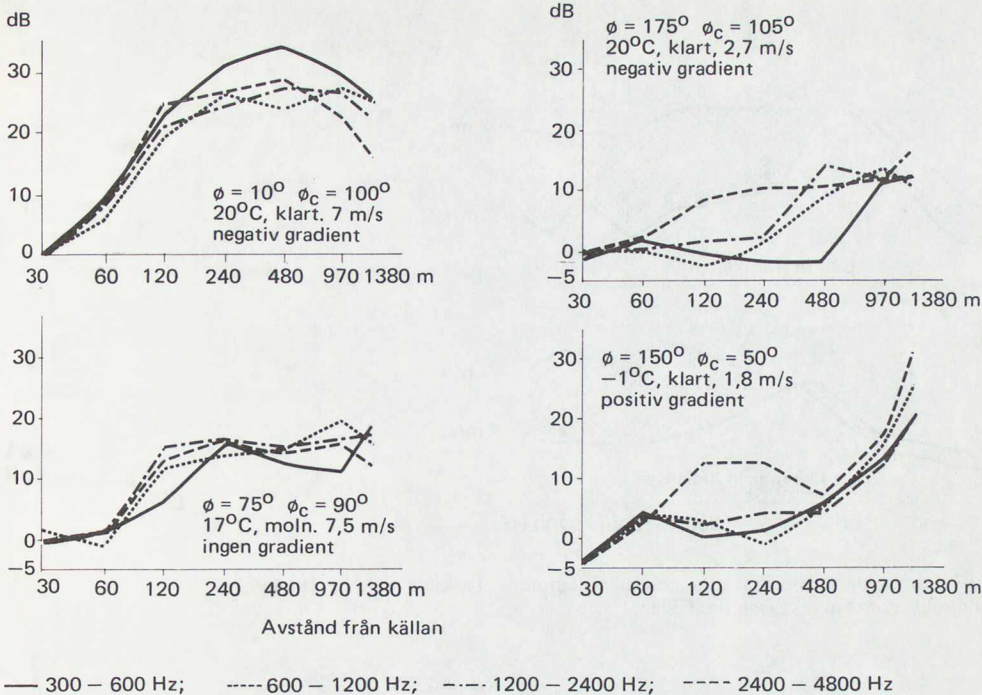
Temperaturgradientens inverkan på ljudutbredningen över mark framgår av figur 2.18.

En ändring från positiv till negativ temperaturgradient minskar ljudnivån med 5 – 10 dB. En skillnad gentemot vindens inverkan är att hela frekvensregistret påverkas även vid kort avstånd.

Vid inversion (positiv temperaturgradient) kommer ljudet mellan två punkter på marken att gå i en båge uppåt, varigenom skärmar o d kan bli verkningslösa. Ljudvägens största höjd kan enkelt beräknas (enligt t ex Wadmark, 57).



Figur 2.15 Principiell bild av ljudutbredningen vid vind- och temperaturgradient.



Figur 2.16 Uppmätta värden på dämpning utöver avstånds- och molekylärdämpning. De två vänstra diagrammen avser mottagarpunkter i skuggzonen och de två högra punkter utanför denna. Beteckningarna  $\phi$  och  $\phi_c$  hänför sig till figur 2.15. Wiener och Keast 1959 (58).

$$h = a \cdot 0,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

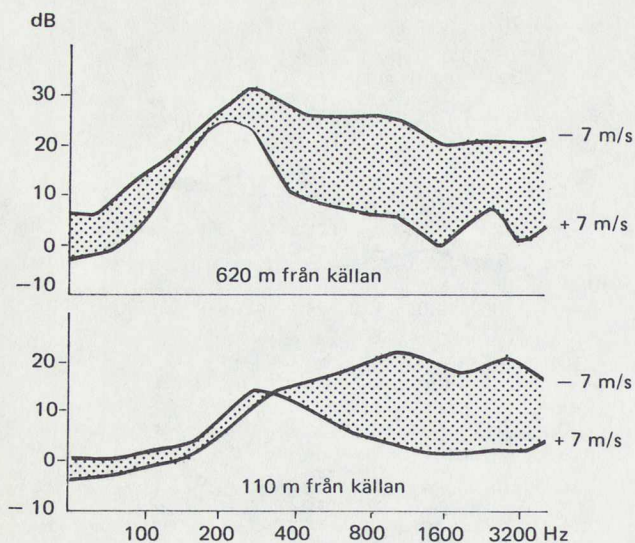
där  $a$  = avstånd källa–mottagare i m. Sammanfattningsvis kan sägas att dessa förhållanden inte är systematiskt behandlade i någon större utsträckning. Analytiska beräkningsmetoder förekommer sparsamt och de är komplicerade.

### 2.7 Inverkan av vegetation på ljudutbredningen

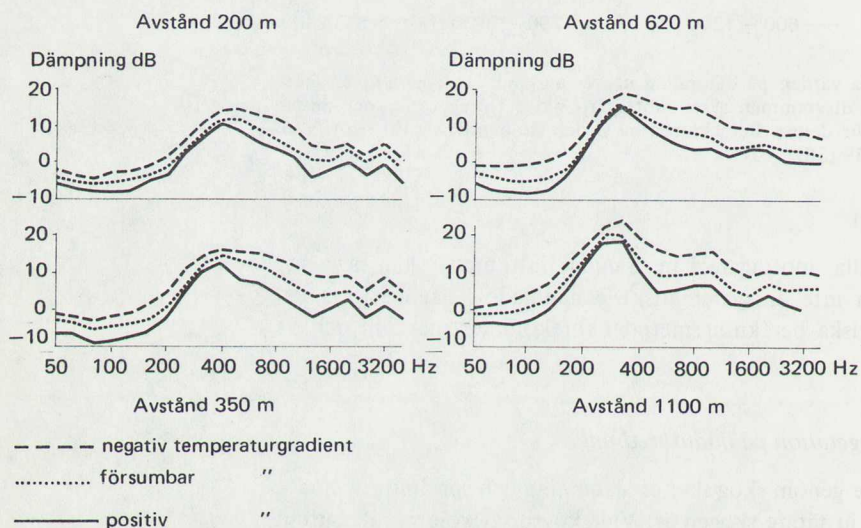
Vid ljudets passage genom skog sker en dämpning och spridning av ljudet som är kraftigare ju tätare skogen är. Vid skogsbryn kommer dessutom en del av ljudet att reflekteras tillbaka mot källan vid såväl inträdet i som utträdet ur skogen, se figur 2.19.

Dämpningen på grund av reflexion uppgår enligt en undersökning till 1 à 2 dB per skogsbryn. Reflexionen skulle kunna utnyttjas maximalt genom skogsplantering i remsor vinkelrätt mot ljudets utbredningsriktning, se figur 2.20.

En kraftig och tät häck skulle enligt Glück (45) kunna ge en dämpning om 2 – 6 dB, vilket i så fall torde få tillskrivas den ovannämnda reflexionen. Andra författare uppger emellertid att häckar skulle vara helt värdelösa för att minska ljudnivån, varför deras effekt tills vidare får anses osäker.



Figur 2.17 Dämpning utöver avstånds- och markdämpning. Parkin & Scholes 1964 (37). Vind rakt mot resp rakt från ljudkällan.



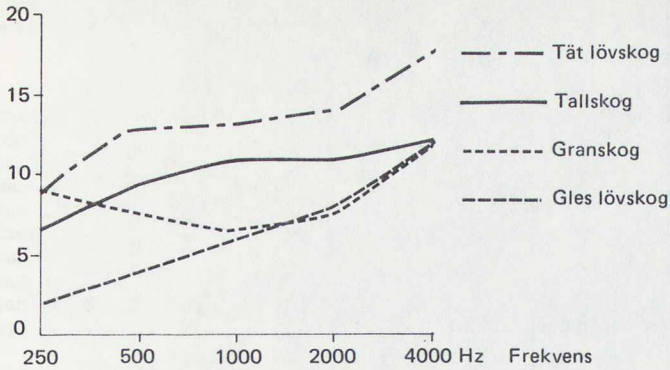
Figur 2.18 Jämförelse av markdämpning vid negativ, försumbar och positiv temperaturgradient. Parkin & Scholes 1965 (38).

## 2.8 Ljudisolering hos byggnadskonstruktioner

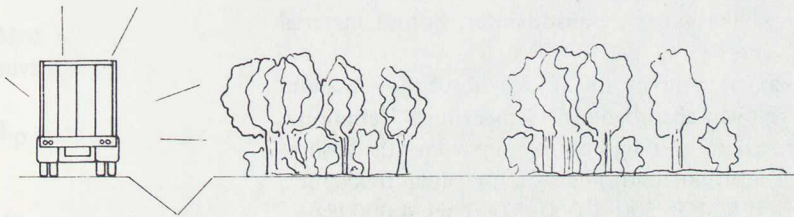
### 2.8.1 Rumsakustiska grundbegrepp och definitioner

Då en ljudkälla införs i ett slutet utrymme uppstår ett helt annat ljudfält än som tidigare har beskrivits. Genom ljudets reflexioner i rummets begränsningsytor blir approximativt alla riktningar hos ljudvågen lika

Dämpning dB per 100 m



Figur 2.19 Utbredningsdämpningen i dB per 100 m för olika skogstyper. Meister & Ruhrberg 1959.



Figur 2.20 Skogsplantering för att maximalt utnyttja reflexionen mot skogsbrynen. Avsikten med att göra skogen tät närmast ljudkällan och sedan allt tunnare är att det ljud som reflekteras mot efterföljande skogsbryn inte skall kunna reflekteras tillbaka på nytt.

tänkbara, ljudfältet blir diffust och ljudeffekten som avges från ljudkällan fördelas i stort sett likformigt i rummet med undantag för ljudkällans omedelbara närhet.

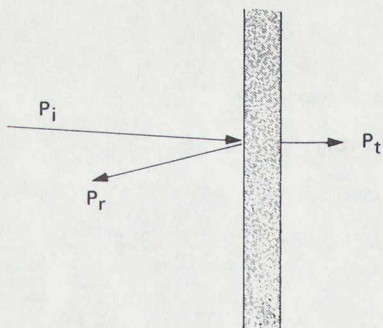
### 2.8.1.1 Absorption

Förhållandena vid en begränsningsyta kan schematiskt enkelt åskådliggöras av figur 2.21. Vid reflexionen kommer en del av ljudeffekten att gå förlorad, den absorberas. Denna absorption är av betydelse för storleken hos det ljudfält som utbildas om en ljudkälla helt omslutes av begränsningsytor, t ex väggar, golv och tak i ett rum.

Ett mått på absorptionen är absorptionsfaktorn, som anger hur stor del av den ursprungliga ljudeffekten som absorberas. Absorptionsfaktorns storlek varierar mellan 0 och 1. Är den 0 absorberas ingen ljudeffekt, utan all effekt återkastas, reflekteras, av ytan. Absorptionsfaktorn 1 anger att all effekt absorberas.

Absorptionen sker genom att ljudenergi omvandlas till andra energiformer. Hos ett poröst material sker detta genom friktion mellan luft-





Figur 2.21 Ljudeffekter vid vägg. Se vidare nedan under 2.8.2.1.

partiklarna och materialporerna. Då en träpanel träffas av ljudvågor uppstår svängningar i panelen och den energi som krävs för detta tas från ljudenergin; panelen absorberar ljud.

Absorptionen hos en yta är emellertid även beroende på frekvensen hos det ljud som träffar den. Man skiljer med hänsyn till detta frekvensberoende på flera olika typer av absorbenter. Porösa material absorberar mest höga frekvenser.

Resonansabsorbenter kan avstämmas till största absorption i andra frekvensområden. Bland resonansabsorbenterna kan nämnas Helmholtz- och membranabsorbenter. En fullständig beskrivning av en ytas absorption kräver således att absorptionsfaktorn anges för olika frekvenser, vanligen oktavfrekvenserna 125, 250, 500, 1 000, 2 000 och 4 000 Hz.

Exempel på absorptionsfaktorer för några olika material lämnas i tabell 1.

En ytas ljudabsorption är lika med absorptionsfaktorn för ytan gånger ytans storlek.

### 2.8.1.2 Rumsabsorption

För ett slutet utrymme kan den s k rumsabsorptionen beräknas som summan av begränsningsytornas absorption.

Uttrycket för rumsabsorptionen blir:

$$A = a_1S_1 + a_2S_2 + a_3S_3 + \dots + a_nS_n$$

där

$A$  = rumsabsorptionen,  $m^2$

$a$  = absorptionsfaktor och

$S$  = ytas storlek,  $m^2$ .

I rumsabsorptionen skall även inräknas de bidrag som enskilda föremål i rummet lämnar till ljudabsorptionen.

I tabell 1 nederst lämnas exempel på absorptionen i  $m^2$  hos några sådana s k enkelabsorbenter.

Tabell 1 Absorptionsfaktorer hos några vanliga byggnadsmaterial.

Material	Frekvens i Hz					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Betong, marmor, kakel etc	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Parkett på regler	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07
Mjuk matta på betong	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
Linoleum på betong	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Mineralull, 3 cm direkt mot vägg	0,12	0,24	0,50	0,80	0,86	0,88
Mineralull, 10 cm direkt mot vägg	0,40	0,65	0,90	0,92	0,95	0,99
Bomullsgardin, draperad	0,12	0,20	0,42	0,53	0,64	0,62
6 mm hård träfiberskiva på 50 mm höga regler	0,63	0,42	0,35	0,12	0,08	0,08
Öppet fönster, teoretiskt värde	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Absorption hos några enkelabsorbenter						
Sittande person	0,17	0,36	0,47	0,52	0,50	0,46
Stol med klädd sits och rygg	0,17	0,23	0,23	0,22	0,19	0,18

### 2.8.1.3 Ljudkällor i slutna utrymmen

Med kännedom om rumsabsorptionen kan man beräkna den ljudtrycksnivå som erhålls då en ljudkälla med given ljudeffekt införs i rummet.

$$L_p = L_p' + 10 \log \left[ \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4(1-\bar{a})}{S \cdot \bar{a}} \right] \text{ dB}$$

där  $r$  = avståndet från ljudkällan

$L_p$  = ljudtrycksnivån, dB

$L_p'$  = ljudeffektnivån, dB

$S$  = begränsningsytornas sammanlagda storlek,  $m^2$

$\bar{a}$  = genomsnittlig absorptionsfaktor, ur

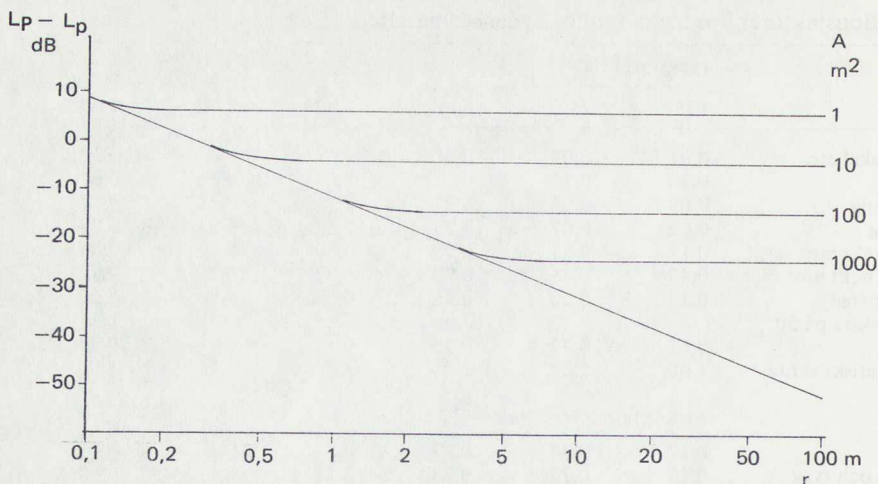
$$\bar{a} = \frac{A}{S}$$

$A$  = rumsabsorptionen,  $m^2$ .

Sambandet visas i figur 2.22. Då man befinner sig nära ljudkällan avtar ljudtrycksnivån enligt avståndslagen med 6 dB vid avståndsfördubbling. På längre avstånd närmar sig emellertid ljudtrycksnivån ett konstant värde bestämt av rumsabsorptionen. Ett vanligt värde på rumsabsorptionen i bostadsrum är ca  $10 m^2$ . Som framgår av diagrammet kommer ljudtrycksnivån från en ljudkälla i ett sådant rum att på mindre än 1 m avstånd från källan anta ett konstant värde.  $10 m^2$  absorption i ett rum brukar kallas normalabsorption.

### 2.8.1.4 Efterklangstid

Med kännedom om rumsabsorptionen kan en annan viktig akustisk egenskap beräknas för rummet, nämligen dess efterklangstid. Om man i ett rum har ett ljud från t ex en högtalare och plötsligt avbryter ljudet kommer ljudet ändå inte att ögonblickligen dö ut. Det klingar först så



Figur 2.22 Sambandet mellan rumabsorption  $A$ , avstånd till ljudkälla  $r$ , ljudeftektivnivå  $L_p$  och ljudtrycksnivå  $L_p$ .

småningom ut. Detta kallas för efterklang. Ett mått på efterklangens är efterklangstiden och den har definierats som den tid det tar för ljudtrycksnivån att minska 60 dB från sitt ursprungliga stationära värde sedan ljudkällan tystats.

Efterklangstiden kan beräknas enligt följande formel som efter den man som härledde den kallas Sabines formel:

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \text{ där}$$

$T$  = efterklangstiden, s

$V$  = rumsvolymen,  $m^3$

$A$  = rumabsorptionen,  $m^2$

Eftersom rumabsorptionen varierar med frekvensen kommer även efterklangstiden att göra det. Det blir alltså nödvändigt att genomföra beräkningarna för de olika frekvenser som är av intresse. För överslagsberäkningar begränsar man sig dock ibland till ett värde, vid 500 Hz.

För att få goda akustiska förhållanden i hörsalar strävar man efter att få en efterklangstid som ej alltför mycket ändras sig med frekvensen. Man måste då pröva sig fram med olika material på rummets olika ytor och för varje alternativ beräkna efterklangstiden vid de olika frekvenserna.

I andra lokaler med t ex bullrande maskiner önskar man å andra sidan dämpa de ljud som maskinerna alstrar och koncentrerar sig då till de frekvenser som maskinbullret innehåller.

## 2.8.2 Ljudisolering

### 2.8.2.1 Luftljudisolering

Med kännedom om hur stor del av ljudeftekten som transmitteras genom en väggskiva då en ljudvåg träffar väggen, figur 2.31, kan en viktig egenskap hos väggen, nämligen dess förmåga att isolera mot ljud,

definieras. Reduktionstalet,  $R$ , är sålunda

$$R = 10 \log \frac{P_i}{P_t} \text{ dB}$$

där  $P_i$  = mot väggen infallande ljudeffekt

$P_t$  = genom väggen transmitterad effekt.

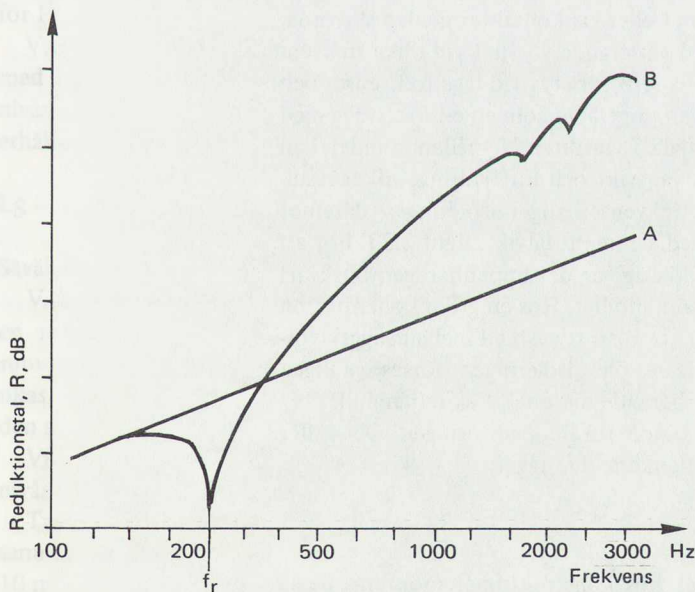
Detta är den grundläggande definitionen av reduktionstalet. Vid uppmätning av reduktionstal hos en aktuell konstruktion sker bestämningen enligt en procedur som är beskriven i svensk standard, SIS 025251.

På reduktionstalet bygger kravet på ljudisolering i våra bostäder. Närmare föreskrifter finns angivna i gällande Svensk Byggnorm, BABS 1967.

Reduktionstalet är alltså en egenskap hos byggnadsmaterial att isolera mot ljud. Även reduktionstalet är en storhet som varierar med frekvensen. Man mäter  $R$  vid de 16 tersoktaverna från 100 till 3 150 Hz. Rent generellt kan sägas att  $R$  antar högre värden med stigande frekvens. Det är flera olika egenskaper, massa, styvhet osv, hos ett väggmaterial som påverkar  $R$ . Hos en idealiserad vägg utan styvhet men med massa får  $R$  ett förlopp enligt figur 2.23, kurva A.

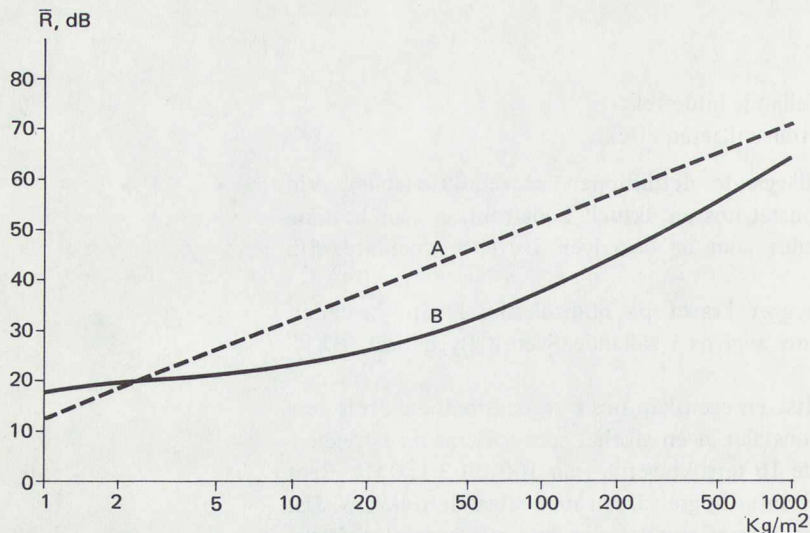
Även det aritmetiska medelvärdet av  $R$  vid de 16 mätfrekvenserna används ibland och bör då betecknas  $\bar{R}$ . Med  $R'$  betecknas reduktionstal som fastställts genom fältmätningar och med  $R$  betecknas laboratoriemätta reduktionstal.

Figur 2.24 visar hur  $\bar{R}$  varierar med en homogen väggs ytvikt. Av diagrammet framgår att ökningen av ljudisolering med väggvikt går



Figur 2.23 Reduktionstal för A idealiserad enkelvägg utan styvhet, B dubbelvägg med samma totala massa som enkelväggen,  $f_r$  resonansfrekvens.

## Reduktionstal



Figur 2.24 Sambandet mellan reduktionstal och ytvikt hos homogen enkelvägg, den s k viktcurvan. A teoretiska värden, B praktiska värden.

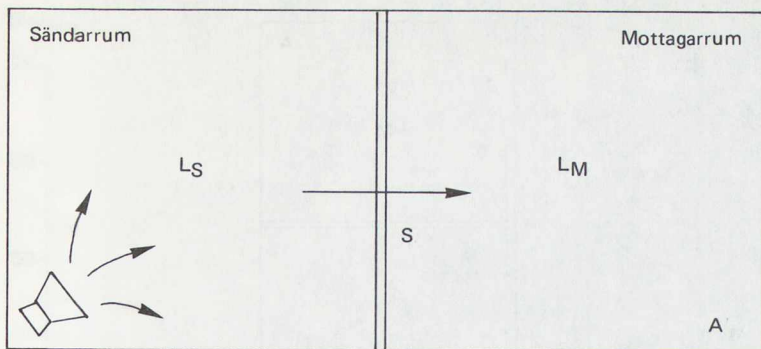
ganska långsamt. Höga ljudisoleringar skulle därmed kräva tunga och dyrbara konstruktioner.

En annan metod att åstadkomma hög ljudisolering är att använda flerskiktsväggar, vanligen dubbelväggar, med luftmellanrum. Ljudisoleringen som erhålls med en sådan vägg beror på hur stor del av ljudeffekten som överförs från ena väggskivan till den andra. Överföringen kan ske via luftmellanrummet eller via kontakter mellan skivorna. Luften fungerar som en fjäder med varierande styvhet vid olika frekvenser. Vid för litet väggavstånd blir fjädern för styv vid låga frekvenser och man erhåller en låg isolering. Väggan uppträder som en enskiktsvägg med en massa lika med den sammanlagda väggvikten. I mellanområdet kan resonansfenomen uppträda mellan väggvikt och luftfjädring, vilket resulterar i låg isolering. Mot högre frekvenser stiger isoleringen däremot snabbare än hos enskiktsväggen med samma totalvikt, figur 2.23. För att uppnå största effekt av en flerskiktsvägg är det uppenbarligen önskvärt att man lägger resonansen så lågt som möjligt. Hos en given konstruktion kan detta ske genom att man väljer ett så stort avstånd mellan väggskiorna som möjligt. För att ytterligare öka isoleringen förses vanligen luftmellanrummet med något absorberande material, t ex mineralull.

Kontakter mellan väggskiorna bidrar till ljudöverföringen. Det gäller naturligtvis även kontakter utmed flankerande väggar.

### 2.8.2.2 Mätning av reduktionstal

Vid bestämning av reduktionstalet hos konstruktioner monteras dessa mellan speciella mätrum, figur 2.25. I korthet går proceduren till så att ett ljud som alstras på ena sidan om konstruktionen blir uppmätt dels i



Figur 2.25 Principen för mätning av luftljudsisolering.

samma rum, dels i rummet på andra sidan av konstruktionen. Den skillnad i ljudtrycksnivå som uppmäts på konstruktionens bägge sidor korrigeras med avseende på den undersökta väggens area och mottagarummets akustiska egenskaper. I formel kan reduktionstalet uttryckas sålunda:

$$R = L_S - L_M - 10 \log \frac{A}{S} \text{ dB}$$

där  $L_S$  = ljudtrycksnivån i sändarrummet, dB

$L_M$  = ljudtrycksnivån i mottagarrummet, dB

$A$  = mottagarrummets rumsabsorption,  $\text{m}^2$

$S$  = skiljekonstruktionens yta,  $\text{m}^2$

I princip är denna formel en utveckling av den tidigare givna formeln för  $R$  grundad på ljudeffekten.

Vanligtvis önskar man få reda på vilken ljudisolering som kan påräknas med användning av en viss konstruktion, figur 2.26. Det man då söker är nivåskillnaden,  $L_S - L_M$ . Detta blir ett mått på den reduktion som erhålls i det aktuella fallet. Ur ekvationen ovan erhålls:

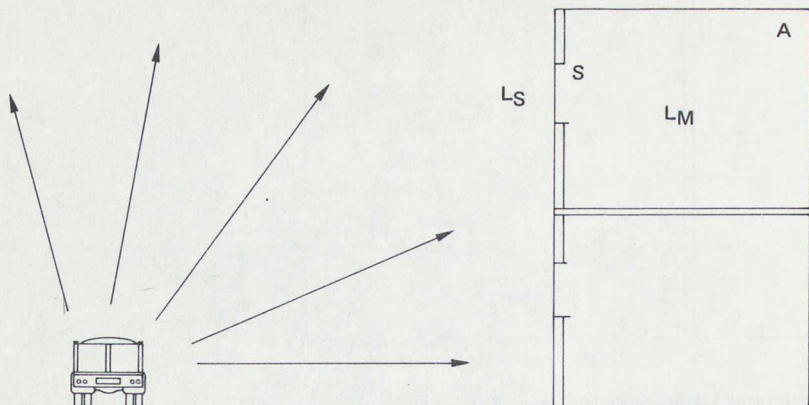
$$L_S - L_M = R + 10 \log \frac{A}{S} \text{ dB}$$

Såväl  $R$ ,  $A$  som  $S$  påverkar sålunda nivåskillnaden.

Vad först  $S$  angår ser man att en fördubbling av transmissionsytan ger en minskning av nivåskillnaden med 3 dB. Vidare framgår att även rumsabsorptionen  $A$  påverkar nivåskillnaden. Den ökar då absorptionen ökas. Det krävs dock en fördubbling av absorptionen för att nivåskillnaden skall öka 3 dB.

Vid normalabsorption,  $10 \text{ m}^2$ , och en skiljeyta på  $10 \text{ m}^2$  erhålls en nivåskillnad som är lika med reduktionstalet.

Transmissionsytans inverkan på nivåskillnaden måste särskilt uppmärksammas då man har konstruktioner som normalt är betydligt mindre än  $10 \text{ m}^2$ . Ett fönster med ytan  $1 \text{ m}^2$  ger t ex en nivåskillnad som är 10 dB större än vad reduktionstalet anger vid normalabsorption. Under samma förhållanden ger en dörr med ytan  $2 \text{ m}^2$  en 5 dB större nivåskillnad.



Figur 2.26 Beräkning av nivåskillnad.

Detta faktum bortglöms ofta i samband med fönsters och dörrars ljudisolerering.

### 2.8.2.3 Krav på ljudisolerering

Index för luftljudsisolerering,  $I_a$ , uttrycks i dB och är ett mått på isolering mot luftljud mellan två rum i en byggnad. Denna index är uträknad i förhållande till en viss referenskurva för reduktionstal (Svensk Byggnorm 67), figur 2.27. Vid beräkning av  $I_a$  flyttas referenskurvan i steg om 1 dB mot den i byggnad uppmätta kurvan för reduktionstal  $R'$  tills följande villkor uppfylls beträffande differensen mellan jämförelsekurvan (den förskjutna referenskurvan) och den mätta kurvan:

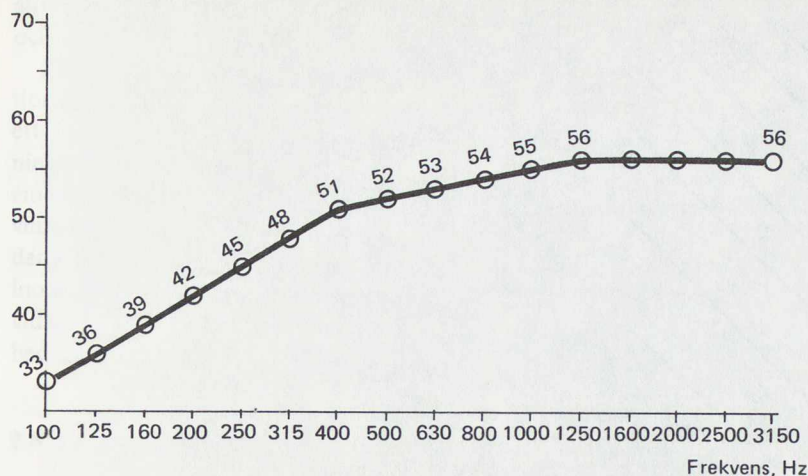
- Summan av differenserna på undersidan av jämförelsekurvan vid de 16 olika mätfrekvenserna får inte överstiga 32 dB.
- Differenserna vid enstaka frekvens å undersidan av jämförelsekurvan får inte överstiga 8 dB.

Värdet vid 500 Hz för den högst belägna jämförelsekurva som uppfyller dessa villkor anger index för luftljudsisolerering  $I_a$ . Om den uppmätta kurvan på ovan angivet sätt överensstämmer med referenskurvan i figur 2.27, erhålls  $I_a = 52$  dB. Om en överensstämmelse fås i förhållande till en kurva som ligger 5 dB över referenskurvan, erhålls  $I_a = 57$  dB och om en överensstämmelse fås i förhållande till en kurva som ligger 5 dB under referenskurvan, erhålls  $I_a = 47$  dB.

Ovanstående text är ett direkt citat ur SBN 67. Systemet att ange luftljudsisoleringen med index  $I_a$  grundar sig på internationell standardisering inom ISO, ISO Recommendation R 717, Rating of sound insulation for dwellings. Även för stegljudsisolerering har en index införts  $I_j$ , definierat på motsvarande sätt.

SBN 67 ställer krav på ljudisolerering mellan olika utrymmen i byggnader och dessa krav grundas på  $I_a$  resp.  $I_j$ . Eftersom  $I_a$  beräknas med ledning av uppmätt reduktionstal kommer den skiljande konstruktionens

Reduktionstal  $R'$  (R), dB



Figur 2.27 Referenskurva för luftljud enligt SBN 67.

yta in i sammanhanget. Detta gör att man t ex för isoleringen mellan bostadslägenheter i flerfamiljshus måste ha ett krav på väggar och ett annat på bjälklag,  $I_a = 52$  resp  $53$  dB. Det sammanhänger med att bjälklagen normalt har större yta än skiljeväggarna.

Bestämmande för en konstruktions ljudisolering är emellertid inte enbart sammansättningen av konstruktionen utan även anslutningen mot flankerande konstruktioner. Vid olämpliga anslutningar kan flanktransmission avsevärt minska en fö tillfredsställande konstruktions ljudisolering.

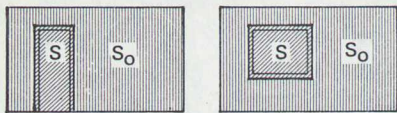
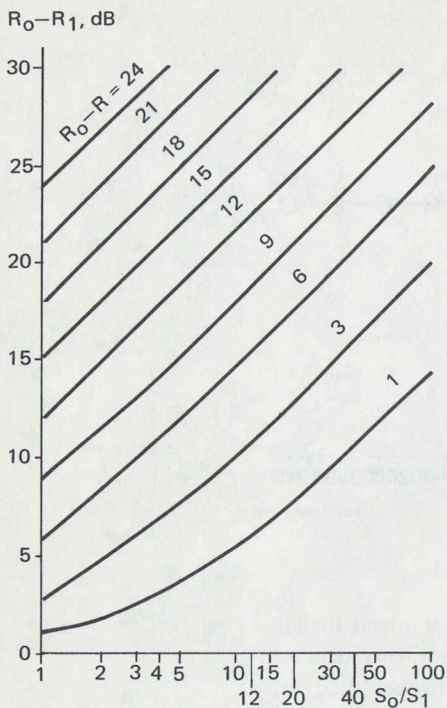
Statens planverk har utgivit en publikation, SBN – S 34:6 med tabeller över de index för luft- och stegljudisoleringen som kan förväntas med ett antal konstruktioner om anslutningen mot angränsande konstruktioner utförs på angivet sätt.

#### 2.8.2.4 Ljudisolering hos sammansatta konstruktioner

En vägg som består av olika delar, t ex en regelvägg med en dörr, får en ljudisolering som bestäms av de olika delarnas ljudisolering. Om man känner delarnas reduktionstal kan man beräkna den sammansatta konstruktionens reduktionstal. Vid denna beräkning, som rätteligen skall ske för varje aktuell frekvens från 100 till 3 150 Hz, används enklast nomogram, t ex SBN 67, sid 229. Se även figur 2.28.

Ett enkelt exempel förklarar sammanhangen. I en fasadvägg med ursprunglig yta av  $10 \text{ m}^2$  insätts ett fönster med ytan  $2 \text{ m}^2$ . Fasadväggens reduktionstal vid en frekvens antas vara 40 dB och fönstrets reduktionstal vid samma frekvens 30 dB. Fönstret upptar 20 % av ytan. Skillnaden i reduktionstal är 10 dB. Fönstret kommer att nedsätta ljudisoleringen med 5 dB. Om skillnaden mellan reduktionstalen hade varit större, skulle nedsättningen i ljudisoleringen också ha blivit större. Med oförändrat förhållande mellan reduktionstalen skulle likaledes en ökning av fönstrets





Figur 2.28 Diagram för beräkning av resulterande ljudisolering.  $R_0$  = väggens reduktionstal,  $R_1$  = fönstrets (dörrens) reduktionstal,  $S_0$  = väggens yta inkl fönster (dörr),  $S_1$  = fönstrets (dörrens) yta. Exempel: I en vägg med  $R_0 = 50$  dB insätts ett fönster med  $R_1 = 25$  dB ( $R_0 - R_1 = 25$  dB). Fönsterytan är 20 % av väggytan inkl fönster ( $S_0/S_1 = 5$ ). Enligt diagrammet minskar väggens isolering ( $R_0 - R$ ) med 18 dB, dvs från 50 till 32 dB.

yta ha inneburit minskad ljudisolering.

Först sedan den resulterande isoleringen på detta sätt beräknats för alla frekvenserna, är det möjligt att beräkna den sammansatta konstruktionens index för luftljudisolering,  $I_a$ . Det är emellertid en vanligt förekommande uppgift att tex beräkna vilken typ av fönster som erfordras för att en given fasads ljudisolering vid en given yta hos fönstret skall bli tillräcklig.

### 2.8.2.5 Ljudisolering hos fönster

Av föregående kapitel framgår att det är det svagaste elementet i en sammansatt konstruktion som, med beaktande av ytan, kommer att bestämma resulterande isolering. Hos fasadkonstruktioner kommer denna svagaste länk i de allra flesta fall att utgöras av fönstret. Detta kan uttryckas på ett annat sätt: med praktiskt realiserbara fönsterkonstruk-

tioner, tjocklek på glas och på hela konstruktionen, fönsteryta osv är det alltid möjligt att först beräkna vilken ljudisolering som krävs av väggen och därmed vilka väggtyper som kan komma ifråga.

En sammanställning av luftljudsisoleringen hos olika fönsterkonstruktioner återfinns i Applied Acoustics (34). I denna översikt ges data från ett stort antal mätningar. En komplikation utgörs av att de flesta mätningar är utförda i laboratorium, d v s med diffusa ljudfält. Det kan emellertid visas att ljudisoleringen hos fönster varierar med ljudets infallsvinkel mot glaset. I synnerhet vid fasadkonstruktioner kommer förhållandena på ena sidan av fasaden att vara icke-diffusa. Man studerar f n detta inom ISO för att försöka åstadkomma en standardiserad mätmetod. Tills vidare är man emellertid hänvisad till laboratoriemätta reduktionstal vid bedömning av ljudisoleringen.

#### 2.8.2.6 Ljudisolering hos ytterväggar

De allra flesta mätningar av luftljudsisoleringen hos byggnadskonstruktioner avser konstruktioner som används mellan olika lägenheter eller rum, d v s innerväggar. Förhållandevis få mätningar föreligger beträffande tak- och fasadkonstruktioner. Emellertid kan man med viss försiktighet bedöma sådana genom jämförelse med liknande innerväggskonstruktioner. Om man samtidigt tar hänsyn till vilka fönsterkonstruktioner som kan bli aktuella från ljudisoleringssynpunkt kan följande sägas:

1. I flerfamiljshus med betongbjälklag och väggar av stenmaterial har väggarna en ljudisolering som överstiger ljudisolerande specialfönsters.
2. Vid utfackningsväggar i flerfamiljshus liksom vid radhus av träregel erhålls en lägre ljudisolering hos fasaden. Den minsta tjockleken som används på värmeisoleringen, vanligen mineralull, torde vara 100 mm. Antas vidare den yttre väggskivan utgöras av eternit och den inre av 2 x 13 mm gips eller panel + gips torde man kunna räkna med  $I_a$  ca 45 dB. Denna fasadtyp har lägre ljudisolering än fönstren om dessa har små ytor och samtidigt hög ljudisolering. Förbättring kan emellertid ske med tjockare mineralullsskikt av högre volymvikt.
3. I friliggande hus och radhus förekommer att takkonstruktionen utgörs av papptäckning på träpanel, värmeisolering, gles panel samt plastfolie. Då ett akustiskt tätt skikt saknas på insidan av denna konstruktion erhålls en lägre isolering, kanske blott av storleksordningen  $I_a = 30$  dB. Ljudisoleringen mot framför allt flygbuller kan därigenom bli otillfredsställande.

#### 2.8.2.7 Exempel på ljudisolering hos fönster och väggar

I tabell 2 lämnas några uppgifter om ljudisolering hos fönsterkonstruktioner.

En ökning av antalet glasskivor, t ex 3 i stället för 2, höjer inte isoleringen med bibehållet avstånd mellan ytterglaset. Först då avstånden blir stora mellan glaset kan en ytterligare förbättring erhållas. Denna

Tabell 2

Antal glas	Tjocklek, mm	Avstånd mm	$\bar{R}$ , dB
1	2		25
1	4		27
1	8		29
2	2	30	27
2	2	50	28
2	2	100	32
2	4	50	32
2	4	100	35
2	6	50	33
2	6	100	34

metod tillämpas t ex vid fönster mellan studio och kontrollrum i samband med ljudinspelningar. Det rör sig i sådana sammanhang om konstruktioner med tjocklekar av över 0,5 m. Som enbart ljusinsläpp med hög ljudisolering kan även glasblock komma ifråga.

Som exempel på ljudisoleringen hos några väggtyper lämnas följande värden på  $I_a$ , hämtade ur SBN-S 34:6.

Konstruktion, tjocklek	$I_a$ , dB
Betong, 180 mm	55
Betong, 140 mm	52
Tegel, 250 mm med puts	53
Tegel, 120 mm med puts	48
Gasbetong, 300 mm	47
Gasbetong, 200 mm	44
Gasbetong, 200 mm + mineralull, 30 mm + gippskiva, 13 mm	48
Gippskivor, 2 x 13 mm + mineralull, 30 mm + luftmellanrum, 65 mm + gippskivor, 2 x 13 mm, gemensamma regler	48

#### 2.8.2.8 Andra transmissionsvägar

Otäteter och andra bristfälligheter hos konstruktioner nedsätter deras ljudisolering. Speciellt vid högisolerande fönsterkonstruktioner är tätningarna av stor betydelse. Detta innebär också att ventilationsöppningar i fönsterkarmar ej kan anordnas på normalt sätt. En hög ljudisolering påverkar med andra ord ventilationssystemet som helhet. Likaledes kan ventilationskanaler medföra försämring av ljudisoleringen genom ökad ljudöverföring. I vissa fall kan rökkanaler, t ex till öppna spisar, medföra ljudläckage i en fö tillfredsställande konstruktion. Det är ej möjligt att generellt ange storleken av ljudöverföring via dessa transmissionsvägar. I vissa fall kan ljuddämpningen beräknas, t ex när det gäller ventilationskanalerna, medan i andra fall experimentella undersökningar erfordras, t ex för att bedöma effekten av tätning hos fönsterkonstruktioner.

### 2.8.2.9 Beräkning av ljudnivå inomhus från en ljudkälla utomhus

Att beräkna den ljudnivå inomhus som alstras av en ljudkälla utomhus innebär en omfattande räkneoperation som här skall beskrivas i korthet.

Det antas att utomhusbullret har ett känt spektrum, dvs att en analys är gjord av bullret. Den första åtgärden blir att med kännedom om dämpning av ljudet under utbredning räkna fram spektrum för bullret utanför fasaden till byggnaden.

Med kännedom om konstruktioner, ytor, reduktionstal och absorption i mottagarrummet kan nivåskillnaden för olika frekvenser beräknas. Styrkan hos bullret utanför fasaden skall därefter minskas med denna nivåskillnad och fortfarande skall beräkningen utföras för varje frekvens. Därmed erhålls spektrum av bullret i rummet.

Skall därefter ljudnivån i dB(A) beräknas, måste spektrum reduceras med A-filtrets karakteristik och summering av de olika delkomponenterna i spektrum ske.

Om utomhusbullret inte är känt till sitt spektrum utan endast till sin ljudnivå i dB(A) kan en dylik fullständig beräkning ej göras. Man kan dock göra vissa överslagsmässiga beräkningar.

I en rapport från statens planverk (4), Samhällsplanering och vägtrafikbuller, har angivits att normalfasaden ger en reduktion av ljudnivån med 25 dB(A)-enheter<sup>1</sup>. Med normalfasad avses en fasad med ett rimligt förhållande mellan fönster- och väggyta där fönstren är dubbelfönster med 30 mm glasavstånd men utan extra tätning. Det är emellertid att märka att även denna överslagsiffra gäller endast buller av en viss sammansättning, i detta fall trafikbuller. Med annan frekvensfördelning av bullret kommer också minskningen att bli en annan. Med extra åtgärder, främst ökade glasavstånd och effektivare tätning i fönstren, kan ljudnivåreduktionen ökas till 35 à 40 dB(A)-enheter.

Vid bedömningar av besvärsupplevelser förorsakade av buller har i ökad omfattning ljudnivån i dB(A) kommit till användning. Ljudisoleringen hos de flesta byggnadskonstruktioner innebär en frekvensberoende dämpning av ljud. Man erhåller därigenom olika spektra av en bullerkälla på båda sidor om en vägg. Det är inte alldeles självklart att t ex ljudnivån i dB(A) från trafik utomhus mätt i ett rum motsvaras av en ljudnivå i dB(A) från trafiken mätt utomhus reducerad med det antal dB(A)-enheter som motsvarar skiljekonstruktionens ljudisolering. Detta förhållande är emellertid ej fullständigt klarlagt.

### 2.9 Ljudutbredning i tät stadsbebyggelse (gatubuller)

Ämnesområdet innehåller flera olika delar. Den första är den nivåhöjning som uppkommer i gaturummet jämfört med en väg utan omgivande hus. Denna frågeställning är relativt enkel. Det andra problemet kan sägas vara hur trafikbullret från en gata tränger in i angränsande gator, då speciellt

<sup>1</sup> Uttrycket dB(A)-enheter bör här användas för att undvika förväxling med ljudnivå i dB(A) som uttrycker ett absolutvärde enligt vedertagen definition.

tvärgator. Den tredje frågan är vilken skärmverkan man får på grund av en eller flera byggnadskroppar mellan en trafikerad gata och en observationspunkt. De två senare frågorna är mer komplicerade genom den variation i husgrupperingar som kan förekomma.

### 2.9.1 Ljudnivåhöjning på grund av multipelreflexer i gaturum

I den tyska normen DIN 18005 (1) anges att ekvivalentnivån blir höjd när man har dubbelsidig bebyggelse vid en gata. Höjningen anges till

- 4 dB(A) vid 30 m gatubredd
- 6 dB(A) vid 20 m gatubredd
- 0 dB(A) vid 10 m gatubredd

Det framgår inte vilken bakgrunden är till dessa siffror.

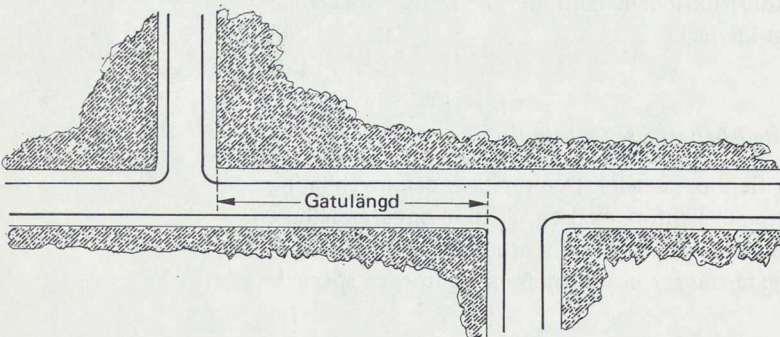
I planverkets riktlinjeförslag anges ljudnivåhöjningen vid dubbelsidig bebyggelse enligt följande tabell

gatulängd gatubredd	< 0,5	0,5–3	3,1–8	8,1–15	> 15
höjning av effektivnivån dB(A)	0	+1	+2	+3	+4

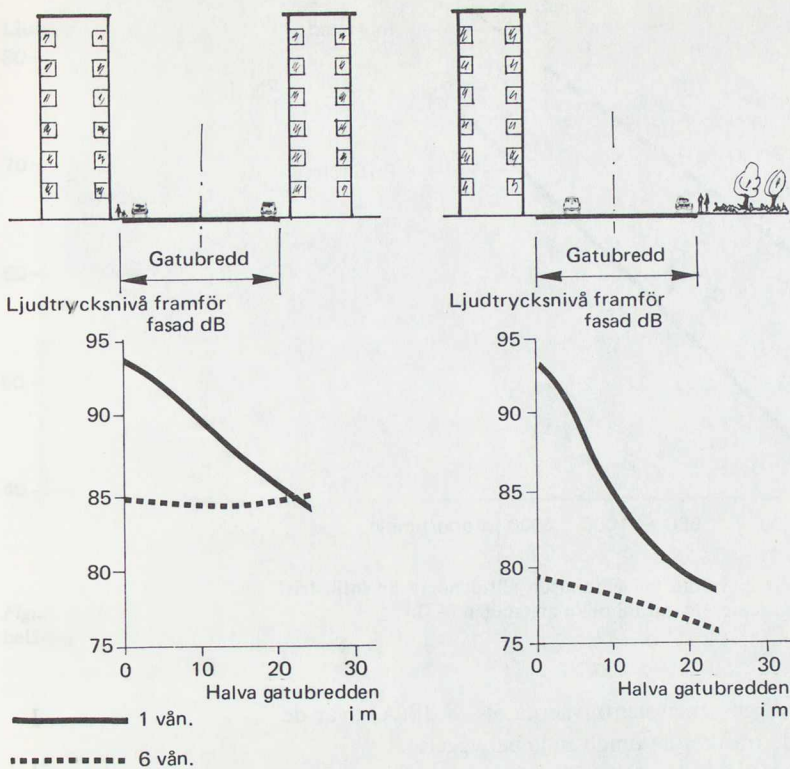
Med gatulängd avses längden av den gatusträcka som har obruten bebyggelse på båda sidorna (avbrott kortare än gatubreddens kan man dock bortse ifrån).

Siffrorna gäller för marknivån och förutsätter fullständigt reflekterande fasader.

I ett examensarbete av en teknolog vid Chalmers tekniska högskola år 1971 (31) har inverkan av olika fasadabsorption beräknats teoretiskt. Gatan antas totalreflekterande och fasaderna oändligt långa. I detta examensarbete redovisas bl a följande resultat. En vanlig fasad kan antas återkasta 95 % av ljudenergin, medan en fasad konstruerad för god ljudabsorption kanske återkastar endast 30 %. Därigenom sänks ljudnivån vid fasaden i gatuplanet med 5 dB(A) och vid fasaden på en höjd lika med en och en halv gatubredd med 7 dB(A).



Figur 2.29 Definition av gatulängd i planverkets riktlinjeförslag.

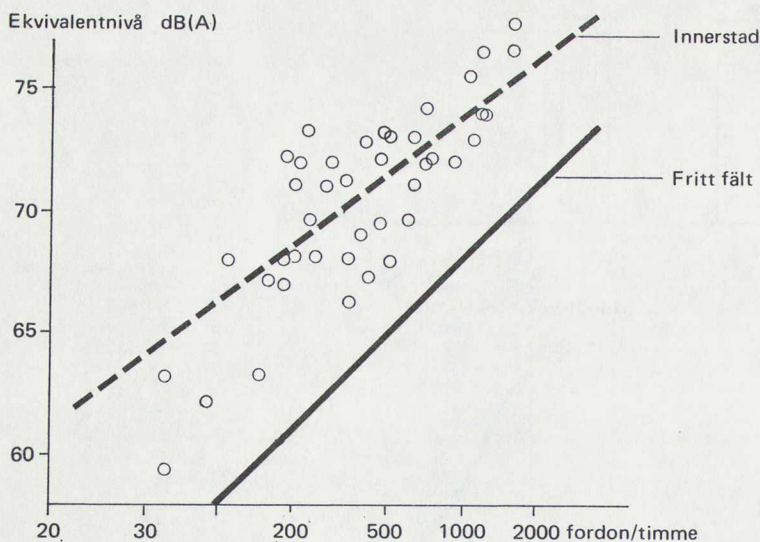


Figur 2.30 Nivåer vid fasaden med enkel- resp dubbelsidig bebyggelse då en ljudkälla passerar i en gata med bredden två tredjedelar av hushöjden.

En belgisk akustiker, Korn, gjorde år 1960 modellmätningar i skala 1:25 (29). Han har jämfört ljudtrycksnivåerna på olika höjd invid fasaden med resp. utan reflekterande vägg på motsatta sidan av "gatan". I figur 2.30 anger streckad kurva ljudtrycksnivån vid enkelsidig bebyggelse och heldragen kurva nivån vid dubbelsidig bebyggelse. Den punktformiga ljudkällan rör sig längs gatans mittlinje.

Dimensionerna på Korns modell är oklart angivna, men hushöjden torde motsvara ca 18 m och kvarterslängden ca 50 m i full skala. Mätresultaten visar att ljudets reflektion vid motstående fasad ger höjningar från 0,5 dB till 10 dB. Höjningen blir obetydlig nära ljudkällan men stiger om mottagaren ligger högt upp i huset eller ljudkällan befinner sig långt bort i gaturummet.

Sammanfattningsvis kan konstateras att *ekvivalentnivåhöjningen* på grund av multipelreflexer i gaturummet normalt torde ligga i intervallet 1 till 6 dB. Det är svårt att i praktiken verifiera höjningen eftersom inte bara de akustiska förhållandena utan även förarnas behandling av fordonen varierar med gatukonfigurationen. För en verifiering skulle det krävas mycket renodlade och hårt styrda fullskaleförsök, och några sådana tycks ej finnas publicerade. I figur 2.31 visas resultaten av 68 mätningar, huvudsakligen i Stockholms innerstad, satta i relation till trafikmängden



Figur 2.31 I tätbebyggelse blir ljudnivån vid gatuhusen alltid högre än intill fritt liggande trafikstråk. Punkterna representerar 68 olika mätställen (47).

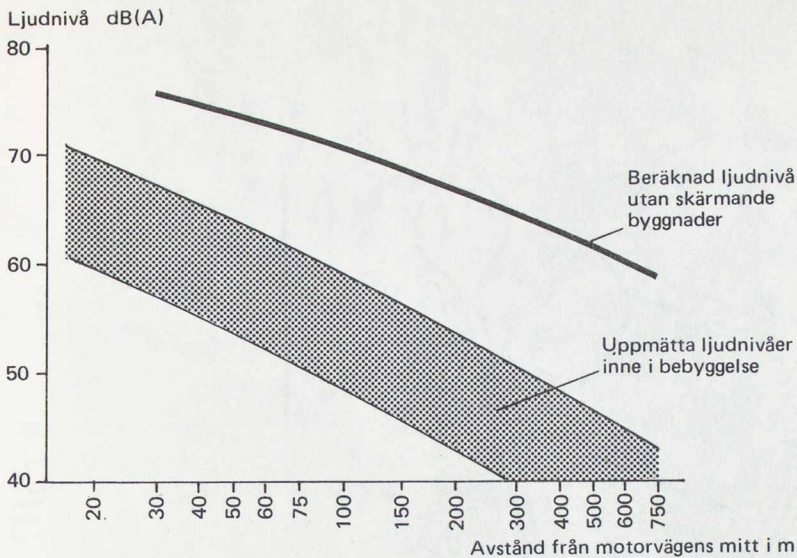
på gatorna. I genomsnitt ligger ekvivalentnivåerna 5 – 8 dB(A) över de beräknade för fritt flytande trafik utan omgivande bebyggelse.

Någon systematisk variation med gatubreddens är svår att finna i detta material, vilket torde bero på att andra förhållanden, exempelvis hur jämnt trafiken flyter, inverkar för mycket.

### 2.9.2 Ljudutbredning och skärmningseffekter i tät bebyggelse

Relativt få artiklar i ämnet finns tillgängliga. I en rapport från en amerikansk akustikkonsult, Bolt, Beranek and Newman Inc (35), finns redovisad en kort mätserie som visar inverkan av skärmande byggnader. Mätningarna gjordes kring Ventura Freeway i västra San Fernando Valley i Los Angeles. Ljudnivåmätningar gjordes längs tre linjer vinkelrätt mot vägen in i bostadsområdena till ett avstånd av approximativt 600 m. Så när som på de närmaste mätpunkterna intill ungefär 30 m var alla mätpunkterna visuellt avskärmade från vägen genom åtminstone en byggnad. Mätresultaten framgår av figur 2.32. En jämförelse har skett med beräknade värden från trafik utan några skärmande byggnader. Mätresultaten tyder på en av avståndet tämligen oberoende skärmverkan om 10 – 20 dB som också är oberoende av antalet mellanliggande byggnader.

I byggforskningens rapport "Trafikbuller i bostadsområden" (56) redovisas några sk bullerlandskap. På grundval av stickprovsmätningar i ett fyrtiotal punkter i varje bostadsområde har man dragit kurvor för ekvivalentnivån under mätperioden, som i allmänhet var en dag. Här skall återges två exempel, dels ett innerstadsfall, Röda Berget, figur 2.33, och dels ett villaområde i en förort, Enskede, figur 2.34.



Figur 2.32 Byggnaderna närmast en motorväg avskärmar effektivt den längre bort belägna bebyggelsen.

I rapporten kommenteras Röda Berget på följande sätt:

Inom området, vars största bredd är 200 m, är energimedelvärdet = effektivnivån<sup>1</sup> för bullret på marken i vissa punkter mindre än 50 dB(A). Eftersom kransbebyggelsen är lika hög som bebyggelsen därinnanför torde bullret högre upp i husen inte vara högre, utom i vissa punkter där kransbebyggelsen har brutits. Störningarna visar samma mönster: intervjupersoner i kransbebyggelsen och tre hus som exponeras av bullret från Falugatans mynning mot S:t Eriksgatan är genomsnittligt mycket mer störda än de som bor inuti området.

Kransbebyggelsen är 5 à 6 våningar hög medan byggnaderna längre upp på berget är 3 våningar höga. Genom terrängens lutning ligger dock taken på ungefär samma höjd på alla husen.

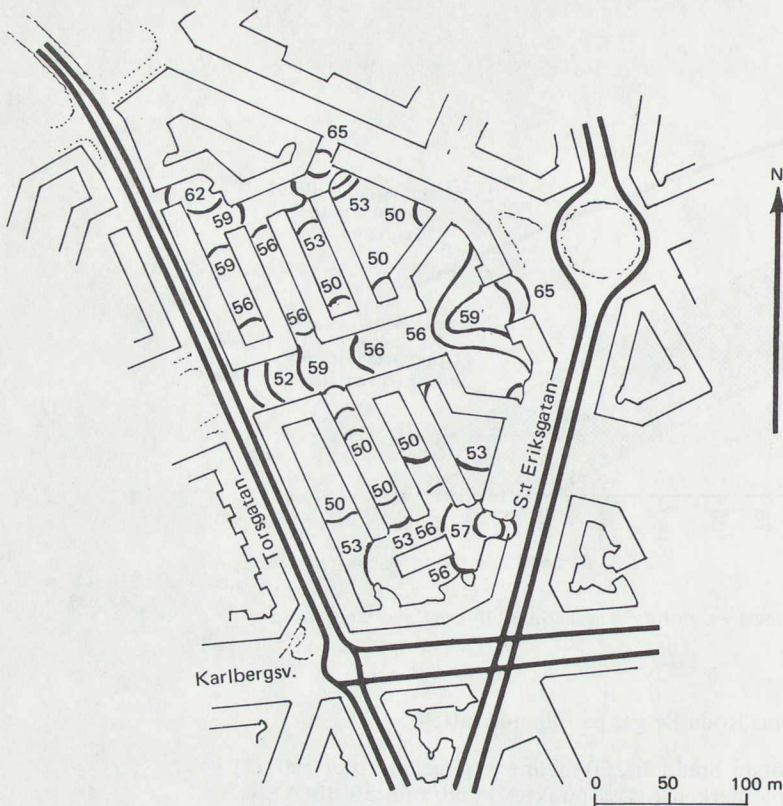
Enskede kommenteras i rapporten sålunda:

Avskärmningen mot Nynäsvägen synes vara mycket effektiv. Vägen är något nedsänkt, mellan den och småhusen ligger en rad tvåvånings flerfamiljshus och där bakom sluttar marken från leden: flerfamiljshusen bildar en rygg mellan leden och småhusen. Kombinationen av tät vegetation i trädgårdarna och tätt ställda småhus synes också medföra en snabb dämpning av bullret från Sockenvägen. Uppenbarligen är områdesbullret – trädens sus, intern trafik m m – nästan helt bestämmande för bullernivån så fort man kommit en kort bit in i området. Störningarna är låga i området. Av 44 intervjupersoner var endast två svårt störda och av dessa bodde en alldeles vid Sockenvägen. Husen närmast Nynäsvägen ingår inte i materialet.

Rucker och Glücks mätningar i Tyskland (45) bör också nämnas.

<sup>1</sup> Ekvivalentnivån



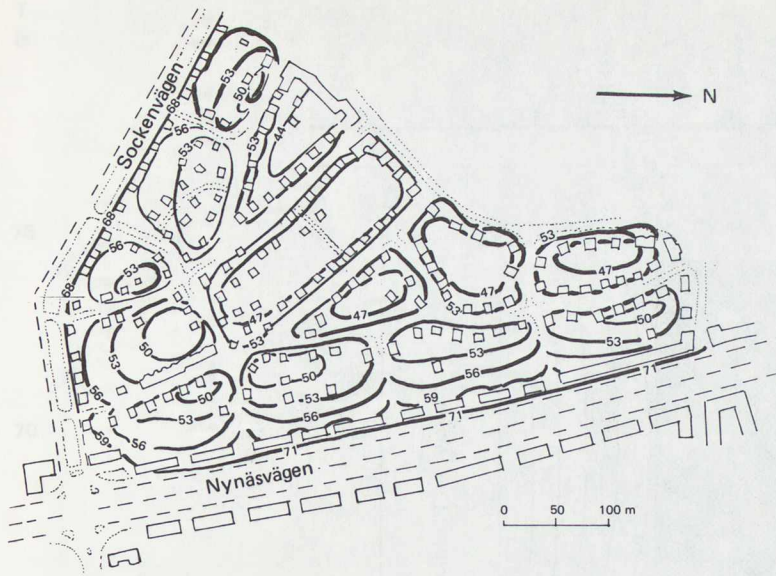


Figur 2.33 Röda Berget, Stockholm. Bullrets utbredning nära marken approximerat ur mätningar utförda den 25.8.1967 kl 07.30–18.00. Kurvorna avser ekvivalentnivå för mätperioden. Bullret i de omgivande gatorna mättes ej, men översteg med säkerhet 65 dB(A) under dagen. De största trafikströmmarna är markerade med grova linjer. Enligt mätningar i annat sammanhang torde effektivnivån för mätperioden på dessa gator uppgå till minst 70 à 75 dB(A).

Mätningarna avser maximala ljudnivån i olika punkter i bebyggelsen när ett *enstaka fordon* passerar förbi på gatan, och punkter med samma maximala ljudnivå har sammanbundits. Mätningarna är gjorda i DIN-phon. Se figur 2.35.

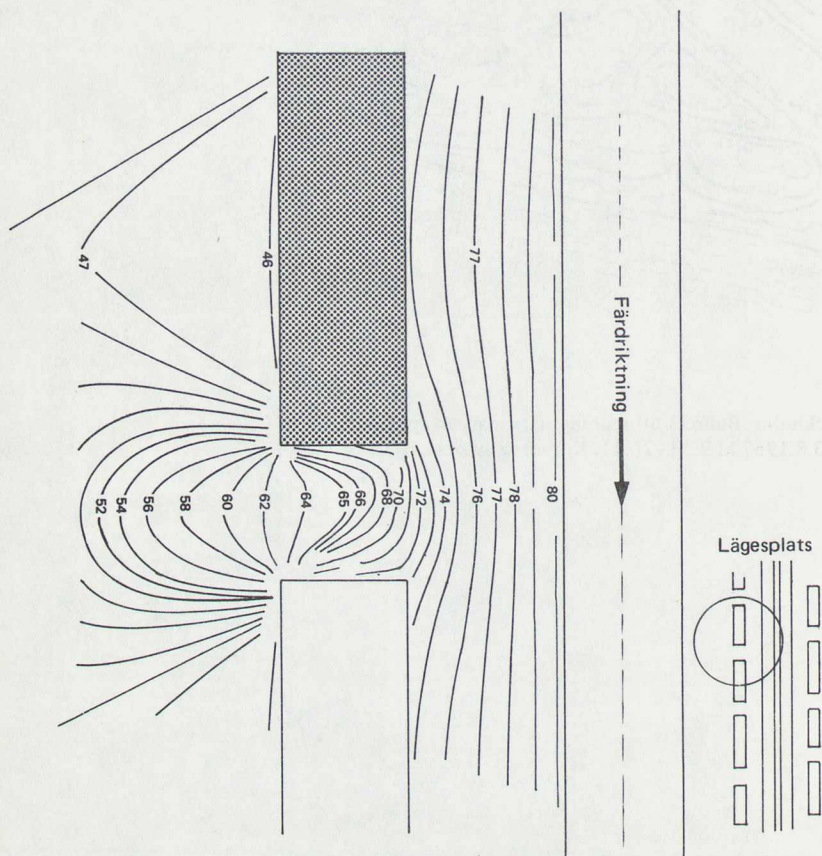
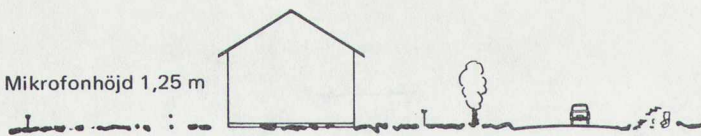
Ljudnivån är vanligen högst någon eller några trappor upp. Figur 2.36 visar resultatet av mätningar dels vid en trafikerad gata, dels vid en sidogata utan trafik.

Sammanfattningsvis torde kunna konstateras beträffande trafikbullerutbredningen in i tätbebyggelse att en avsevärd avskärmning kan erhållas. Vid hög bebyggelse utan avbrott torde denna skärmverkan kunna uppgå till 20 dB(A).

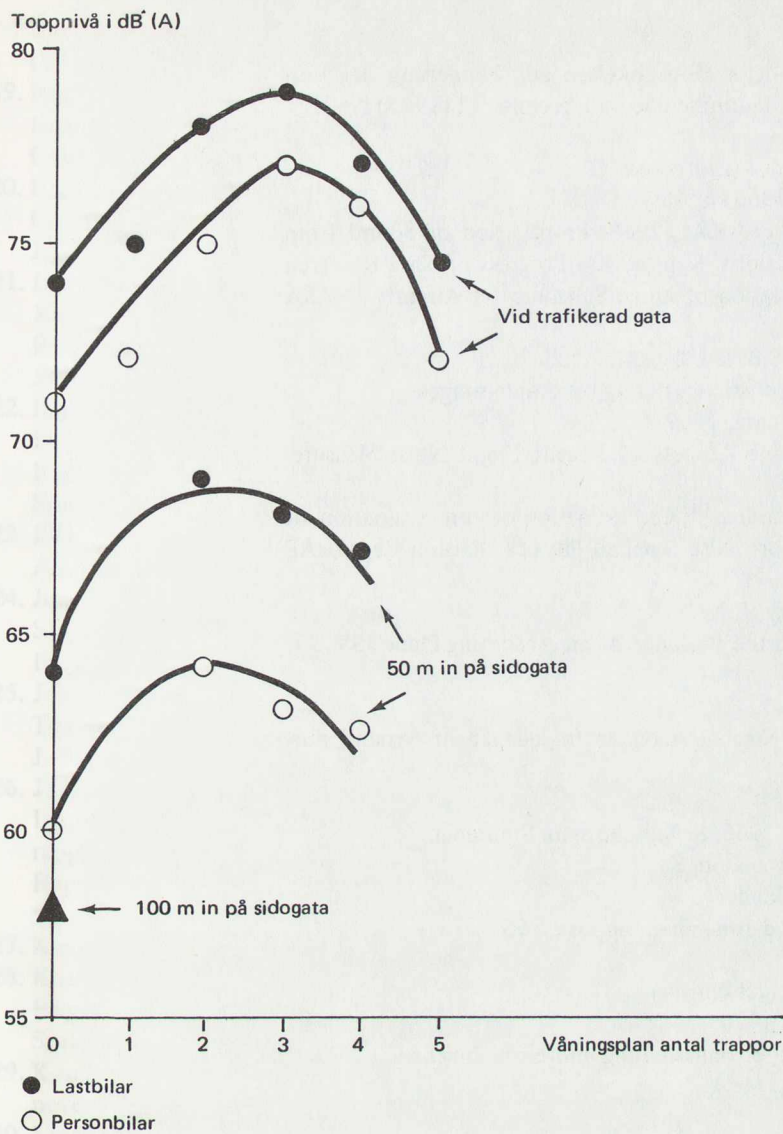


Figur 2.34 Enskede, Stockholm. Bullrets utbredning nära marken approximerat ur mätningar utförda den 23.8.1967 kl 9.33–20.11. Kurvorna avser ekivalentnivå för mätperioden.

Mikrofonhöjd 1,25 m



Figur 2.35 Ett exempel på bullerutbredningen i ett bostadsområde enligt Rucker och Glück. Angivna siffervärden är maximalnivåer i DIN-phon. Mikrofonhöjd 1,25 m.



Figur 2.36 Mätning av toppnivåer i 30 m bred gata med femvåningshus samt 50 och 100 m in på 15 m bred sidogata. Mätning vid husfasad. Hastighetsbegränsning 50 km/tim.

1. Aunap, G, 1965, Bauliche Möglichkeiten zur Minderung des Verkehrslärms an Strassen. *Baumaschine und Technik* 12 (1965) P 67.
2. Auzou, S & Lamure, C  
Le bruit aux voisinage des autoroutes  
*Cahiers du CSTB*, 78 (1966) nr 669
3. Bishop, D.E. & Franken, P.A., 1968, Propagation of Sound from Aircraft Ground Operations. Kapitel 30 i *Progress of Nasa Research relating to Noise Alleviation of Large Subsonic Jet Aircraft*. (NASA SP-189).
4. Bowman, J.J., Senior, T.B. & Uslenghi, P.L.E.  
Electromagnetic and acoustic scattering by simple shapes  
North-Holland, Amsterdam, 1969
5. Coles, G.M., 1965, Some Aspects of Recent Flight Noise Measurement. *ARC* 27 442
6. Copeland, W.C. & Saunders, E.G., 1966, Report on Evaluation of Noise Around an Airport. *NPL Applied Physics Division Report* AP 24
7. Delany, M.E. and Bazley, E.N.  
Monopole Radiation in the Presence of an Absorbing Plane *JSV*, 13, 269 (1970)
8. Dickinson, P.J. and Doak, P.E.  
Measurements of the Normal Acoustic Impedance of Ground Surfaces  
*JSV*, 13, 309 (1970)
9. DIN 180005, Entwurf, 1968, Schallschutz im Städtebau.
10. Elvhammar, H. & Ingemansson, S.  
Bullerproblem vid trafikleder  
Statens Råd för Byggnadsforskning, rapport 7/65
11. Fleischer, F  
Zur Anwendung von Schallschirmen  
Lärmbekämpfung nr 6, 1970
12. Gabler, W, 1963, Haustyp, Hausstellung und Lärmabwehr.  
Kampf dem Lärm (1963) H 4.
13. Gjärdman, A.  
Inverkan av vind- och temperaturgradient vid ljudutbredning i atmosfären  
FOA 3, A3745-57 (1971)
14. Harris, C.M., 1966, Absorption of Sound in Air versus Humidity and Temperature. *J. ac. Soc. Am.* 40 (1966) p 148–159.
15. Hay, J.A., 1966, Problems Arising in the Interpretation of Aircraft Noise Measurements. *ARC* 27 620
16. Henderson, M.C. 1963, Sound in Air: Absorption and Dispersion. *Sound* 2 (1963) nr 6 p 28–36.
17. Ingård, U., 1953, A Review of the Influence of Meteorological Conditions on Sound Propagation. *J. ac. Soc. Am.* 25 (1953) p 405–411.
18. Ingård, U. & Maling, G.C. Jr. 1963, On the Effect of Atmospheric

- Turbulence on Sound Propagated over Ground. *J. ac. Soc. Am.* 35 (1953) p 1056–1058.
19. Ingård, U. & Oleson, S.K., 1960, Measurements of Sound Attenuation in the Atmosphere. (MIT, Research Laboratory of Electronics, Contract AF 19 (604)–2051)
  20. Ingård, U., 1951  
On the Reflection of a Spherical Sound Wave from an Infinite Plan  
*JASA*, 23, 329 (1951)
  21. Ingård, U., 1953  
Review of the Influence of Meteorological Conditions on Sound Propagation  
*JASA*, 25, 405 (1953)
  22. Ingemansson, S. & Ljunggren S.  
Bullerproblem vid trafikleder  
Rapport R20:1970  
Statens Institut för byggnadsforskning
  23. ISO Recommendation R 507 (1970). Procedure for Describing Air-craft Noise Around an Airport. 2nd Edition
  24. Jensen, P.  
Stojdaempning ved anvendelse af jordvode  
*Byggeindustrien*, nr, 1969
  25. Johnson, D.R. and Saunders, E.G.  
The Evaluation of Noise from Freely Flowing Road Traffic  
*J. Sound Vib.* 7, 287 (1968)
  26. Jonasson, H.  
Ljudutbredning över mark med och utan ljudbarriärer (konferensrapport)  
Rapport R36:1970  
Statens Institut för byggnadsforskning
  27. Kneser, H. §., 1933. *J. ac. Soc. Am.* 5 (1933) p 122.
  28. Kneser, H.O., 1961, Schallabsorption und dispersion in Gasen. Ingår i Flüge, S ed., *Handbuch der Physik*, Band XI 1 p 129–201. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg.
  29. Korn, T.S., Measurements of street noise on models. *Noise Control* november/december 1960, sid 233.
  30. Lindblad, S.G.  
Förbättrad beräkningsmodell samt genomförda dataprogram med slutresultat.  
Mätmetoder för bestämning av markimpedans.  
Rapport till Statens Råd för Byggnadsforskning, 1969.
  31. Lindquist T., Trafikbuller i ett gaturum. Examensarbete vid inst. för Byggnadsakustik, Chalmers tekniska högskola, 1971.
  32. MacDonald, H.M.  
A Class of Diffraction Problems  
*Proc Lond Math Soc* 14, (1965)
  33. Maekawa, Z  
Noise Reduction by Screens  
*Memoirs of the Faculty of Engineering, Kobe University* No 11, (1965)

34. Marsh, J.A., The airborne sound insulation of glass, Part 1-3. Applied Acoustics 4, 1971.
35. Noise in urban and suburban areas: results of field studies. Bolt, Beranek and Newman Inc. Report 1395, Job 11257, 1967.
36. Oncley, P.B.  
Propagation of Jet Engine Noise Near a Porous Surface JVS, 13, 27 (1970)
37. Parkin, P.H. and Scholes, W.E. 1964  
The Horizontal Propagation of Sound from a Jet Engine close to the Gound, at Radlett.  
JVS, 1, 1 (1964)
38. Parkin, P.H. and Scholes, W.E. 1965  
The Horizontal Propagation of Sound from a Jet Engine close to the Ground, at Hatfield  
JSV, 2, 353 (1965)
39. Parkin, P.H. and Scholes, W.E. 1967  
The Effect of Small Changes in Source Height on the Propagation of Sound over Grassland  
JSV, 6, 424, (1967)
40. Parkin, P.H. & Scoles, W.E.  
The Horizontal Propagation of Sound from a Jet Engine Close to the Ground at Radlett  
J. Sound Vib, 1, 1 (1969)
41. Pridmore-Brown, D.C. & Ingård, U.  
Sound Propagation in a Temperature-Stratified Atmosphere above a Plane Boundary  
JASA, 27, (1955)
42. Rapin, J-M, 1968  
Mise an point et première application d'une Méthode d'étude sur modèle réduit de la propagation des bruits de trafic routier  
Cahiers du CSTB, no 93, 810, (1968)
43. Redfearn, S.W.  
Some Acoustical Source-Observer Problems  
Phil Mag (7th Series) 30 (1940)
44. Reichardt, W, 1968  
Grundlagen der Technischen Akustik  
Geest & Portig K-G, Leipzig
45. Rucker, A & Glück, K, 1964, Die Ausbreitung und Dämpfung des Strassenverkehrslärms in Bebauungsgebieten.  
Strassenbau und Strassenverkehrstechnik (1964) H 32.
46. Rudnick, J  
The Propagation of an Acoustic Wave along a Boundary  
JASA, 19, 348 (1947)
47. Samhällsplanering och vägtrafikbuller, information utgiven i samverkan med naturvårdsverket, socialstyrelsen och vägverket, statens planverk, rapport 22, 1972.
48. Schallschutz im Städtebau. Richtlinien für die Planung. Deutsche Normen, DIN 18005, 1968.

49. Senior, T.B.  
The Diffraction of a Dipole Field by a Perfectly Conductive Half-Plane *Quart Journ Mech and Appl Math, VI* (1953)
50. Skudrzyk, E, 1954  
Die Grundlagen der Akustik  
Springer-Verlag, Wien
51. Sommerfeld, A, 1964  
Optik  
Geest & Portig, K-G, Leipzig
52. Støj og Byplan, 1966  
Den nordiske komité för bygningsbestemmelser
53. Sutton, O.G.  
Micrometeorology  
Mc Graw-Hill, New York (1953)
54. Tatarski, V.I. 1961, Propagation in a Turbulent Medium,  
McGraw-Hill, New York.
55. Tillotson, J.G.  
Attenuation of Sound over Snow-Covered Fields  
*JASA, 39, 171* (1965)
56. Trafikbuller i bostadsområden — en undersökning från Bygghforskningen och Folkhälsan, Rapport från Bygghforskningen, Stockholm 36/68.
57. Wadmark, B.  
Temperaturgradienters inflytande på ljudutbredningen  
BFR forskningskonferens  
R36:1970
58. Wiener, F.M. & Keast, D.N.  
Experimental Study of the Propagation of Sound over Ground  
*JASA, 31, 724* (1959)
59. Wiener, F.M., 1961, Sound Propagation over Ocean Waters in Fog. *J. ac. Soc. Am. 33* (1961) p 1200–1205.



## Bilaga 3 Fysikaliska mått och mätmetoder för buller

### 3.1 *Den subjektiva uppfattningen av ljudet*

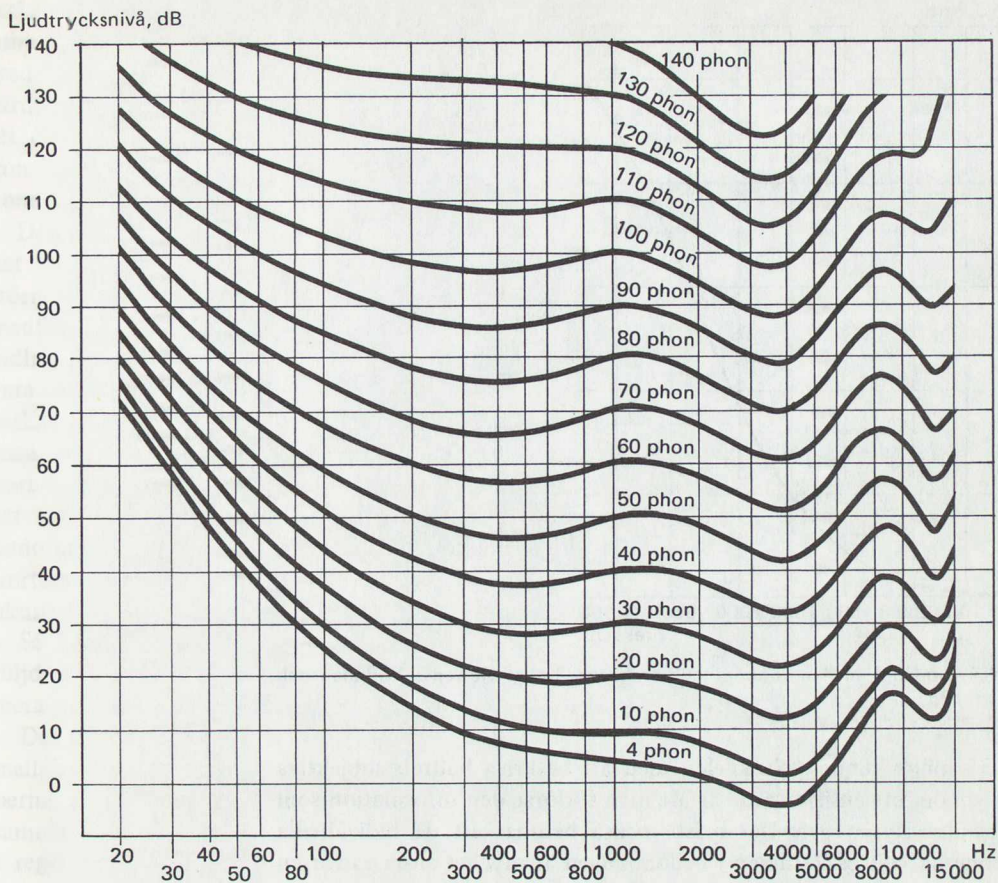
#### 3.1.1 Hörnivå och hörstyrka

Den subjektiva uppfattningen av ljudstyrkan, den s k hörnivån, uttrycks inom akustiken i den logaritmiska måttenheten phon. Hörnivån för ett ljud är lika många phon, som det antal dB en ton med 1 000 Hz har, när denna ton av ett genomsnitt av försökspersoner uppfattas som lika stark som ljudet ifråga. Ett samband mellan hörnivå och ljudtrycksnivå vid olika frekvenser har standardiserats för rena toner, sinustoner, av ISO (fig. 3.1). I figuren kan avläsas att tex tonen 100 Hz vid 52 dB ljudtrycksnivå låter lika stark som tonen 1 000 Hz vid 40 dB ljudtrycksnivå. Tonen 100 Hz har vid 52 dB alltså en hörnivå på 40 phon. För att mäta ett ljuds hörnivå krävs alltså avlyssningsförsök med en panel av försökspersoner. Det finns ej något instrument som direkt kan uppmäta hörnivån.

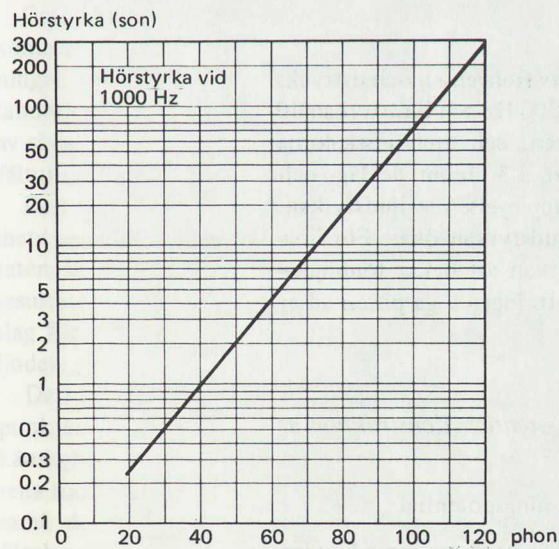
För bedömning av flygbuller finns en annan standardiserad metod, där man använder enheten perceived noise level, d v s ljudstyrkebedömningen baseras på ljudtrycksnivån för ett brusband en (1) oktav brett med mitterfrekvensen 1 000 Hz.

Den subjektiva uppfattningen av ljudstyrkan kan också beskrivas i en aritmetrisk skala och kallas då hörstyrka. Hörstyrkan anges i son. Denna anger normalt lyssnarens bedömning av hur många gånger starkare ett ljud förnimmes än en ren ton med frekvensen 1 000 Hz och med ljudtrycksnivån 40 dB. Sambandet son-phon framgår av figur 3.2. En fördubbling av hörstyrkan i son innebär således en fördubbling av det subjektiva styrkeintrycket. Son-kurvan är i stort sett linjär ovanför nivån 20-30 dB. Som framgår av figur 3.2 som bara gäller för en ren ton med frekvensen 1 000 Hz medför en ökning av hörnivån med 10 phon en fördubbling av hörstyrkan. När det gäller bredbandigt buller kan sonvärdet approximativt räknas ut per oktavband och adderas enligt två alternativa metoder som normerats i en ISO-rekommendation.

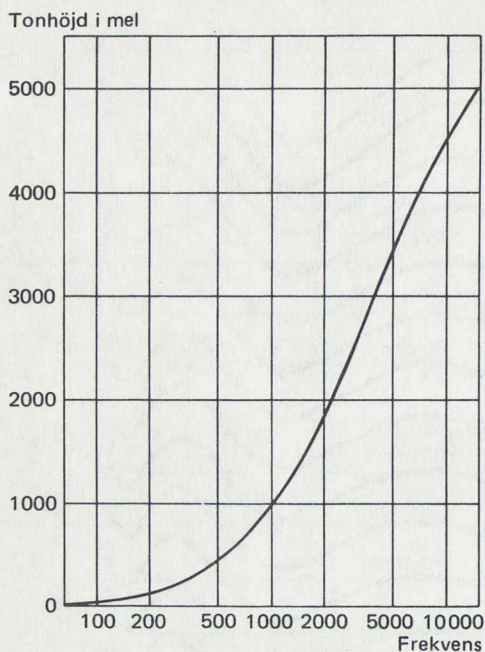
Dessa två metoder för bestämning av hörstyrka från fysikaliska data är Stevens respektive Zwickers metod. Den senare ligger till grund för ett instrument som approximativt mäter hörstyrka i son med integrations-



Figur 3.1 Samband mellan hörnivå och ljudtrycksnivå vid olika frekvenser. Enligt ISO R 226, 1961.



Figur 3.2 Samband mellan hörstyrka i son och hörnivå i phon. Enligt ISO R 131, 1959.



Figur 3.3 Samband mellan tonhöjd och frekvens. Enligt Stevens, Volkman och Newman, 1937.

tiden 35 millisekunder. Nackdelen med att beskriva bullrets subjektiva styrka genom ett ensiffrvärde är att man förlorar den information som oktavsbandsanalysen ger. Det måste också betonas att de individuella variationerna och osäkerheten i bedömningen är mycket stora varför en bestämning av hörstyrkan inte kan ske med större noggrannhet.

### 3.1.2 Tonhöjd

Tonhöjden anger den subjektiva bedömningen av frekvensen och uttrycks i måttenheten mel. En ton med frekvensen 1 000 Hz och ljudstyrkan 40 dB anges ha en tonhöjd av 1 000 mel. Frekvens och tonhöjds skalorna överensstämmer ej helt som framgår av figur 3.3. Inom de låg- och högfrekventa tonområdena påverkas tonhöjdsupplevelsen av ljudstyrkan. För låga frekvenser sjunker tonhöjden om ljudstyrkan ökar. För högfrekventa toner medför en ökning av ljudstyrkan att också tonhöjden ökar. Mellan 500 och 2 000 Hz är tonhöjdsupfattningen föga påverkad av ändringar i ljudstyrkan.

## 3.2 Teknisk beskrivning av bullrets störningspotential. Konstruktion av expositionsåtgärder

### 3.2.1 Olika faktorerers betydelse för bullrets störningspotential

Bullrets fysikaliska egenskaper är som tidigare nämnts ej ensamma bestämmande för uppkomsten av besvärreaktioner. En sammanställning av tek-

niska data i vilken hänsyn tagits till hur dessa egenskaper är kopplade till subjektiva reaktioner bör dock vara grundläggande som instrument för gradering av ett bullers störningspotential. Mest användbar vid hygienisk värdering är en mätskala, som sammanfattar de ingående parametrarna i ett enda talvärde, eftersom man då enkelt kan utnyttja detta för att konstruera enkla dos-effektsamband. Strävan har därför helt naturligt koncentrerats på att konstruera sådana mätskalor för expositionen.

Den upplevda styrkan hos bullret samt dess varaktighet och fluktuationer är de parametrar som man närmast vill tro är bestämmande för störningseffekten. Det är dock inte självklart, att ett starkare buller alltid medför en starkare besvärreaktion. Den eventuella information som bullret kan innehålla och det sätt på vilket denna information tolkas kan vara av stor betydelse för reaktionen. Om en komponent i den störande verkan utgörs av svårigheter att identifiera bullret och dess ursprung, kan man mycket väl tänka sig att ett starkare och därmed lättare identifierbart buller kan uppfattas som mindre störande. Likaså är det ibland så, att ett buller som förekommer stadigvarande under en viss tid kan bedömas som mindre störande än samma buller återkommande under kortare perioder under samma tid, trots att i det senare fallet mängden akustisk energi kan vara väsentligt mindre som medelvärde räknat.

Så kallade tröskeleffekter kan också uppträda, vilket t ex kan ha till följd att ett buller som förekommer med täta intervall inte bedöms som mera störande än ett buller som förekommer med glesare intervall.

Det torde för det mesta dock vara rimligt att anta ett direkt samband mellan såväl styrka som varaktighet hos bullret, å ena, och besvärreaktionerna, å andra sidan, i varje fall när det gäller jämförelser av buller av samma typ. Ett ljud som innehåller diskreta tonkomponenter uppfattas i regel som mera störande även om den rena tonen ej är så stark att den påverkar mätvärdet. Man har därför ibland infört korrekationer för sådana tonkomponenter.

Osäkerheten beträffande de olika tekniska parametrarnas betydelse kommer sig av att de som regel ej har kunnat studeras i fältundersökningar. Största delen av den information som finns har erhållits ur laboratorieexperiment och man vet inte i vilken utsträckning resultaten av sådana experiment kan överföras till att gälla för den situation man i fältundersökningen vill studera.

Den upplevda styrkan av olika ljud kan uppmätas i laboratorieexperiment med bedömarpaneler. Beroende på försöksupplägningen kan resultaten komma att variera. Ett stort antal experiment har utförts och resultaten har använts som underlag för frekvensvägningssystem av olika slag för att därigenom få en möjlighet att genom mätningar uppskatta ljudets subjektivt uppfattade styrka.

De i avsnitt 3.1.1 omnämnda diagrammen utgör den primära utgångspunkten. Genom att införa elektriska filter som efterliknar örats ljudkänslighet kan man med ett mätinstrument direkt uppmäta hörnivå för rena toner med i regel tillfredsställande noggrannhet. A-, B- och C-filter (3) samt de i Tyskland använda DIN-fonkurvorna (4) är de vanligast förekommande frekvensvägningssystemen. Vid sammansatta ljud, där ett stort antal frekvenser eller ett kontinuerligt spektrum inom ett visst

större intervall föreligger, är örats reaktion dock mera komplicerad. En mätning med ett filter av nyssnämnt slag kan därför i vissa fall ge ett värde som väsentligt avviker från hörnivån. Särskilt A-filtret har trots detta fått en allmän användning på grund av att dB(A)-värden visats relativt väl samvariera med olika effekter.

För att förbättra möjligheterna att med tekniska data som grund mäta och beräkna ett närmevärde på hörnivå har bedömningar av smalare eller bredare frekvensband av brusljud använts som underlag. Två likartade system för beräkning av hörstyrka (loudness) i enheten son ur spektralanalyser i oktav- respektive tredjedelsoktavband har utvecklats, vilka båda standardiserats internationellt (8). De så erhållna son-värdena kan sedan överföras till hörnivåvärden i enheten phon.

Genom att man vid tillämpningen t ex vid jämförelse mellan propeller- och jetflygbuller fann dålig överensstämmelse mellan dessa beräknade hörstyrke- (loudness)-värden och subjektiva bedömningar av störverkan har man i senare experiment sökt få försökspersonerna att bedöma bullren i förhållande till varandra med hänsyn till hur störande de ansåg bullret skulle vara om det förekom dagligen med viss frekvens i deras bostäder. Man konstruerade härur efter samma principer som för hörstyrka ett system för beräkning av störstyrka (i noy) och stornivå (perceived noiseness in decibels, PNdB). Detta system har sedan vidare utvecklats genom modifikationer och kompletteringar (9–11). Bl a har inkluderats korrekationer för i ljudet ingående diskreta tonkomponenter och för varaktigheten hos en enskild överflygning (12–15), varvid man erhåller EPNdB "Effective perceived noiseness in decibels". Då metoden med beräkningar ur spektralanalyser är både omständlig och tidskrävande, har man också mot bakgrunden av erfarenheterna i experimenten föreslagit ett filter som skulle ge ett direkt uppmätbart närmevärde på PNdB (12). Detta filter, som man enats om att benämna D-filter – även benämningen N-filter förekommer – ger då ett approximativt stornivåvärde i PNdB, betecknat dB(D). Omfattande experiment har utförts för att jämföra hur mätvärden i olika måttssystem samvarierar med subjektiva bedömningar av bullrets styrka eller störverkan (16–21 och andra). Man har dock ej i dessa försök kommit till entydiga och samstämmiga resultat. Resultaten visar dock, att dB(B) och dB(C) ger sämre samvariation med bedömningarna än övriga enheter. Mellan de övriga prövade enheterna phon enligt Stevens och Zwickers metod, PNdB, dB(A) och dB(D) är avvikelserna beträffande medelvärde och spridning små.

Enär en stor osäkerhetsfaktor ligger redan i överförandet av resultat från laboratorieexperiment till människors normala boendemiljö, synes det vara av tvivelaktig relevans att söka närmare utreda vilket vägningsmått som bäst överensstämmer med subjektiva bedömningar av störverkan. Man kan räkna med att dB(A) eller dB(D), de båda lätt och direkt uppmätbara storheterna, ger en helt tillfredsställande noggrannhet för bedömning av ett bullers störningspotential särskilt med hänsyn till de säkerligen mycket större osäkerheter som ligger i bestämning av responsen och dess beroende av olika individ-, situations- och attityd-karakteristika.

För att man skall kunna beakta bullrets varaktighet och antalet

exponeringstillfällen ligger det ur fysikalisk synpunkt närmast till hands att summera den akustiska energin och därur beräkna en medeleffekt i form av en ekvivalentnivå. Några direkta bevis för att denna sklikaenergiprincip generellt skulle vara giltig finns dock ej. I vissa speciella fall har man dock genom undersökningar kunnat finna visst stöd för principens giltighet t ex när det gäller varaktigheten av flygbullerexponeringar med mellan 10 och 30 sekunders varaktighet. Teoretiskt skulle i det fall man tänker sig ett visst störande buller av längre varaktighet dess störverkan vara direkt proportionell mot tiden. På samma sätt skulle då det gäller ett intermitterent förekommande ljud detta bidra med lika stor kvantitet "störning" varje gång. Tyvärr går det ej att dra några generella slutsatser ur detta resonemang när det gäller verkan av buller med t ex kortare varaktighet och högre nivå. Det borde tvärtom t ex vara så att inte ens flera hundra expositioner för en inomhusnivå på 30–35 dB(A) under natten skulle uppfattas som störande medan däremot ett fåtal expositioner vid 50–55 dB(A) skulle störa ett stort antal personer oavsett att ekvivalentnivån skulle vara densamma.

Även om likaenergiprincipen i och för sig vore giltig inom vissa gränser indikerar dock undersökningsresultat att man måste ta hänsyn också till bullrets fluktuationer i tiden och bullertopparnas absoluta nivå och avstånd från bakgrundsnivån. Man har t ex i en undersökning (22) funnit att störningarna är beroende av skillnaden mellan toppnivå och bakgrundsnivå och i en annan undersökning (23) har man funnit, att ett tillägg av en korrektion för ljudets fluktuation kan ge bättre samvariation mellan ekvivalentnivå och störning.

I den undersökning av flygbuller som under åren 1970–1972 utfördes kring ett antal skandinaviska flygplatser (kommer som bilaga till Del II) fann man att störningarna vid höga flygfrekvenser var direkt korrelerade till ljudnivån i dB(A) för enskild överflygning. En ökning av antalet överflygningar över ett visst tröskelvärde gav ej ökade störningsreaktioner. Inte heller för låga överflygningsfrekvenser fanns något samband mellan denna frekvens och störningarna, men ljudnivån vid enskild överflygning kunde här vara betydligt högre innan väsentliga störningar kunde konstateras. Samma tendenser har senare kunnat påvisas vid en förnyad utvärdering av tidigare utförda utländska undersökningar t ex i Frankrike, Holland och Japan.

De relaterade förhållandena visar att ekvivalentnivån kanske inte alltid är den bästa utgångspunkten för att i en planeringssituation uppskatta risken för uppkomsten av störningar. Ekvivalentnivån har dock fördelar genom att den är lätt beräkningsbar och har en enkel fysikalisk mening. En viss ekvivalentnivå kan emellertid erhållas ur olika kombinationer av de ingående variabler som kan förekomma i olika situationer, i vilka, trots att ekvivalentnivån är lika, störningarna likväl kan förväntas bli olika.

Ljud under kvälls- och nattid har i flera sammanhang (19, 20) ansetts ha högre störningspotential och därför vägts upp i förhållande till ljud under dagtid. I experiment har man t ex kunnat visa en större känslighet i början och slutet av en sömnperiod (24). Man kan dessutom räkna med att individen har större behov av ostördhet på kvällen och natten. I viss

mån synes också en differentiering kunna motiveras av den lägre bakgrunds nivå som normalt förekommer under denna tid på dygnet.

### 3.2.2. Konstruktion av expositionsmått

Med utgångspunkt från någon av de tre nämnda vägningsenheterna dB(A), PNdB och EPNdB har olika metoder använts för att erhålla ett mått som förutom styrka och frekvensfördelning också innehåller antalet expositioner. Korrektioner för expositionernas fördelning över dygnet har också använts. De olika måttenheter som utarbetats har dels varit avsedda för något speciellt buller, t ex från vägtrafik eller flyg, dels varit av mera generell art avsedda att användas för alla slags buller. Följande måttssystem kan anses vara de vanligaste.

#### 3.2.2.1 Flygbuller

Ett antal måttssystem speciellt avpassade för flygbuller har utarbetats. CNR-metoden (Composite Noise Rating), har tillämpats främst i USA. Metoden innebär en summering av toppvärden i PNdB för samtliga överflygningar inom en viss tidsperiod enligt likaenergiprincipen. Nattexponeringen vägs upp med 13 dB i förhållande till exponeringen under dagtid. CNR-värdet används för zonindelning av områden kring flygplatser. Vid CNR < 100 har inga restriktioner ansetts påkallade för bebyggelse. Område med CNR > 115 har ansetts helt olämpligt för bostadsbebyggelse.

CNR-metoden har senare vidareutvecklats på så sätt att PNdB<sub>max</sub> ersatts med EPNdB. Dessutom har nattkorrektionen ändrats till att motsvara en skillnad på 12 enheter i stället för tidigare 13. Värdena för start och landning med de olika flygplanstyperna adderas på energibasis. Den nya metoden kallas NEF (Noise Exposure Forecast). Med hjälp av en arbiträr konstant har skalan förskjutits så att ett NEF-värde = 0 innebär så låg exposition att den ej kan anses ha någon hygienisk betydelse. Som gränser för zonindelning har valts NEF = 30 resp. 40, vilket i stort sett motsvarar den indelning som tillämpats i CNR-metoden.

I England har en annan typ av index, NNI (Noise and Number Index) föreslagits av den s k Wilson-kommittén. NNI-värdet erhåller man ur medelvärdet av den maximala nivån i PNdB för de olika förekommande flygplanen vid start och landning och antalet överflygningar, som givits ett högre vägningsstal än enligt likaenergiprincipen (faktorn 15 i stället för 10). Faktorn 15 innebär att en flygning vid en viss nivå ur störningssynpunkt värderas lika med 7 flygningar vid en 10 dB lägre nivå, vilket innebär att ett 10-faldigande av flygfrekvensen ger en ökning av NNI-värdet med 15 enheter mot likaenergiprincipens 10 enheter, som används i CNR och NEF. Skillnaderna mellan CNR och NEF är ganska små. Uppvärderingen av flygfrekvensen i NNI-systemet får till följd att området inom en viss NNI-kontur växer snabbare än området inom en viss CNR- eller NEF-kontur när flygfrekvensen ökas på en flygplats.

I Sverige föreslog 1956 års flygbullerutredning att systemet med den s k kritiska bullergränsen skulle användas vid expositionsbereäkningar. I

metoden för bestämning av kritisk bullergräns använder man sig av s k SED-frekvenser (störningsekvivalent dagfrekvens) som definierats som antal dagstarter +3 ggr antalet kvällsstarter +10 ggr antalet nattstarter. För olika SED-frekvenser anges i 5-dB-steg de värden på genomsnittlig toppnivå i dB(A) för enskild överflygning som innebär kritiskt buller. Stegen i skalan har konstruerats enligt likaenergiprincipen.

I princip motsvarar kritisk bullergräns CNR med de skillnaderna, att dB(A) används i stället för PNdB och att nattexpositioner uppvärderas med en faktor 13 i CNR-systemet medan natt- och kvällsexpositioner uppvärderas med faktorn 10 respektive 3 vid bestämmande av kritisk bullergräns. Det kriterium för kritisk bullergräns som föreslogs motsvarar vid normal dygnsfördelning av trafiken ungefär CNR = 97, vilket betyder ett något strängare kriterium än för den yttersta zonen (CNR = 100) i CNR-systemet.

Försök pågår att internationellt standardisera expositionsått för flygbuller. Inom ISO (International Standards Organization, ISO Draft Recommendation 1760) har man föreslagit ekvivalentnivå beräknad ur EPNdB. Metoden innebär att man strikt följer likaenergiprincipen.

Inom ICAO (International Civil Aviation Organization) har den s k INERU-metoden lanserats (International Noise Exposure Reference Unit), vilken motsvarar ISO-metoden.

ISO- och INERU-metoderna motsvarar NEF så när som på att NEF innehåller en sammanvägning av dag- och nattvärden. Enligt ISO- och INERU-metoderna beräknas separata värden för dag och natt.

### 3.2.2.2 Vägtrafikbuller

I England har en särskild enhet för vägtrafikbuller, TNI (Traffic Noise Index), föreslagits. Denna enhet räknas fram enligt en metod som beaktar de nivåer som överskrids dels 10 % ( $L_{A10}$ ) och dels 90 % ( $L_{A90}$ ) av den totala tiden. Enheten har inte fått någon mera allmän användning.

### 3.2.2.3 Generella måttssystem

Man har också sökt utarbeta mera generella måttssystem. Detta har framför allt skett inom internationella samarbetsorgan.

Inom ISO (Draft Recommendation 1996) föreslås ekvivalentnivån  $L_A$  i dB(A) enligt följande formel

$$L_A = 10 \log \sum \frac{1}{100} \cdot f_i \cdot 10^{\frac{L_i}{10}}$$

där  $f_i$  är varaktigheten i procent av hela den betraktade tidsperioden som bullret ligger på nivåer inom ett 5 dB(A) stort intervall med mittvärdet  $L_i$ . Metoden innebär att man strikt följer lika-energiprincipen. För flygbuller rekommenderar dock ISO motsvarande enhet grundad på EPNdB.  $L_A$  räknat som medelvärde för dygn har visat god samvariation med störningsreaktionerna i den omfattande undersökning av vägtrafikbuller som för några år sedan genomfördes i Sverige (se del I, avsnitt 3.1.2).



I England har enheten L<sub>NP</sub> (Noise Pollution Level) föreslagits. Denna är lika med ISO-metodens L<sub>A</sub> plus en korrektionsfaktor för fluktuationer grundad på medelavvikelsen  $\sigma$  enligt formeln

$$L_{NP} = L_A + 2,56 \sigma.$$

Metoden kan även användas med något annat vägt värde på ljudnivå t ex dB(D), PNdB eller EPNdB i stället för dB(A). Undersökningar pågår för att studera samvariation mellan L<sub>NP</sub> och störningsreaktioner.

### 3.3 Emissionsmätning

Med emissionsmätning av buller, dvs mätning av buller vid ljudkällan, skapas en fysikalisk, objektiv beskrivning av den enskilda ljudkällans styrka. Denna mätning kan sedan ligga till grund för beräkningar av den immission som drabbar en viss miljö där ljudkällan förekommer.

I princip tillgår en emissionsmätning på så sätt att ljudkällan ställs upp på en väl definierad mätplats eller förs förbi denna i en noggrant angiven bana. Ljudkällans arbetsförhållanden är väl definierade. I en eller flera positioner på mätplatsen mäts samtidigt ljudets styrka. Det är naturligt att man i största möjliga utsträckning söker göra mätningar av detta slag så allmängiltiga som möjligt. Mätmetoderna är också föremål för omfattande internationell standardisering.

Initiativen till denna standardisering kom tidigare i stor utsträckning från olika produktgrupper som hade att standardisera även andra egenskaper hos sina produkter. Det har emellertid blivit en klart uttalad strävan att få standardiseringen inom akustikområdet att handläggas inom ett organ, Internationella Standardiseringskommissionens tekniska kommitté nr 43, akustik, ISO/TC 43.

Man kommer därmed att sträva efter likartade mätmetoder för maskingrupper som används i likartade miljöer. I stället för olika mätmetoder för kompressorer, grävmaskiner, schaktbladstraktorer o s v söker man skapa en metod, som täcker alla maskiner inom t ex byggnadsverksamheten.

#### 3.3.1 Måttenheter

De måttenheter som kommer ifråga vid emissionsmätningar blir beroende på vilka ljudkrav som skall läggas på immissionen. I praktiken förekommer huvudsakligen två mätmetoder: mätning av oktavnivå eller ljudnivå i dB(A). Dessa primära storheter ligger sedan till grund för mer eller mindre komplicerade omräkningar.

Mätningarna förutsätts utförda med instrument standardiserade av internationella elektriska kommissionen, IEC, IEC Publication 179, Precision sound level meter och IEC Publication 225, Octave, half-octave and third-octave band filters intended for the analysis of sounds and vibrations.

### 3.3.2 Internationell standardisering

Internationell standardisering inom akustikområdet handläggs som ovan nämnts huvudsakligen inom ISO/TC 43, som är indelad i två underkommittéer, SC 1 Buller och SC 2 Byggnadsakustik. Därjämte förekommer visst akustikarbete även inom ISO:s produktgrupper. Därvid förekommer emellertid kontakter med TC 43. Det föreligger f n ett stort krav på standardarbete i synnerhet från fabrikanthåll och man har därför inom TC 43 prioriterat standardarbete av mer principiell natur.

I det följande lämnas en översikt över fastställda ISO-normer, ISO Recommendations, och förslag till normer, ännu ej fastställda av ISO, Draft ISO Recommendations, berörande emissionsmätningar.

#### 3.3.2.1 Flygplan

##### *ISO R 1761 Monitoring aircraft noise around an airport*

Rekommendationen beskriver en metod för att kontrollera flygplatsbuller runt en flygplats. Man använder fasta mikrofonpositioner runt flygplatsen med mikrofoner anslutna till en central, registrerande mätplats. Med systemet mäts en approximation av PNdB. Mätssystemets egenskaper skall överensstämma med IEC Publication 179 med tillägg av en ny vägningskurva, kallad D.

Om en vanlig ljudnivåmätare utan D-kurva används, kan ytterligare en approximation till PNdB-värdet erhållas genom mätning av ljudnivån i dB(A) och tillägg av en korrektion mellan 9 och 14 dB beroende på bullrets frekvensspektrum.

Någon norm från ISO som avser enstaka flygplan finns f n inte. Däremot föreligger mätdata för praktiskt taget alla flygplan vid start och landning, s k bullermattor. Dessa visar gränskurvor för vissa angivna ljudnivåer, t ex i dB(A), och kan appliceras på flygplansrörelser runt en flygplats för bedömning av störningen.

##### *Draft ISO R 2249 Description and measurement of physical properties of sonic bangs (sonic booms)*

Redan mättekniskt erbjuder överljudsbangen vissa svårigheter. Rekommendationen beskriver kraven på mätinstrumenten och de krav man bör ställa på mätplats, avseende yta och hinder. Mätutrustningen skall ha ett frekvensområde som minst skall omfatta 0,1 Hz till 5 000 Hz inom  $\pm 2$  dB och helst 0,01 Hz till 10 kHz. För inspelning av överljudsbangen krävs speciella databandspelare eftersom normala bandspelare har alltför begränsade prestanda.

#### 3.3.2.2 Motorfordon

##### *ISO R 362 Methods of measurement of noise emitted by vehicles*

Rekommendationen beskriver en metod för mätning av buller från fordon i rörelse. Den beskriver mätplatsens utseende, hur fordonet skall

framföras och på vilket avstånd mätningarna skall ske. Mätningen avser ljudnivå i dB(A) på 7,5 m avstånd från fordonets bana. I en bilaga till rekommendationen anges hur mätning på stillastående fordon kan ske. Metoden är för närvarande föremål för revision i en särskild arbetsgrupp inom ISO/TC 43.

ISO-rekommendationen är översatt och antagen som svensk standard, Sveriges Standardiseringskommission, SIS 02 51 31 Mätning av motorfordonsbuller.

### 3.3.2.3 Spårbundna fordon

#### *Draft proposal for measurement of noise emitted by railbound vehicles (ISO/TC 43/SC 1 Noise)*

Detta förslag är fortfarande under arbete inom ISO. Det behandlar mätning av buller från spårbundna fordon såsom järnväg, tunnelbana och spårväg. Vid mätningarna placeras mikrofonen 7,5 m vid sidan om spåret och ljudnivån i dB(A) bestäms.

### 3.3.2.4 Motorbåtar

#### *Draft proposal for measurement of noise emitted by ships on inland water-ways (ISO/TC 43/SC 1 Noise)*

Ursprungligen avsågs med detta förslag fartyg som trafikerar kanaler, floder och liknande. Det kan som nämns i inledningen till dokumentet också tillämpas på mindre sjögående fartyg. Mätning skall helst ske 25 m från fartygssidan. Om mätning sker på annat avstånd inom 20 till 35 m skall omräkning ske till 25 m enligt formel som ges i dokumentet. Mätning skall utföras med precisionsljudnivåmätare och ljudnivån i dB(A) skall bestämmas.

### 3.3.2.5 Maskiner

#### *ISO R 495 General requirements for the preparation of test codes for measuring the noise emitted by machines*

Detta är den grundläggande rekommendationen för alla normer som avser mätning av buller från maskiner. Den behandlar sålunda både mätningar som avses ske i speciella mätrum och mätningar som skall ske under frifältsförhållanden, utomhus eller i ekofria rum. Den rekommenderar att ljudnivån i dB(A) och om så erfordras oktavnivån i dB mäts.

#### *ISO R 1680 Test code for the measurement of the airborne noise emitted by rotating electrical machinery*

Denna första mätnorm som bygger på ISO R 495 behandlar roterande elektriska maskiner. Den torde vara av föga intresse annat än för buller i slutna utrymmen, maskinhallar och liknande.

*Draft proposal for measurement of airborne sound emitted by compressors intended for outdoor use (ISO/TC 118)*

Detta var ursprungligen en mätnorm som utarbetats av PNEUROP, en sammanslutning av fabrikanter av tryckluftsutrustningar inom Europa i samarbete med C.A.G.I., Compressed Air and Gas Institute, USA.

Mätningar av ljudnivå i dB(A) och oktavnivåer skall utföras i ett antal punkter runt kompressorn, dels på 1 m, dels på 7 m avstånd från maskinytan. Behandlingen av förslaget har skett i samarbete med ISO/TC 43.

*Draft proposal for measurement of noise emission to the surroundings (ISO/TC 127/SC 2 Earth moving machinery)*

Sverige har av TC 127 ursprungligen fått till uppgift att utarbeta detta förslag samt förslag till mätning av buller på förarplats för bedömning av risk för hörselskada. Förslaget bygger från början på ISO R 362 för motorfordon, bilaga för mätning av stillastående fordon. Det har varit föremål för provning under ett forskningsarbete utfört med stöd av statens råd för byggnadsforskning, Byggbuller som samhällsproblem, 1971. Vid mätningarna skall bestämmas ljudnivå i dB(A) och oktavnivåer i främst 4 punkter på 7 m avstånd från maskinens yta.

ISO-förslaget<sup>1</sup> avser earth moving machinery men avsikten är att driva den svenska standarden för alla typer av byggmaskiner. Samråd vid behandlingen sker med ISO/TC 43. Standardförslaget har legat till grund för en metod för bestämning av buller från stavvibratorer utarbetad av nämnden för egenskapsredovisning inom byggfacket, ER-nämnden, rapport nr 1:70.

### 3.4 Immissionsmätning

Avsikten med immissionsmätning av buller är att vid platsen för en bullerstörning skapa en fysikalisk, objektiv beskrivning av bullret, på vilken sedan en bedömning av bullrets subjektiva störning kan grundas.

Vid immissionsmätningar kan i huvudsak två typer av metoder komma till användning: mätning av oktavnivå eller ljudnivå i dB(A).

Vid buller av konstant karaktär kan avläsningar ske direkt på en ljudnivåmätare i dB(A) eller efter oktavfiltrering i oktavnivå. Om variation av nivåer förekommer, är det vanligt att inspelning först sker på bandspelare för senare analys på laboratorium. I speciella fall, t ex buller av transient karaktär, dvs med plötsliga styrkevariationer såsom överljudsbangar och kanonskott, erfordras speciella databandspelare men i normalfall kan standardbandspelare komma till användning. Utrustningen för registrering på detta sätt av ljud kan göras lätttransportabel och oberoende av strömförsörjning från el-nätet.

<sup>1</sup> Ingår i ett dokument avseende "Earth moving machinery, safety requirements and human factors."

### 3.4.1 Måttenheter

Den måttenhet som vanligast kommer till användning vid immissionsmätningar är ljudnivån i dB(A). Den har bäst visat sig svara mot det subjektiva intrycket av störning från buller. Den internationella standardiseringsorganisationen ISO har vidare uttalat att innan det klart och tydligt visats att någon annan måttenhet på ett bättre sätt beskriver störning av buller bör ljudnivån i dB(A) tills vidare användas.

I vissa fall, t ex vid konstruktionsarbeten då det gäller att bedöma effekten av olika åtgärder, är en bullerbeskrivning grundad på oktavanalys berättigad. Den omfattande mätmetodik som krävs för flygbuller, se nedan, bygger på uppdelning av buller i intervaller om 1/3-oktav, tersbandsanalys.

### 3.4.2 Bullerdos, ekvivalent ljudnivå

Metoden att mäta ett ljuds styrka genom att ange ljudnivån som ett antal dB(A) kan utnyttjas för att beskriva ett ljuds variation med tiden med hjälp av skrivande instrument, nivåskrivare. På en kalibrerad pappersremsa kan med en sådan erhållas en registrering direkt av ljudnivån i dB(A) som funktion av tiden. Lämpligen sker detta med hjälp av en inspelning av bullret. Med en sådan registrering erhålles en god bild av bullrets variation med tiden. Högsta och lägsta värden av ljudnivån under givna tidsintervall kan direkt avläsas från remsan. Med hjälp av tillsatsanordningar kan även en statistisk analys av bullret göras. Man kan sålunda göra en integration av kurvan, grundad på den vägda ljudeffekten. Det innebär att man summerar den vägda ljudeffekten över den aktuella mättiden och fördelar summan jämnt på tiden. Härmed erhålles den mot den varierande ljudnivån svarande ekvivalenta ljudnivån, ekvivalentnivån,  $L_{Aq}$ , dB(A). Ekvivalentnivån avsåg ursprungligen trafikbuller men kan med iakttagande av viss försiktighet tillämpas på buller av andra typer. Flera fabrikanter arbetar f n med utveckling av instrument för direkt läsning av ekvivalentnivån. Ett dylikt instrument kallas också bullerdosimeter.

### 3.4.3 Internationell standardisering

#### *ISO R 1999 Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes*

Rekommendationen anger de data som erfordras för att en bedömning av hörselskaderisken skall kunna göras. För överslagsberäkningar räcker bestämning av ljudnivå i dB(A), i vissa fall krävs komplettering med oktavanalys. Ett svenskt normförslag föreligger inom kort. Det svenska förslaget har en något strängare bedömning av hörselskaderisken. Omgivningsbuller når dock sällan sådan styrka att tillämpningen av detta dokument blir aktuell.

### *ISO R 1996 Assessment of noise with respect to community response*

Rekommendationen skisserar hur normer avseende omgivningsbuller bör uppbyggas. Man utgår från ett grundvärde liggande mellan 35 och 45 dB(A). Till detta grundvärde läggs sedan korrekationer beroende av karaktär på spektrum, tid på dygn, karaktär av bebyggelse osv. Värdena grundar sig på mätning av ljudnivån i dB(A), vid varierande buller ekvivalentnivån i dB(A). I detta dokument återfinns som bilaga de tidigare på många ställen felaktigt citerade bullertal, som uttryckts med NR (noise rating) – kurvorna. Dessa tillhör alltså inte huvudtexten i dokumentet, utan förekommer endast som bilaga till dokumentet. För att ett buller skall kunna jämföras med NR-kurvorna krävs en oktavanalys.

### *ISO R 1760 Procedure for describing aircraft noise around an airport*

Detta dokument avser bestämning av perceived noise level i PNdB runt en flygplats. För denna bestämning krävs analys i tersband av bullret från 50 Hz till 10 000 Hz kombinerad med en omfattande räkneoperation, lämpad för dator. Två mätsituationer beskrivs, dels mätning av buller från flygplan i luften, dels mätning av buller från flygplan på marken.

### *Referenser till bilaga 3*

1. Robinson, D W and Dadson, R S Brit J Appl Phys (1956) 7, 166.
2. ISO-Recommendation R-266 (1960).
3. IEC-Recommendation 179.
4. DIN-5045-1942.
5. Stevens, S S, The Calculation of Loudness of Complex Noise, JASA 28, 1956.
6. Stevens, S S, Procedure for Calculating Loudness, JASA 33, 1961.
7. Zwicker, E, Graphic Evaluation of Loudness, Freq 13, 1959.
8. ISO-Recommendation No 532, 1967.
9. Kryter, K D, Scaling Human Reactions to the Sound from Aircraft, JASA 31, 1959.
10. Kryter, K D, The Meaning and Measurement of Perceived Noise Level, Noise Control 7, 1961.
11. Kryter, K D and Pearsons, K S, Modification of Noy Tables, JASA 36, 1964.
12. Kryter, K D and Pearsons, K S, Judged Noisiness of a Band of Random Noise Containing an Audible Pure-Tone, JASA 38, 1965.
13. Kryter, K D and Pearsons, K S, Some Effects of Spectral Content and Duration on Perceived Noise Level, JASA 35, 1963.
14. Little, J W, Human Response to Jet Engine Noise, Noise Control 7, 1961.
15. Pearsons, K S, The Effects of Duration and Background Noise Level on Perceived Noisiness, FAA Technical Report ADS-78, 1966.
16. Kryter, K D, Concepts of Perceived Noisiness, Their Implementation and Application, JASA 43, 1968.
17. Kryter, K D and Pearsons, K S, Judgement Tests of the Sound from Piston, Turbojet and Turbofan Aircraft, Sound 1, 1962.
18. Bishop, D E, Judgements of the Relative and Absolute Acceptability of Aircraft Noise, JASA 40, 1966.

19. Young, R W, Single-Number Criteria for Room Noise, JASA 36, 1964.
20. Hecker, H L and Kryter, K D, Comparisons between Subjective Ratings of Aircraft Noise and Various Objective Measures, FAA No 68-33, 1968.
21. Young, R W and Peterson, A, On Estimating Noisiness of Aircraft Sounds, JASA 45, 1968.
22. Bruckmayer, F und Lang, J, Störung der Bevölkerung durch Verkehrslärm. Österreichische Ingenieur Zeitschrift, Jg 1967, H 8, s 302-306, H 9, S 338-344, und H 10, S 367-385.
23. Robinson, D W, The Concept of Noise Pollution Level, NPL Aero Report Ac 38, 1969.
24. Beranek, L L, Kryter, K D and Miller, N L, Reaction of People to Aircraft Noise, Noise Control 5, 23-31, 1959.
25. Rylander, R, Sörensen, S och Kajland, A, Bestämning av medicinsk-hygienisk flygbullergräns.

## Bilaga 4 Buller från medicinsk och hygienisk synpunkt

Buller är allt icke önskvärt ljud. Genom våra öron nås vi av ljud som vi sedan sorterar som önskvärda eller icke önskvärda. Önskvärdheten beror bl a på våra förväntningar och tidigare upplevelser.

I denna bilaga berörs inledningsvis örats byggnad och funktion, som i stort sett är väl kända. Som berörs i bilaga 3 låter sig bullers fysikaliska kännetecken mätas med instrument men upplevelsen av buller beror på både öra och psyke. Därigenom får bullret flera dimensioner utöver den fysikaliska. Att karakterisera ett ljud som buller innebär en subjektiv värdering, men de negativa konsekvenserna av ljudet för människan kan gå från besvär till obotlig skada. Bullret är ett hälsoproblem.

### 4.1 Örats byggnad och funktion

Av alla människokroppens organ torde örat utgöra ett av de mest intressanta. Örats byggnad och funktion är ett mästerverk, som det inte torde vara möjligt att efterbilda. Skulle ändå framtidens ingenjörer vilja försöka efterlikna örat och konstruera ett naturtroget konstgjort öra, som ersättning för ett skadat, finge man koncentrera ett flertal synnerligen avancerade konstruktioner inom ett utrymme av några cm<sup>3</sup> storlek. Man måste häri inrymma ett system för impedansanpassning, ett annat för hydraulisk kontroll, man måste ordna med en mekanisk analysator, en rörlig relä- och förstärkarenhet, ett flerkanaligt system för omvandling av mekanisk energi till elektrisk. Slutligen måste man också bygga in ett internt tvåvägskommunikationssystem. Även om man skulle lyckas med att framställa ett dylikt mästerverk i miniatyr och ansluta det till en dator som identifierar och värderar de överförda meddelandena, är det ändå osannolikt att man skulle kunna överträffa hörselorganets prestationer.

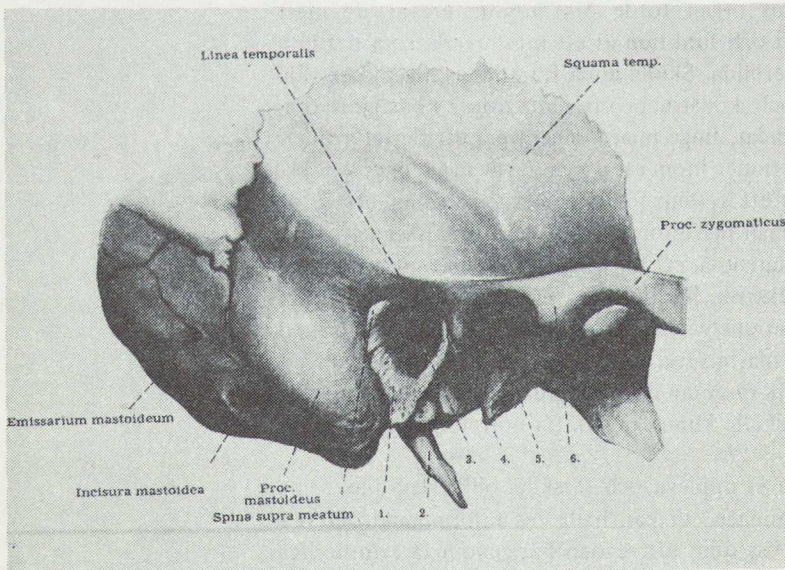
Med hörselns hjälp kan vi uppleva och särskilja olika slags ljud samt kommunicera med omgivningen. Vi kan hålla oss informerade om vad som pågår runt omkring oss utan att se och härigenom få erforderliga varningssignaler. Även när vi sover är hörselorganet vaket och oväntade signaler kan väcka oss. Med båda öronens hjälp kan vi lokalisera varifrån ljudet kommer. När vi lyssnar kan vi även undertrycka vissa störsignaler



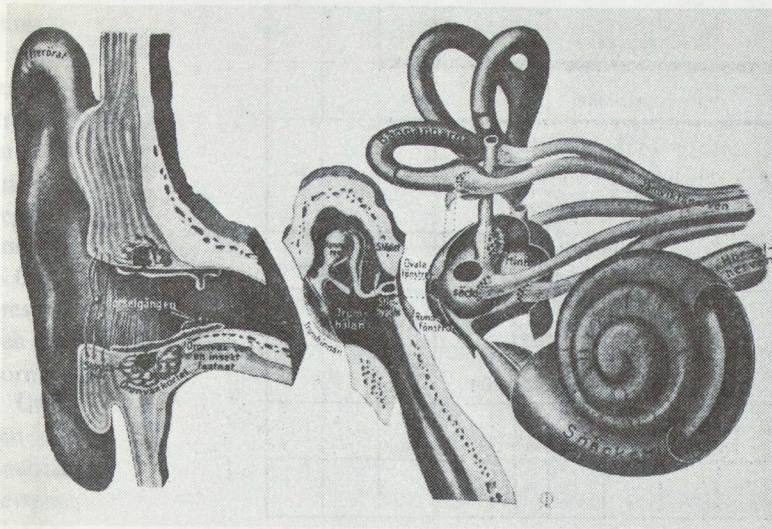
och koncentrera oss på andra. I bullersam omgivning och när flera människor talar samtidigt kan man selektivt koncentrera sig på att höra en viss talare.

#### 4.1.1 Örat

Skallens tinningben, os temporale, (fig 4.1) innesluter de perifera delarna av örats sinnesorgan, hörselorganet och balansorganet. Från anatomisk synpunkt kan örat uppdelas i tre delar, ytteröra, mellanöra och inneröra (fig 4.2). Inåt står sinnesorganet i förbindelse med det centrala nervsystemet genom hörsel- och balansnerverna. Dessa båda kallas tillsammans åttonde hjärnnerven. I hjärnstammen omkopplas hörselnerven till olika system av centrala ledningsbanor. De som överför hörselinformation går i såväl korsade som okorsade banor till hörsel- och minnescentra i hjärnans båda tinningslober. Här sker den slutliga identifieringen av olika signaler eller meddelanden. Förutom med hörselcentrum i hjärnbarken har de centrala hörselbanorna ett rikt förbindelsenät med andra delar av centrala nervsystemet. En av de viktigaste utgör förbindelserna till nervsystemets aktiveringscentrum, det retikulära systemet i hjärnstammen. Plötsliga och kanske oväntade hörselimpulser, som når det retikulära systemet ger upphov till en allmän väckningsreaktion över hela hjärnbarken. Vakenhetsgraden ökas och man försätts i en ökad alarmberedskap mot eventuellt hotande faror. Det retikulära systemet har också en aktiverande inverkan på det autonoma nervsystemet. Härigenom påverkas samtidigt såväl hjärta, blodkärl och matsmältningsorgan som inresekretoriska körtlar.



Figur 4.1 Höger tinningben, os temporale. 1. os tympanicum, 2. processus styloideus, 3. yttre hörselgången, 4. fissura petro-tympanica, 5. fossa mandibularis, 6. processus zygomaticus.



Figur 4.2 Schematisk teckning av ytteröra, mellanöra och inneröra. Innerörat består av snäckan, båggångarna och otolitorganet.

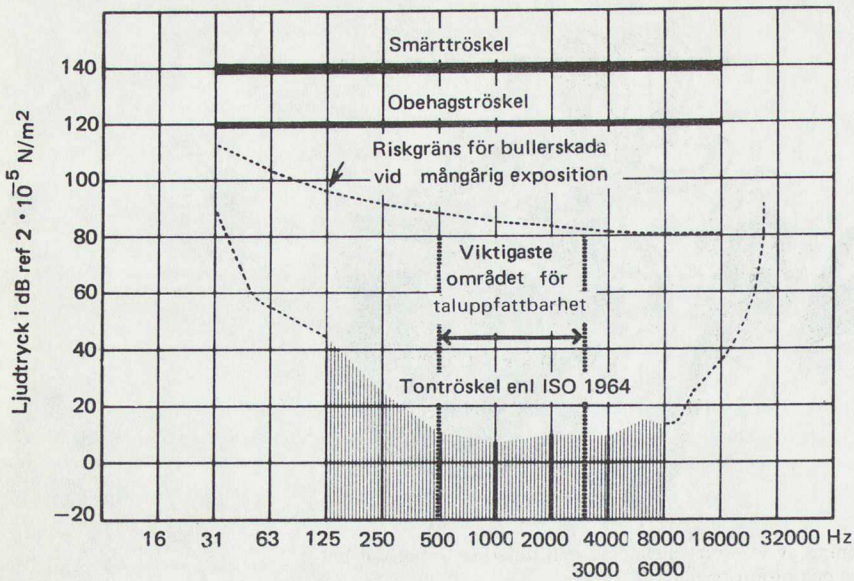
#### 4.1.2 Samband mellan ljudets subjektiva och objektiva egenskaper

Ordet ljud har i de flesta språk både en psykologisk och en fysikalisk betydelse. Psykologiskt kan man definiera ljud som det stimulerande fenomen som ger upphov till en hörselsensation. I fysiken däremot måste ljud beskrivas annorlunda och innebär en beskrivning av ljudets fysikaliska egenskaper, som framgår av bilaga 1. Sambandet mellan ljudets subjektiva och objektiva egenskaper brukar beskrivas under rubriken psykoakustik. Ljud förekommer dels av regelbunden art, d v s med viss karakteristisk frekvenssammansättning, t ex toner, klanger, tal och dels som en oregelbunden sammansättning av frekvenser s k brusljud. När ljud beskrivs som funktion av tid, talar man om impuls ljud, kontinuerligt respektive intermittert ljud.

##### 4.1.2.1 Hörseln

Ljudstyrkan av de svagaste toner som det mänskliga örat kan höra varierar med tonernas frekvens och lyssningsförhållandena. Det minsta ljudtryck hos en sinusformad ljudvåg, d v s en fysikaliskt sett ren ton, som vid olika frekvenser ger upphov till en hörselförnimmelse, benämns undre hörgräns eller hörtröskel. Endast ca 1 % av befolkningen har en så bra hörsel.

Vid hörselundersökningar använder man därför som jämförelsebasis normal hörtröskel eller normal undre hörgräns. Härmed förstås den ljudtrycksnivå vid vilken genomsnittet av normalhörande unga personer nätt och jämnt uppfattar tonen. Ljudtrycksnivån motsvarande normal hörtröskel för en rad olika hörtelefonalternativ är fastställd av internationella standardiseringskommissionen (ISO rekommendation R 389, 1964) (jfr fig 4.3) Normal hörtröskel för fritt ljudfält är fastlagd i ISO rekomen-



Figur 4.3 Örats hörområde samt riskgränser för bullerskada vid mångårig exponering.

dation R 226. Vid hörselmätning med toner använder man en tonaudiometer. Denna avger i en hörtelefon toner av olika frekvens och styrka. Audiometern är kalibrerad enligt ISO-standard. Detta innebär att normal hörröskel för toner på audiometern motsvaras av ljudtrycksnivån 0 dB för samtliga frekvenser. Hörselnedsättning eller hörförlust anges i decibel som nivåskillnad mellan normal hörröskel och aktuell hörröskel för givna frekvenser.

Det kan anmärkas att uttrycket normal hörröskel är ett statistiskt begrepp och att stora individuella variationer förekommer. Standardavvikelsen hos en grupp normalhörande unga personer är ca 5 dB, vilket betyder att ca 2/3 av gruppen ligger i intervallet  $\pm 5$  dB från medelvärdet och ca 96 % i intervallet  $\pm 10$  dB från medelvärdet. För att ett funnet värde ur statistisk synpunkt skall kunna anses som avvikande från medelvärdet erfordras en avvikelse som är större än ca 2 standardavvikelser om man accepterar att risken är 1 på 20 att avvikelsen är förorsakad av slumpen. En hörförlust eller hörselnedsättning kan således från praktisk synpunkt först anses föreligga om avvikelsen från normalvärdet 0 dB uppgår till minst 15 dB eftersom mätningen sker i 5 dB-steg. Hörselnedsättningens sociala verkningar blir dock först påtagliga när hörförlusten uppgår till ca 35 dB genomsnittligt för frekvenserna 500–2 000 Hz. En hörselnedsättning på omkring 45 dB för samma frekvensområde medger att vanligt samtal (utan läppavläsning) som regel kan uppfattas på omkring 1 m håll. 60 dB hörselnedsättning inom frekvensområdet 500–2 000 Hz kräver ett höravstånd på 0,1 m.

Örats förmåga att uppfatta ljud avtar med stigande ålder. I 20-årsåldern kan man uppfatta svängningar mellan 16 och 20 000 Hz. Efter 40-årsåldern sjunker enligt Békésy den övre tongränsen årligen ca 160 Hz. I området under 16 Hz upplever vi en kontinuerlig övergång från ett rent hörselintryck till en ren vibration. Över 20 000 Hz hör vi inte sväng-

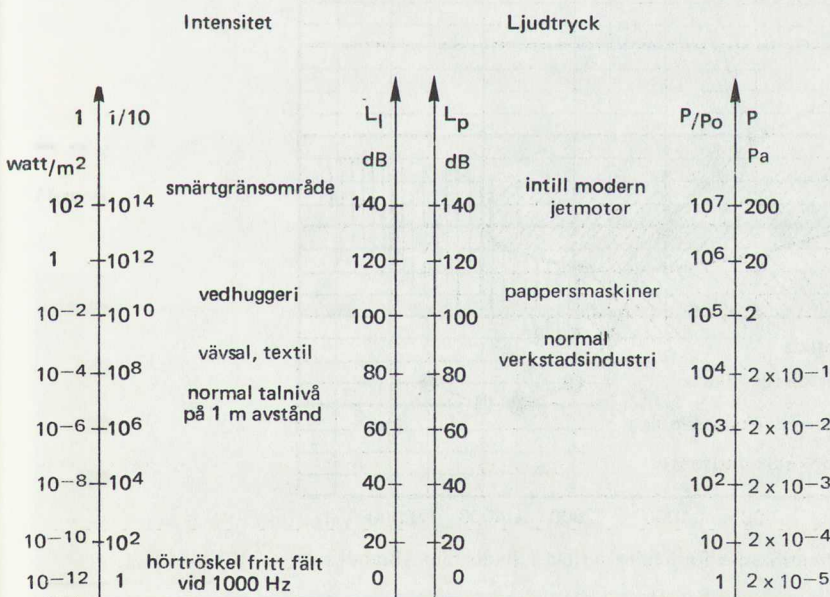
ningarna och vi talar om ultraljud.

Hörörådets undre begränsning utgörs av den normala undre hörgränsen eller hörtröskeln. Örat är känsligast mellan 1 000 och 3 000 Hz. Frekvensområdet 300–3 400 Hz är viktigast för att höra tal, åtminstone om man lyssnar i en viss bullerbakgrund. För lyssning i tyst omgivning krävs normal hörsel, åtminstone inom området 500–2 000 Hz. Den övre begränsningen utgörs av obehagströskeln eller den övre hörgränsen. Det normala hörörådet har en spännvidd av omkring 130 dB.

Om man jämför örats höröråde med en våg med motsvarande prestanda måste sistnämnda tåla belastningar som varierar mellan gram och ton. Några olika ljuds och bullers styrkenivåer i jämförelse med normal hörtröskel anges i fig 4.4.

Utöver den övre hörgränsen kan ytterligare två trösklar anges, nämligen smärtröskeln och gränsen för mekanisk skada (hållfasthetsgräns). Smärtröskeln ligger vid omkring 130–140 dB ljudtrycksnivå. Hållfasthetsgränsen hos trumhinnan har angivits till omkring 190 dB ljudtrycksnivå ( $10^5$  Pa).

Vi kan också urskilja ett område, där vi tycker att det är behagligt att lyssna. Lagomnivån när det gäller att lyssna på tal ligger omkring 30–50 dB över hörtröskeln. Vid musiklyssning varierar lagomnivån individuellt och har ett betydligt större område. I fig 4.3 är riskgränsen för skadligt buller markerad. Om örat utsätts under en följd av år för kontinuerligt buller, som är starkare än vad som motsvarar riskgränsen, uppkommer hörselskada. Förklaringen till att bullerskada uppkommer är det faktum att riskgränsen för bullerskada ligger betydligt under obehagsgränsen. Sådan bullerskada upplevs i allmänhet smygande, vilket beror på



Figur 4.4 Sambandet intensitet – intensitetsnivå och ljudtryck – ljudtrycksnivå jämte några exempel på olika ljudkällor.

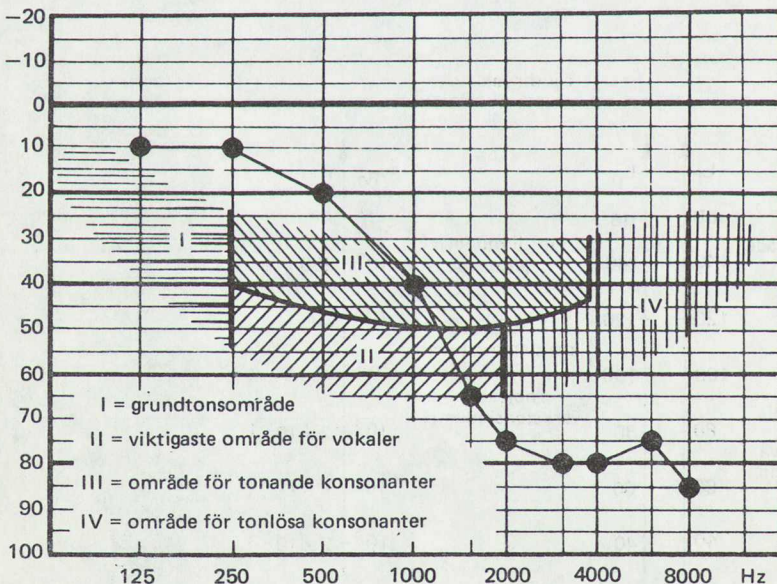
att man har svårt att jämföra sin egen hörsel med hur den var för något år sedan. Man minns inte vad man skall jämföra med.

#### 4.1.2.2 Tal-ljuden

Den minsta språkliga enhet som skiljer två ord med avseende på deras betydelse kallas fonem. Fonemen indelar vi i vokaler och konsonanter. Det är av dessa som vårt tal är uppbyggt. Talljuden fördelar sig i spektrum enligt fig 4.5. Konsonanterna är de betydelsebärande elementen och har den största betydelsen för taluppfattbarheten. Hörselnedsättning i diskantområdet påverkar särskilt hörseln av konsonanter och ger tidigt praktiska svårigheter. Vi kan i någon mån föreställa oss den hörselskadades situation genom att betrakta fig 4.6 i vilken konsonanter och vokaler omväxlande är strukna ur ordet trafikbullerutredning. Om konsonanterna stryks ut, blir meddelandet obegripligt. Vid sensorineural (neurogen) hörselnedsättning<sup>1</sup> som t ex vid bullerskador drabbas framförallt konsonanthörseln och liknande svårigheter uppträder. Störande buller påverkar taluppfattbarheten på liknande sätt genom att konsonantljuden maskeras.

De tonande talljuden kan karakteriseras som en klang bestående av grundton och ett stort antal övertoner. Övertoneernas intensitet varierar och i regel kan fyra intensitetsmaxima iakttas. Dessa maxima kallas formanter. Varje vokal har sitt speciella formantmönster. Talljudens olika

Hörselnedsättning i dB



Figur 4.5 Talljudens frekvensmässiga fördelning inritad i audiogram. (Brandt och Johansson, 1960).

<sup>1</sup> Hörselnedsättning som beror på minskad känslighet hos nervcellerna i hörselorganet.

intensitetsmaxima anges i fig 4.7. Det är framförallt de två lägsta formanterna som har betydelsebärande funktion och dessas läge varierar för olika ljud. Genom övertonshalten i musik kan vi skilja olika musikinstrument från varandra.

Personer med nedsatt hörsel inom diskantområdet har som ovan nämnts svårighet att höra konsonanterna. Vokalerna hörs men dessa bidrar föga till taluppfattbarheten. Den hörselskadade klagar då över att han visserligen hör att något sägs men att han ingenting förstår. I buller har man samma svårigheter och det hjälper ej enbart att höja röststyrkan utan det är väl så viktigt att tala långsamt och tydligt och låta lyssnaren med hjälp av läppavläsning söka fylla i det som örat inte kan uppfatta.

Förmågan att uppfatta tal kan direkt undersökas med talaudiometri. Härvid bestäms hörtröskeln för tal samt uppfattbarhets- eller diskriminationsförmågan. Den förra undersökningen avser att fastställa den lägsta ljudstyrka vid vilken 50 % av testorden uppfattas. Diskriminationsprovet görs vid en väl hörbar nivå och belyser framför allt innerörats nervfunktion.

Den genomsnittliga talstyrkan på en meters håll från talarens läppar varierar mellan 55 och 65 dB ljudtrycksnivå.

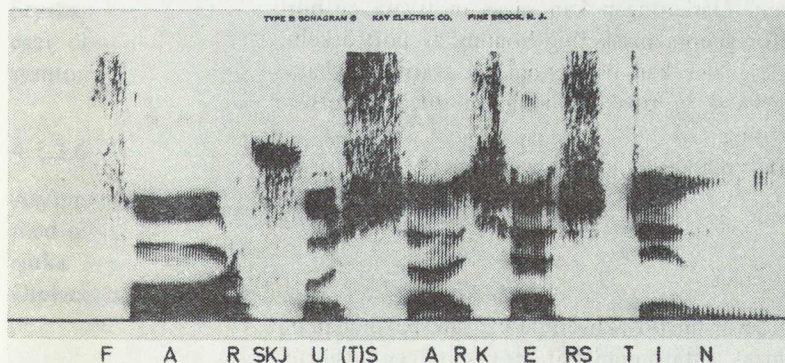
#### När är ljud ett buller?

Buller, som enligt definitionen utgörs av icke önskvärt ljud, behöver inte nödvändigtvis ha några speciella fysikaliska egenskaper som skiljer det

TR-F-KB-LL-R-TR-DN-NG-N

--A-I--U--E-U--E--I--E--

Figur 4.6 Konsonant- och vokalljudens relativa betydelse för taluppfattbarheten.



Figur 4.7 Talljudens olika intensitetsmaxima, upptecknade med sk sonagram.

från önskvärt ljud. Det ljud som är önskvärt för en person kan vara icke önskvärt för en annan. För att ta några exempel kan nämnas musiken på ett diskotek som är önskvärd för dess gäster, men inte önskvärd för den som bor i våningen över och försöker sova. Musiken på diskotek har i allmänhet hög ljudnivå, många gånger över 100 dB(A). Denna nivå är icke önskvärd från hörselskadesynpunkt medan musiken i sig själv är önskvärd för gästerna från underhållningssynpunkt. Ljud kan således för en och samma person samtidigt vara både önskvärt och icke önskvärt, fast i olika avseenden. Vidare har vi den stora mängd ljud som över huvud taget ej är önskvärda. Exempel på sådana ljud är trafikbuller och maskinbuller i fabriker, vilket är en form av energi, som ej kan nyttiggöras på något sätt, ej har någon funktion att fylla och påverkar människan menligt.

Tid och rum, när och var ljudpåverkan sker, är av stor betydelse för om ljudet skall uppfattas som ett buller. Nattetid uppfattas sådant ljud som stör insomnandet, sömn och vila som ett buller. En ljudmiljö som man dagligen arbetar i och då inte uppfattar som störande kan uppfattas som buller, om man utsätts för den på sin fritid. Attityden till ljudkällan är också som framgår nedan i avsnitt 4.5.2 av stor betydelse för hur ljudet uppfattas.

Från fysikalisk synpunkt kan buller täcka hela skalan från ljud med lågfrekvent dominans till ljud med högfrekvent dominans. Det förra har en mer dov och mullrande karaktär medan det högfrekventa är skarpare och ofta obehagligt att lyssna på. Ibland kan bullret ha karaktär av ton, t ex buller från turbiner. Om bullret har ett kontinuerligt spektrum, som innehåller samtliga frekvenser med konstant spektralnivå, talar vi om vitt brus. Detta låter som ljudet från utströmmande ånga.

#### 4.1.3 Några vanliga hörselphenomen

##### 4.1.3.1 Maskering

I en bullersam lokal är det svårt att föra ett samtal. Bullret maskerar talet. Med maskering menar man således den tröskelhöjning, dvs försämring av uppfattbarheten, som inträder i närvaro av annat ljud. När man avlägsnar sig ur bullret hör man åter bra.

Bullrets maskeringsverkan för såväl tal som toner kan mätas med hjälp av ett maskeringsaudiogram. Maskeringen kan sägas motsvara en hörförlust. Trafikbullret medför genom maskering höjning av hörtröskeln. Varnings- och omkörningssignaler kan därigenom bli svåruppfattbara. Trafikbuller med 90 dB styrka ger en tröskelhöjning som ungefär motsvarar 50–60 dB hörselnedsättning.

Vid hörselprovning används maskering för att avskärma det andra örats hörselförmåga.

##### 4.1.3.2 Ljudlokalisationsförmåga

Ljudlokalisationsförmågan beror huvudsakligen på ett samspel mellan de båda öronen. Inom det lågfrekventa området är det väsentligen tidsdifferensen mellan ljudets ankomst till respektive öra som ger information om

ljudets riktning. Inom det övre frekvensområdet spelar intensitetsskillnaderna större roll. Huvudet har en avsevärt dämpande eller ljudskuggande effekt i det högre frekvensområdet och detta vägleder oss vid riktningbestämningen.

Även den ensidigt döve har viss förmåga till riktningshörsel. Detta sammanhänger med att man omedvetet kan lära sig att värdera klangskilnader beroende på ljudets infallsvinkel mot huvudet.

#### 4.1.3.3 Adaptation

Normalhörande personer kan vid hörtröskelnivå lyssna på en ton i flera minuter utan att tröskeln ändras. Vid sjukliga förändringar i innerörat och hörselnerven är det vanligt att tröskeln höjs under pågående stimulering. Tonstyrkan måste således gradvis ökas för att tonen fortfarande skall kunna höras. Detta fenomen betecknas som adaptation, ett fysiologiskt uttryck för tillvänjning.

#### 4.1.3.4 Recruitment

Recruitment eller förstärkningsfenomenet anger att det föreligger en abnorm hörseluppfattning i förhållande till ljudstyrkan. Fenomenet illustreras enklast vid ensidig hörselskada. Vid en hörförlust av t ex 50 dB upplevs vid denna nivå tonen svag och nätt och jämnt hörbar. Om tonstyrkan ökas med t ex 30 dB, ökar hörstyrkan så starkt att den motsvarar 80 dB i det friska örat och ljudet hörs alltså lika starkt i båda öronen. 30 dB ljudstyrkeökning på det sjuka örat motsvaras således subjektivt av en ljudstyrkeökning på 80 dB på det normala örat i det valda exemplet. Symtomet har kliniskt värde och tyder på att hörselskadan är lokaliserad till innerörat.

#### 4.1.3.5 Öronsusning

Öronsusning eller tinnitus kan vara objektivt hörbar vid avlyssning på skallen runt örat och är då som regel symtom på blodkärlsanomali. Vanligen är susningarna ett subjektivt fenomen, som beskrivs som bruset från utströmmande ånga, som buller från en motor eller som en ton. Styrkan kan ungefärligen bestämmas genom att låta personen värdera sitt eget oljud mot liknande ljud av känd styrka. Öronsusningar kan vara symtom på allmän sjukdom eller på förändringar i örat.

#### 4.1.3.6 Asymmetrisk tonuppfattning

Asymmetrisk tonuppfattning, diplacusis, innebär att man hör samma ton med olika tonhöjd på respektive öra. Vanligt är att tonupplevelsen på det sjuka örat anges som falsk. Ibland kan tonen höras som kluden. Diplacusis tyder på att skadan är lokaliserad i innerörat.



## 4.2 Bullers inverkan på människans hälsa och välbefinnande

### Inledning

Världshälsoorganisationen (WHO) definierar hälsan som ett tillstånd av komplett fysiskt, mentalt och socialt välbefinnande och inte endast som tillstånd med avsaknad av sjukdom och lyte. Det är inte svårt att inse att bullret ur denna synpunkt ofta kan tänkas inverka negativt på människans hälsa. Bullret kan störa arbetsron, försvåra tankeförmågan, påverka sinnesfriden och genom att hindra avkoppling och nöje på lediga stunder störa det psykiska välbefinnandet. Individens psykiska upplevelser av bullret bestämmer också i hög grad reaktionen på bullret såväl kroppsligt som själsligt. Sekundärt kan således uppträda stressreaktioner och eventuellt sjukliga tillstånd.

Bullret är visserligen en fysikaliskt mätbar storhet men mer vittgående kan det betraktas som ett psykologiskt begrepp.

Som redan framhållits kan buller av samma intensitet och karaktär upplevas i hög grad olika av olika personer samt framkalla olika fysiologiska och psykologiska reaktioner hos individer.

Bullers inverkan på människans hälsa och välbefinnande skall diskuteras från ovan angivna utgångspunkter.

#### 4.2.1 Bullers hörselskadande effekt

Man har sedan länge känt till att starkt buller ger en hörselskadande effekt. Bullers inverkan på hörseln kan uppdelas i tillfällig hörselnedsättning eller tröskelhöjning samt permanent bullerskada. Sistnämnda omfattar skador orsakade av såväl kortvariga, starka knallar och detonationer, s k akustiska traumata, som av långvarig vistelse i starkt buller. Hörselorganets förmåga att motstå bullerpåverkan varierar mellan olika individer. Detta kan vara genetiskt betingat men nervsystemets olika reaktionsbenägenhet synes också ha med detta att göra. En del personer är mer robusta och andra mer känsliga. Den nervöse och spände individen går måhända omkring med ökad mängd stresshormoner i blodet, som sekundärt medför ökad spänning i blodkärlen. En mer eller mindre permanent sammandragning i innerörats blodkärl kan försämra hörselorganets närings- och syreförsörjning med potentiell hörselskada som följd. Blodkärlets vidd varierar hos olika människor. Det är möjligt ehuru ej definitivt bevisat att en kombination av anatomiskt trånga blodkärl i innerörat i förening med ökad kärlsammandragning, orsakad av buller, leder till hörselnedsättning och måhända utgör en av grunderna till olika individers olika bullerkänslighet. Mellanöremuskulernas olika reaktionsbenägenhet på ljud kan också vara en bidragande orsak.

##### 4.2.1.1 Tillfällig hörselnedsättning

Var och en som vistats i en starkt bullersam lokal under en dag kan erinra sig de ringningar och susningar som pågått flera timmar efteråt. Likaså har hörseln varit nedsatt. Hörselnedsättningen inträffar redan under de första timmarna efter exponeringens början och tilltar sedan långsamma-

re. En återgång till normal hörsel tar längre tid. Förekomsten av hörselskada inverkar också på graden av tillfällig hörselnedsättning. Ju större permanent skada som finns, desto mindre tillfällig hörselnedsättning erhålls. Efter tio års exponering i starkt buller med en genomsnittlig permanent bullerskada vid 4 000 Hz av 50 dB blir den tillfälliga hörselnedsättningen kanske bara 10 dB medan den under första året vid obetydlig permanent skada ofta uppgår till 30 dB i det övre frekvensområdet.

Den tillfälliga hörselnedsättningen kan betraktas som ett uttröttningsfenomen. Genom bullerstimuleringen blir aktiviteten i cellen så stor att försörjningen med syre och näringsämnen ej hinner med. Denna effekt förstärks av att stimuleringen, också under inverkan av det vegetativa nervsystemet, sannolikt framkallar en kärksammandragning som försvårar syre- och näringstillförseln. Först vid mycket höga bullernivåer, över 130–140 dB, ger bullerexponeringen upphov till direkt mekanisk skada på hårcellerna.

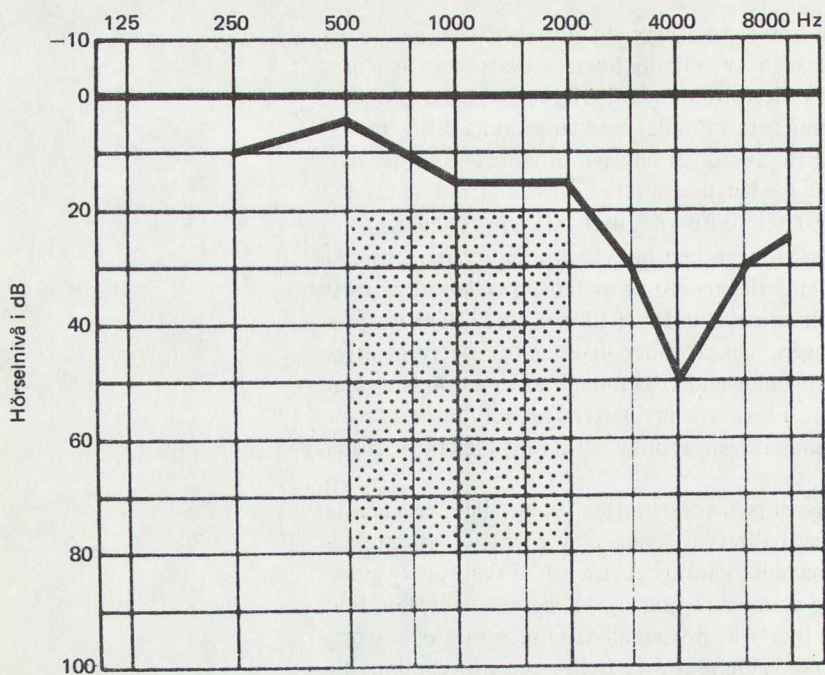
Storleken av den tillfälliga hörselnedsättningen liksom den permanenta hörselnedsättningen beror av bullrets frekvens och intensitet, av exponeringstiden samt av individens bullerkänslighet och hörtröskel före exponeringen. En kort exponering av mycket hög styrka, som t ex knallen från vapen, kan ge upphov till lika svår hörselnedsättning som en långvarig exponering av måttlig styrka. Högfrekventa buller ger större effekt på hörseln än lågfrekventa buller. Förhållandena är bäst kända för buller av kontinuerlig typ, medan sambandet stimulus och effekt, när det gäller slagbuller och annat impulsljud, ännu är otillräckligt utrett.

Tillfällig hörselnedsättning liksom permanent bullerskada uppträder oftast en halv eller möjligen en hel oktav över smalbandigt buller eller tons energimaximum. För de flesta typer av bredbandigt buller uppträder oförmågan att höra ljud som mer eller mindre höggradig nedsättning inom det högfrekventa området 3 000–6 000 Hz. Förmågan att höra de låga tonerna är som regel opåverkad.

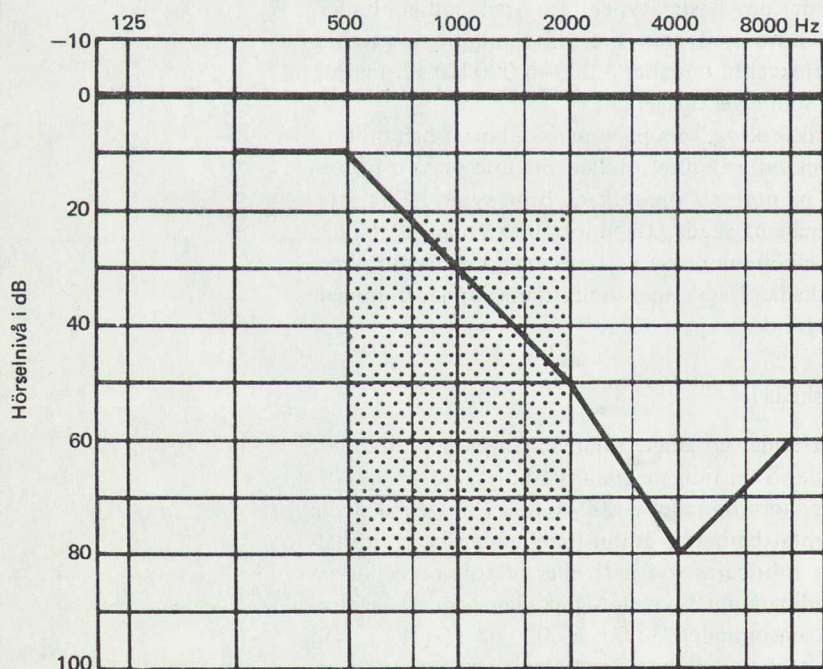
Vibrationer från t ex skakverktyg, som pneumatiska borrar och motorsågar, har visat sig öka effekten av bullret. Buller som inte orsakar någon tillfällig hörselnedsättning på normala opåverkade öron synes heller inte ge upphov till någon permanent skada. Däremot finner man att buller som ger viss tillfällig tröskelhöjning också i stor utsträckning ger upphov till en permanent hörselskada. Några mer omfattande undersökningar som bekräftar detta föreligger dock ej.

#### 4.2.1.2 Permanent hörselskada

Om örat utsätts för buller under en längre sammanhängande period, blir följden obotlig hörselskada. Som tidigare framgått börjar hörselnedsättningen på grund av buller inom området 3 000–6 000 Hz. Denna skada har föga effekt på taluppfattbarheten åtminstone under tysta förhållanden och brukar därför rubriceras som lätt eller måttlig beroende på nedsättningens grad. I audiogrammet yttrar sig skadan som en taggförmig sänkning inom frekvensområdet 3 000–6 000 Hz (fig 4.8). Vid fortsatt bullerexponering utbreder sig hörselnedsättningen gradvis i riktning mot basområdet varvid hörförlusten också blir större. Om hörselska-



Figur 4.8 Lätt bullerskada, talfrekvensområdet skuggat.

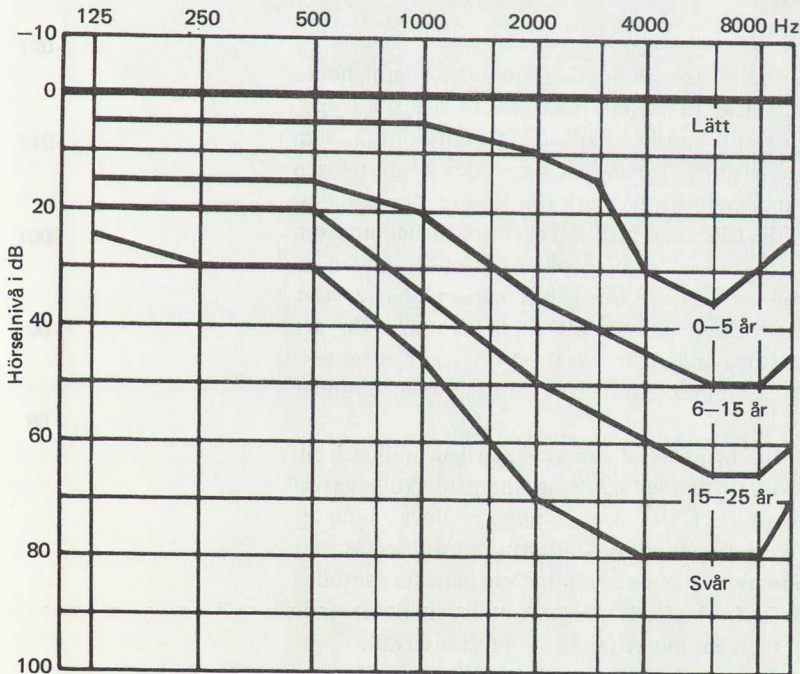


Figur 4.9 Svår bullerskada, talfrekvensområdet skuggat.

dan blir så uttalad att den omfattar hela eller en del av talfrekvensområdet (500–2 000 Hz) kan svårigheter att kommunicera uppstå, vilket leder till mer eller mindre högradig invaliditet (fig 4.9). Det bör framhållas att vanligt trafikbuller försämrar taluppfattbarheten högradigt, om man samtidigt råkar ha en lätt bullerskada. Mer omfattande undersökningar av ett stort antal personer med olika grad av bullerskada har gjorts med avseende på taluppfattbarhet i olika bakgrundsbuller (1). Härvid har visats att personer som har normal hörsel upp till 3 000 Hz har obetydliga besvär, men att taluppfattbarheten raskt försämras när talfrekvensområdet beskärs. Som exempel kan nämnas skillnaden i taluppfattning vid måttlig bullerbakgrund. Medan personer med bullerskada, vilka i tyst omgivning uppfattar normalt, endast klarar mellan 10 och 30 % av testorden, är de normalhörandes taluppfattning i det närmaste opåverkad.

Frågan om bullerskadans svårighetsgrad ökar vid fortsatt långvarig exponering har tidigare varit föremål för delade meningar. Man synes emellertid numera vara enig om att så är fallet (2, 3, 4). Som synes av fig 4.10 fortskrider hörselskadan med ökat antal exponeringsår i buller. En konstaterad hörselskada bör därför aldrig tas som motivering för minskade försiktighetsåtgärder.

Hörselskador som uppstår på grund av ärftliga faktorer eller genom åldersnedsättning (presbycusis) ger likartade symtom som bullerskador. Det kan således många gånger vara svårt att utan ingående undersökningar avgöra om det föreligger en bullerskada eller ej.



Figur 4.10 Bullerskadans svårighetsgrad ökar med expositionstiden om hörselskydd ej används. Nitare på varv.

Män och kvinnor synes ha olika grad av åldersnedsättning. Detta har gjort att man ifrågasatt om åldersnedsättningen enbart är en effekt av åldrandet eller om bullret i vår vardagsomgivning kan vara en bidragande orsak.

Jämförande undersökningar mellan lant- och stadsbefolkning samt mellan kvinnor och män i England visar att kvinnor som bor på landsbygden har bättre hörsel än övriga, vilket förhållande framträdde alltmer markant med stigande ålder (5). Undersökningar bland en infödingsstam i Afrika som lever under utpräglat bullerfria förhållanden, har utvisat att åldersnedsättning ej föreligger hos denna stam (6, 7, 8). Detta förhållande kan dock inte utan vidare tas som bevis för att hörselnedsättning med stigande ålder skulle vara enbart bullerbetingad. Levnads- och nutritionsförhållandena är olika.

I övrigt är det välkänt att hjärt- och kärlsjukdomar, högt blodtryck och olika dietförhållanden, som leder till förhöjning av blodfetterna, är vanliga åkommor i Europa och att dessa har en negativ inverkan på hörseln. Å andra sidan utsätts man i vardagslivet även på fritiden ofta för buller av varierande styrka och varaktighet. Motorgräsklippare, mopeder, motorcyklar, motorsågar, motorbåtar, flygbuller och inte minst popmusik kan inverka skadligt på vårt hörselorgan. Man har därför på många håll i stället för att tala om åldersnedsättning infört beteckningen socioacusic och menar härmed den hörselnedsättning som uppkommer som följd av våra levnadsförhållanden, omgivande buller samt stigande ålder.

#### 4.2.1.3 Bullerkänslighetstest

Baserade på sambandet mellan den temporära och den permanenta hörselskadan har ett flertal test utvecklats med avsikt att söka uppspåra individer som är särskilt känsliga och därigenom hindra dem från att ådra sig hörselnedsättning. Dessa test baserades ursprungligen på metoden att exponera individen för en stark ton eller ett starkt buller under några minuter upp till några timmar. Man försökte bedöma om individen var överkänslig för bullret eller ej på grundval av graden av uppkommen tillfällig hörselnedsättning. Dessa test har emellertid visat sig vara otillförlitliga. Undersökningar för att finna nya test för att upptäcka särskilt bullerkänsliga individer pågår. Av särskilt intresse i detta sammanhang är mellanöremuskelreflexens olika beteende under ljudstimulation.

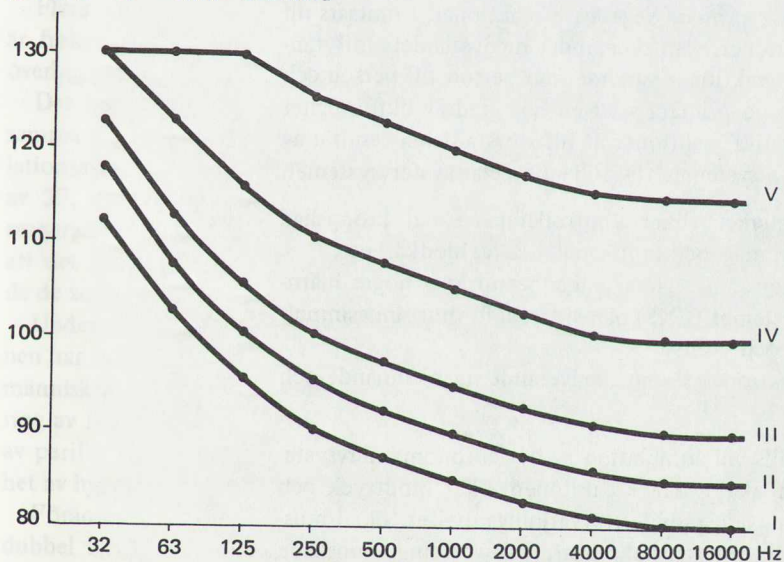
Mätning av uttröttbarhet och latenstid hos reflexen kan möjligen bli ett användbart test. Snabb uttröttbarhet och lång latenstid skulle därvid vara indikation på låg känslighet (9). Det föreligger dock ännu ej övertygande bevis för att de personer som i laboratorium rubriceras som överkänsliga senare får permanenta bullerskador. Den säkraste metoden för att hitta bullerkänsliga individer som arbetar i buller är fortfarande att kontrollera deras hörsel med audiometri med lämpliga intervall.

#### 4.2.1.4 Riskkriterium för hörselskada

Ett viktigt önskemål har länge varit att få fram ett riskkriterium, d v s ett fysikaliskt mätetal över vilket kontinuerligt buller är skadligt för hörseln. Ett flertal teoretiskt uppbyggda riskkriterier har publicerats under årens lopp. Förslag till normer har därvid framförts baserade på bullrets parametrar: intensitet, duration och frekvensinnehåll. Grundat på standardiseringsarbete inom ISO och på svenska undersökningsresultat har Svenska elektriska kommissionen år 1972 fastställt en svensk standard (SEN 590111) för värdering av hörselskaderisk (10). Gränsen för denna risk anges häri till 85 dB(A) vid långvarig exponering. Om ljudnivån överstiger 85 dB(A) skall fortsatt undersökning göras med oktavbandsanalysator för att fastställa risken för hörselskada. Beroende på expositionens längd och styrka kan man för kontinuerligt buller tillåta olika gränsvärden (fig 4.11).

Man vet betydligt mindre om effekten av mycket kortvariga impuls- och slagljud. Generellt gäller att ju kortare expositionstiden är, desto högre intensiteter är tolerabla. Den svenska normen anger att risk inte synes föreligga för normalindividen om det transienta ljudet inte överstiger 140 dB toppvärde och varar högst 20 ms.

dB över  $2 \cdot 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup> oktavnivå



Maximalt tillåten summaexponering för buller under typisk arbetsdag

I	> 5	timmar
II	2-5	timmar
III	1-2	timmar
IV	< 20	minuter
V	< 5	minuter

Figur 4.11 Kriterier för hörselskaderisk. Svenska elektriska kommissionen, SEN, 590111, 1972.

#### 4.2.2 Fysiologiska effekter av buller

Förutom genom de rent hörselskadliga effekterna påverkar buller människan på många andra sätt. Under laboratoriemässiga förhållanden har man konstaterat att långvarig exponering av buller ger förhöjt blodtryck och ökad hjärtfrekvens. Likaså har konstaterats att hudens blodkärl drar ihop sig, att matsmältningsorganens verksamhet fördröjs och att muskulaturens tonus ökas. Dessa symtom kan uppfattas som svar på den larmreaktion som utlösts av bullret och reglerats av det vegetativa eller autonoma nervsystemet. Även om de laboratoriemässiga undersökningarna ger tydliga utslag för bullerexponering har man ännu inte säkra bevis för att bullret ger upphov till sjukdomar i ovan nämnda organsystem.

Nedan skall diskuteras mer i detalj olika fysiologiska effekter av buller samt den sannolika uppkomstmekanismen. Fysiologiska svar hos vissa kroppsfunktioner vid stimulation med buller kan mätas. Extrema fysiologiska förändringar kan betraktas som en hälsorisk. Stark och långvarig bullerpåverkan kan ge upphov till dylika. Bullret måste därför anses vara en potentiell hälsorisk intill dess man har tillfredsställande visat att de fysiologiska förändringar som utlöses är negligerbara.

Hörselnerven har förgreningar i hjärnstammen som möjliggör direkta reflexkopplingar till vegetativa centra i hjärnan. Härigenom kan buller förorsaka reaktioner som sker oberoende av medvetandet.

Dessa reaktioner benämns primära vegetativa reaktioner, i motsats till sekundära vegetativa reaktioner, som sker under medvetandets inflytande, (11). Dessa sekundära reaktioner varierar från person till person och inom vida gränser, medan de primära visar en hög grad av likformighet och stabilitet. Dessa vegetativa reaktioner är till största delen resultat av stimulering via det auditiva systemet<sup>1</sup> av följande delar av nervsystemet.

1. Det autonoma nervsystemet vilket kontrollerar en rad kroppsliga funktioner t ex i körtlar, mag- och tarmkanal, hjärta, blodkärl etc.
2. Den del av nervsystemet som reglerar vakenhetsnivån i högre hjärncentra i centrala nervsystemet (CNS) och vidarebefordrar sinnesimpulser kopplade till smärta och vällust.
3. Hjärncentra i vilka funktioner såsom medvetande, igenkännande och tänkande försiggår.

De reaktioner som erhålls vid stimulation av det autonoma nervsystemet liknar i mycket den akuta skräckreaktionen: ökat blodtryck och förhöjd pulsfrekvens, utvidgade pupiller, avvärjningsrörelser, ökad muskelspänning och eventuella muskelskakningar, kallsvettning, minskade eller upphörande magsäcks- och tarmrörelser samt nedsatt sekretion av magsaft och saliv (torrhetskänsla i munnen).

Sambanden mellan buller och vegetativa reaktioner framkallade av buller har graderats på följande sätt (12).

1. Omkring 60 dB, vegetativ reaktion av måttlig storlek.
2. Omkring 75 dB, uttalad vegetativ reaktion.

<sup>1</sup> Hårcellerna i innerörat och nervbanorna till hjärnan.

3. Strax under 90 dB, begynnande farozon vid exponering för bredbandsbuller.
4. Omkring 105 dB, begynnande vegetativa skadeverkningar.

#### 4.2.2.1 Effekten av buller på hjärta och kärlsystem

Ett stort antal undersökningar av bullrets effekt på hjärt-kärlsystemet har gjorts. I en undersökning (13) har 34 försökspersoner exponerats för industribuller och vitt brus i olika frekvensområden. Man fann därvid att hörnivån 90 phon vid samtliga ljudtyper påverkade försökspersonerna med en höjning av det arteriella strömningsmotståndet och en minskning av hjärtats slagvolym. På grund av denna slagvolymminskning förändrades ej pulsfrekvens och systoliskt blodtryck (trycket som uppkommer när hjärtat drar ihop sig). Speciellt anmärkningsvärt var resultatet vid denna undersökning, att de vegetativa reaktionerna utlöstes inte endast hos bullerkänsliga människor utan även hos arbetare, som arbetat mer än 10 år i bullersam miljö med en daglig bullernivå på i genomsnitt 90–100 phon.

Bland effekterna på kärlsystemet kan särskilt nämnas perifer vasokonstriktion (sammandragning av blodkärlens finaste förgreningar). Som närmare framgår under avsnittet 4.2.6.1 nedan är effekterna av denna reaktion en möjlig hälsorisk.

Flera undersökningar har visat att den perifera vasokonstriktionen inte är frekvensberoende trots att de högre frekvenserna av försökspersoner överlag ansetts som mer oangenäma än de låga (14).

Det har också iakttagits (15) att både vitt brus och musik av ungefär samma intensitet, 90 phon, orsakade mycket lika reaktioner i blodcirkulationsapparaten. De flesta försökspersonerna i denna undersökning, 18 av 27, visade minskad minutvolym under brus och musik, de andra 9 reagerade med ökning. Likheten i effekt mellan musik och brus beror på att det tydliga var ljudintensiteten och inte känslaspekter som orsakade de somatiska reaktionerna.

Undersökningar över effekter av plötslig ljudpåverkan på hjärtfunktionen har också utförts. Bland dessa kan nämnas skrämnelreaktion hos unga människor vid exposition för ljudet av pistolskott (16). Maximal förändring av hjärt-kärlsystemet iaktogs 12–30 sekunder efter stimulus i form av perifer kärlsammandragning, ökad hjärtfrekvens och minskad varaktighet av hjärtats kontraktionstid.

Förändringar i hjärtats kontraktionstid (17) har ansetts orsakade av en dubbel stimulering genom buller: den ena över vegetativa nervsystemet och den andra som en konsekvens av det ändrade perifera blodflödet.

Hjärtfrekvensen har också visats synkroniserad med upprepade ljudimpulser (18).

Undersökningar av bullers inverkan på EKG-bilden på kvinnor anställda vid en textilfabrik har utförts. Kvinnorna exponerades dagligen för 95 phon. De uppdelades i två grupper: i den ena kvinnor med 3–8 år i företaget, i den andra kvinnor med mindre än 6 månader i företaget. I båda grupperna iaktogs inga andra förändringar än en ökning av T-vågen efter 8 timmars exponering. T-vågen återgick till kontrollnivån inom 12



timmar efter avslutad exponering. Dessa EKG-förändringar kunde ej iakttagas i en grupp som exponerades för 60 phon.

Inverkan av buller på blodtrycket har studerats i både djur- och humanförsök. Härvid har man funnit mycket skiftande resultat.

Effekten av olika bandbredd av buller på den vegetativa reaktionen har studerats. Den maximala effekten erhöles med vitt brus. Effekten av smalbandsbuller omfattande en tredjedels oktav var maximal när denna var centrerad omkring 3 000 Hz. Vid en annan undersökning (19) har man i samband med hjärkateterisering på sovande patienter exponerat dem för ett buller av 90 dB nivå. Man fann ej någon statistiskt signifikant inverkan av 20 minuters buller på syreupptagningsförmåga, arteriovenös syreskillnad, pulsfrekvens eller slagvolym. Skillnaderna i resultat mellan denna undersökning och andra i kapitlet nämnda kan emellertid bero på skillnader i undersökningsteknik. Bl a hade man vid denna senare undersökning försökspersoner sovande. En del andra försöksbetingelser var också olika.

Arbetare som i sitt arbete utsätts för höga ljudnivåer har vid vissa undersökningar visats ha i genomsnitt högre blodtryck än arbetare som arbetar i mindre buller. Högre blodtryck har dock inte kunnat iakttagas hos dem som redan blivit hörselskadade (20).

#### 4.2.2.2 Bullers effekt på andningen

Vid ett flertal undersökningar har visats att buller påverkar människans andning. Förändringarna består vanligen i att andningen blir mer oregelbunden och djupare.

Förändringar i andningsrörelsen börjar uppträda redan vid buller om ca 40 dB:s intensitet (21). Vid försök (22) med en 30 sekunder lång ton i frekvenser från 125 Hz till 10 000 Hz har en påverkan på andningsrörelserna noterats vid ljudnivån 45–55 dB över hörtröskeln hos 50 % och vid 70 dB hos samtliga försökspersoner. Vid så höga industribullemlivåer som 90–95 dB påvisades förändringar i olika andningsfunktioner såsom frekvens, tidsvolym, syreupptagning och utandad koldioxid (23).

#### 4.2.2.3 Inverkan av ljudstimuli på ögats funktion

Förändringar av ögats funktion till följd av buller har konstaterats vid höga ljudnivåer. Förändringarna består i förstoring av pupillerna åtföljda av försämring av djupskärpan (24, 12, 25). Även förändring i färguppfattbarheten har iakttagits (26, 27, 28). Denna består i en försämring av rödseendet, varvid även nattsynen försämras. En ökad känslighet för grönt ljus har också kunnat konstateras. Bland arbetare som under lång tid varit exponerade för bullernivåer i 110–124 dB-området under åtta timmar varje arbetsdag har en förträngning av synfältet påvisats (29, 30, 31).

#### 4.2.2.4 Bullrets inverkan på neurologiska funktioner

Bullers inverkan på centrala nervsystemet hos barn och ungdom har studerats i två ryska undersökningar. I det ena fallet fann man en signifikant fördröjning av betingade reflexer på ljud- och ljusstimulering hos barn i sexårsåldern som vistades i en relativt bullrig miljö 65–75 dB. Denna förlängning kunde inte iakttas hos en kontrollgrupp som vistades i en miljö där bullret var 40–55 dB (32). I den andra undersökningen exponerades ungdomar för konstant industribuller, 85 dB, 1 000–20 000 Hz. Även i detta fall konstaterades en ökning av tiden för reflexsvar på ljud- och ljusstimuli. Man fann även en försämring i kapaciteten för mentalt arbete i den senare undersökningen (33).

#### 4.2.2.5 Effekten av buller på fortplantning och havandeskap

Inverkan av buller på fortplantningsfunktioner och fosterutveckling har studerats av flera forskare. Både moder och foster reagerar vid ljudstimulering under senare delen av havandeskapet (34, 35). Detta kan konstateras bl a genom ökad hjärtverksamhet. Om fostret exponeras direkt via moderns mage reagerar det med både ökad hjärtverksamhet och muskelaktivitet i form av sparkar. Vid fortsatt ljudstimulation erhöles tydlig habituering med avseende på motoriska reflexer men ej på hjärtfrekvensen.

Från Japan (36) har rapporterats att det hos familjer som bor nära bullrande flygfält finns ökad frekvens av för tidiga födslar och en lägre tillväxttakt (viktökning) hos de yngre barn som utsätts för buller.

#### 4.2.2.6 Öronsymtom

Vid mycket höga bullernivåer stimuleras smärtreceptorerna i trumhinna och mellanöra och utlöser smärtreaktioner. Starka ljudstimuli kan också medföra balansrubbingar och yrsel. Det rör sig härvid i regel om exposition för jetbuller.

#### 4.2.2.7 Tillvänjning

Det centrala nervsystemet besitter förmågan att modifiera svaret på ett stimulus i jämförelse med tidigare stimuli. Man kallar detta habituering eller tillvänjning, vilket definieras som den successiva minskningen av ett svar på upprepade identiska stimuleringar. Habituering i en eller annan form kan sägas vara en av de fundamentala egenskaperna hos levande organismer (37).

Vid dåsighetstillstånd och sömn blir i allmänhet habitueringen långsammare eller uteblir helt beroende på vad för stimulus man studerar (38, 39, 40, 41).

Med utgångspunkt i teorierna bakom habitueringen har man antagit att en ängslig personlighetstyp skulle visa mindre grad av habituering. Denna hypotes har testats i ett flertal fall på patienter med psykiska

sjukdomar, framförallt sådana med ängslan och ångestfyllda perioder. Många av dessa studier har visat att tillvänjningshastigheten var signifikant lägre (42). Betydelseerna av detta har diskuterats (43). Det har därvid framförts att intermittent eller kontinuerligt buller skulle utgöra en risk för ängsliga patienter genom att förvärra deras sjukdomstillstånd och förorsaka återfall.

En annan aspekt på tillvänjning till buller har testats genom att man låtit två grupper av normalhörande arbetare uppskatta hörnivån av ett visst buller (44). Den ena gruppen hade arbetat under en ganska hög bullernivå, medan den andra gruppen hade arbetat under tysta förhållanden. Gruppen som arbetat i buller bedömde genomgående testbullret som tystare än vad den andra gruppen gjorde.

Tillvänjning på lång sikt, särskilt med hänsyn till subjektiva besvärreaktioner, har belysts endast med intervjuundersökningar.

Vissa forskare (45) anser att ingen tillvänjning sker om den exponerade individen upplever rädsla för bullret, t ex fara för flygolycka.

#### 4.2.3 Bullers effekt på sömnen

När man har för avsikt att somna sänks vakenhetsnivån och den mentala aktiviteten minskar. Förmåga att tåla bullerstörning reduceras starkt. Buller kan inte förutses eller identifieras aktivt och tillvänjning kan inte äga rum i samma utsträckning som i vaket tillstånd (39). Bullersignaler tenderar att tydas som oönskade och irriterande i större utsträckning, eftersom de kommer i konflikt med avsikten att somna in, och de kan därför förorsaka förlängd och mer intensiv störning än vid vaket tillstånd. Särskilt trafikbuller, även på mycket låg nivå, kan sannolikt tolkas negativt eftersom det är bevis för att målet att somna inte delas av alla vid den tiden.

Människans normala sömn kan indelas i olika stadier med hänsyn till sömndjupet. Dessa stadier kan registreras med hjälp av elektroencefalografi (EEG). Normalt tillbringar man en viss del av sömnen i respektive stadium. Sömn är hos de flesta människor djupast före midnatt och ytligare under de tidigare morgontimmarna. Under sömnen behåller hörseln sin funktion som alarmanläggning. Vid bullerpåverkan under sömn reagerar människokroppen med ungefär samma fysiologiska reaktioner som under vaket tillstånd. Flera forskare har studerat vegetativa reaktioner på ljudstimulering under sömn (46, 47, 48, 49, 50, 51). Man har därvid funnit samma reaktionsmönster som vid ljudstimulering i vaket tillstånd. Således uppkommer en minskad hudgenomblödning samt förändringar i hudmotstånd och hjärtfrekvens. Dessa vegetativa reaktioner är i allmänhet starkare hos sovande personer än hos vakna och framträder redan vid ljudnivåer mellan 40 och 50 dB mot 60–70 dB hos vakna.

Man har inte kunnat visa någon eller i vart fall föga tillvänjning beträffande dessa reaktioner (52, 53). Tydligen kan alltså de mekanismer i det centrala nervsystemet som tillåter tillvänjning i vaket tillstånd ej utnyttjas av en sovande. Ökad spänning i det sympatiska nervsystemet genom bullerpåverkan under sömn har också konstaterats (46). Detta

återspeglades i ökad andnings- och hjärtverksamhet samt ökad adrenalinsöndring. Man har också observerat att sovande personer visade EEG- och blodkärlsreaktioner i samband med att de utsattes för buller från bilar, tåg och motorcyklar trots att personerna sov lugnt och inte ens vid väckning kunde påminna sig någon störning. Detta anses (54) tyda på att det vegetativa nervsystemet vid bullerpåverkan är undandraget den vila och de styrkesamlade processer som sömnen utgör, vilket är ogynnsamt för hälsan.

Som ovan nämnts kan man skilja mellan olika sömndjup. Man har vid undersökningar funnit att vid stimuli strax under väckningströskeln (55 dB) reagerar försökspersoner med ytligare sömn (50). I flera fall har man vid korttidsstudier funnit att olika sömnstadier karakteriseras av olika störningskänslighet (55, 56, 57, 58, 59, 60). Vid det djupaste sömnstadiet man ibland öka bullerintensiteten upp till 80–90 dB utan att förorsaka någon förändring i EEG-mönstret. För mellanstadierna får man emellertid en signifikant förändring i EEG-svaret redan omkring 30–40 dB.

I en undersökning har man funnit att sömnmönstret (61) tycks vara uppdelat i tre perioder mellan kl. 22 och kl. 03 med den första perioden kl. 22–24, den andra kl. 24–1.30 och den tredje kl. 1.30–03. I varje period går sömndjupet stegvis från lätt till djup sömn och återvänder mer eller mindre hastigt till det ytligaste stadiet i slutet av perioden. I frånvaro av buller varade det djupaste sömnstadiet omkring 40 minuter under den första perioden, 30 minuter under den andra och 20 minuter under den tredje perioden. Om 70 dB vitt brus spelades upp under den första perioden minskade tiden i det djupaste sömnstadiet till 20 minuter i denna period. Dessutom minskade djupsömnen i de två följande perioderna till 10 respektive 8 minuter i stället för 30 och 20 minuter under kontrollbetingelserna. När bullret i stället spelades upp under den andra perioden påverkades djupsömnen inte bara i denna period och den tredje perioden (5 minuters djupsömn i varje period) utan även i den första perioden (25 minuter i stället för 40). Förklaringen till det sistnämnda förhållandet var att försökspersonerna visste om att de någon gång under natten skulle bli utsatta för buller. Enligt den ovan refererade undersökningen sker sålunda ingen kompensation om sömnen störs tidigt på natten, i varje fall före kl. 03. Andra undersökningar tyder emellertid på att brist på djupsömn i början av natten kompenseras senare under natten. Här, liksom i övrigt när det gäller experimentella resultat, må framhållas att eftersom attityden till och tolkningen av buller under sömn spelar en stor roll, måste tolkning ske med försiktighet och resultaten kan inte utan vidare översättas till förhållanden i verkliga livet.

Man har i ett fall studerat hur olika typer av buller (vitt brus, gatutrafikbuller och industribuller) påverkar sömnen (62). Man använde sig av två olika nivåer, 40 dB(A) och 55 dB(A). Expositionen varade från midnatt till kl. 06 på morgonen. Redan ett buller på 40 dB(A) gjorde att sömnen blev ytligare. Den största påverkan kom av trafikbuller och industribuller.

Det har gjorts ett flertal undersökningar av väckeffekten av buller. Man har härvid funnit att äldre människor är mer lättväckta än yngre. Detta torde bero på att sömnens karaktär förändras med tilltagande ålder så att

en förhållandevis längre tid tillbringas i de sömnstadier där sömnen är ytlig. Vid 60 års ålder förekommer till exempel nästan ingen sömn i det djupaste sömnstadiet.

Vid sömnstudier på 100 vuxna och 50 barn i åldern 5–7 år (22) har man funnit en något högre väckningströskel hos barnen, 55 dB mot 45 dB vid lågfrekventa ljud (125–1 000 Hz). Vid medelhöga och höga frekvenser (2 000–10 000 Hz) var väckningströskeln för barnen 85 dB mot 70 dB för de vuxna. Ljudintensiteten i denna undersökning angavs i förhållande till hörröskeln.

Bullers effekt på spädbarn har också prövats (63). Klara sömnstörningar eller uppvaknande har därvid noterats hos 2/3 av barnen efter 3 minuters exposition av 75 dB:s bredbandsbuller (100–7 000 Hz). Efter 12 minuter visade samtliga barn samma reaktion.

Väckningsverkan har också visats bero på ljudets informationsinnehåll. Erfarenhetsmässigt har invanda buller en mindre väckningsverkan än ovana. Vidare är det tydligt att man kan utveckla större väckningsbenägenhet av vissa ljud. En viss tillvänjning till sällan uppträdande ljud av kortvarig, ringa eller medelstor natur, 60 dB intensitet, tycks möjlig, till skillnad mot ljud med högre intensitet och stort informationsinnehåll (64). Någon tillvänjning till buller från lastbilspassager, 65 dB(A), under 12 på varandra följande nätter har inte kunnat påvisas (65).

De bullerstyrkor som enskilda individer väcks av varierar inom vida gränser och är beroende av en rad olika omständigheter. Flera olika försök har gjorts för att få fram sannolikheten för att väckning skall inträffa.

I en undersökning (46) där väckeffekten av buller studerades på 350 personer fann man att 20 % väcktes redan vid 35 DIN-phon, 52 % vid 45 DIN-phon och över 90 % vid 70 DIN-phon. I en annan undersökning (66) där inverkan på sömnen av passerande lastbilar studerades fann man att sannolikheten för väckning var 10–20 % vid 45 dB(A) om sömnen var ytlig. Redan vid 30 dB(A) var det 50 % sannolikhet att sömndjupet ändrades. Vid 70 dB(A) var sannolikheten för väckning över 50 %. Om sömnen var djupare inträdde i stället en förändring till ytligare sömn. Man fann vidare att det förelåg stora individuella variationer. För samma försöksperson var det stor variation mellan reaktioner under olika nätter och likaså mellan reaktioner under olika delar av natten.

Väckeffekten av simulerade överljudsbangar och jetbuller har också studerats (67). Man använde ljudbangar med intensiteter jämförbara med vad man finner i hus som ligger under och ca 3 mil vid sidan om flygkorridor för överljudsplan. Jetbullret hade en störningsnivå på 101–113 PNdB. Detta motsvarar en inomhusnivå vid överflygning av underljudsplan på höjder av 200–600 meter.

Vid nämnda undersökning fann man:

1. Människor i sjuttioårsåldern väcktes vad gäller ljudbangar vid omkring 70 % av de tillfällen då sådana förekom och vad gäller jetbuller i genomsnitt 55 % av de tillfällen då sådant förekom.
2. Barn i åttaårsåldern och vuxna i åldrarna 41–54 år väcktes vid

omkring 2 % av de tillfällen då ljudbangar förekom och 7 % av de tillfällen då överflygning med underljudsjetflygplan förekom.

3. Sömnstadium uttryckt i EEG-mönster var korrelerat till benägenhet för uppvaknande.
4. Jämförelse mellan reaktioner från den första och de sista av flera natters prov visar att det var ringa tillvänjning till bangarna men någon tillvänjning till jetbuller från underljudsjetflygplan.

Vid försök med inspelat flygbuller (61) har man vid en utredning inte funnit signifikanta sömnstörningar vid 75 dB(A). Däremot orsakade bullertoppar om 90 dB(A) kraftiga sömnstörningar. Man fann att sömnstörningarna, förutom av ljudnivån, också var beroende av faktorer som antalet expositioner och hastigheten i ljudnivåvariationerna. En viss tillvänjning tycktes också ske.

#### 4.2.4 Psykologiska effekter av buller

Även det buller som inte skadar hörseln kan i hög grad påverka människan, vilket är viktigt att inse. Genom att tankar, känslor, uppträdande och arbete radikalt kan influeras, påverkar bullret den totala livssituationen. Bullrets primära inverkan på hörselorganet har en relativt liten betydelse i detta sammanhang. Buller är icke önskad information och därför störande vare sig det kommer från radio, TV eller samtal.

De huvudsakliga medlen med vilka människorna söker ta itu med bullerpåverkan är genom förutsägelse, identifiering och tolkning, och därför är jämförelsen mellan buller och annan information bra i detta avseende.

Om man inte vill se, sluter man ögonen, men vill man inte höra finns inte någon motsvarande möjlighet. Människan tvingas acceptera en oförminskad ström av bullerstörningar. Det är mentala, inte fysiska faktorer som har till uppgift att hindra bullerstörningen hos människan och bildar den mentala belastning som hon påtvingas på grund av buller. Det är huvudsakligen på grund av denna extra belastning som de ogynnsamma verkningarna av ej hörselskadande buller beror.

Mycket litet forskning har inriktats på att undersöka vilka faktorer som orsakar subjektiva reaktioner på trafikbuller. En teori är att buller orsakar ökat mentalt arbete. Genom denna kan de få tillgängliga resultaten bli meningsfullt tolkade.

##### 4.2.4.1 Betydelsen för förutsägbarheten hos buller

Oväntat buller meddelar information. Det distraherar inte bara kontinuerligt, utan det förmedlar även ökad information, som måste tolkas. Människan försöker automatiskt att förutsäga det oväntade bullrets karaktäristik såsom intensiteten, ursprunget, bullrets frekvenssammansättning, informationsinnehåll och om bullret skall återkomma. Hon gör det dels därför att det är mänskligt att ordna upp begreppen, men huvudsakligen för att härigenom minska den information som varje signal för med sig och därmed minska den distraherande effekten. Denna aktivitet

ställer stora krav på den totala mentala kapaciteten och förorsakar antingen att förmågan att genomföra den primära uppgiften försämras eller gör det nödvändigt för människan att öka sin ansträngning. I båda fallen rör det sig om icke önskade bullerpåverkningar.

Trafikbuller består av sådana komponenter, vars individuella förekomst i tiden aldrig kan förutsägas, vars drag inte är enhetliga och vars intensitetsnivå kan variera mellan vida gränser. Variationen kan beräknas vid vissa bullerregistreringar, men detta är inte samma sak som oförutsägbarhet, som enligt vissa forskare är den viktigaste dimensionen av buller (68).

Den uppmätta trafikbullerintensiteten ger således ingen som helst ledtråd till dess oförutsägbarhet. Höga nivåer av trafikbuller är dock ofta mycket enhetliga, vilket beror på täta trafikströmmar. I en sådan situation smälter de individuella topparna samman för att forma ett mycket förutsägbart bakgrundsbuller. En jämn trafikström, utan några större variationer i hastighet, ger upphov till förutsägbart buller av standardmässig varaktighet och frekvens. Spårbunden trafik har ett ännu mer förutsägbart bullermönster. Däremot är buller från överflygande flygplan alltid isolerat och aldrig förutsägbart.

Det är troligt att denna aspekt på trafikbuller är minst lika viktig som undersökningar av intensitetsnivån vid bedömning av störning. Det krävs dock en hel del forskning för att bestämma den relativa betydelsen och att identifiera de faktorer som förmedlar förutsägbarheten.

#### 4.2.4.2 Identifiering

Ett inkommande ljud måste identifieras innan man kan bestämma om det är önskat eller ej. Ju förr detta sker, desto mindre blir störningen, och distraktionen blir mindre allvarig. Faktorer som hjälper till med identifieringen minskar den subjektiva bullerreaktionen. Vanligtvis måste man lokalisera källan och bestämma dess natur. Förtrogenhet med ljudet är således viktig för att kunna reducera svårigheterna att bestämma de båda parametrarna.

Vägtrafiken har mycket större rörelsefrihet än järnvägstrafiken. Därför är det förhållandevis svårt att lokalisera vägtrafikens källor. Luftfarten har den största möjliga rörelsefriheten och dess bullerkällor är ytterst svåra att lokalisera.

Järnvägstrafiken ger upphov till det mest enhetliga och lättast igenkännbara bullret. Vägtrafikbullret däremot är något mindre likformigt. Bullret från flygtrafiken varierar mycket i fråga om frekvens och intensitet. Det är således förnuftigt att anta att så länge identifieringen spelar en roll i störningsmeddelandet är luftfarten troligtvis mera störande än vägtrafiken. Vägtrafiken är, helt oberoende av den bullerstyrka den ger upphov till, mera störande än järnvägstrafiken.

Behandlingen av en återkommande störning kan vara extremt specifik. Buller som är svårt att identifiera består vanligtvis av ett stort antal stimuli. För vart och ett av dessa måste det ske en separat behandling.

En forskare (69) visade att det var lättare för en person att vänja sig vid ett stimulus som omedelbart kan identifieras, exempelvis sin egen

eller sin frus röst, än vid ett buller av samma intensitet som är svårt att identifiera. Detta är desto mer anmärkningsvärt om man beaktar att man funnit att ett lätt identifierbart stimulus medför starkare EEG-reaktion (70).

Identifieringen är troligen en underlättande faktor vid tillvänjningen, då den gör det lättare att aktivt reducera den störning som uppkommit genom auditiv påverkan.

Åsikten har framförts att tillvänjningen till buller innebär att individen upphör att identifiera separata bullersignaler och att dessa sålunda sammanfaller med bakgrundsbullret (45). I själva verket har visats att förhållandet är det motsatta (39). Sömniga individer vänjer sig inte alls vid bullerstimulus, däremot gör utsövda individer det i långt större utsträckning. Denna slutsats ger starkt stöd för åsikten att bullerstörningen ger upphov till en aktiv process, i vilken identifieringen är en viktig funktion.

#### 4.2.4.3 Tolkning

Den subjektiva reaktionen på bullersignaler som identifieras beror på hur individen tolkar signalerna. Tolkningsprocessen äger rum på mycket hög nivå, där full information om bullret tolkas med hjälp av individens lagrade information av tidigare erfarenheter. Innebörden av den inkommande informationen måste bestämmas och det första man måste ta ställning till är om det fordras ett omedelbart gensvar eller ej. Om det fordras gensvar blir tillvänjningen långsammare. Den blir ännu långsammare när bullerstimulus kan tolkas som en farosignal. Om buller tyds som en farosignal, är det synnerligen störande, därför att farosignalen inte är önskad och att den, trots detta, inte får undertryckas.

Den normala tillvänjningsprocessen kan således ej äga rum. Anledningen till att man inte funnit tillvänjning till flygbuller efter flera års exposition kan möjligen bero på fruktan för flygolyckor. Vägtrafikbuller förblir störande på grund av den nära kontakten mellan vägtrafik, fotgängare och den konstanta olycksrisken. Däremot kan buller från den mycket säkrare spårbundna trafiken bli mindre störande vid samma bullernivå.

Även när det inte är fråga om fara eller när det inte är nödvändigt med omedelbart gensvar, kan tolkningen av bullersignaler radikalt påverka den subjektiva reaktionen. Vilken betydelse attityden till bullerkällan har diskuterats nedan i avsnitt 4.4. Det bör emellertid noteras att attityden bara kan spela en roll i den sista fasen i processen förutsägelse – identifiering – reaktion.

Förmågan att klara den sekundära uppgiften, att undertrycka bullerstörningen, är starkt påverkad av den primära uppgiftens beskaffenhet.

#### 4.2.4.4 Växelverkan med andra fysiskt betingade faktorer

När det är varmt väder öppnar man fönstren oftare och då blir trafikbullret högre i byggnaderna. Vid trafikplaneringen förbises detta ofta och därmed även de fysiskt mätbara följderna.



Måttlig värmestress tenderar att sänka vakenhetsnivån (71), medan höga värmestressnivåer tenderar att öka den. Individerna distraheras lättare av bullersignaler under måttlig värmestress än under antingen neutral eller ganska hög värmestressnivå (72). Mycket höga värmestressnivåer ger upphov till hög vakenhetsnivå.

Vid hög vakenhetsnivå sker en omorganisation av uppmärksamhetsfältet (73), varvid perifera signaler förbises. Man bör också notera att alltför höga vakenhetsnivåer tenderar att minska prestationsförmågan. De påfrestningar som orsakas av höga värmestressnivåer vid bullerstörning är sannolikt helt analogt med påfrestningen av en primär arbetsbelastning. Höga bullerstressnivåer får effekter på uppmärksamhetsfältet (74), som mycket liknar reaktionen vid höga värmestressnivåer. De perifera signalerna tenderar nämligen att undertryckas. Effekten är liktydig med en höjd vakenhetsnivå. Höga bullernivåer tvingar människan att koncentrera sig mera på de primära informationskällorna än på de perifera källorna. Den betydelse ytterligare bullerkällor kan få, exempelvis enstaka bullertoppar mot en hög bakgrundsnivå, kan tänkas bli reducerad.

Farosignaler, visuella eller hörbara, börjar med att vara perifera. Farosignalerna kan märkas mindre eller reaktionen på dem fördröjas vid starkt buller. När trafikbullret är för högt medför det en ökad olycksrisk för fotgängare. Det finns ingen anledning att tro att mellannivåer av buller skulle leda till minskade vakenhetsnivåer. Mycket låga bullernivåer kan göra det, men ingen behöver utsättas för bullernivåer som är för låga – det är alltid möjligt att öka bullernivån om man vill. Den stimulerande påverkan av buller kan troligen under vissa förhållanden vara önskvärd.

En undersökning (75) har visat att dålig prestationsförmåga på grund av sömnlöshet kan motverkas genom akustisk stimulans. (Det ljud som utgör denna stimulans kan inte klassificeras som oönskat ljud, således ej heller som buller, då effekten var önskad.) Frågan om frivilligt utsättande för buller tas upp nedan.

#### 4.2.4.5 Total bullerexposition

De förhållanden som påverkar den subjektiva reaktionen på trafikbuller i positiv eller negativ riktning har identifierats och diskuterats här ovan. Det har påpekats att människan har förmåga att anpassa sig till buller om det inte ställs andra starka krav på henne. Priset för anpassningen måste emellertid betalas. Det bör framhållas att vid alla bullerundersökningar baserade på psykologiska och sociologiska metoder föreligger stor risk för maskering av ingående parametrar. I exponeringssituationen föreligger många svårbemästrade parametrar och det är lätt att göra totalt felaktiga slutledningar om inte samtliga faktorer beaktas.

En undersökning (76) har visat att åtta timmars exposition av flygplans- eller skrivmaskinsbuller leder till en ökad produktion av de sk stresshormonerna. Däremot medför inte en likvärdig exposition av vitt brus detta. Svårigheten att förutse och identifiera det mera varierande bullret var förmodligen tillsammans med en sannolikt negativ attityd till bullerkällorna tillräcklig för att öka den psykologiska ansträngningen.

Det som är avgörande för den tidsrymd under vilken bullret kan

tolereras är bullrets karakteristik, individens mentala strategi för att klara störningen, bullrets förutsägbarhet samt den tillgängliga mentala kapaciteten. Förr eller senare blir dock bullret outhärdligt. Om bullret då kommer från en radioapparat kan den stängas av. Buller från trafik kan emellertid inte förhindras så lätt. Fortsätter den ofrivilliga exponeringen av buller leder det till ännu allvarigare subjektiva störningar. Detta kan i sin tur framkalla symtom på fysiologisk ansträngning som väsentligt kan minska arbetsförmågan.

Att ha tillgång till tystnad är botemedlet, snarare än att minska bullerintensiteten med några decibel. Har man tillgång till tystnad blir expositionen av trafikbuller frivillig och i många situationer kan den värderas positivt på grund av bullrets stimulerande inverkan. Har man möjlighet att avbryta bullerexpositionen på egen önskan kan den ansträngningen bullret förorsakar sannolikt reduceras, dock endast temporärt. Denna dimension av bullret är inte tillräckligt undersökt. Man vet emellertid att den subjektiva störningen av vägtrafikbuller hos de boende i hus belägna rätvinkligt mot en gata är större än i hus som ligger parallellt med gatan (77). I de senare husen hade de boende möjlighet att slippa buller i de rum som inte vetter mot den trafikerade gatan. I de andra husen fanns inte denna möjlighet. Man bör därför planera så att det finns möjligheter att slippa vägtrafikbuller både inom- och utomhus. Sådana tillflyktsorter bör vara lättillgängliga. Tidpunkten då ytterligare exposition av buller blir outhärdlig för individen kan uppnås plötsligt och är dessutom svår att förutsäga. Det är endast när det inte finns möjlighet till nödvändiga viloperioder som arbete verkligen blir outhärdligt. Det finns ingen anledning att förmoda att arbete med att undertrycka trafikbuller är ett undantag i detta avseende.

#### 4.2.4.6 Utförda psykologiska test för att mäta bullers störeffekt

För att mäta den psykologiska effekten av buller som störande faktor, har man använt ett stort antal psykologiska test där man försökt belysa olika effekter. Bland annat har olika typer av uppmärksamhetsprov använts, såsom test på finmotorik, prov på olika intellektuella funktioner såsom räknetest, inlärningstest eller prov på andra begåvningsfaktorer.

Ljudnivåer under 70 till 90 dB ger sällan utslag i psykologiska test (78, 79). En annan faktor som påverkar ett utslag i testsituationen är hur lång tid testen pågår. Effekten har visats uppkomma först efter en relativt lång försöksperiod (20–30 min) (80).

Vid en och samma undersökning har man sällan undersökt mer än någon enstaka faktor. Försöksbetingelserna har dessutom varit mycket olika i de olika testen. Detta gör att det är svårt att ge en entydig översikt över vilka resultat som uppnåtts.

Vissa generella aspekter på bullrets effekt vid olika typer av psykologiska test börjar framkomma.

1. Det förefaller som om buller stör kvaliteten mer än kvantiteten av arbetet (81, 82). Bullret behöver således inte ändra den kvantitativa

prestationen men kan förorsaka flera fel. Vissa laboratoriestudier antyder att förlusten i kvalitet kan bero på att försökspersonerna arbetar snabbare, därför att de hoppas att en stressituation skall sluta fortare på så sätt.

2. Utförande under buller är föremål för markerade fluktuationer. Perioder av dåligt utförande är blandade med perioder med ökad ansträngning (83). Dessa svängningar ger liten eller ingen effekt på medelutförandet.
3. Buller har mer tendens att förhindra utförandet av sådana test som fordrar extremt mycket av den som utför det (84). Enkla test under buller fordrar mindre av individens totala kapacitet. Bullerstörningar under dessa situationer kan således överkommas genom att personen anstränger sig mer. Ett test som emellertid fordrar kontinuerlig och fullständig uppmärksamhet och kraftig ansträngning påverkas med en prestationssänkning vid bullerstimulering.

Det föreligger en allvarlig brist i alla former av laboratorieundersökningar av bullers psykologiska inverkan, nämligen att resultaten är mycket svåra att överföra till praktiska situationer. Samtliga laborietest är gjorda under artificiella förhållanden, där det finns ett stort antal faktorer som kan påverka resultaten. En faktor av stor betydelse är vad man har använt för försökspersoner och hur dessa instruerats. Vid många av undersökningarna har man använt sig av unga försökspersoner, ofta militärpersonal som har arvoderats för att delta i försöken. Dessutom är förhållandena artificiella i och med att försökspersonerna oftast instruerats att utföra det speciella testet på absolut bästa sätt, att anstränga sig maximalt. Detta påverkar naturligtvis försöken i mycket hög utsträckning. En annan faktor är att testen alltid av praktiska skäl måste utföras under relativt korta tidsperioder. Att från detta dra slutsatser om vad för effekt bullret kan ha vid årslånga expositioner i en arbetssituation eller i samhället är omöjligt.

En annan angreppspunkt är att försöka göra en undersökning i den naturliga miljön. Vissa sådana undersökningar har gjorts på olika arbetsplatser och man har försökt uppskatta effekten på arbetsförmågan. Dessa studier skall redovisas senare.

#### 4.2.5 Buller som stressor

Begreppet "stress" används ofta i helt olika betydelser. Många gånger syftar man på olika, påfrestande förhållanden i miljön, ibland men inte alltid av psykisk art. I andra fall syftar man på de psykiska reaktionerna på sådana påfrestningar, t ex olust, oro, ångest, irritation. Vissa författare inkluderar i sin stressdefinition dessa reaktioners fysiologiska följdfenomen, t ex hjärtklappning, ökad svettproduktion, ökad muskelspänning, ökade tarmrörelser och olika andra "psykosomatiska" besvärreaktioner. I några fall används "stress" som en sammanfattande beskrivning av ett forskningsområde och innefattar då såväl påfrestningarna som reaktionerna på dessa.

Dessa sätt att definiera stressbegreppet kan på goda grunder kritiserars.

Såväl stimuli som reaktionerna på dessa kan vanligen beskrivas i betydligt mer precisa termer. Begreppet "stress" bör förbehållas det biologiska fenomenet som för drygt 35 år sedan beskrevs av den kanadensiske forskaren Hans Selye. Med stress menar Selye de gemensamma ospecifika reaktioner som utgör organismens anpassningsförsök till olika stimuli – fysikaliska såväl som psykosociala.

Det förefaller som om organismens svar på konfrontationen med varje tänkbart stimulus kan beskrivas i två avsnitt.

1. Specifika reaktioner bundna till en viss individ och ett visst stimulus. Exempelvis: vid plötslig skottlossning håller några för öronen medan andra kastar sig till marken.
2. Ospecifika reaktioner, gemensamma för olika individer och olika stimuli. Exempelvis: vid skottlossning reagerar alla med hjärtklappning, ökad svettning, ökad muskelspänning etc. Samma allmänna mönster på stress uppträder hos dem som just tänker springa ifatt sista tåget eller fastnar i hissen.

Dessa stereotypa stressreaktioner är sannolikt ett arv från historiens gryning och var ändamålsenliga inför fysiska påfrestningar och faror, eftersom de förbereder organismen för muskelarbete, t ex kamp eller flykt. För urskogsvilden signalerade ett buller ofta en annalkande fara, inför vilken han kunde tillgripa kamp eller flykt och som i varje fall krävde en höjning av beredskapen. I dag utsätts den mänskliga organismen för buller av mångahanda slag som ingalunda signalerar fysisk fara. Vårt genetiska "program" är emellertid i stort sett oförändrat jämfört med våra förfäders för 500 000 år sedan. Effekten blir att vi reagerar med stress, med en förberedelse för muskulär aktivitet, för kamp eller flykt även vid bullerexpositioner där sådan aktivitet inte är möjlig eller lämplig. Stress medför som redan framhållits en ospecifik höjning av organismens "beredskapsnivå" för muskelarbete. Om beredskapsnivån över lång tid hålls omotiverat hög, medför detta en förhöjd förslitningshastighet i organismen. Starka och ofta upprepade stressreaktioner förmodas kunna leda till en ökad förslitning av organismen med en åtföljande höjning av sjukligheten i en rad sjukdomar, speciellt de sk psykosomatiska.

Det har ibland ifrågasatts huruvida reaktionerna på buller är specifika eller om de är ospecifika, d v s identiska med dem som framkallas av andra stimuli av psykosocial och/eller fysikalisk natur.

Förutom den primära vegetativa reaktionen kan bullret framkalla en medveten psykologisk reaktion, t ex rädsla, förbittring, irritation osv åtföljd av reaktioner i det vegetativa nervsystemet och insöndringskörtlarna, främst i binjurar och hypofys. Denna sk sekundära vegetativa reaktion beror på hur personen själv upplever bullret, vad han har för associationer till detta, t ex om han tidigare har satt det i samband med obehagliga upplevelser, d v s individens attityder och andra karakteristika. En del av dessa reaktioner kan få karaktären av betingade reflexer.

Vid studier av bullers inverkan på människans inresekreteriska system (85) har man funnit en minskning och inte i något fall en ökning av hormonutsöndringen. Denna minskning anses vara en ren effekt av buller. Man har även funnit att sköldkörtelfunktionen ökar vid bullerexposition.

En ökning av ämnesomsättningen har också iakttagits.

Det föreligger ett stort antal rapporter som behandlar inverkan på ämnesomsättnings- och hormonella funktioner vid djurförsök. Vid dessa djurförsök har använts höga ljudnivåer på ca 100 dB.

Djurförsöken har bland annat visat att en förstoring av binjurarna, störningar i elektrolytkoncentrationen i blodet, en ökning av serumkolesterol samt en förändring av EKG blir följden av kraftig bullerpåverkan. Man har även funnit att det är möjligt att en neurogent betingad typ av diabetes skulle kunna framkallas av buller (86).

Intermittent buller har visat sig förorsaka mera uttalade förändringar än kontinuerligt buller.

I en undersökning över flygbullers inverkan på människor och djur har visats att mer än 50 % av invånarna i ett samhälle i närheten av en flygplats klagade över fysiska symtom av olika slag, möjligen orsakade av bullret (85). På en hönsfarm i närheten av samma flygplats kunde man notera ett minskat antal ägg/100 höns när jetflyg (högre ljudnivå) började trafikera flygplatsen, vilket talar för en endokrin störning. Utredaren menar att resultaten visar att bullerexposition stör balansen i det endokrina systemet, i mellanhjärnan-hypofysen, vilket leder till förhöjd sköldkörtelfunktion och till minskad funktion i binjurebark och köns-celler. Å andra sidan föreligger en tendens till sympatotoni med ökad adrenalininsöndring från binjuremärgen. Störningarna är reversibla med återgång till normalnivåer efter cirka tre timmar. Upprepade expositioner medför en förlängd återgångstid och störningen tenderar att gradvis permanentas.

I en annan undersökning (87) har friska personer, psykiatriska patienter och personer med hjärt-kärlsjukdomar utsatts för 90 dB bredbandsbuller i 30 minuter. Detta medförde en ökad aktivitet i binjurebark- och binjuremärgfunktionerna. Tolv patienter som haft hjärtinfarkt visade under lugna betingelser mycket höga cortisonnivåer vilka inte påverkades under bullerexposition. Utsöndringen av noradrenalin påverkades emellertid och blev efter bullerexposition mycket högre än hos andra försöksgrupper (friska personer och personer med högt blodtryck) trots att även dessa uppvisade signifikanta höjningar både av adrenalin och noradrenalin. Systoliskt och diastoliskt blodtryck<sup>1</sup> ökade signifikant från kontroll- till bullerbetingelser hos försökspersonerna med högt blodtryck. Detta var även korrelerat med ökad katekolaminutsöndring. Några schizofrena försökspersoner visade efter exposition mycket höga noradrenalin-nivåer i urin, jämförbara med vad som iakttagits hos psykiatriska patienter under extremt aggressiva perioder. I undersökningen dras slutsatsen att buller är en potentiell stressor med möjlighet att orsaka störningar hos speciellt personer med hjärt- och kärlsjukdomar samt psykiatriska patienter.

En annan undersökning (88) omfattade tio manliga försökspersoner och pågick under en och samma veckodag under tio på varandra följande veckor. Försöken varade fyra timmar per gång, alltid vid samma tid på dagen. Bullret var periodiskt avbrutet bredbandsbrus. Varje försöksdag

<sup>1</sup> Systoliskt blodtryck, efter hjärtats sammandragning i kärlen rådande blodtryck.  
Diastoliskt blodtryck, efter hjärtats utvidgning i kärlen rådande blodtryck.

utsattes en försöksperson för bullret medan den andra genomförde försöket utan buller. Man fann en statistiskt signifikant förhöjning av adrenalinsöndringen under försökens andra hälft, d v s de sista två timmarna. Även en tendens till förhöjd pulsfrekvens förekom.

#### 4.2.6 Buller och sjukdom

##### 4.2.6.1 Buller och fysisk hälsa

Flera undersökningar har gjorts med arbetare som utsätts för höga ljudnivåer. Dessa undersökningar har sökt klarlägga huruvida det föreligger skillnader i sjuklighet mellan dem som utsätts för höga ljudnivåer och dem som arbetar under mer normala ljudförhållanden. Det får här betonas att det i de undersökningar som utförts ofta rört sig om extremt höga ljudnivåer — ljudnivåer som inte accepteras på grund av risken för hörselskada. Den fysiska hälsan blir påverkad på flera olika sätt av buller. Inga sjukdomar utom bullerbetingade hörselskador kan emellertid direkt och enbart relateras till buller. Bland de symtom som har påvisats kan nämnas blodkärlskrämp och minskad hud- och slemhinnegenomblödning. Vidare är olika hjärtbesvär vanligare bland arbetare som utsätts för mycket buller. Bland dessa besvär kan nämnas rytmrubbningar, extraslag och perioder med snabb hjärtfrekvens (89, 90).

En omdiskuterad fråga är huruvida en minskad genomblödning av de fina blodkärlen utgör en hälsorisk på grund av den reduktion i blodförsörjningen som kärlsammandragningen orsakar. Vissa förhållanden tyder också på att kärlsammandragningarna permanentas vid långvarig bullerexponering.

Flera undersökningar pekar på att buller förorsakar höjt blodtryck. Även hjärt-kärlsjukdomar har visat sig vanligare bland arbetare utsatta för höga ljudnivåer. Dessa sjukdomssymtom uppträder först efter lång tid i bullrig arbetsmiljö. I en undersökning efter åtta års bullerpåverkan har andelen personer med nämnda symtom börjat öka (91). Denna ökning fortsatte intill cirka tretton års exponeringstid.

Även andra sjukdomstillstånd har visats vara vanligare än normalt bland arbetare utsatta för mycket buller. Bland dessa kan nämnas magsår (92). Av övriga symtom kan nämnas ökning av neurologiska och psykiatriska besvär (93, 94).

Även kontinuerlig ökning av förekomsten av bl a struma parenkymatosa påvisats (95). Som en bland flera tänkbara orsaker till detta nämns i undersökningarna störningar i det endokrin-vegetativa systemet, beroende dels på stegrat tempo i livsföringen och dels på den allmänt ökade bullernivån.

##### 4.2.6.2 Buller och mental hälsa

Frågan om buller skulle kunna framkalla psykiska sjukdomssymtom är kontroversiell och mycket omdiskuterad. Vid undersökningar och diskussion av sambandet mellan buller och mental störning utgår vissa undersökare från antagandet att buller kan öka sannolikheten för framkallan-

det av nervöst tillstånd, för vilket en person kan vara predisponerad.

Två studier har gjorts på personal som tjänstgjorde på hangarfartyg i USA:s flotta och där exponerades för extrema bullernivåer (96). Undersökningarna visade, att de som varit mest exponerade för buller uppvisade något mer ångestsymtom. De som var mest utsatta för jetbuller angav inte detta som mer störande än andra men rapporterade mer oro och ångslan i sitt arbete. Den grupp som var mest utsatt för buller hade emellertid det svåraste och farligaste arbetet, vilket kan förklara undersökningsresultaten. Inga säkra bevis för ett samband mellan buller och psykiska sjukdomstillstånd kunde således påvisas i dessa undersökningar.

Frågan om bostadens belägenhet i olika bullerbelastade områden kan inverka på skillnader i antalet intagningar på psykiatrisk klinik har studerats i Hounslow-området nära Heathrow-flygplatsen utanför London (97). Studien är retrospektiv, d v s intagningarna på kliniken under två föregående år undersöktes samtidigt som sociala faktorer och bullernivåer registrerades i området. De boende inom området uppgår till 124 000 personer i åldrarna över 14 år. Med hänsyn till bullerbelastningen indelades området i två delar.

Max-bullerområdet hade störnivåer över 100 PNdB. De som bodde utanför detta område fördes till låg-bullerområdet.

Vid jämförelse mellan delarna kunde konstateras att den sammantagna befolkningen var tämligen homogen i socialt avseende. För låg-bullerområdet fanns dock en tendens till lägre social och ekonomisk status samt högre boendetäthet och flyttningsfrekvens. Möjligen skulle man kunna förvänta sig större risk för psykiska åkommor i detta område.

Undersökningen visade emellertid klart högre intagningsfrekvens från max-bullerområdet. Dessutom var antalet återbesök för neurotiska besvär högre från max-området. Man fann vidare att ensamstående kvinnor i åldrarna över 45 år var mest utsatta för psykiska störningar. Bland de intagna kvinnorna med organisk psykisk sjukdom kom klart fler från max-bullerområdet.

Resultaten av ovanstående undersökning har ifrågasatts (98) men invändningarna har övertygande besvarats av undersökarna (99).

Undersökningsresultaten har ansetts kunna tolkas så, att risken för psykisk sjukdom är liten om den exponerade människan har normal möjlighet för tillvänjning. Hos ångestfyllda och neurotiska personer, vilkas förmåga till tillvänjning är nedsatt eller frånvarande, skulle upprepad stimulering kunna förvärra ett psykiskt sjukdomstillstånd (42).

Stålarbetare som arbetar i starkt buller har befunnits ha mera sociala konflikter än sådana som arbetar i tystare omgivning (100).

#### 4.2.7 Vibrationer

Intensivt, mycket lågfrekvent, ljud har starkt störande inverkan på människan. Förutom att dylika ljud stimulerar balanssinnet och ger smärtor i örat upplevs andra obehagskänslor. Ljud inom området 10–75 Hz ger en känsla av vibrationer i bröst-, hals- och näshålrummen. Dessa vibrationseffekter är påtagliga endast vid direkt mekanisk kontakt.

För lågfrekventa svängningar som överförs i luft uppkommer föga verkan annat än på örat.

Inom amerikanska flygvapnet och NASA har man undersökt inverkan av lågfrekventa vibrationer. Man fann en pulsökning på 10–40 % vid exponering för 50 Hz först vid 130 dB-nivån förutom den obehagskänsla, som beskrevs som vibrationer i bröst-, hals- och näshålrummen. Dessa höga nivåer av lågfrekventa svängningar kan förväntas endast intill jetmaskiner. Undersökningarna tolkades så, att lågfrekventa svängningar hade effekt först vid nivåer på omkring 130 dB.

Vibrationer från skakverktyg som pneumatiska borrar och motorsågar har visat sig öka bullrets hörselskadliga effekt.

Vibrationer orsakade av trafik har under senare tid rapporterats kunna ge upphov till direkta störningar. Det förekommer också att fönsterrutor och porslin kan råka i resonans med vibrationerna från trafiken. Sådant buller kan vara mycket svårt att förutsäga, vilket förstärker dess störande inverkan.

### 4.3 Bullers inverkan på olika mänskliga aktiviteter

#### 4.3.1 Bullers inverkan på olika slags arbete

Människors vakenhetsnivå är vanligtvis högre vid arbete än under fritiden. Uppmärksamheten riktas mot högt prioriterade informationskällor på bekostnad av perifera eller lågt prioriterade källor. Koncentrationen är kanske ännu mer markant när personer är intresserade av sitt arbete. Denna reorganisation av uppmärksamhet tenderar att minska de störande effekterna av buller, som är perifera i förhållande till den centrala uppgiften (101). Sålunda fortsätter bullersignaler att ställa krav på uppmärksamhet och om arbetsuppgiften skulle vara så krävande att otillräcklig kapacitet ställs till förfogande för förutsägelse, identifiering och tolkning av buller, blir den subjektiva reaktionen på buller mer markant. Sålunda är den primära arbetsuppgiftens svårighetsgrad och det intresse individen visar för uppgiften avgörande för den subjektiva reaktionen. Effekten av bullerstörning kan vara liten under arbete, men den är aldrig helt frånvarande. Den subjektiva reaktionen till buller kan förmodas vara direkt relaterad till den totala arbetsprestation som tas i anspråk för att tåla buller. Trötthet minskar den totala arbetskapaciteten. Buller kan sålunda antas ha tilltagande störningseffekt när tröttheten ökar.

I detta avsnitt skall nedan beröras fältundersökningar där man prövat effekten av buller på själva arbetsutförandet.

Effekten av buller inom textilindustrin har undersökts (102, 103). Den typ av arbete som testades var bevakningen av automatiska vävmaskiner. Bullernivån vid detta arbete var ganska hög, upp till 96 dB, och man testade här effekten av hörselskydd, som reducerade bullret med 10–15 dB. Man fann en ca 12 %-ig ökning i effektiviteten hos dem som hade hörselskydd. Denna ökning var dock försvunnen efter 6 månader.

Vid ett annat försök (104) förmåddes väveriarbetare att bära hörselskydd. De var inte intresserade härav men genomförde en tids arbete



med dessa varvid det visade sig, att deras arbete kvalitativt förbättrades. Förhållandet att arbetarna hade en negativ attityd till hörselskydden gjorde undersökningen mer pålitlig enligt försöksledarnas tolkning.

En annan undersökning visade att hastigheten vid maskinskrivning ökade när man sänkte bullernivån i rummet, men hastigheten kvarstod på en ökad nivå även när man åter höjde bullernivån. Effekten av olika bullernivåer på arbetare, som skötte filmperforeringsmaskiner har påvisats (105). En reduktion av bullret med omkring 10 dB orsakade en ökning av arbetshastigheten. När samma arbetares effektivitet undersöktes i ett annat rum, som inte hade denna lägre bullernivå, kvarstod emellertid den högre arbetshastigheten. I dessa båda undersökningar har arbetarna troligen uppskattat att man förbättrat arbetsförhållandena och deras arbetsmoral har således förbättrats. Ett annat exempel som framkom vid denna sista undersökning var en skillnad i antalet maskinstopp som kunde hänföras till operatörerna. Denna var fem gånger så hög vid den högre bullernivån.

I ett försök (106) studerades skolelever från tre olika skolor, som exponerades för olika gatutrafikbuller. Eleverna, som utsattes för bullernivå på 70 phon med kortvariga nivåer på upp till 84 phon, visade betydligt sämre prestanda än de, som utsatts för lägre ljudnivå. Dessutom hade de högre blodtryck och visade en högre procent av subjektiva besvär.

Direkt observation har utnyttjats i en studie (107) över hur ovanliga och oförutsägbara bullerstörningar påverkade skolarbetet. Bullerstimulationsnivån var relativt låg, mellan 55–78 dB(A), och bullret, som hade slumpvis längd, uppträdde med slumpvisa intervall. Man testade totalt 110 tolvåriga skolbarn och observerade deras beteende genom en-vägs speglar. Observationerna visade att eleverna som utsattes för bullret arbetade med synbar ansträngning och flera stördes och slutade arbeta. Dessutom påverkades deras arbete signifikant i flera avseenden.

I samband med utredningen för Alviksskolan i Stockholm uppmättes bullernivåer från startande Metropolitan på Bromma. Vid bullernivåer på 85 dB(A) rapporterade lärarna undervisningsavbrott på grund av överflygningarna som per gång uppgick till 3–4 minuter (108).

En rapport (109) har beskrivit bullers effekt på intellektuella arbetsuppgifter. Prestationsnedsättningen var ej så uttalad som man kunde vänta med hänsyn till ljudets art och intensitet samt till omöjligheten att undfly situationen. Detta skulle kunna tyda på att man för många arbetsuppgifter, åtminstone för en kortare tid, skulle kunna tillåta ganska höga bullernivåer, utan att prestationen därigenom väsentligen nedsattes. Vad man emellertid här måste komma ihåg är, att buller som ljudstimulus endast utgör en del av den totala arbetssituationen. Andra faktorer kommer till stor del att avgöra hur den auditiva stimuleringen påverkar prestationen. För uppgiftsinriktade, motiverade och lugna personer kommer ihållande oljud att inverka mindre på prestationen än för ej motiverade eller "stressade" personer. I en även i andra avseenden "störande" omgivning kan den auditiva stimulationen vidare bli en droppe som får bägaren att rinna över. Författaren till rapporten har ej sökt ange några särskilt utsatta yrken utan har dragit slutsatsen att yrken

som utmärks av följande förhållanden bör vara särskilt påverkbara för auditiv stimulering.

1. Intellexuella arbetsuppgifter, särskilt av logisk-induktiv, numerisk och spatiell karaktär.
2. En även bortsett från bullret störande omgivning.
3. Arbetsuppgifter som upplevs som omotiverade och "stressande".
4. Arbetsuppgifter där bullret upplevs som störande eller irriterande.

Den befattningshavare som utfört sina uppgifter i en fö lugn och avstressad miljö påverkas förmodligen mindre av auditiv stimulering än en befattningshavare som måste utföra samma uppgifter under t ex jäkt. I det senare fallet kan auditiv stimulation bidra till att belastningen blir för stor och medföra kraftiga prestationsförsämringar.

Sex faktorer kan urskiljas, som påverkar arbetssituationen där omgivningens stress inverkar på utförandet (110).

1. Arbetstidens längd. Ju längre arbetstid, desto större risk för påverkan av yttre faktorer.
2. Acklimatisering. Ju mer van man är vid arbetet, desto mindre påverkas man av störningar. Ju mer van man är vid störningen, desto mindre påverkas man av den.
3. Motivationen. Ju mer välmotiverad en person är, desto mindre influeras arbetssituationen av störningar.
4. Typen av arbete. Framförallt arbeten där en intensiv uppmärksamhet krävs samt sådana intellektuella arbeten, som är särskilt känsliga för störning genom yttre faktorer.
5. Vilken aspekt av utförandet som är viktig, t ex om hastigheten är viktig eller om noggrannheten, kvaliteten, är det viktigaste. Kvaliteten påverkas mer än kvantiteten.
6. Närvaro av andra stressorer. Ju flera stressorer, desto större risk för störning. Emellertid finns det vissa stressorer som kan ha olika effekt i en viss situation, således kan buller vid sömnbrist göra att ett monotont arbete utförs bättre.

Inspelat jetbuller – DC-8 och Caravelle – spelades upp vid föreläsningar och studenterna fick skatta subjektiv störverkan i ett försök (111) där resultaten visade följande:

1. Störningsgraden skattades att öka lineärt med ljudnivån uttryckt i dB(A) eller störnivå PNdB.
2. Störningen ökade med bullrets varaktighet vid varje expositionstillfälle.
3. För identiska ljudnivåer uttryckta i dB(A) skattades landning med Caravelle (överbägende höga frekvenser) mer störande än landning med DC-8 (mer lågfrekvent ljud).
4. Störningen på det hela taget under föreläsningen skattades lika oberoende om 5 eller 11 expositioner gjordes.
5. Upprepning av samma typ av buller ledde till en liten men signifikant minskning av störningsskattningen (tillvänjning).

#### 4.3.2 Bullers effekt vid rekreation och vila

Vid trötthet följer ofta starkt ökad irritabilitet. Detta kommer ofta särskilt starkt till uttryck i närvaro av icke önskvärt buller. Vid kraftig trötthet är det icke ovanligt att eljest betydelselösa ljud verkar synnerligen irriterande. Så kan t ex ljudet från en vattenkran eller det regelbundna tickandet från väckarklockan bli outhärdigt.

Vila, definierat som motsats till arbete, kan ta många former. Det är svårt att göra generella uttalanden rörande förmågan att tåla buller under vila. De flesta människor anser att de under sin fritid har rätt att bestämma om de vill ha kontakt med andra människor eller ej. Buller tar ingen hänsyn till denna rätt till avskildhet. Trafik är den mest utspridda och allomfattande bullerkällan och orsakar oundvikligt intrång i privatlivet.

Störningar under rekreation, vila och sömn är kvalitativt viktigare och svårare att stå ut med än störningar under andra aktiviteter (45).

Det finns flera fakta som tyder på att den störande effekten blir större i tyst omgivning. Tillvänjningen är mindre när bullret förekommer sällan. Det är vidare en större sannolikhet att en alarmreaktion framkallas vid överraskande buller.

Teoretiskt sett skulle flygbuller framträda mer i ett område med tyst bakgrund än i ett med bullrig. Vid undersökningar har man förvånande nog funnit en tendens till en större upplevd störning i områden med högre bakgrundsnivå (112).

#### 4.3.3 Bullers samtalsstörande effekt eller andra effekter innebärande interferens med önskvärt ljud

Alla vet att i närvaro av buller kan det vara svårt att göra sig hörd. Normalt tal varierar i intensitet, men en ljudtrycksnivå på omkring 55–65 dB en meter från talaren kan sägas vara representativ för många talare. Många faktorer påverkar detta värde som t ex bakgrundsbullernivån och själva talaren. Effekt av den första faktorn kan påverkas omedvetet. Sålunda kan man tala med en röststyrka på 60 dB i tyst omgivning och 70 dB i bullersam, utan att man själv märker att man höjer rösten. Talstyrkan ökar genomsnittligt  $3 \frac{1}{2}$  dB för 10 dB bullerökning. En större ökning än detta utgör en medveten ansträngning och maximalvärdet för ropande är omkring 85 dB.

Om en talare försöker hålla konstant ljudstyrka och omständigheterna är konstanta varierar ändå talnivån avsevärt. Detta beror dels på att en del ord och fraser understryks mera och dels på att ljudenergin varierar med producerandet av vissa ljud, även om röstanssträngningen hålls konstant.

Denna variation gör det nödvändigt att använda en statistisk metod när man beräknar den störande effekten av ett buller. Taldiskrimination är ett uttryck för förmåga att uppfatta standardiserade texter under standardiserade ljudförhållanden. Uppfattbarheten beror på innehållet i talet och på differentieringen av den vokabulär som används. Ett lösryckt ord behöver högre ljudnivå än vad siffror gör för att uppfattas korrekt. Lösryckta ord behöver också en högre intensitet än vad samma ord be-

höver insatta i ett sammanhang.

Om man önskar ett test för att diskriminera mellan mycket väl förståeliga system när det gäller talöverföring bör man använda svåra test, som t ex logatomer eller enstaviga fonetiskt balanserade ord. Om man vill avspegla vardagstalets svårigheter är meningar eller tvåstaviga ord lämpliga. Vill man veta vilka fonem som förloras genom bullret är rim-ord eller nonsensstavelser bra. Sifferprov är som regel för lätta.

Ett annat sätt att mäta om talkommunikation är möjlig i ett buller är att mäta nivån vid vilken lyssnaren uppfattar innebörden av de flesta meningar. Man har i fråga om meningar funnit att det räcker om talstyrkan ligger 5 dB under brusnivån. För lösryckta ord behöver dessa vara 10 dB starkare än vad bullret är. Bullrets spektrala fördelning har avgörande betydelse för taluppfattbarheten. Trafikbuller inomhus är mycket lågfrekvent och maskerar en stor del av frekvensområdet. I fall med störljud av högfrekvent karaktär kan man t ex vid brusljud uppleva situationer där markeringen är praktiskt taget obefintlig trots mycket hög bullernivå.

Diskontinuerligt eller kortvarigt buller ger ofta mindre störning av talet än vad man skulle förmoda genom att endast mäta intensiteten. Eftersom talet endast är delvis maskerat kan man genom interpolering i viss utsträckning fortfarande diskriminera.

Ett par andra faktorer är av intresse i detta sammanhang. När man gör prov på taluppfattbarheten, är i allmänhet testmaterialet upptaget på bandspelare och lyssnaren hör via hörtelefon. Detta är gjort för att man så mycket som möjligt skall standardisera förhållandena. Vid samtal människor emellan får man ett informationstillskott genom gester, mimik och läppavläsning. Storleken av denna faktor är svår att uppskatta men man har angivit att uppfattbarheten skall förbättras med ca 30 %, vilket är ungefär analogt med en förbättring på ca 6 dB (113).

En annan faktor som kan vara av vikt är vad som har kallats för "cocktailpartyeffekten". Denna består i en möjlighet att urskilja och förstå vad en person säger i närvaro av ett stort antal röster, även om personen i fråga ej kan ses. Detta skulle inte vara möjligt om man använde sig av ett kommunikationssystem som t ex telefon. Effekten är inte helt klarlagd men det förefaller vara flera faktorer inblandade. För det första ett riktningshörande, för det andra en tidsfaktor där man kan undertrycka reflekterat ljud relativt till det som kommer direkt från talare och för det tredje de specifika röstkvaliteterna hos den som talar.

För att utvärdera bullrets effekt på talkommunikation använder man sig av flera olika test. Två av dessa är "Articulation Index" (AI) och talinterferensnivå (TIN).

Articulation Index är det mer sofistikerade av de två måtten. Principen är här att man delar in talspektrum i 20 delar, vilka var och en bidrar lika till uppfattbarheten. Uppmätta skillnader i intensitet mellan tal och buller för varje del ligger till grund för beräkningen (114).

En förenklad metod för beräkning av AI består i att använda oktavbanden med mittfrekvenserna 250, 500, 1 000, 2 000 och 4 000 Hz. Skillnaden mellan tal- och bullernivå i dB uppmäts för varje oktav. Därpå beräknas index, som maximalt kan anta värdet 1, vilket innebär att

alla orden är hörbara. Om bullernivån är högre än talnivån i varje uppmätt oktavband, antar index sitt minsta värde vilket är 0. Ett index på 0,5 betyder att 75 % av alla enstaviga ord uppfattas rätt. Detta är liktydigt med att vanlig konversation uppfattas utan svårighet.

Metoden lämpar sig bäst för förstärkt tal eller tal via telefon. Den är inte så tillförlitlig för direkt tal.

Bestämning av talinterferensnivån (TIN) är en enklare metod (115) för bedömning av bullrets talstörande effekt. Den har på senare tid förenklats ytterligare och bullret mäts i de tre oktavbanden 500, 1 000 och 2 000 Hz. Metoden bör dock användas med viss försiktighet därest ej bullret har en relativt flack frekvenskurva.

Andra mått för att uppskatta talstörningen är dB(A) (116) och PNdB (117). En jämförelse (118) gav vid handen att oktavbanden kring 500, 1 000 och 2 000 Hz visade sig bäst. C-filtret, dB(C), värderade talstörningar sämst, medan A-filtret, dB(A) övervärderade högfrekventa bullers talstörande effekt.

Sammanfattningsvis kan man konstatera, att förmågan att kommunicera i buller beror på

1. nivå och spektrum av bullret,
2. talarens röstnivå,
3. avståndet mellan talarens mun och lyssnarens öra,
4. storleken av den använda vokabulären,
5. läppavläsning, mimik och gester.

Som framgått av ovanstående beskrivning anger talinterferensmetoden endast den genomsnittliga bullernivån. Man måste gå till tabell 4.1 för att översätta hur talkommunikationen påverkas av avståndet och talarens röststyrka.

Talinterferensvärde på 40 dB medger tillfredsställande talkommunikation med normal samtalsstämma på över 10 meters håll. Vid bullernivåer mindre än 50 dB TIN kan folk tala med normal röst i de flesta

*Tabell 4.1* Talinterferensnivå som medger samtal vid angivna avstånd och röststyrkor enligt Burns: Noise and man, 1973.

Avstånd från lyssnaren m	Talinterferensnivå i dB <sup>1</sup>			
	Normal röststyrka	Förhöjd röststyrka	Mycket hög röststyrka	Skrik
0,15	74	80	86	92
0,3	68	74	80	86
0,6	62	68	74	80
0,9	58	64	70	76
1,2	56	62	68	74
1,5	54	60	66	72
1,8	52	58	64	70
3,6	46	52	58	64
7,2	40	46	52	58

<sup>1</sup> Genomsnittlig ljudtrycksnivå av buller i oktavbanden med mitterfrekvenserna 500, 1 000 och 2 000 Hz.

situationer. Vid värden större än 50 dB höjer man omedvetet röstnivån för att kompensera bullernivån. Om samtalet är väsentligt, så att man inte vill förlora någonting, höjs röstnivån genomsnittligt med 3 dB för varje ytterligare 10 dB-ökning av bullret. Om talkommunikationen är synnerligen viktig, kan talstyrkan öka upp till 5 dB per 10 dB-nivå. Med stor ansträngning kan man genom att skrika och ropa kommunicera på en decimeters håll i bullernivåer motsvarande 110 dB TIN. Om en meter är det avstånd på vilket folk föredrar att samtala kan man ur vissa undersökningar, tabell 4.1, finna att bullernivån ej får överstiga 65 dB TIN. Detta motsvarar i stort sett 71 dB(A). Dessa bullernivåer representerar ur talkommunikationssynpunkt maximigränsen för acceptabel bullernivå.

Hörselskydd har en betydelsefull inverkan på taluppfattbarheten men först vid starkare bullernivåer. Gränsen går vid ca 90 dB bullernivå när det gäller buller av flack eller högfrekvent typ. Vid denna nivå medför hörselskydd bättre taluppfattbarhet än om hörselskydd ej används. Anledningen härtill är att hörselskyddet dämpar både talets och bullrets styrka och innerörat får därigenom "arbeta" under gynnsammare förhållanden. Vid långvarig vistelse i buller minskar hörselskydd den trötthet som man eljest upplever. Detta bör observeras vid bilkörning. Genom att minska den tröttande effekten av trafikbullret med hörselskydd kommer man fram mer utvilad. Det förhållandet att hörselskydden kan försvåra hörandet av omkörningssignalen bör spela mindre roll därför att dessa i alla fall oftast är ohörbara genom maskering.

#### 4.4 *Bullers inverkan på olika grupper av människor*

##### 4.4.1 Demografiska karakteristika

###### 4.4.1.1 Individkarakteristika

Individuella faktorer av demografisk karaktär såsom ålder, kön, civilstånd har i mycket liten utsträckning kunnat påvisats samvariera med besvärreaktion. En tendens till något högre störningsfrekvens hos män än hos kvinnor till följd av flygbuller har konstaterats i vissa undersökningar (112). I andra har emellertid det motsatta förhållandet iakttagits (119).

Vad det gäller åldern har redovisats resultat som tyder på att åldern i vissa lägen har betydelse för uppkomsten av störningsreaktioner. Sålunda uppvisar kvinnor i åldern 30–49 år högre störningsfrekvens än övriga (119). I andra undersökningar har inte konstaterats signifikanta åldersskillnader (120). I en av dessa förelåg dock en tendens till att individer i åldern 40–59 år är något överrepresenterade i gruppen av irriterade, medan gruppen under 40 år är något mer tolerant.

Familjestorleken har angetts ha visst inflytande på uppkomsten av störningsreaktionen (112). Stora familjer med barn är mindre störda än andra.

Vad gäller civilståndet har vid två undersökningar befunnits att gifta uppmärksammar buller mer än ogifta (121). I en undersökning har det motsatta förhållandet visats. Denna undersökning har dock utförts bland patienter på sjukhus.

Även frågan om samband föreligger mellan hälsotillstånd och störnings-

benägenhet har varit föremål för utredning. I ett fall (120) har man därvid funnit att helt ostörda individer i något större utsträckning angav sig ha god hälsa än de mycket störda individerna.

I experimentella undersökningar har olika personlighetsvariablers inverkan på bullerstörning testats. Individer med hög ångestnivå (mätt med det s k Taylor Anxiety Scale) har befunnits förbättra sina resultat på ett uppmärksamhetstest vid en viss bullernivå, medan gruppen med låg ångestnivå försämrade sina resultat (122).

I en annan undersökning (123) undersökte man den allmänna anpassningens samband med känslighet för buller. Individer som visat sig ha en hög grad av anpassning försämrade sina resultat vid bullerstimuli på ett numeriskt prestationsprov, medan individerna med låg anpassning förbättrade sina resultat vid oförändrade bullervillkor.

Utåtriktade personer har visats få ökad prestationsförmåga under bullerexponering (124). Neurotisk personlighet ökar däremot sannolikheten för störning (125). Man har också funnit att personer med icke förväntad reaktion, d v s icke störda i ett bullrigt område och störda i ett icke bullrigt område, visade tecken till en mindre god realitetsuppfattning (126).

#### 4.4.1.2 Socioekonomiska faktorer

Inte heller vad det gäller de socioekonomiska faktorernas betydelse för störningsupplevelse har man funnit några entydiga resultat. Skillnader i besvärsupplevelser mellan olika socialgrupper har studerats vid olika undersökningar. I ett fall har man därvid inte funnit någon skillnad (126). I ett annat fall (127) har man däremot funnit att de som hänfördes till socialgrupp två var mer störda än övriga. Det har också konstaterats att oavsett vilket kriterium för bedömning av irritationsgraden man än väljer är personer i socialgrupp ett mindre irriterade av flygbuller. Resultat har också redovisats (128) som tyder på att utbildningsfaktorn påverkar störningsbenägenheten, vilken avtar med ökad utbildning. I redovisningen görs dock en reservation för att denna skillnad kan svara mot skillnader i bostadsvalet.

Bostadsstandardens betydelse för störningsupplevelsen har studerats i ganska liten utsträckning. Bostadsstandarden (definierad med antalet boende per rum) har emellertid vid en utredning befunnits ha betydelse för störningsupplevelsen av buller.

Det tycks som bullerkänslighet inte är en specifik egenskap utan hör ihop med den allmänna känsligheten hos individerna. Sålunda har visats att de som störs av dålig lukt även störs av flygbuller i större utsträckning än de som inte störs av dålig lukt.

Klagomålsbenägenheten (vilken ej behöver vara en störningsreaktion) har också studerats. Högre utbildning, högre inkomst och högre social status ökar sannolikheten för klagomål på buller. Medlemskap i kommunala organisationer och liknande ger också en tendens till en ökning av klagomålen.

Man har också funnit att erfarenhet av buller har betydelse för hur man upplever ett aktuellt bullerstimulus. Sålunda har visats att störningsreaktio-

nerna mot buller är kraftigare om man har exponerats under en längre tid. Dessutom har det visat sig att majoriteten av dem som störs av buller på arbetsplatsen också störs av buller i bostaden (128). Förekomsten av andra bullerstimuli i omgivningen kan påverka reaktionen på ett buller. I trafikstarkt område har betydligt fler visat sig störda av trafikbuller än i ett trafiksvagt område (126), men för flygbuller förelåg den motsatta tendensen, d v s de som exponerades för mindre trafikbuller störcdes i större utsträckning av flygbuller trots att den objektiva flygbullemlivån var densamma i båda områdena.

#### 4.4.2 Attitydkarakteristika

##### 4.4.2.1 Relevanta attityder

Man har vid ett flertal studier kunnat konstatera att de personer som har en negativ attityd till expositionen och expositionsförhållandena uppvisar en större störningbenägenhet. Med negativ attityd avses då den allmänna inställningen till besvärskällan i vid bemärkelse. Sannolikt är det i regel inte fråga om endast en allmän inställning till någon yttre miljöfaktor utan ett helt komplex av attityder som kan beröra besvärskällan ur många olika mer eller mindre komplexa aspekter. Den allmänna attityden skulle också kunna sägas vara ett uttryck för summan av ett antal komponenter, som var och en är relaterad till besvärskällan. Med besvärskällan avses här då inte bara den yttre miljöfaktorn som framkallar expositionen utan även expositionen som sådan.

I en flygbullerstudie (120) har samband mellan å ena sidan inställning till flyget och dess samhällsekonomiska betydelse och å andra sidan besvärsupplevelsen konstaterats. Ett flertal olika faktorer har befunnits påverka besvärsupplevelsen; rädsla för flygolyckor, flygplatsens betydelse, flygledningens strävan att minska besvärerna, flygerfarenheten samt det personliga beroendet av flygplatsen.

För att belysa relationerna mellan upplevda besvärreaktioner och attityder har i en svensk undersökning från år 1961 utförts ett experiment där man använde sig av försökspersoner som fick göra parvisa jämförelser av besvärsgrader hos olika motorfordonsbuller vid konstant ljudnivå. Ljudstimulus presenterades tillsammans med bilder, föreställande olika fordon i olika situationer, som avsågs att hos försökspersonerna framkalla en positiv eller negativ attityd till fordonet. En negativ situation skapades sålunda genom att för försökspersonen visa en bild av en "raggarbil" och en positiv situation åstadkoms genom att visa en bild av en "taxibil". I båda fallen var ljudstimulus identiskt. Resultaten visar att fordon i en negativ situation fick högre poäng på besvärsskalan än fordon i en positiv situation. Skillnaden var större vid 60 dB(A) än vid 80 dB(A). En negativ inställning till trafik förekommer ofta på grund av luftförorening, besvärande lukt, olycksfallsrisk m m. Sådana faktorer kan därför framkalla ökad besvärreaktion på trafikbuller. Även utländska undersökningar har visat samband mellan besvärreaktion och attityd till såväl flyg som flygbuller. Vid exponering för överljudsbangar har stor skillnad i frekvensen störda personer konstaterats mellan dem som ansåg test med



överljudsbangar nödvändiga och dem som ansåg dessa test onödiga.

De ovan redovisade resultaten ger undantagslöst högre besvärshänsyn hos de grupper som direkt och indirekt visar en negativ attityd till besvärskällan. De genomförda studierna har inte syftat till att belysa problemet om vilken attityd som kan vara relevant för besvärreaktionen, varför någon fullständig kartläggning på detta område inte är möjlig att redovisa. De faktorer som kunnat påvisas är emellertid sammanfattningsvis uppfattningen av möjligheten att minska besvären, värderingen av besvärskällan, tron på bullers skadlighet, negativ attityd till andra förhållanden i omgivningen samt rädsla associerad till expositionen. Förutom dessa faktorer som är knutna till attityden, finns ett flertal andra. Hit hör den kunskap man har om trafik respektive trafikbuller, kunskap rörande fordon och deras samhällsnytta, behov av fordon etc. Någon fullständig kartläggning av vilka attityder som är relevanta för upplevelsen av störningskällan går således ej att göra. Vidare går inte heller att rent generellt ange någonting beträffande attitydstrukturen i olika kategorier och grupper av individer, utan detta varierar från fall till fall.

#### 4.4.2.2 Attitydpåverkan och störningspåverkan

De resultat som redovisats ger inte någon direkt anvisning om huruvida olikheter i attityd påverkat besvärshänsynerna samt i så fall under vilka betingelser detta kan ha inträffat, eller om besvären som sådana gett upphov till en attitydförändring. Att inte enbart stimulus' fysikaliska egenskaper bestämmer besvärshänsynen har emellertid klart kunnat konstateras med utgångspunkt i detta material. I ett par undersökningar (129) har försökt utförts i syfte att klarlägga förhållandet mellan attityderna till störningskällan och reaktionerna för fysiska miljöfaktorer av omgivningshygienisk relevans i form av laboratorieexperiment. I ett experiment visas att en grupp försökspersoner som påverkats i positiv riktning till dels flyg, dels motorfordon, blir besvärade till följd av buller från dessa i mindre utsträckning än en grupp som påverkats i negativ riktning. Skillnaderna är statistiskt säkerställda, men resultaten kan trots detta inte generaliseras till befolkningsgrupper som i sin hemmiljö utsätts för verkliga bullerstörningar, varför också ett fältexperiment genomförts i ett bostadsområde med kraftigt flygbuller. Därvid har två grupper om vardera 90 intervjupersoner utvalts. Den ena gruppens medlemmar påverkades i positiv riktning genom att de fick fylla i ett frågeformulär med ledande och känsloladdade frågor om flyg, genom att de erhöll en rapport över den "enkätundersökning", som de deltagit i samt genom att de fick en presentbok "Svenskt militärflyg 50 år". Vid de intervjuer som senare genomfördes visade det sig att man i experimentgruppen – den manipulerade gruppen – hade en mera positiv attityd till flyget samt uppgav sig vara störda i betydligt mindre utsträckning än i kontrollgruppen.

För att dessutom studera problemet rörande förändringarnas konstans har en uppföljning av detta fältexperiment genomförts tre år senare. Vid denna uppföljning erhöles för såväl experiment- som kontrollgrupp högre

besvärshäufigkeiten und Beschwerdebildung auch bei der früheren Studie. Dies wird durch die Tatsache erklärt, dass es sich um einen Übergang zu einer stärkeren Typ von Flugplan. Die Ergebnisse zeigen weiter, dass die nach der Verhaltensänderung erhaltene Beschwerdebildung nicht nur aus kurzzeitigen Auswirkungen besteht, sondern auch einen bleibenden Effekt auf die exponierten Individuen hat. Besonders deutlich sind die Unterschiede in den Verhaltensänderungen zwischen den verschiedenen Gruppen ausgeglichen worden, was während der Untersuchungszeit, aber keine Verringerung der Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der Beschwerdebildung hat bewirkt. Auch Unterschiede in der Häufigkeit der Verhaltensänderungen zwischen den beiden Gruppen können festgestellt werden, was die beiden Untersuchungsbedingungen.

Möglichkeiten, diese Ergebnisse quantitativ zu verallgemeinern, sind durch die Untersuchungsmethoden eingeschränkt, da das Material nicht repräsentativ für eine "Gesamtpopulation" ist. Bei dieser Studie wurde ein Flugplanexposition, die sehr hoch sein dürfte, verwendet, was die schwedischen Verhältnisse widerspiegelt, was nicht nur eine außergewöhnlich hohe Beschwerdebildung, sondern auch ein Bewusstsein über die Beschwerden und damit wahrscheinlich eine stabilere Verhaltensstruktur als die, die man erwarten würde, für eine "Gesamtpopulation".

Es ist daher möglich, dass eine Verhaltensänderung der Beschwerdebildung zu einer weiteren Einflussfaktoren durch die Verhaltensänderungen zu einer Verhaltensänderung führt. Für die Studie unter bestimmten Bedingungen Verhaltensänderungen mit anschließender Beschwerdebildung ist möglich, dass es sich um eine Verhaltensänderung handelt, die durch experimentelle Untersuchungen durchgeführt wurde. Von den Stimuluscharakteristika, die man betrachten kann, ist die Relevanz der Möglichkeiten, die Verhaltensänderungen durch die Verhaltensänderungen zu bewirken, die Stärke der Stimulus, die sehr wichtig ist. Dies zeigt sich auch in den experimentellen Untersuchungen, dass wenn man exponiert Versuchspersonen für den Lärm von unterschiedlicher Intensität, außerdem beeinflusst dies die Verhaltensänderung, die die größte Verhaltensänderung in der Beschwerdebildung bei den niedrigsten Lärmniveaus und die geringsten Verhaltensänderungen in der Beschwerdebildung bei den höchsten Lärmniveaus. Ein weiteres Experiment (129) zeigt, dass das Ergebnis, das man erhält, wenn man versucht, die Verhaltensänderung einer Person zu bewirken, von den Eigenschaften der Individuen abhängt. Dies zeigt sich darin, dass die Möglichkeiten, die Verhaltensänderungen zu bewirken, am größten sind, wenn man exponiert Individuen, die eine neutrale Verhaltensänderung zeigen, und am wenigsten bei negativen Verhaltensänderungen. Für die Studie der individuellen Faktoren, die die Verhaltensänderungen zu Verhaltensänderungen und Beschwerdebildungen beeinflussen, wurde ein Experiment durchgeführt (129). Dabei wurden die Ergebnisse verglichen, die aus den beiden Untersuchungsbedingungen resultieren, und man erhält durch die Messung der Stabilität der Verhaltensänderungen und der Beschwerdebildung für die verschiedenen Kategorien der Individuen. Die individuellen Eigenschaften, die die Verhaltensänderungen beeinflussen, sind das Geschlecht und die soziale Gruppe. Die Ergebnisse zeigen, dass Frauen und die niedrigere soziale Gruppe tendieren dazu, stärker beeinflusst zu werden, aber auch, dass sie sich schneller der ursprünglichen Verhaltensänderung und der Beschwerdebildung nähern.

Studien über die Einflussfaktoren der Verhaltensänderungen auf den Einzelnen werden oft durchgeführt, um die Grundlage für neue Normen hinsichtlich der Verhaltensänderungen und der Verhaltensänderungen zu schaffen. Da diese Normen auf Dosis-Wirkungsbeziehungen basieren, müssen die Verhaltensänderungen die Wirkung von irrelevanten Faktoren beseitigen. Studien über

attitydens inverkan på responsen är därför betydelsefulla och de här redovisade resultaten visar, att vid besvärundersökningar måste attityden till besvärskällan studeras så att populationen kan beskrivas ur attitydsynpunkt. Det måste anses vara helt klart att man genom en attitydförändring kan åstadkomma betydelsefulla förändringar av besvärshänsynerna. Att denna möjlighet föreligger betyder däremot inte att ett sådant utnyttjande är önskvärt. Det är sålunda, i de fall där besvärreaktioner i ett givet läge i första hand är betingade av expositionsförhållandena och endast i ringa utsträckning av negativa attityder till besvärskällan, inte tillrådligt att försöka reducera betydelsen av besvärreaktionernas innebörd och deras sammanhang med hälsotillståndet i övrigt. Innebär nämligen den uppgivna störningen en indikation på hälsohotande effekter till följd av bullret, omöjliggörs ett tidigt diagnosställande av dessa effekter. Det är emellertid även tänkbart att en förändrad attityd, med förändrad besvärsupplevelse som följd, kan leda till en förminskad skadeverkan, framför allt i fall där man genom exponering erhåller en stressreaktion. Om, till följd av en attitydförändring, besvärsupplevelsen minskas skulle troligen också stressreaktionen kunna minska och man får en faktisk minskning av de skadegörande effekterna till följd av buller.

#### 4.4.3 Speciellt känsliga grupper

##### 4.4.3.1 Bullers inverkan på sjuka människor

Det är välkänt att sjuka och nergångna människor ofta visar en minskad motståndskraft mot yttre stimuli och en allmän psykisk känslighet. Dessa människor kan därför uppleva stimuli som i hög grad irriterande trots att andra inte anser sig störda. Bland annat gäller detta känslighet för bullerstörning.

Vissa forskare hävdar att redan existerande psykiska och somatiska besvär förvärras av bullerpåverkan. Buller har exempelvis menlig inverkan på patienter som nyligen genomgått operationer, dem som lider av hjärt- och kärlsjukdomar, dem som har neuroser och dem som har nervsjukdomar, t ex epilepsi, multipel skleros och parkinsonism.

Bullerkänsligheten hos människor med psykisk sjukdom har varit föremål för flera undersökningar (42). Man har funnit att tillvänjning till olika stimuli, däribland buller, är betydligt nedsatt eller inte alls förekommande hos ängsliga och oroliga patienter på sinnessjukhus. Dessa patienter utgör därför en riskgrupp vad gäller upprepad eller kontinuerlig stimulering med buller.

Bullrets inverkan på blodsockerhalten bl a hos diabetiker har också studerats (130). Härvid befanns att diabetiker jämfört med en normalgrupp var mer känsliga för ljudpåverkan vilket yttrade sig i större variationer i blodsockernivån.

Människor som lider av viss typ av epilepsi har visat sig extremt känsliga för ljudstimulering (131). I vissa fall kan t o m en telefonsignal eller musik förorsaka en sjukdomsattack. Den vanligaste av de auditivt utlösta sjukdomsattackerna är den s k akustisk-motoriska epilepsin, som kan leda till medvetslöshet. Som ovan nämnts har sjuka människor ofta

minskad tolerans och blir därigenom mer besvärade. Det förekommer tyvärr ej så sällan, att hjärtsvaga personer som utsätts för starkt buller från grannvåningen kan få hjärtattacker. Här blir det alltså den starka sinnesrörelsen eller irritationen som i förening med förefintlig hjärtsjukdom ger upphov till skadliga effekter.

#### 4.4.3.2 Bullers inverkan på åldringar

I regel torde äldre människor ha minskad tolerans mot buller beroende på psykologiska omständigheter.

Vid enkätundersökningar har det emellertid visat sig att åldern ej är en signifikant faktor. Äldre människor blir inte mer störda än yngre (112, 45, 126). I vissa fall har man dock vid enkätundersökning bland patienter på sjukhus funnit, att de som var under 21 år och de som var över 65 år uppgav mer besvär av buller än åldersgrupperna mellan dessa grupper.

Hos personer som lider av åldersdövhet, s k presbyacusic, är det organiska underlaget till hörselskadan lokaliserat, dels till innerörats hårceller och dels till de mottagande nervelementen i hjärnans hörselcentrum. Denna situation medför att dessa personer har en relativt sett mer uttalad försämring i att uppfatta tal jämfört med toner. Taluppfattbarheten störs starkt om den centrala mottagningsfunktionen är skadad och störande buller kommer in. Äldre patienter påverkas därför i starkt negativ riktning av buller.

En annan faktor är, att de flesta äldre människor också har åldershörselnedsättning. Denna brukar som regel vara en kombination av skador i innerörat och förändringar i hjärnans hörselcentrum. Skador i innerörat medför överkänslighet mot starka ljud, det s k förstärkningsfenomenet. Detta innebär att svaga ljud upplevs svagt men starka onormalt starkt. De som utsätts för buller och har detta symtom anger starka obehag och tycker att ljudet blir smärtsamt. I denna situation kommer bullret givetvis att verka starkt negativt. En annan faktor är att de centrala hörselnedsättningar som då samtidigt förekommer ger ökade svårigheter att uppfatta tal i buller.

#### 4.4.3.3 Bullers inverkan på hörselskadade

En av de vanligaste orsakerna till fortskridande hörselnedsättning hos vuxna utgörs av hörselsjukdomen otoskleros. Stigbygeln växer vid denna sjukdom fast i ovals fenestret och ett ledningsfel uppträder som försvarar ljudöverföringen till innerörat. Denna sjukdom har sannolikt ärftlig orsak. Patienter, som drabbats av denna åkomma, uppger ofta att de har en känsla av bättre hörsel när de vistas i bullersam omgivning. Detta beror på att omgivningen talar högre i bullersam miljö för att kunna göra sig hörd. Vid operativ behandling av denna sjukdom kan stigbygeln lossas eller utbytas. Härvid sätts ofta mellanörats ljudskyddande muskler ur funktion, vilket medför överkänslighet för ljud under de första postoperativa månaderna samt störd taluppfattbarhet i buller. Anledningen därtill är att för mycket lågfrekvent buller kommer in i innerörat och maskerar talljuden.

Man kan undersöka i vilken utsträckning ett visst buller inverkar på befintlig hörselnedsättning genom att jämföra maskeringsaudiogrammet med aktuell hörselskada.

Personer med ledningsfel klarar sig i buller förhållandevis bra, till och med bättre än normalhörande många gånger, medan patienter med skada i innerörat har en försämrad uppfattbarhet (132, 133).

Hörselskador i innerörat ger som nämnts upphov till ett symtom som kallas för förstärkningsfenomenet eller recruitment. De obehag, som följer med symtomet, är obehag för starka ljud. De kan även ge upphov till ren smärtsensation. Därutöver får man också en försämrad taluppfattbarhet.

En typ av hörselskada i innerörat utgör bullerskadan. Denna yttrar sig, som tidigare visats, genom sänkning av hörseln vid de högre frekvenserna. Vid de lätta bullerskadorna har man normal hörsel upp till ungefär 2 000 Hz och därefter starkt bortfall. I tyst omgivning medför en sådan hörselskada obetydlig påverkan på taluppfattbarheten. Man kan räkna med att enstaviga ord uppfattas i det närmaste helt normalt. I närvaro av buller försämras däremot taluppfattbarheten katastrofalt. Undersökningar har utvisat, att en förutsättning för att höra i buller är, att man har ett större område av hörselorganet intakt, d v s man behöver ha hörsel minst till och med 3 000 Hz.

Experimentella undersökningar med vardagsbullers effekt på olika typer av bullerskador har visat, att bullret har en betydligt mera talförsämrande effekt än vad man anat.

I tyst omgivning kan hörapparaten kompensera ett hörselhandikapp i rätt stor utsträckning. Hörapparaten förstärker alla ljud, även bullerljuden. Det följer härav att man som regel ej kan använda hörapparat när det bullrar på grund av att hörapparaten då förstärker bullret relativt sett mer än talljuden, som blir helt maskerade. Efter mycket träning kan man så småningom använda hörapparaten utomhus, däremot mycket sällan på bullersamma arbetsplatser. Det bör framhållas att användning av hörapparat i sk stereoutförande, d v s en apparat till vardera örat, medför förbättrad uppfattbarhet i buller jämfört med enbart en hörapparat. Taluppfattbarheten är dock helt och hållet en fråga om signalstörförhållandet vid apparatens mikrofon.

#### 4.5 Mätning och studium av bullrets störande och skadande effekt

##### 4.5.1 Socialepidemiologiska metoder

Vid socialepidemiologiska undersökningar av individernas upplevelser av samhällsbuller brukar man arbeta med operationella definitioner av störningsbegreppet, vilket resulterat i att bullret har definierats olika, varför det är svårt att jämföra olika undersökningar. Oftast försöker man sträva efter att komma fram till ett dos-respons samband, d v s enkla mått som beskriver sambandet mellan dos och respons. Det är då synnerligen viktigt att själva responsmättet inkluderar alla de faktorer, som har inverkan på den totala störupplevelsen. Man kan i princip arbeta med två huvudmetoder. Den ena metoden innebär ett försök att i själva måttet

inkludera alla dessa faktorer och den andra att man konstruerar måttet utifrån en eller ett fåtal faktorer och sedan undersöker hur väl detta mått inkluderar övriga faktorer genom att undersöka dess korrelation med andra möjliga aspekter på störupplevelsen.

I första hand har följande reaktioner på bullerexposition studerats med användande av socialegidemiologiska metoder vid surveyundersökningar utförda i USA, Storbritannien och Sverige:

- störning av den exponerade individens dagliga aktiviteter
- den allmänna störupplevelsen orsakad av bullerexposition
- psykosomatiska symtom till följd av bullerexponeringen
- klagomål till någon myndighet
- olika former av försök av den exponerade individen att minska olägenheterna av bullerexpositionen genom bullerskyddande åtgärder.

Vad gäller den första faktorn har undersökningar i USA, Sverige och Storbritannien visat, att dessa typer av störningar framför allt tar sig följande uttryck:

- störning av sömn, vila och avkoppling
- störning av konversation samt vid lyssning till radio och TV
- vibrationer och skakningar i husen
- störning av TV-bilden.

Rapporter om psykosomatiska symtom har man fått relativt sällan vid flertalet surveyundersökningar, men vid t ex en undersökning som utfördes i Stockholm år 1968 om besvär av byggbuller, uppgav inte mindre än 30 % att de blev nervösa av bullret och 39 % att de blev trötta av bullret.

Erfarenheterna från dessa undersökningar visar att endast en liten del av populationen vidtar några åtgärder för att minska bullret genom att klaga hos någon myndighet. Det är ett mycket större antal individer med samma rapporterade störningsgrad, som uttrycker en hög klagomålsbenägenhet. Klagomålsbenägenheten definieras som villigheten att:

- besöka en myndighet
- delta i någon organisation eller grupp för bullerbekämpning
- skriva eller telefonera till någon myndighet
- besöka något opinionsmöte
- skriva på en namnlista.

Själva villigheten definieras genom följande reaktioner:

- faktiskt klagat
- övervägt att klaga
- inte alls övervägt att klaga.

Vad slutligen gäller den sista typen av reaktioner – direkt individuell aktivitet på annat sätt än klagomål för att minska bullerbesvären – inkluderar dessa reaktioner följande:

- installation av luftkonditionering så att fönstren kan hållas stängda
- användandet av akustiskt dämpningsmaterial för att reducera bullret i lägenheten

- utflyttning från området
- stängande av fönstren
- användandet av maskeringsljud, som att t ex höja volymen på radio- och TV-apparater
- ökad medicinkonsumtion.

Dessa reaktioner har i samtliga redovisade studier befunnits förekomma ytterst sällan.

De reaktioner som i första hand utnyttjats för utvärdering av exponeringsförhållanden är de sk störningsreaktionerna, även om i några undersökningar rapporter om aktivitetsstörningar legat till grund för störningsmättet.

#### 4.5.2 Laboratoriemässiga och kliniska metoder

Som tidigare klart framgått påverkas ett stort antal kroppsfunktioner av buller. Man kan mäta effekter på cirkulationssystemet, såsom pulsfrekvens, blodtryck, olika aspekter på hjärtfunktion (slagvolym, syreupptagningsförmåga), den perifera kärlgenomblodningen (mäts med pletysmografi) samt hudens elektriska motstånd. Vidare kan man registrera olika aspekter på andningen (frekvens, volym, regelbundenhet).

Pupillens storleksförhållanden kan mätas. Man kan också göra olika elektriska avledningar från hjärnans aktivitet, (EEG). Den generella aktiviteten kan mätas och mera specifika undersökningar från områden relaterade till hörsel kan göras (EEG respektive "evoked response audiometry"). Man kan också mäta latenstiden för olika reflexer, mäta muskelspänningen eller avleda musklernas aktivitet.

Effekt av buller under sömn kan mätas med de ovannämnda reaktionerna. För att mäta sömndjupet är elektriska avledningar av hjärnans aktivitet viktiga (EEG). Ögonrörelser kan också mätas elektriskt och är av betydelse vid sömnstudier. Man kan observera rörlighet under sömn, t ex hur ofta man ändrar ställning, vänder sig etc.

Det har visat sig att med tränade försökspersoner ger den subjektiva upplevelsen av sömnen en mycket god korrelation till andra sätt att mäta sömndjupet, t ex EEG.

Biokemiska analysmetoder kan användas för att undersöka påverkan på olika enzymssystem, hormoner eller andra ämnen.

För att mäta stressreaktioner mäter man bl a katekolaminer i urin eller i blod. Man kan också mäta olika fettämnen såsom triglycerider och kolesterol i blod. De biokemiska analysmetoderna är i allmänhet ganska komplicerade och dessutom ofta tidskrävande. Man kan också mäta påverkan på olika typer av blodkroppar genom att göra räkningar av dessa. För att testa psykologiska effekter av buller har man konstruerat ett stort antal olika prov som testar olika aspekter som t ex uppmärksamhet, seriereaktioner, läsning, minne samt prov på olika intellektuella funktioner.

Med hjälp av dator kan man också analysera förändringar i pulsfrekvensen vid olika grader av ansträngning.

Ett bullers samtalsstörande effekt uppskattas genom att bestämma

bullrets talinterferensnivå. Hänsyn måste därvid tas till:

- talarens röstnivå
- avståndet mellan talarens mun och lyssnarens öra
- differentieringen av den använda vokabulären
- signal-störförhållandets storlek.

Mätning av hörselskada görs med konversations- och viskprovet, stämgaffelprov, ton- och talaudiometri. Vid konversations- och viskprovet fastställer man det största avståndet på vilket den undersökte kan återge vad som sägs. Vartdera örat provas för sig varvid det andra örats medverkan utesluts genom maskering. Konversationsprovet medger endast en grov bedömning av hörselförmågan.

För noggrann hörselundersökning använder man ton- och talaudiometer, varvid hörförlusten uttrycks i dB samt uppfattbarhetsförmågan i procent av antalet avlyssnade ord.

#### 4.6 Samband mellan bullerexposition och störning

I olika undersökningar har man funnit samband mellan de parametrar som bestämmer bullerstimulans å ena sidan och olika yttringar av subjektiva besvär å andra sidan. Skall sådana samband vara användbara för att ligga till grund vid en normbildning bör de utformas som generella dos-responssamband. Förutsättningarna för att med ett enda diagram åskådliggöra dessa samband är att såväl dosen som responsen kan sammanfattas i ett enda talvärde, där varje i sammanhanget relevant parameter ingår i proportion till sin betydelse. Dosmättet skall sålunda ha samma siffervärde oavsett om det erhållits ur ett fåtal kraftiga, kortvariga exponeringar eller av mera långvariga ljud med lägre nivåer under en viss total studerad tidsrymd under förutsättning att den uppträdande totala störningsupplevelsen är likvärdig.

Olika principer för konstruktion av expositions-mått har behandlats i bilaga 3. Som underlag för responsmått har man i huvudsak utgått från de i avsnitt 4.5. nämnda typerna av reaktioner på bullerexposition som kunnat studeras med socialepidemiologiska metoder. I USA har man använt såväl redovisad störning som klagomålsfrekvens, i England en poängskala grundad på rapporterad störning av ett antal aktiviteter samt grafiska skattningsskalor. I Sverige har man i en år 1968 redovisad undersökning av vägtrafikbuller (se del I bilaga K) kunnat konstatera en god samvariation mellan expositionsdata och ett störningsindex grundat på en uppdelning av störningen i de två dimensionerna intensitet och förekomstfrekvens. En individ har därvid erhållit ett relativt högt störningsvärde även om störningen angivits som måttlig i de fall den förekommit mycket ofta. På motsvarande sätt har en störning som betecknats som kraftig ej fått högsta responsvärde om den angivits förekomma endast sällan. På detta sätt konstruerades en skala från 0 till 11, innebärande att en individ får 0 om vederbörande ej lägger märke till bullret och 11 om vederbörande är störd såväl mycket som ofta. Då emellertid en stark koppling råder mellan störningarnas intensitet och förekomstfrekvens erhålls inga större fördelar med denna typ av skala. I senare undersökningar,

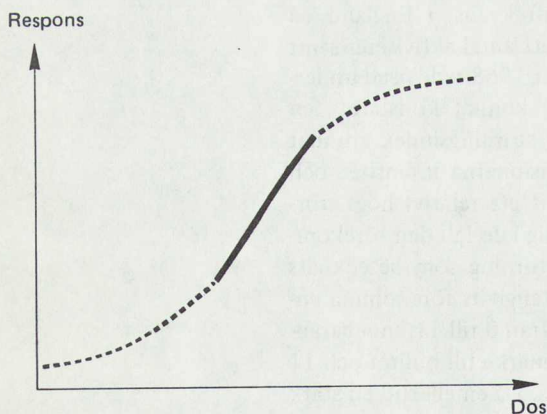


bl a den åren 1970–1972 genomförda flygbullerundersökningen kring vissa flygplatser i Skandinavien, har man kunnat konstatera att kategorin "mycket störd" är representativ även för övriga typer av effekter såsom sömnstörningar, störning av samtal och att symtom som nervositet och trötthet sätts i samband med bullerexpositionen. Kategorin "mycket störd" har dessutom visat hög stabilitet samtidigt som den visar hög grad av samvariation med expositionsfaktorer. "Mycket störd" torde därför för närvarande vara det mest relevanta måttet för att uttrycka subjektiva besvär.

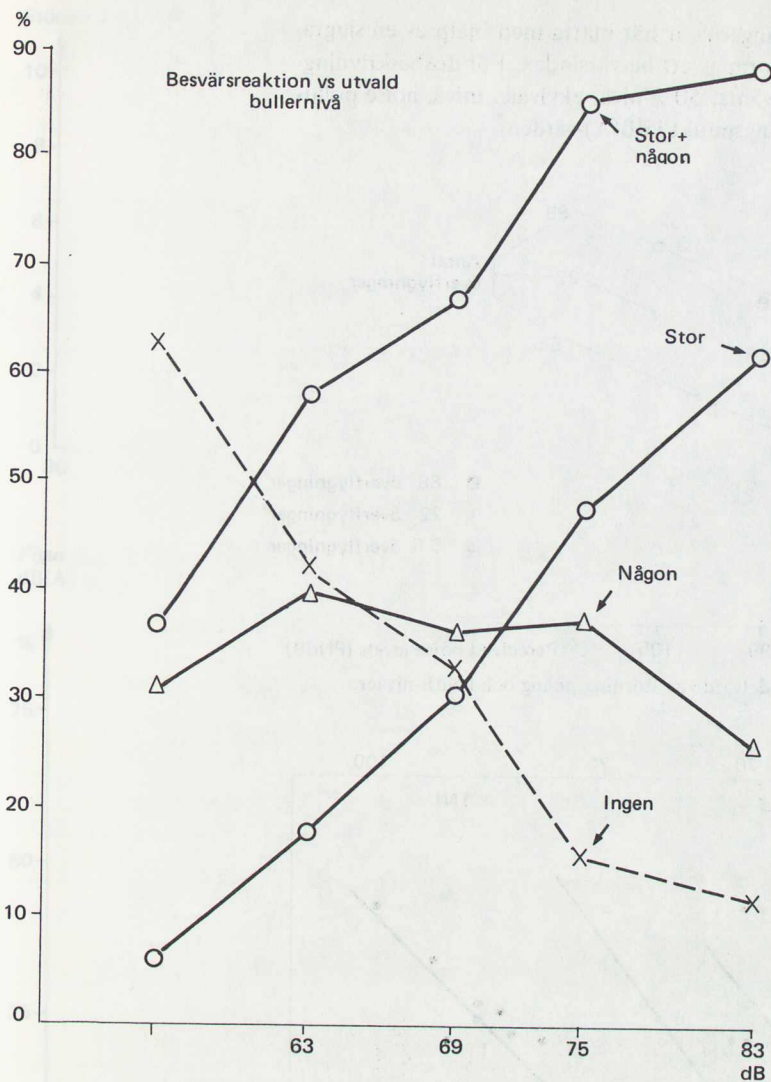
Under förutsättning av att man kunnat bilda en relevant mätskala på såväl dos- som responsidan kan sambandet åskådliggöras genom ett S-format diagram enligt figur 4.12.

I diagrammets vänstra del närmar sig kurvan dosaxeln då de flesta individer (dock inte alla) ej anser bullret medföra några olägenheter. I diagrammets högra del, vid mycket höga expositioner bör kurvan plana ut när man närmar sig 100% störda. Med de aktuella förutsättningarna, nämligen dels att de studerade effekterna ej ger upphov till direkta konstaterbara skador på människan dels att inte ens teoretiska möjligheter föreligger att skapa en miljö där ingen känner sig störd av buller, är den nedersta delen av kurvan ointressant. Den allra översta delen är också ointressant, eftersom den representerar en ur hygienisk synpunkt helt oacceptabel situation. I det mellanliggande området kan man räkna med ett relativt rätlinjigt förlopp i ett begränsat intervall. Denna del av ett dos-responsdiagram kan användas för att genom planeringsåtgärder begränsa störningarna till en viss nivå, vilket dock förutsätter att dosvärdet kan beräknas ur de parametrar som redan på planeringsstadiet är kända.

Några exempel på genom undersökningar funna dos-respons samband skall här nämnas. Fig 4.13. visar störningar som funktion av bullernivå i en tidig amerikansk undersökning.



Figur 4.12 Sambandet dos – respons



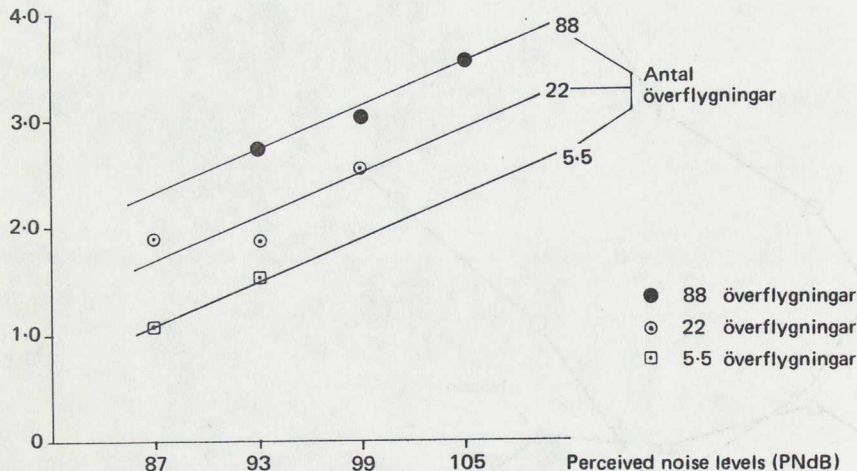
Figur 4.13. Störningar till följd av flygbuller. "Stor" anger kraftigt störda, "Någon" anger måttligt störda och "Ingen" anger obetydligt eller ej alls störda personer boende i närheten av flygfält. Bullervärdena är s k Sampled Noise Level,  $L_{SN}$  i dB, och går inte att direkt jämföra med t ex max värden i dB(A). Efter Borsky 1954.

I en undersökning i England erhöles ett dos-responsdiagram för flygbuller som visas i figur 4.14. Störningsskalan grundar sig här på ett poängsystem, där de intervjupersoner som förklarar sig vara åtminstone något störda fått en poäng. Dessutom användes fem frågor angående aktivitetsstörningar som i en s k Guttmanskala visat sig vara relevanta. För positivt svar på var och en av dessa frågor adderades ytterligare en poäng, varför en individ maximalt kunde få sex poäng. Dosskalan är uttryckt i PNdB.

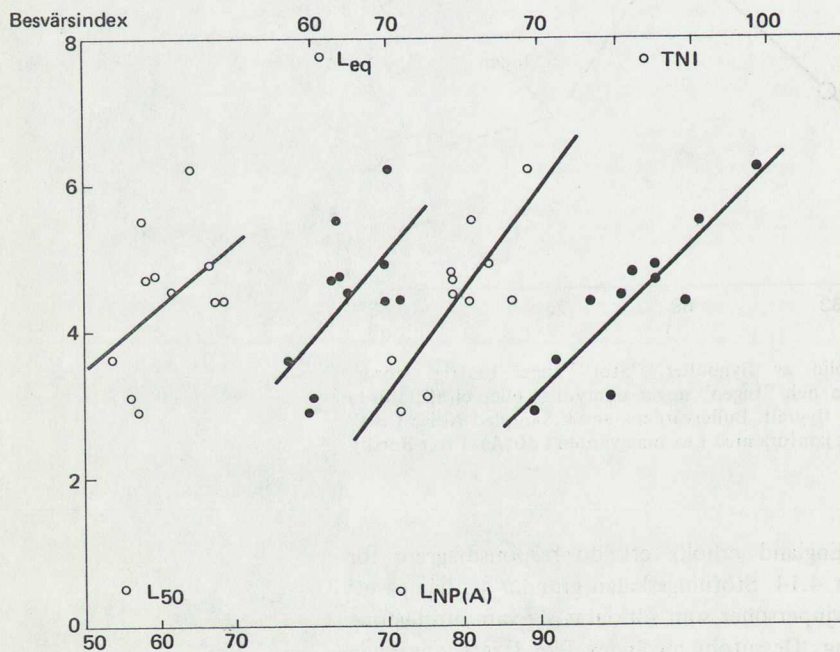
Resultaten av en undersökning på trafikbuller som utförts i England

framgår av figur 4.15. Störningarna är här mätta med hjälp av en sjugradig grafisk skattningsskala i form av ett besvärindex. För dosbeskrivning har fyra olika enheter använts, 50 %-nivå, ekvivalentnivå, noise pollution index och TNI med utgångspunkt i dB(A)-värden.

Medelvärde av störningspoäng



Figur 4.14. Samband mellan medelvärde av störningspoäng och PNdB-nivåer.



Figur 4.15. Störningarna i relation till olika expositionsmått.

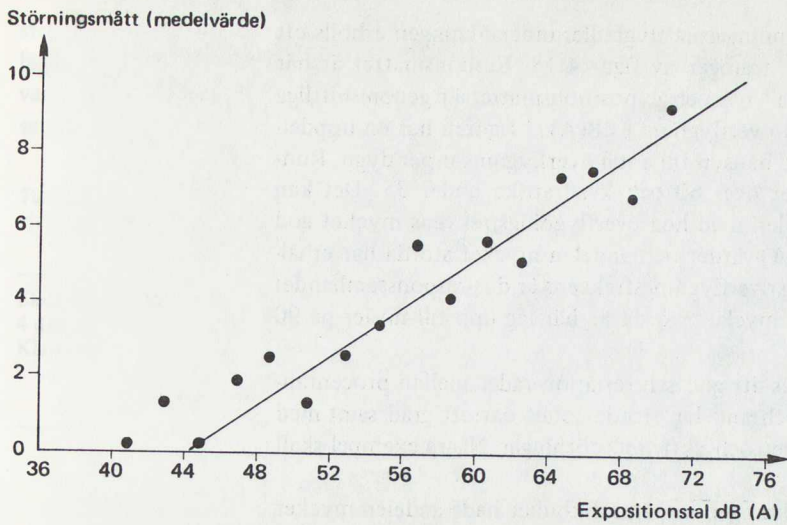
L<sub>50</sub> = 50 %-nivå i dB(A)

L<sub>eq</sub> = ekvivalentnivå i dB(A)

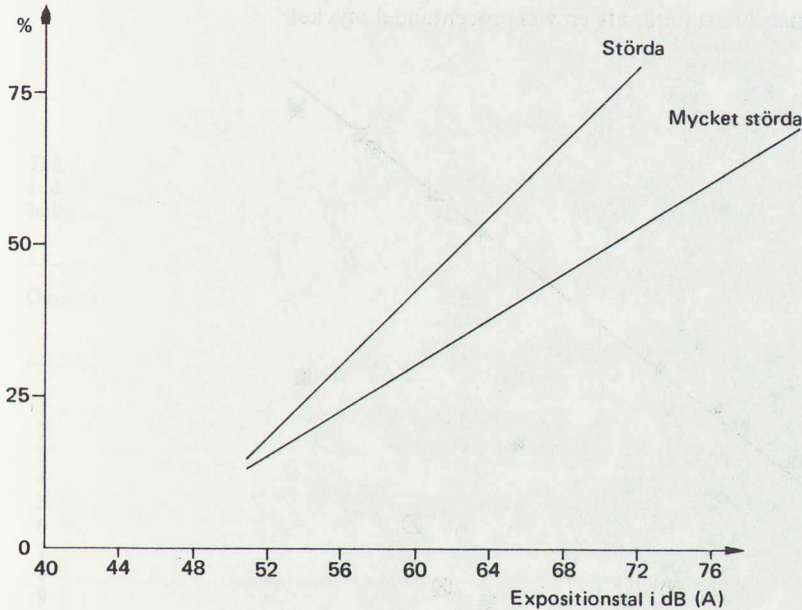
LNP(A) = Noise Pollution Index beräknas i dB(A)

TNI = Traffic Noise Index beräknas ur dB(A)-nivåer

Efter Robinson 1971.



Figur 4.16. Medelvärde av störningsmättet inom 2 dB(A)-klasser av ekvivalentnivå i dB(A) med korrektion för avstånd och skärmning.



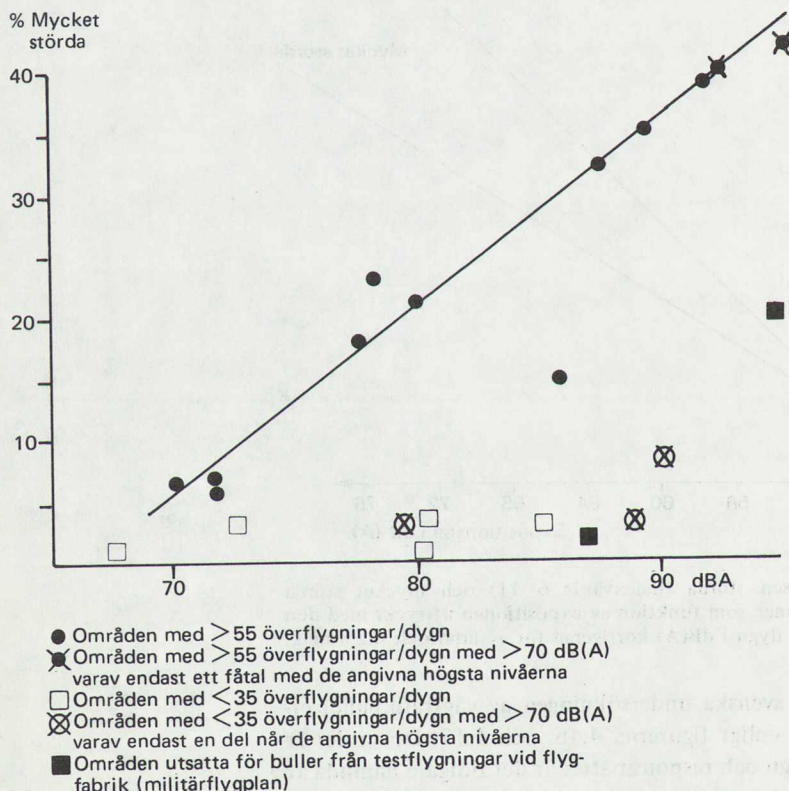
Figur 4.17. Relativa frekvensen störda (indexvärde 6-11) och mycket störda (indexvärde 11) intervjupersoner som funktion av expositionen uttryckt med den uppmätta ekvivalentnivån för dygn i dB(A) korrigerad för avstånd och skärmning.

I den tidigare nämnda svenska undersökningen av vägtrafikbuller erhöles dos-respons samband enligt figurerna 4.16. och 4.17. Dosvärdet är ekvivalentnivå för helt dygn och responsmättet är det tidigare nämnda av störningsintensitet och -frekvens sammansatta mättet i en skala från 0 till 11. Punkterna i diagrammet representerar medelvärde för individerna i expositionsclasser med klassbredden 2 dB(A)-enheter.

I den ovannämnda skandinaviska flygbullerundersökningen erhöles ett dos-responssamband som framgår av figur 4.18. Responsmättet är här kategorin "mycket störda" i % och expositionsmaßtet är genomsnittliga maximivärdet vid enskild överflygning i dB(A). I figuren har en uppdelning gjorts i områden med hänsyn till antal överflygningar per dygn. Runda symboler representerar över 60 och kvadratiske under 35. Det kan konstateras att för områden med hög överflygningsfrekvens mycket god samvariation mellan dB(A)-värdet och andelen mycket störda har erhållits. För områden med låg överflygningsfrekvens är dos-responssambandet mindre uttalat. Andelen mycket störda är här låg upp till nivåer på 90 dB(A).

Det har tidigare nämnts att god samvariation råder mellan procentandelen "mycket störda" och andelen störda totalt oavsett grad samt med medicinska manifestationer och aktivitetsstörningar. Några exempel skall här redovisas.

I den svenska undersökningen av vägtrafikbuller hade andelen mycket störda och störda totalt den fördelning som framgår av tabell 4.2. Motsvarande uppgifter för huvuddelen av områdena i den skandinaviska flygbullerundersökningen redovisas i tabell 4.3. Vid jämförelse mellan dessa båda tabeller kan man konstatera, att en viss procentandel mycket



Figur 4.18. Procentandelen mycket störda som funktion av genomsnittlig maximalnivå i dB(A).

störda för flygbuller är åtföljd av en proportionsvis högre andel störda av lägre störningsgrad. Detta förhållande gör, att ett och samma procental vare sig man avser mycket störda eller störda totalt ej representerar samma störningssituation för vägtrafikbuller som för flygbuller.

Tabell 4.2 Vägtrafikbullerexponering och andelen störda och mycket störda intervju personer i klasser om 4 dB(A) ekvivalentnivå.

Ekvivalentnivå 4 dB(A)-klasser. Klassmitt	Procentuellt antal störda individer				
	Antal indi- vider	Störda		Mycket störda	
		n	%	n	%
40	1	0	0	0	0
44	20	1	5	1	5
48	22	3	14	2	9
52	59	8	14	3	5
56	81	28	35	22	27
60	67	23	34	15	22
64	81	40	49	29	36
68	37	25	68	16	43
72	3	3	100	2	67
Σ	371	132	36	90	27
r =			0,95		0,91

Tabell 4.3 Flygbullerexponering och andelen störda i några undersökningsområden i den skandinaviska undersökningen. Medelvärde av antal överflygningar och bullernivån i dB(A) vid enskild överflygning.

Område	Över- flygningar per dygn	dB(A)	Störda %	Mycket störda %
1	72	70	6	6
2	72	78,5	49	23
3	72	77,5	47	18
4	72	92	74	39
5	72	87,5	67	32
6	39	67,5	8	1
7	189	72	13	7
8	189	72	24	6
9	189	89,5	63	35
10	189	80	40	21
11	43	85	26	3
12	15	80	4	0
13	29	72,5	9	3
14	26	80	23	4

Ett exempel på samvariation mellan störningsgraden och medicinska symtom som huvudvärk, nervositet, trötthet m m vilka respondenten anser har framkallats av bullerexpositionen framgår av tabell 4.4. som är hämtad från den svenska undersökningen av vägtrafikbuller. En markant hög frekvens av symtom förekommer i den högsta störningsklassen.

I tabell 4.5. visas hur aktivitetsstörningar av olika slag är kopplade till störningsgrader. Tabellen är hämtad ur den skandinaviska flygbullerundersökningen. För samtliga typer av aktiviteter ökar aktivitetsstörningarna då störningsgraden ökar. Högst frekvens har "svårt att höra Radio/TV" samt "vanligt samtal hindras". Bland de mycket störda är det 58 % som väcks i sömnen.

Tabell 4.4. Störning genom vägtrafikbuller. Förekomsten av medicinska symtom i olika störningsklasser.

Störningsklass	Symtom		Ej symtom		Totalt	
	n	%	n	%	n	%
0	2	1	212	99	214	100
2	34	14	207	86	241	100
6	2	11	17	89	19	100
8	6	17	30	83	36	100
10	3	17	15	83	18	100
11	81	60	55	40	136	100

Tabell 4.5. Störning genom flygbuller. Sambandet mellan störningsgraden och aktivitetsstörningar. Procent av antalet respondenter inom varje störningsgrad.

	Störs ej särskilt mycket	Störs ganska mycket	Störs mycket
Svårt att somna	18	24	37
Skräms	11	13	22
Väcks	28	45	58
Svårt att höra Radio/TV	52	64	79
Vibrerar huset	36	46	61
Telefonsamtal hindras	27	50	64
Vanligt samtal hindras	24	59	71
Vila/avkoppling störs	21	40	52

Sammanfattningsvis kan alltså konstateras, att andelen mycket störda kan anses vara representativ när det gäller att beskriva förekomsten av subjektiva besvär.

## Referenser

- 1 Aniansson, G.: Methods for assessing high frequency hearing. Loss in every-day listening situations. Acta otolaryng. Supp. 320, 1974.
- 2 Johansson, B.: Bullret i gruvorna. Jernkontorets annaler 136, 468-508 (1952).
- 3 Kryter, K.D.: The effects of noise on man. Academic Press, New York/London (1970).
- 4 Glorig, A.: Clinical manifestations of ototoxicity and noise. Adv. Oto-Rhino-Laryng. Vol. 20, Karger, Basel, 1973.
- 5 Hinchcliffe, R.: The threshold of hearing as a function of age. Acoustica 9, 303-308 (1959).

- 6 Rosen, S., Bergman, D., Plester, A., El-Mofty, A. and Satti, M.H.: Presbycusis study of a relatively noise-free population in the Sudan. *Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology*. 71:727-743 (1962).
- 7 Rosen, S., Plester, D., El-Mofty, A. and Rosen H.V.: High frequency audiometry in presbycusis: a comparative study of the Mabaan Tribe in the Sudan with urban populations. *Arch. Otolaryng.* 79:18-32 (1964).
- 8 Rosen, S. and Olin, P., 1965: Hearing loss and coronary heart disease. *Arch. Otolaryng.*, 82:236-243.
- 9 Johansson, B., Kylin, B., Langfy, M.: Acoustic reflex as a test for individual susceptibility to noise. *Acta Otolaryng.* 64, 256-262 (1967).
- 10 Svenska elektriska kommissionen SEN 590111: Kriterier för hörsel-skaderisk.
- 11 Lehmann, G.: Man and Noise. *Handbook of Physiology-Environment (USA) 1007-1013 (odaterad I)*.
- 12 Jansen, G.: Effects of noise on the physiologic state. Noise as a public health hazard. *American Speech and Hearing Association. Report 4:89-98 (1969)*.
- 13 Lehmann, G. and Tamm, J.: Changes of circulatory dynamics of resting men under the effect of noise. *Intern. Zschr. angew. Physiol.* 16:217-227 (1956).
- 14 Meyer-Delius, J.: Die Schalleinwirkung auf den Menschen. *Automobiltechnischen Zeitschrift*. 10:293-297 (1957).
- 15 Jansen, G. and Klensch, H.: The influence of the sound stimulus and music on the ballistogram. *J. Appl. Physiol.* 20:258-270 (1964).
- 16 Pretoius, P.J. and Van der Walt, J.J.: Influence of a loud acoustic stimulus on the ultralow frequency acceleration ballistocardiogram in man. *Acta Cardiology (Brux)*. 22:238-246 (1967).
- 17 Taccola, A., Straneo, G. and Bobbio, C.C.: Changes of the cardiac dynamics induced by noise. *Lavoro Umamo* 15:571-579 (1963).
- 18 Darner, C.L.: Sound pulses and the heart. *J. Acoust. Soc. Am.* 39:414-416 (1966).
- 19 Etholm, B. and Egenberg, K.E., 1964: The influence of noise on some circulatory functions. *Acta Otolaryng.*, 58, 209-213.
- 20 Satalov, N.N., Ostapkovic, V.E. and Ponomareva, N.I.: Hearing and arterial blood pressure in persons exposed to intense industrial noise. *Gigiena truda i professional nye zabojevanija, Moscow, USSR*, 13:4:12-15 (1969). (Periodical also published in English under the title "Hygiene and Sanitation", CFSTI, U.S. Dept. of Commerce, Springfield 22151, USA).
- 21 Gerhardt, H.J., Wagner, H., Thomschke, I. und Pasch, B., 1967: Zur Beeinflussbarkeit der Atmung durch rhythmische akustische Reize. *Z. Laryng. Rhinol. Otol.*, 46, 235-247.
- 22 Semczug, B., 1968: Studies on the influence of acoustic stimuli on respiratory movements. *Pol. Med. J.*, 7, 1090-1096.
- 23 Maugeri, U.: Respiratory effects of industrial noise. *Lavoro Umamo* 17:331-338 (1965).
- 24 Jansen, G.: Psychosomatische Wirkungen des Lärms. *Mitteilungen aus der Ma-Planch-Gesellschaft, Heft 5:293-309 (1966)*.
- 25 Roth, N.: Startling noise and resting retractive state. *Brit. J. Phys.* 23:223-231 (1966).
- 26 Polikanina, R.J.: *Probl. Fiziol. Opt. (Moskwa)*, 10:32 (1959).
- 27 Ogielska, E. and Broziak, K.: L'influence du bruit sur le champ visuel. *Annales d'Occulistiene (Paris)*, 198:115-122 (1965).
- 28 Vynckier, H.: Surdite professionnelle et champ visuel. *Acta Oto-Rhino-Laryngologica Belgica*, 21:213-222 (1967).



- 29 Benko, E.: Objekt- und farbengesichtsfeldeinengung bei chronischen Lärmschaden. *Ophthalmologica* (Schweiz), 138:449–456 (1959).
- 30 Benko, E.: Further information about the narrowing of the visual fields caused by noise damage. *Ophthalmologica*, 140:76–80 (1962).
- 31 Nesswetha, W.: *Zschr. Laryng.* 35:3 (1956).
- 32 Storoschyuk, K.V.: Effect of noise on the nervous system in preschool children. *Giziena Sanitarija* 31:44–48 (1966).
- 33 Pnomarenko, I.I.: The effects of constant high frequency industrial noise on certain physiological functions in adolescents. *Hygiene and Sanitation* 31:188–193 (1966).
- 34 Sontag, L.W., Steele, W.G. and Lewis, M.: The fetal and maternal cardiac response to environmental stress. *Human Development* 12:1–9 (1969).
- 35 Sontag, L.W.: Effect of noise during pregnancy upon fetal and subsequent adult behavior. In: Welch and Welch 131–141 (1970).
- 36 Takahashi, I. and Kyo, S.: Studies on the difference of adaptabilities to the noisy environment i Sexes and the growing process. *J. Antrop. Soc. Nippon* 76:34 (1968).
- 37 Thomson, R.F., and Spencer, W.A., 1966: Habituation, a model phenomenon for the study of a neuronal substrates of behaviour. *Psychol. Rev.*, 73, 16–43.
- 38 Sokolov, E.N., 1963: Perception and the conditioned reflex. Oxford.
- 39 McDonald, D.G., Johnsson, L.C. and Hord, D.J., 1964: Habituation of the orienting response in alert and drowsy subjects. *Psychophysiology*, 1, 163–173.
- 40 Johnson, L.C. and Lubin, A., 1967: The orienting reflex during waking and sleeping. *Elektroenceph. clin. Neurophysiol.*, 22, 11–21.
- 41 Tizard, B., 1966: Evoked changes in EEG and electrodermal activity during the waking and sleeping states. *Elektroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 20, 122–128.
- 42 Lader, M.H., 1970: Responses to repetitive stimulation. Proceedings of symp. on Soc. Stress and disease, Oxford Univ. Press. In press.
- 43 Lader, M.H. and Mathews, A.M., 1968: A physiological model of phobic anxiety and desensitization. *Behav. Res. Ther.*, 6, 411–421.
- 44 Linke, G. and Schröder, K., 1968: Die Lautstärkebeurteilung durch Lärmarbeiter. Zur Problematik der Gewöhnung an Lärm. *Z. Laryng. Rhinol. Otol.*, 47, 53–57.
- 45 Borsky, P.N., 1969: Effects of noise on community behaviour. *Amer. Speech Hearing Assoc. Report no. 4*, 187–192.
- 46 Steinicke, G.: Die Wirkungen von Lärm auf den Schlaf des Menschen. *Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen Nr. 416* (1957).
- 47 Keefe, F.B., Johnson, L.C. and Hunter, E.J.: EEG and autonomic response pattern during waking and sleep stages. Report No. 70–31 MR 006.02 from the Navy Medical Neuropsychiatric Research Unit, San Diego, Calif. (1970).
- 48 Jansen, G. and Rey, P.Y., 1962: Der Einfluss der Bandbreite eines Geräusches aus die Stärke vegetativer Reaktionen. *Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol.* 19, 209–217.
- 49 Lehmann, G.: Das Problem der Lärmbekämpfung. *Ärzteblatt für Baden-Württemberg* 12 (1963).
- 50 Jansen, G. and Schultze J., 1964: Beispiele von Schlafstörung durch Geräusche. *Klinische Wochenschrift*, 42, 132–134.
- 51 Williams, H.L., Hammack, J.T., Daly, R.L., Dement, W.C. and Lubin, A.: Responses to auditory stimulation, sleep loss and the EEG stages of sleep. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 16:269–279 (1964).
- 52 Williams, H.L., Granada, A.M., Jones, R.C., Lubin, A. and Arming-

- ton, J.C.: EEG-frequency and finger pulse volume as predictors of reaction time during sleep loss. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 14:64-70 (1962).
- 53 Johnson, L.C., Slye, E. and Lubin, A.: Autonomic response patterns during sleep. Abstr. of paper presented at meeting of the association for the psycho-physiological study of sleep. Bethesda, Maryland (1965).
- 54 Richter, R.: Sleep disturbances which we are not aware of, caused by traffic noise. EEG station of the neurological University Clinic, Basel (odaterad).
- 55 Loomis, A.L., Harvey, E.N., Hobart, G.A., 1937: Cerebral states during sleep as studied by human brain potentials. *J. Experimental. Psychol.*, 21, 127-144.
- 56 Davis, H., Davis, P.A., Loomis, A.L., Harbey, E.N. and Hobart, G., 1939: Electrical reactions of the human brain to auditory stimulation during sleep. *J. Neuro - Physiol.*, 2, 500-514.
- 57 Dement, W. and Kleitman, N., 1957: Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body mobility and dreaming. *Elektroenc. clin. Neurophysiol.*, 9, 673-690.
- 58 Fischgold, H. and Schwartz, B.A., 1961: A clinical, elektroencephalographic study of sleep in the human adult. Ciba Foundation symposium, Nature of sleep. Churchill Ltd., London, 209-231.
- 59 Rechtschaffen, A., Hauri, P. and Zeitlin, M.: Auditory awakening thresholds in REM and NREM sleep stages. *Perceptual and Motor Skills*. 22:927-942 (1966).
- 60 Lukas, J.S. and Kryter, K.D., 1968: A preliminary study of the awakening and startle effects of simulated sonic booms. NASA Report CR 1193.
- 61 Ward, D.W.: Hearing damage. Proceedings from a symposium on acceptability criteria for transportation noise. Report OST-ONA-70-2 Office of noise abatement, Washington, D.C. 20590 (1970).
- 62 Osada, Y. et al., 1968: Experimental study on the influence of noise on sleep. (In Japanese). *Bull. Inst. Publ. Hith Tokyo*, 17, 209-218.
- 63 Gädeke, R., Döring, B., Keller, E. und Vogel, A., 1968: Der Geräuschpegel im Kinderkrankenhaus und die Wecklärmschwelle von Säuglingen. *MSCHR. Kinder-heilk.*, 116, 374-375.
- 64 Jansen, G.: Beeinflussung des natürlichen Nachtschlafes durch Geräusche. *Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 2131* (1970).
- 65 Thiessen, G.J.: Effects of noise during sleep. In: *Welch and Welch* 271-281 (1970).
- 66 Thiessen, G.J.: Effect of noise from passing trucks on sleep. *J. Acoust. soc. Am.* 46:1:98-99 (1969).
- 67 Lukas, J.S. and Kryter, K.D.: Awakening effects of simulated sonic booms and subsonic aircraft noise. In: *Welch and Welch*, 283-293 (1970).
- 68 Leipp, E. (1969): Les mesures physiques du bruit et leur signification du point de vue de la perception. *Cahier du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, Nr. 869 (3), 26-31.
- 69 Gaviria, B., 1967: Autonomic reaction magnitude and habituation to different voices. *Psychosom. Med.*, 29, 598-605.
- 70 Oswald, I., Taylor, A.M. and Treisman, M.: Discriminative responses to stimulation during human sleep. *Brain* 83:440-453 (1960).
- 71 Provins, K.A. (1966): Environmental heat, body temperature and behaviour: an hypothesis. *Australian J. Psychol.*, 18, 118-129.
- 72 Johansson, C.R. and Löfstedt, B. (1969): The effects of classroom temperatures on school performance: a climate chamber experiment. *Nord. Hyg. Tid.*, XLX, 9-19.

- 73 Bursill, A.E. (1958): The restriction of peripheral vision during exposure to hot and humid conditions. *Quart. J. exp. Psychol.*, 10, 113–129.
- 74 Hockey, G.R.J. (1970): Effect of loud noise on attentional selectivity. *Quart. J. exp. Psychol.*, 22, 28–36.
- 75 Corcoran, D.W.J. (1962): Noise and loss of sleep. *Quart. J. exp. Psychol.*, 14, 178–182.
- 76 Atherley, G.R.C., Gibbons, S.L. and Powell, J.A.: Moderate acoustic stimuli: the interrelation of subjective importance and certain physiological changes. *Ergonomics* 13:5:536–545 (1970).
- 77 Bacclon, M. (1967): La gêne due au bruit de la circulation automobile. *Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, Nr. 88, Paris.
- 78 Broadbent, D.E., 1958: Effects of noise on an "Intellectual" task. *J. of Acoust. Soc. of Amer.*, 30, 824–827.
- 79 Sanders, A.F., 1961: The influence of noise on two discrimination tasks. *Ergonomics*, 4, 253–258.
- 80 Jerison, H.J., 1959: Effects on noise on human performance. *J. Appl. Psychol.*, 43, 96–101.
- 81 Carpenter, A., 1962: Effects of noise on performance and productivity. National phys. lab. Symposium Nr. 12. Her Majesty's Stationery Office, London, 297–305.
- 82 Fornwalt, N.E., 1965: Investigation into the effect of intermittent noise of constant periodicity vs. random periodicity on performance of an industrial task. Master's Thesis Dept. Industr. Engr., Texas. Technol. Coll.
- 83 Broadbent, D.E.: Effects of noise on behavior. *Handbook of Noise Control*. Chap. 10. McGraw-Hill, New York (1957).
- 84 Boggs, D.H. and Simon, J.R., 1968: Differential effect of noise on tasks of varying complexity. *J. appl. Psychol.*, 52, 148–153.
- 85 Sakamoto, H.: Endocrine disfunction in noisy environment. *Report I Mie Medical Journal*. 9:1:59–74 (1959).
- 86 Treptow, K., Hecht, K. und Baumann, R.: Zerebro-viszerale Störungen der glykämischen Regulation durch Lärmbelastung. In: *Nitschkoff und Kriwizkaja* 61–84 (1968).
- 87 Arguelles, A.E., Martinez, M.A., Pucciarelli, E. and Disisto, M.V.: Endocrine and metabolic effects of noise in normal, hypertensive and psychotic subjects. In: *Welch and Welch* 43–56 (1970).
- 88 Hawel, W. und Starlinger, H.: Einfluss von wiederholtem vierstündigem intermittierendem, sogenannten rosa Rauschen auf Catecholaminausscheidung und Pulsfrequenz. *Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphys.* 24:351–362 (1967).
- 89 Jansen, G.: Ergebnisse der medizinischen Lärmforschung. *Fachberichte* 1:1–12 (1962).
- 90 Trambizki, G.S. und Tamarina, L.E.: Berufskrankheiten der oberen Luftwege und Gehörorgans. In: *Nitschkoff und Kriwizkaja* (1968).
- 91 Graff, Ch., Bockmühl, F. und Tietze, V.: Lärmbelastung und arterielle (essentielle) Hypertoniekrankheit beim Menschen. In: *Nitschkoff und Kriwizkaja* 112–123 (1968).
- 92 Jerkova, H. and Kremarova, B.: Observation of the effect of noise on the general health of workers in large engineering factories; attempt at evaluation. *Pracovni Lekarstvi* 17:147–148 (1965).
- 93 Andrukovich, A.I.: Effect of industrial noise in winding and weaving factories on the arterial pressure in operators of the machines. *Gig. Tr. Zabol.* 9:39–42 (1965).
- 94 Strakhov, A.B.: Some questions of the mechanism of the action of noise on an organism. Report N 67-11646, Joint Publication Research Service, Washington, D.C. (1966).

- 95 Schmidt-Ueberreiter, E.: *Mitteil. der Österr. Sanitätsverb.* 8/9 (1959).
- 96 Davis, H.: *Project ANEHIN: Auditory and nonauditory effects of high intensity noise. Joint Report 7. Central Institute for the Deaf and U.S. Naval School of Aviation Medicine, Pensacola, Florida* (1958).
- 97 Abey-Wickrama, I., Brook, M.F., Gattoni, F.E. and Herridge, C.F.: *Mental-hospital admissions and aircraft noise. Lancet* 1275–1277 (1969).
- 98 Chowns, R.H.: *Mental-hospital admissions and aircraft noise. Lancet* 467 (1970).
- 99 Abey-Wickrama, I., Brook, M.F., Gattoni, F.E. and Herridge, C.F.: *Mental-hospital admissions and aircraft noise. Lancet* 467 (1970).
- 100 Jansen, G.: *Zur Entstehung vegetativer Funktionsstörungen durch Lärmeinwirkung. Arch. Gewerbepath.* 17:238–261 (1959).
- 101 Easterbrook, J.A. (1959): *The effect of emotion on cue-utilization and the organization of behaviour. Psychological Review*, 66, 183–201.
- 102 Weston, H.C. and Adams, S., 1932: *Two studies in psychological effects of noise. Part II. The effect of noise on the performance of weavers. Rept. Industr. Hlth. Res. Bd. London. Report Nr. 65, 38–70.*
- 103 Weston, H.C. and Adams, S., 1935: *The performance of weavers under varying conditions of noise. Rept. Industr. Hlth. Res. Bd. London. Report Nr. 70, 1–24.*
- 104 Burns, Hinchcliffe and Littler, 1964: *An exploratory study of hearing and noise exposure in textile workers, Ann. Occup. Hyg.* 7, 323.
- 105 Broadbent, D.E. and Little, E.A.J., 1960: *Effects of noise reduction in a work situation. Occup. Psychol.*, 34, 133–140.
- 106 Karsdorf, G. and Klappach, H., 1968: *Effects of traffic noise on health and achievement of high school students of a large city. Z. Ges. Hyg.*, 14, 52–54.
- 107 Wyon, D.P., 1970: *Performance and behaviour of schoolchildren during low-level but intermittent noise. Contribution to conference on noise climate, 12.3.70, Stockholm.*
- 108 Johansson, Bertil, *muntligt meddelande.*
- 109 Moreau, C.E. and Norberg, J.O., 1967: *Effekter av auditiv stimulation på vissa intellektuella funktioner. Militär psykol. Inst. Rapport nr 60.*
- 110 Wilkinson, R., 1969: *Some factors influencing the effect of environmental stressors upon performance. Psychol. Bull.*, 72, 260–272.
- 111 Grandjean, E., Perret, E. und Lauber, A.: *Experimentelle Untersuchungen über die Störwirkung von Flugzeuflärm. Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol.* 23:191–202 (1966).
- 112 Borsky, P.N., 1961: *Community reactions to air force noise. Part II. Data on community studies and their interpretation. WADD TR 60–689 (II).*
- 113 Carpenter, A., 1962: *Effects of noise on performance and productivity. National phys. lab. Symposium Nr. 12. Her Majesty's Stationery Office, London, 297–305.*
- 114 French, N.R. and Steinberg, J.C., 1947: *J. Acoust. Soc. Amer.*, 19, 90–119.
- 115 Beranek, Leo: *Acoustic measurement, Wiley and sons* (1947).
- 116 Young, R.W.: *Don't forget the simple sound level meter. Noise control* 4, 42–43, 1958.

- 117 Kryter, K.D.: Damage-risk criteria for hearing. Noise control, Chap. 19, McGraw-Hill, New York (1960).
- 118 Webster, J.E.: Effects of noise on speech intelligibility. Amer. Speech and Hearing ass. Report 4, Washington, D.C., 1959.
- 119 Jonsson, E., 1964: Om besvär av yttre miljöfaktorer och normer för deras bedömande, EUI.
- 120 Borsky, P.N., 1954: Community aspects of aircraft annoyance. National opinion research center. Univ. of Chicago. Nr 34.
- 121 Jonson, E. och Sörensen, S.: Förekomsten av bullerstörningar i samhället – Två enkätundersökningar. Nordisk Hygienisk Tidskrift 1967, 48, 21–34.
- 122 Auble, D. and Britton, N. 1958: Anxiety as a factor influencing routine performance under auditory stimuli. J. gen. Psychol.
- 123 Angelino, H. and Mech, E. 1955: Factors influencing routine performance under noise II. An explanatory analysing of the influence of "Adjustment". J. Psychol., 40, 397–401.
- 124 Frith, C.D., 1967: The interaction of noise and personality with critical flicker fusion performance. Brit. J. Psychol., 58, 127–131.
- 125 Jansen, G. und Hoffman, H., 1965: Lärmbedingte Änderungen der Feinmotorik und Lätigkeitsempfindungen in abhängigkeit vom bestimmten Persönlichkeitsdimensionen. Z. Exp. angew. Psychol., 12, 594–613.
- 126 Arvidsson, O., Johansson, C.R., Olsson, K. och Wigeman, H., 1965: Samhällsbuller – En sociologisk-psykologisk studie. Nordisk Hygienisk Tidskrift, 46, 153–188.
- 127 Jonsson, E. och Sörensen, S.: Förekomsten av bullerstörningar i samhället – Två enkätundersökningar. Nordisk Hygienisk Tidskrift, 1967, 48, 21–34.
- 128 Statens institut för byggnadsforskning och statens institut för folkhälsan 1970: Traffick noise in residential areas, 36 E/68.
- 129 Sörensen, S.: On the possibilities of changing the annoyance reaction to noise by changing the attitudes to the source of annoyance. Nordisk Hygienisk Tidskrift, Suppl. 1:1–76 (1970).
- 130 Wztep.: citerad av Nitschkoff och Kriwizkaja (1968).
- 131 Forster, F.M.: Human studies of epileptic seizures induced by sound and their conditioned extinction. In: Welch and Welch 151–158 (1970).
- 132 Ferris, K., 1966: The temporary effects of 125 CPS octaveband noise on stapedectomized ears. J. Laryng., 80, 579–582.
- 133 Ferris, K., 1967: A further study on the temporary effect of industrial noise on the hearing of stapedectomized ears at 4 000 CPS. J. Laryng., 81, 613–7.

## Kronologisk förteckning

---

1. Orter i regional samverkan. A.
2. Ortsbundna levnadsvillkor. A.
3. Produktionskostnader och regionala produktionssystem. A.
4. Regionala prognoser i planeringens tjänst. A.
5. Boken Litteraturutredningens huvudbetänkande. U.
6. Förenklad konkurs m. m. Ju.
7. Barn- och ungdomsvård. S.
8. Rättegången i arbetstvister. A.
9. Samhälle och trossamfund. Sammanställning av remissyttranden över betänkanden av 1968 års beredning om stat och kyrka. U.
10. Data och näringspolitik. I.
11. Svensk industri. Delrapport 1. I.
12. Svensk industri. Delrapport 2. I.
13. Svensk industri. Delrapport 3. I.
14. Svensk industri. Delrapport 4. I.
15. Sänkt pensionsålder m. m. S.
16. Neutral bostadsbeskattning. Fi.
17. Solidarisk bostadspolitik. B.
18. Solidarisk bostadspolitik. Bilagor. B.
19. Högskoleutbildning. Läkarutbildning för sjuksköterskor. U.
20. Förslag till skatteomläggning m. m. Fi.
21. Markanvändning och byggande. B.
22. Vattenkraft och miljö. B.
23. Reklam V. Information i reklamen. U.
24. Förslag till hamnlag. K.
25. Fri sterilisering. Ju.
26. Motorredskap. K.
27. Mindre brott. Ju.
28. Rättelag. Ju.
29. Att utvärdera arbetsmarknadspolitik. A.
30. Jordbruk i samverkan. Jo.
31. Unga lagöverträdare V. Ju.
32. Solidarisk bostadspolitik. Följdfrågor. B.
33. Att översätta Gamla testamentet. U.
34. Grafisk industri i omvandling. I.
35. Spridning av kemiska medel. Jo.
36. Skolan, staten och kommunerna. U.
37. Mut- och bestickningsansvaret. Ju.
38. FFV. Förenade fabriksverken. I.
39. Socialvården. Mål och medel. S.
40. Socialvården. Mål och medel. Sammanfattning. S.
41. Statsbidrag till kommunal färdtjänst, hemhjälp och familjedaghemsvärksamhet. Fi.
42. Barns fritid. S.
43. Utställningar. U.
44. Effekter av förpackningsavgiften. Jo.
45. Samordnad traktamentsbeskattning. Fi.
46. Befordringsförfarandet inom krigsmakten. Fö.
47. Installationsbranschen. I.
48. Installationsbranschen. Bilagor. I.
49. Beviskringslag för skatte- och avgiftsprocessen. Fi.
50. Information och medverkan i kommunal planering. Rapport. Kn.
51. Utbildning i förvaltning inom försvaret. Del 1. Fö.
52. Utbildning i förvaltning inom försvaret. Del 2. Fö.
53. Skolans arbetsmiljö. U.
54. Vidgad vuxenutbildning. U.
55. Utsökningsrätt XIII. Ju.
56. Närförläggning av kärnkraftverk. I.
57. Lägenhetsreserv. B.
58. Skolans arbetsmiljö. Bilagor. U.
59. Sexual- och samlevnadsundervisning. U.
60. Trafikbullen. Del I. Vägtrafikbullen. K.
61. Trafikbullen. Bilagedel. K.

## Systematisk förteckning

### Justitiedepartementet

Förenklad konkurs m. m. [6]  
Fri sterilisering. [25]  
Mindre brott. [27]  
Rättelag. [28]  
Unga lagöverträdare V. [31]  
Mut- och bestickningsansvaret. [37]  
Utsökningsrätt XIII. [55]

### Försvarsdepartementet

Befordringsförfarandet inom krigsmakten. [46]  
Krigsmaktens förvaltningsutbildningsutredning. 1. Utbildning i förvaltning inom försvaret. Del. 1. [51]  
2. Utbildning i förvaltning inom försvaret. Del 2. [52]

### Socialdepartementet

Barn- och ungdomsvård. [7]  
Sänkt pensionsålder m. m. [15]  
Socialutredningen. 1. Socialvården. Mål och medel. [39] 2. Socialvården. Mål och medel. Sammanfattning. [40]  
Barns fritid. [42]

### Kommunikationsdepartementet

Förslag till hamnlag. [24]  
Motorredskap. [26]  
Trafikbulerutredningen. 1. Trafikbuler. Del I. Vägtrafikbuler. [60]  
2. Trafikbuler. Bilagedel. [61]

### Finansdepartementet

Neutral bostadsbeskattning. [16]  
Förslag till skatteomläggning m. m. [20]  
Statsbidrag till kommunal färdtjänst, hemhjälp och familjedaghemsverksamhet. [41]  
Samordnad traktamentsbeskattning. [45]  
Bevissäkringslag för skatte- och avgiftsprocessen. [49]

### Utbildningsdepartementet

Boken. Litteraturutredningens huvudbetänkande. [5]  
Samhälle och trossamfund. Sammanställning av remissyttranden över betänkanden av 1968 års beredning om stat och kyrka. [9]  
Högskoleutbildning. Läkarutbildning för sjuksköterskor. [19]  
Reklam V. Information i reklamen. [23]  
Att översätta Gamla testamentet. [33]  
Skolan, staten och kommunerna. [36]  
Utställningar. [43]  
Skolans inre arbete. 1. Skolans arbetsmiljö. [53] 2. Skolans arbetsmiljö. Bilagor. [58]  
Vidgad vuxenutbildning. [54]  
Sexual- och samlevnadsundervisning. [59]

### Jordbruksdepartementet

Jordbruk i samverkan [30]  
Spridning av kemiska medel. [35]  
Effekter av förpackningsavgiften. [44]

### Arbetsmarknadsdepartementet

Expertgruppen för regional utredningsverksamhet. 1. Orter i regional samverkan. [1] 2. Ortsbundna levnadsvillkor. [2] 3. Produktionskostnader och regionala produktionssystem. [3] 4. Regionala prognoser i planeringens tjänst. [4]  
Rättegången i arbetstvister. [8]  
Att utvärdera arbetsmarknadspolitik. [29]

### Bostadsdepartementet

Boende- och bostadsfinansieringsutredningarna. 1. Solidarisk bostadspolitik. [17] 2. Solidarisk bostadspolitik. Bilagor. [18] 3. Solidarisk bostadspolitik. Följdfrågor. [32] 4. Lägenhetsreserv. [57]  
Markanvändning och byggande. [21]  
Vattenkraft och miljö. [22]

### Industridepartementet

Data och näringspolitik. [10]  
Industristrukturutredningen. 1. Svensk industri. Delrapport 1. [11]  
2. Svensk industri. Delrapport 2. [12] 3. Svensk industri. Delrapport 3. [13] 4. Svensk industri. Delrapport 4. [14]  
Grafisk industri i omvandling. [34]  
FFV. Förenade fabriksverken. [38]  
Installationsbranschutredningen. 1. Installationsbranschen. [47]  
2. Installationsbranschen. Bilagor. [48]  
Närförläggning av kärnkraftverk. [56]

### Kommundepartementet

Information och medverkan i kommunal planering. Rapport. [50]

