

1997:1

Lågfrekvent buller: En prövning av sambandet mellan några tekniska utvärderingsmått och upplevd störning

Anders Kjellberg

Kjell Holmberg

Ulf Landström

Maria Tesarz

Tommy Bech-Kristensen

ARBETE OCH HÄLSA VETENSKAPLIG SKRIFTSERIE

ISBN 91-7045-406-X ISSN 0346-7821



Arbetslivsinstitutet

Arbetslivsinstitutet

Centrum för arbetslivsforskning

Arbetslivsinstitutet är nationellt centrum för forskning och utveckling inom arbetsmiljö, arbetsliv och arbetsmarknad. Kunskapsuppbyggnad och kunskapsanvändning genom utbildning, information och dokumentation samt internationellt samarbete är andra viktiga uppgifter för institutet.

Kompetens för forskning, utveckling och utbildning finns inom områden som

- arbetsmarknad och arbetsrätt,
- arbetsorganisation, produktionsteknik och psykosocial arbetsmiljö,
- ergonomi,
- arbetsmiljöteknik och belastningsskador,
- arbetsmedicin, allergi, påverkan på nervsystemet,
- kemiska riskfaktorer och toxikologi.

Totalt arbetar omkring 470 personer vid institutet, varav 350 med forskning. Forskning och utbildning sker i samarbete med universitet och högskolor.

ARBETE OCH HÄLSA

Redaktör: Anders Kjellberg

Redaktionskommitté: Anders Colmsjö,
Elisabeth Lagerlöf och Ewa Wigaeus Hjelm

© Arbetslivsinstitutet & författarna 1997

Arbetslivsinstitutet,
171 84 Solna, Sverige

ISBN 91-7045-406-X

ISSN 0346-7821

Tryckt hos CM Gruppen

Förord

De studier som presenteras i denna rapport utgör del i ett mer omfattande forskningsprogram med målsättningen att utvärdera bullrets störningseffekter i arbetslivet. Programmet stöds finansiellt av Rådet för arbetslivsforskning. I rapporten prövas olika tekniska utvärderingsmetoder med avseende på användbarhet för bedömning av lågfrekvent buller ur störningssynpunkt.

Anders Kjellberg Ulf Landström
Projektledare

Innehållsförteckning

Introduktion	1
Studie 1	
Prövning av olika frekvensvägningar	2
Metod	2
Resultat	3
Diskussion	6
Studie 2	
C-A-differensen	7
Metodik	7
Resultat	8
Diskussion	11
Referenser	12
Sammanfattning	14
Summary	14

Introduktion

Bullret på arbetsplatser präglas ofta av höga energier inom det lågfrekventa området (< 250 Hz). I inomhusmiljöer förorsakas detta både av att ventilationsanläggningar och annan utrustning ofta genererar sådant ljud, och av att de högre frekvenserna i utomhusbuller och buller från andra lokaler dämpas av fönster, dörrar, väggar och golv.

Omfattande diskussioner har under senare år ägnats frågan om hur sådant buller bör utvärderas. Föreskrifter och rekommendationer är nästan genomgående uttryckta i A-vägda ljudnivåer, dB(A), och man har ifrågasatt att denna frekvensvägning med A-filtret ger rättvisande resultat vid bedömningen av lågfrekvent buller. A-vägningen bygger på hur vår känslighet för olika frekvenser varierar vid låga ljudtrycksnivåer, vilket innebär att de lågfrekventa komponenterna får ett mycket svagt inflytande på ljudnivåvärdet. Experimentella laboratoriestudier har visat att A-vägningen under vissa betingelser kan leda till underskattningar av hur störande lågfrekventa ljud är jämfört med mer högfrekventa ljud. Man har samtidigt pekat på att andra frekvensvägningar, t ex B- eller D-vägningen, i vissa fall skulle ge mer rättvisande resultat (2, 5, 14). Båda dessa vägningsfilter lägger betydligt större vikt vid de lågfrekventa komponenterna i ljudet.

I studier på arbetsplatser har man dock inte funnit lika tydliga skillnader mellan de olika frekvensvägda ljudnivåernas förmåga att predicera upplevd störning (9, 10). Detta beror troligen framför allt på att en mycket stor del av ljuden som ingått i dessa studier har haft en mycket likartad spektral fördelning. De högsta nivåerna återfinns oftast i ett lågt frekvensband, varefter nivåerna gradvis sjunker med högre frekvens. Ju mindre skillnaderna är mellan ljudens spektrala fördelningsform, desto högre kommer korrelationerna mellan de olika frekvensvägda måtten att bli, och desto sämre blir möjligheten att differentiera deras korrelationer med upplevd bullerstörning. Om alla undersökta ljudmiljöer har exakt samma spektrala fördelningsform kommer endast konstanter att skilja de A-, B-, C- och D-vägda ljudnivåerna och korrelationerna kommer att vara identiska. För att maximera möjligheten att differentiera mellan korrelationerna bör dessa beräknas i en grupp som består av två lika stora undergrupper med maximal skillnad i den spektrala fördelningsformen. I den ena undergruppen ska de lägsta och i den andra de högsta frekvensbanden vara dominerande.

Ett tänkbart sätt att ta hänsyn till att A-vägningen skulle kunna vara missvisande vid utvärdering av lågfrekvent buller är att för lågfrekventa ljud lägga ett antal dB till dB(A)-värdet. Detta kräver att man bestämmer dels på vilka grunder ett buller ska kategoriseras som lågfrekvent, dels hur stort dB-påslaget ska vara. En enkel metod att identifiera lågfrekventa ljud, som bl a tagits upp i Socialstyrelsens allmänna råd för utvärdering av buller i bostäder (16) är att mäta både den A- och den C-vägda ljudnivån. Den enda skillnaden mellan dessa två vägningsfilter är att C-vägningen lägger mycket större vikt vid den lågfrekventa delen av bullret. Skillnaden mellan det C- och det A-vägda värdet kommer därför i flertalet fall att utgöra ett mått på hur mycket energi som ligger i lågfrekvensområdet. Socialstyrelsen föreslår att ljudet bör betraktas som lågfrekvent om denna skillnad är 15–20 dB.

I en specifik rekommendation från Byggnadsstyrelsen avseende lågfrekvent ventilationsbuller (3) ges rekommendationen att detta kan betraktas som lågfrekvent om C-nivån ligger 15 dB över A-nivån, och dessutom att allvarliga bullerstörningar kan uppträda vid större skillnader än 25 dB. Varken Socialstyrelsen eller Byggnadsstyrelsen föreslår dock något schablonmässigt dB-påslag om ljudet är lågfrekvent.

Föreliggande studie hade två syften:

- Att analysera sambandet mellan olika frekvensvägda ljudnivåmått och störningsskattningar i en grupp som valts ut för att maximera möjligheten att differentiera mellan dessa mått (Studie 1).
- Att pröva om man genom att ta hänsyn till skillnaden mellan den C- och den A-vägda ljudnivån säkrare kan identifiera de personer som är störda av bullret på arbetsplatsen (Studie 2).

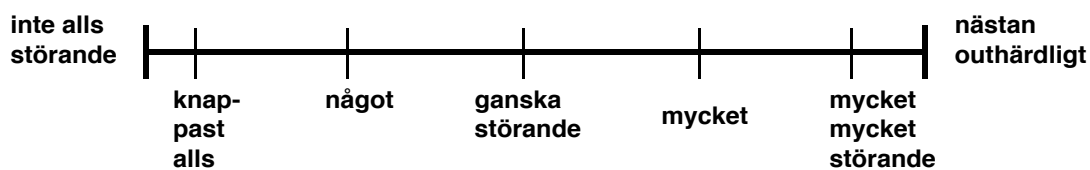
Studie 1: Prövning av olika frekvensvägningar

Målsättningen i studie 1 var att pröva sambandet mellan olika frekvensvägda ljudnivåmått och störningsskattningar. För att göra det möjligt att differentiera mellan måtten skapades en grupp bestående av två lika stora undergrupper med maximal skillnad i relationen mellan de låg- och högfrekventa delarna av spektrum.

Metod

Deltagare

I studien ingick 508 personer, 323 kvinnor och 185 män med medelåldern 37,9 år (variationsvidd 17–64 år) från flera typer av arbetsplatser: Kontor (n=124), laboratorier (n=148) och industriarbetsplatser (n=148). Övriga 88 personer fördelades tämligen jämnt mellan en tvättinrättning, ett bibliotek, klassrum, storkök och fritidshem. Endast arbetsplatser där ljudnivån låg under 85 dB(A) ingick. Arbetsplatserna valdes ut för att representera så vitt skilda frekvenskaraktistika som möjligt. De flesta kontorsarbetare exponerades för lågfrekvent ljud på måttliga nivåer. De flesta industriarbetare exponerades för låg- eller mellanfrekvent ljud på relativt höga nivåer, medan laboratoriearbetarna hade en mer varierande exponering både med avseende på nivå och frekvens.



Figur 1. Skalan som användes för att skatta störning.

Procedur och utrustning

En ljudnivåmätare (Brüel & Kjær model 2231) med en Brüel & Kjær 4155 mikrofon placerades bredvid deltagaren, och en kalibrering gjordes innan mätningen. Bullret spelades in under 10 eller 15 minuter under det att deltagaren arbetade som vanligt. Bullerstörning skattades på en 100 mm skala som gick från "inte alls störande" till "nästan outhärdligt" (figur 1). Denna skala har tidigare använts i en serie studier på arbetsplatser och i laboratoriet (8, 11).

Deltagarna använde samma skala för att bedöma hur störda de föreställde sig att de skulle vara om de i stället hade exponerats för ljudet från en handhållen hårtork och en symaskin i arbetet. Bedömningen av dessa föreställda ljud användes som referenser för att för att kalibrera skattningen av bullerstörning i arbetet. Kalibreringen gjor-

des genom att bilda en kvot mellan arbetsplatskattningen och medelvärdet av skattningen av hårtork- och symaskinsljuden. För närmare beskrivning och analys av detta kalibreringsförfarande se (6, 17).

Statistiska analyser

Klusteranalys användes för att identifiera grupper som exponerades för frekvensmässigt likartat buller (1). Analysen baserades på ljudtrycksnivån i tre frekvensband: 25–250 Hz, 315–1250 Hz samt 1600–12 500 Hz. Denna grova frekvensindelning användes för finna kluster med olika relativa fördelning mellan höga och låga frekvenser och inte sådana som skilde sig med avseende på fördelningen inom resp frekvensområde. Wards klustermetod användes med kosinus av variabelvektorerna som likhetsmått. Detta mönsterlikhetsmått valdes för att få kluster som skilde sig med avseende på den relativa fördelningen av ljudtrycket i de tre frekvensbanden. Andra likhetsmått kan ge kluster som enbart skiljer sig åt i nivå.

Resultat

Den genomsnittliga ljudnivån i gruppen var 61,4 dB(A) med en variationsvidd på 38,7–84,1 dB. Nivån i de tre frekvensbanden ges i tabell 1. Som synes sjönk nivån från det lägsta till det högsta frekvensbandet. Korrelationer mellan de olika ljudnivåmått ges i tabell 2. Korrelationerna var som väntat extremt höga mellan de A-, B och D-vägda nivåerna. C-nivån visade generellt något lägre korrelationer och de lägsta korrelationerna förelåg för den ovägda ljudtrycksnivån dB(LIN).

Tabell 1. Medelvärden, standardavvikelser samt max- och minvärden för ljudtrycksnivåer (dB) i de tre frekvensbanden (n=508).

	M	SD	Min	Max
<u>Frekvensband</u>				
25-250 Hz	67,1	7,7	34,8	84,0
315-1250 Hz	60,0	8,5	35,7	83,5
1600-12 500 Hz	56,9	9,6	48,6	88,4

Tabell 2. Korrelationer mellan olika frekvensvägda ljudnivåer (n =508). Inom parentes ges motsvarande korrelation i den reducerade gruppen, (n=72).

	dB(B)	dB(C)	dB(D)	dB(LIN)
dB(A)	0,963 (0,933)	0,840 (0,634)	0,9824 (0,987)	0,7284 (0,689)
dB(B)		0,9276 (0,801)	0,9527 (0,956)	0,7871 =0,809)
dB(C)			0,8457 (0,690)	0,8278 (0,834)
dB(D)				0,7479 (0,735)

Tabell 3 Ljudtrycksnivåer i de olika klustren i hela undersökningsgruppen samt i urvalet av personer i kluster 1.

	Undersökningsgrupp (n=508), 3 kluster				Kluster 1, reduc. n=36
	Kluster 1 n=53	Kluster 2 n=419	Kluster 3 n=36	t-test p	
<u>Frekvensband</u>					
25-250 Hz	65.1	67.1	69.4	<.05	65.2
315-1250 Hz	63.9	60.4	49.3	<.001	64.9
1600-12 500 Hz	70.5	56.1	46.2	<.001	71.9

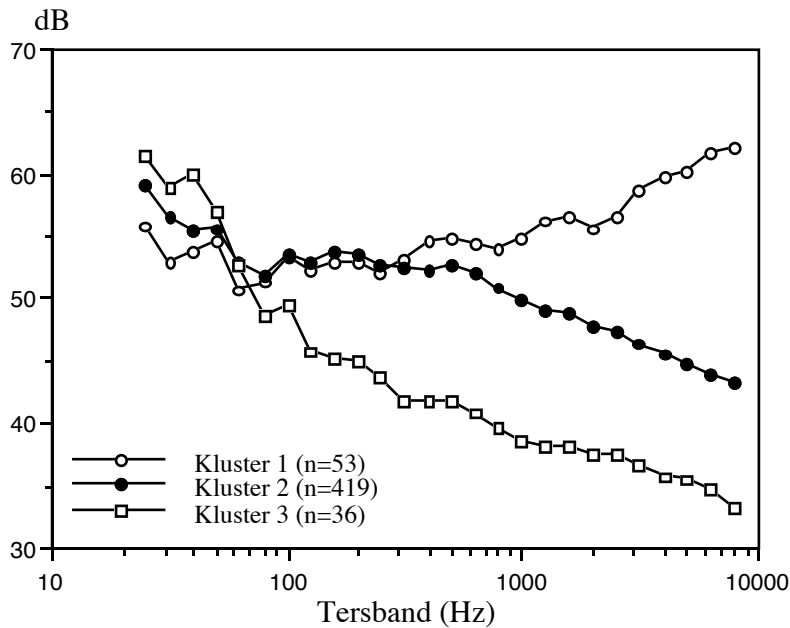
Tabell 4. Genomsnittliga dB(A)- och dB(C)-nivåer, standardavvikelse samt min-max nivåer i de tre klustren.

	M	SD	min-max
Kluster 1 (n=53)			
dB(A)	71.6	6.2	54.3-84.1
dB(C)	71.9	5.5	54.7-82.6
Kluster 2 (n=419)			
dB(A)	61.1	8.3	41.1-83.5
dB(C)	68.1	7.8	50.6-89.4
Kluster 3 (n=36)			
dB(A)	51.0	5.3	38.7-58.4
dB(C)	68.7	8.6	53.7-85.7

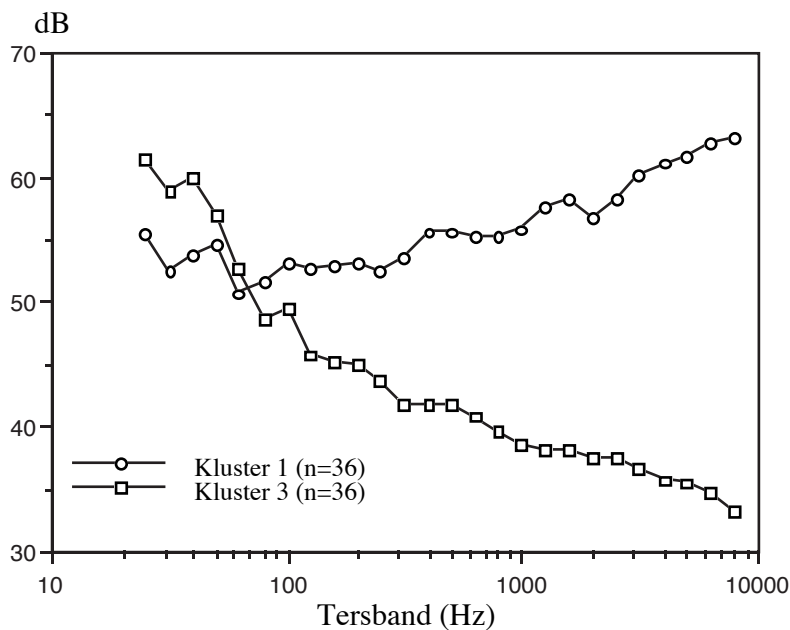
Klusteranalysen gav tre distinkta kluster vars ljudtrycksnivåer i de tre frekvensbanden ges i tabell 3. Det första klustret (n=53) hade högre nivå i det högsta frekvensbandet än i de två lägre. I både kluster 2 (n=419) och 3 (n=36) sjönk nivån med stigande frekvens, men den lågfrekventa dominansen var tydligast i kluster 3. En envägs variansanalys visade att de tre klustren skilde sig signifikant från varandra i alla tre frekvensband. I figur 2 visas genomsnittliga tersbandsvärden i klustren. dB(A)- och dB(C)-nivåer för klustren ges i tabell 4. Stora skillnader förelåg mellan klustrens dB(A)-nivåer; ju större dominans av det lägsta frekvensbandet, desto lägre var dB(A)-nivån. Skillnaderna var däremot mycket små i den C-vägda nivån.

Den största skillnaden förelåg således mellan kluster 1 och 3, som kan beskrivas som låg- resp högfrekvent bullerexponering. Dessa två valdes därför ut för de vidare analyserna. För att ge de två grupperna samma vikt vid beräkningen av korrelationer mellan olika ljudnivåmått och skattningar slumpades 17 personer bort ur kluster 1. Tersnivåer för dessa två grupper ges i figur 3. I tabell 3 ges ljudtrycksnivåer i de tre frekvensbanden även för den reducerade gruppen.

De flesta av korrelationerna mellan de olika frekvensvägda ljudnivåerna var något lägre i den reducerade gruppen än i totalgruppen (tabell 2). För att visa betydelsen av urvalet för möjligheten att differentiera mellan måttens korrelationer med störnings-skattningarna gjordes beräkningarna både i totalgruppen och i den reducerade gruppen (tabell 5). Dessa korrelationer beräknades både för de okalibrerade och de kalibrerade skattningarna.



Figur 2. Genomsnittliga tersbandsnivåer i de tre kluster som bildades av undersökningsgruppen.

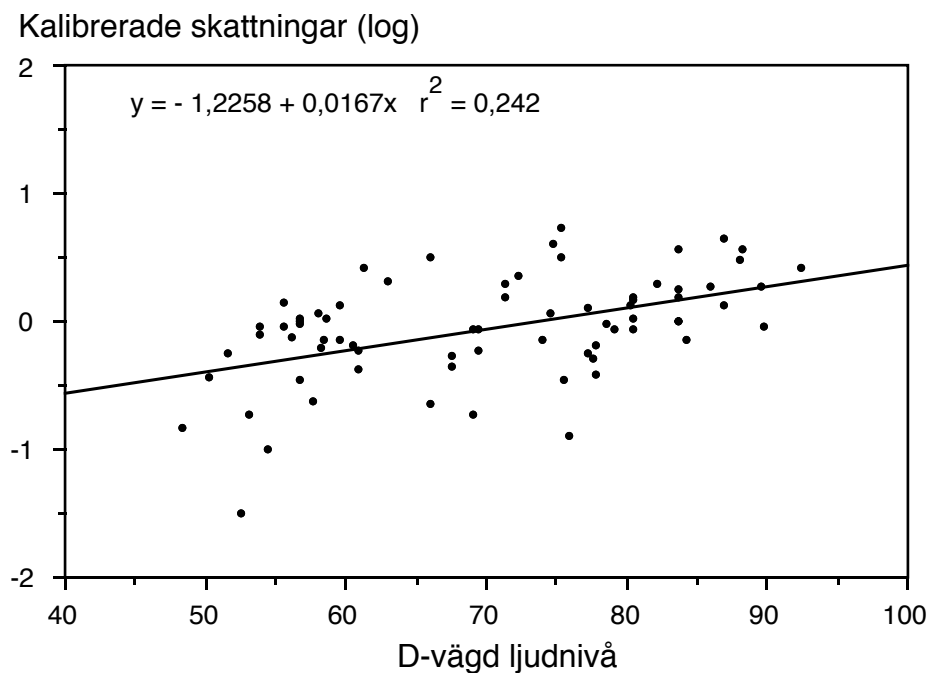


Figur 3. Genomsnittliga tersbandsnivåer i de två kluster, där skillnaden i nivå var störst i låg- och högfrequensområdet (Kluster 1 reducerat till 36 personer).

Tabell 5. Korrelationer mellan olika frekvensvägda bullermått och störningsskattningar (kalibrerade och okalibrerade) i hela och den reducerade undersökningsgruppen.

	Frekvensvägningar, Totalgrupp (n=508)					Frekvensvägningar, Reducerad grupp (n=72),				
	A	B	C	D	LIN	A	B	C	D	LIN
<u>Skattningsmått</u>										
Skattning	0.31	0.32	0.30	0.32	0.26	0.24	0.19	0.14	0.24	0.10
Kalibrerad skattn. (log)	0.42	0.43	0.40	0.43	0.35	0.48	0.43	0.33	0.49	0.29

För de kalibrerade skattningarna gällde att logaritmerade värden ökade linjärt med höjd ljudnivå. Alla fortsatta analyser av kalibrerade störningsskattningar baseras därför på logaritmerade värde. De okalibrerade skattningarna visade sig däremot, liksom i tidigare studier (12, 17), öka linjärt med höjd ljudnivå utan logaritmering. Tabellen visar att korrelationerna i totalgruppen som väntat skilde sig mycket lite från varandra. Endast den ovägda ljudtrycksnivån gav påtagligt lägre korrelation med störningsskattningen. I den reducerade gruppen är skillnaderna mellan korrelationerna större; C-vägningen ger en lägre korrelation och A- och D-vägningarna, vilka visar en tendens till högre korrelationer än övriga. Figur 4 illustrerar sambandet mellan den D-vägda ljudnivån och de kalibrerade skattningarna.



Figur 4. Logaritmerade kalibrerade skattningar som funktion av den D-vägda ljudnivån.

Diskussion

Analyserna visade att korrelationerna mellan de olika frekvensvägda ljudnivåerna A, B, C och D förblev höga även i den reducerade gruppen. Även då gruppen bildades av två lika stora undergrupper med maximalt olika frekvensfördelning var alltså möjligheten att differentiera frekvensvägningarna mycket begränsade. I jämförelse med den ovägda ljudtrycksnivån (LIN) visade sig både de D- och A-vägda nivåerna förklara ungefär 2,8 gånger mer av variansen i störningsskattningarna. Motsvarande siffror för de B- och C-vägda nivåerna var 2,1 resp. 1,3. Resultaten ger alltså inte något stöd för att A-vägningen skulle vara särskilt missvisande. Generellt var korrelationerna mellan ljudnivå och störningsskattning som väntat låga. Detta beror sannolikt på att ljudnivån predicerar hörstyrkan och inte störningsupplevelsen. Hörstyrkan är förvisso en mycket viktig del av förklaringen av störningsupplevelse. Samtidigt måste dock poängteras att även mycket svaga ljud kan upplevas som störande och att många andra förhållanden än ljudnivån har visat sig vara betydelsefulla för störningsupplevelsen (7).

I diskussionen om olika vägningsfilter bör man hålla i minnet att A-, B- och C-vägningarna ursprungligen konstruerades för att tillämpas vid olika ljudtrycksnivåer. C-vägningen var tänkt att användas vid de högsta, och A-vägningen vid de lägsta nivåerna. Filtrens karakteristika baseras på att skillnaden i känsligheten för låga och höga frekvenser blir allt mindre markerad ju högre nivån är. Det finns därför ingen anledning att tro att någon viss frekvensvägning skulle vara generellt mer rättvisande än övriga vägningar. När C-filtret i föreliggande undersökning visade sig fungera sämre än A- och D-filtren, torde detta bero på att bullret på inomhusarbetsplatser tenderar att ha frekvens- och nivåegenskaper som gör att C-vägningen blir särskilt missvisande. En alternativ mätmetod som skulle kunna vara mer generellt tillämplig är Zwickers loudness level (4). Denna metod tar bland annat hänsyn till frekvenskänslighetens nivåberoende.

Även den ovägda ljudtrycksnivån var korrelerad med störningsskattningarna, om än inte lika starkt som de frekvensvägda ljudnivåerna. Detta berodde på att spridningen i ljudtrycksnivåer var mycket stor i gruppen. Frekvensvägningens fördelar kan förväntas bli tydligare ju mindre nivåvariationen är i gruppen. Idealt skulle prövningen göras i en grupp där alla exponerades för samma ljudtrycksnivå, men där ljuden hade olika frekvenssammansättning. Detta låter sig dock enklast göras i laboratorieförsök.

Studie 2: C-A-differensen

Målsättningen i studie 2 var att pröva om man via analys av skillnaden mellan den C- och den A-vägda ljudnivån bättre kan identifiera de personer som är störda av bullret på arbetsplatsen. Mätprocedur, utrustning och ljudanalyser var desamma som i studie 1.

Metodik

Deltagare

Analyserna baserades på de 508 personer som ingick i Studie 1 och ytterligare 201 personer, varav 190 kom från kontorsarbetsplatser och 11 från en industriarbetsplats. Gruppen bestod av 452 kvinnor och 257 män med en medelåldern 38, 5 år (variationsvidd 17–65 år).

Statistiska analyser

För att pröva om C-A-differensen bidrog signifikant till att förklara störningssupplelsen gjordes två typer av statistiska analyser. Den ena var en regressionsanalys med den logaritmerade kalibrerade skattningen som beroende variabel och dB(A) samt C-A-differensen som oberoende variabler. Denna analys besvarade frågan om hur stor del av variansen i störningsskattningarna som förklarades av C-A-differensen, utöver vad som förklarades av ljudnivån, och om detta bidrag till förklaringen var signifikant. Resultatet kunde också användas för att beräkna hur dB(A)-värdet borde korrigeras med hänsyn till C-A-differensen för att maximera sambandet med upplevd störning. Den andra analysen var en logistisk regressionsanalys. Denna analys baserades på en uppdelning av personerna i två extremgrupper: den tredjedel av gruppen som givit de högsta störningsskattningarna och den tredjedel som givit de lägsta skattningarna. Uppdelningen grundade sig på okalibrerade skattningar, efter-

som kalibreringen kan förväntas eliminera en del av de skillnader mellan personer som beror på att de skiljer sig i bullerkänslighet. Analysen gjordes för att visa hur väl man kan förutsäga vilka som tillhör de två grupperna utifrån dB(A)-nivån och C-A-differensen.

Resultat

Regressionsanalys av kalibrerade skattningar

Regressionsanalysen av de logaritmerade kalibrerade skattningarna visade att korrelationen mellan dB(A) och skattningen var 0,420 och att denna förbättrades signifikant till 0,436, då även C-A-differensen lades in i analysen ($t=3,53$, $p=0,004$). Detta innebär att ytterligare 1,4 procent av variansen i skattningarna förklarades genom att C-A-differensen togs med.

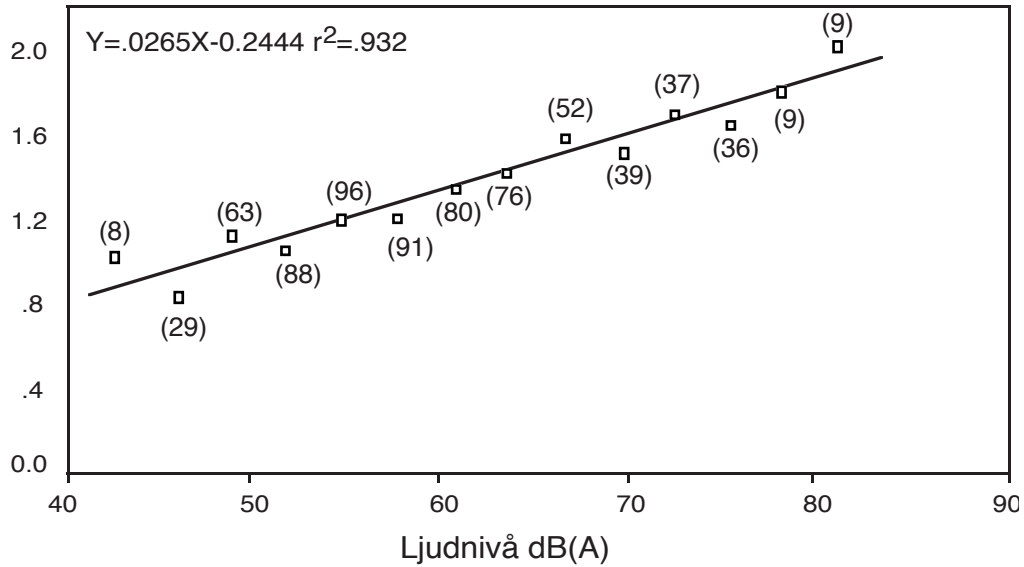
För att tydliggöra formen på sambandet mellan ljudnivån och störningsskattningen gjordes klassindelning av dB(A)-nivån i 16 successiva 3 dB-klasser med början vid 38 dB. Medelvärdet av dB(A) och skattning beräknades i varje klass. Den lägsta och den högsta dB(A)-gruppen uteslöts från den vidare analysen eftersom de endast innehöll två resp en person. Sambandet mellan medel-dB(A) och medelskattning i de återstående fjorton grupperna visas i figur 5. I figuren anges också antalet personer som ingick i nivågrupperna. Som synes beskrivs sambandet väl av den linjära funktion som anpassades till dessa data med hänsyn tagen till skillnaden i antalet personer i grupperna. Funktionen innebär att 11,3 dB:s höjning av ljudnivån fördubblade den skattade störningen. För att få reda på vad en viss skillnad i skattning motsvarar i ljudnivå gjordes även den motsatta regressionsanalysen, dvs en med ljudnivå som beroende variabeln och den logaritmerade skattningen som oberoende variabel. Denna analys visade att 0,1 steg på den logaritmiska skattningsskalan (dvs ca 25% förändring) motsvarade en förändring av ljudnivån med 3,5 dB(A).

Gruppen delades vidare in i åtta undergrupper utifrån C-A-differensen (successiva 3 dB-grupper där den första gruppen utgjordes av dem som hade en differens på 0–3 dB). Dessutom beräknades utifrån regressionsanalysen skattningsvärden som korrigerats för de skillnader som förklarades av ljudnivån (residualer till vilka gruppens totalmedelvärde adderades för att få samma skala som i de okorrigerade skattningarna). Figur 6 visar sambandet mellan medelvärdet av C-A-differensen och den nivå-korrigerade medelskattningen i de åtta C-A-grupperna. Sambandet lät sig relativt väl beskrivas med en linjär funktion där varje ökning av C-A-differensen med en dB ökade den logaritmerade skattningen med 0,0125 steg, dvs med omkring 3 procent.

För att få ett mätvärde som tog hänsyn till C-A-differensen lades en konstant till varje dB(A)-värde som beräknades utifrån att varje steg om 0,1 i den logaritmerade skalan motsvarar 3,5 dB och att störningsskattningen ökade med 0,0125 för varje ökning med en dB av C-A-differensen. Detta korrigerade dB(A)-värde visade en något bättre samband med skattningen än dB(A)-nivån. Korrelationen steg från 0,420 till 0,436.

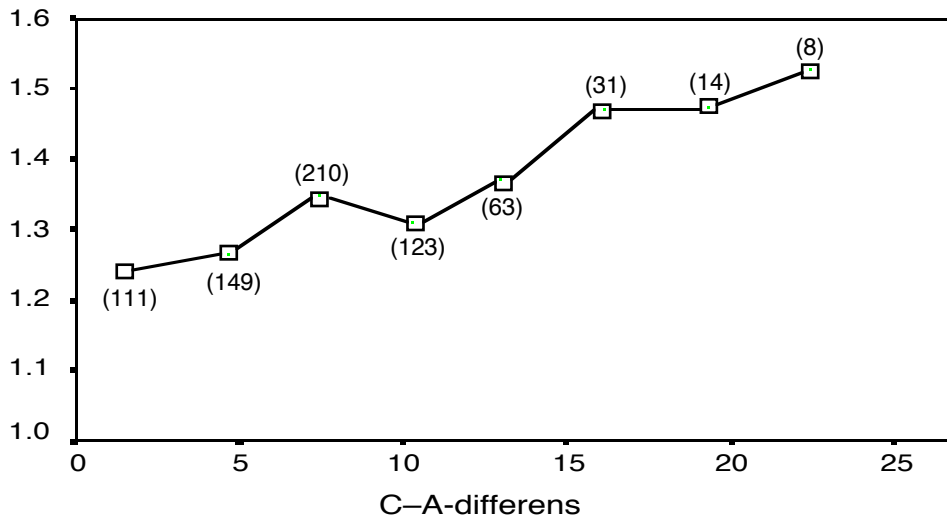
Eftersom denna korrigeringsmetod blir ganska komplicerad prövades även två enklare korrigeringar. Den ena innebar att C-A-differensen delades in i tre klasser: 0–6, 6–15 samt >15 dB. 4 dB lades till dB(A)-värdet då C-A-differensen låg mellan 6 och 15 dB, och 8 dB då den var större än 15 dB. Denna förenkling innebar inte någon egentlig förändring av korrelationen (0,437) jämfört med den mer komplicerade korrektionsmetoden.

Logaritmerade kalibrerade skattningar



Figur 5. Linjär funktion anpassad till medelskattningar i 14 grupper exponerade för olika ljudnivåer (successiva 3 dB(A)-klasser). Antalet personer som ingick i gruppen ges i parentes.

Nivåkorrigerad logaritmerad kalibrerad störningsskattning



Figur 6. Medelvärden av skattningar som korrigerats för sambandet med ljudnivå i 8 grupper med olika stor C-A-differens (successiva 3 dB-klasser). Antalet personer som ingick i gruppen ges i parentes.

En ytterligare förenkling prövades där C-A-differensen delades in i två klasser: över eller under 15 dB. Medelskattningen i de tre högsta C-A-differensgrupperna var 1,3076 och i de fem lägre 1,4808. Skillnaden var alltså 0,1732, vilket motsvarar en nivåskillnad på ungefär 6 dB. Då 6 dB lades till dB(A)-värdet i de fall där C-A-differensen var större än 15 blev korrelationen med störningsskattningen till 0,428, d v s något sämre än då två konstanter användes. Konstanten 7 dB gav samma resultat medan andra konstanter gav en något mindre förbättring av korrelationen.

Tabell 6. Faktisk grupptillhörighet (ostörda–störda) och grupptillhörighet predicerad med logistisk regression utifrån den A-vägda ekvivalenta ljudnivån.

		Predicerad grupptillhörighet		% korrekt
		Ostörda	Störda	Sensit./specif.
Faktisk grupp-	Ostörda	183	68	72,91
tillhörighet	Störda	84	167	66,53
Totalt:				69,72

$\text{Tau}_p=0,394$ $R^2_L: 0,142$

Tabell 7. Faktisk grupptillhörighet (ostörda–störda) och grupptillhörighet predicerad med logistisk regression utifrån den A-vägda ekvivalenta ljudnivån samt skillnaden mellan den A- och den C-vägda nivån.

		Predicerad grupptillhörighet		% korrekt
		Ostörda	Störda	Sensit./specif.
Faktisk grupp-	Ostörda	182	69	72,5
tillhörighet	Störda	78	173	68,9
Totalt:				70,7

$\text{Tau}_p=0,414$ $R^2_L: 0,158$

Tabell 8. Faktisk grupptillhörighet (ostörda–störda) och grupptillhörighet predicerad med logistisk regression utifrån den A-vägda ekvivalenta ljudnivån med ett 6 dB påslag i de fall där C-A-differensen var större än 15 dB.

		Predicerad grupptillhörighet		% korrekt
		Ostörda	Störda	Sensit./specif.
Faktisk grupp-	Ostörda	183	68	72,9
tillhörighet	Störda	79	172	68,5
Totalt:				70,7

$\text{Tau}_p=0,414$ $R^2_L: 0,149$

Logistisk regressionsanalys av de okalibrerade skattningarna

För den logistiska regressionsanalysen bildades två grupper: De 251 relativt ostörda personer som utgjorde tredjedelen med de lägsta skattningarna (0–14) och de 251 personer som avgivit de högsta skattningarna (32–100). Grupptillhörighet var beroende variabel i analysen och dB(A) samt C-A-differensen de oberoende variablerna. R^2_L samt Tau_p anges i tabell 6–9 som mått på modellenpassningen resp förmågan att predicera grupptillhörighet (13).

Resultatet visade att redan utifrån dB(A)-nivån kunde 69,73 procent av personerna placeras i rätt grupp (Tabell 6). Då C-A-differensen lades till identifierades ytterligare sju av de störda, men samtidigt kom fem ostörda personer då att placeras i den störda gruppen (Tabell 7). C-A-differensen ökade förbättrade alltså sensitiviteten samtidigt som den försämrade specificiteten. Tau_p ökade med 0,02 och modell-

Tabell 9. Faktisk grupptillhörighet (ostörda–störda) och grupptillhörighet predicerad med logistisk regression utifrån den A-vägda ekvivalenta ljudnivån med ett 4 dB påslag i de fall där C-A-differensen var större än 6–15 dB och 8 dB då den var över 15 dB.

		Predicerad grupptillhörighet		% korrekt
		Ostörda	Störda	Sensit./specif.
Faktisk grupp-	Ostörda	180	71	71,7
tillhörighet	Störda	80	171	68,1
			Totalt:	69,9

$\text{Tau}_p=0,398$ $R^2_L: 0,155$

anpassningen förbättrades från 0,394 till 0,414. Denna mycket måttliga förbättring var dock statistiskt signifikant ($\text{Chi}^2=11,15$, $\text{df}=1$, $p=.0008$).

För att pröva användbarheten av det enkla korrigerade dB(A)-värdet (+6 dB då C-A-differensen var större än 15 dB) gjordes även en logistisk regressionsanalys med enbart denna variabel som oberoende variabel. Modellanpassningen visade sig bli något sämre än då både dB(A) och C-A-differensen togs med i analysen. Prediktionen av grupptillhörighet blev dock lika bra som med båda variablerna (tabell 8). Den korrektion som innebar att 4 eller 8 dB lades till dB(A)-värdet beroende på C-A-differensens storlek gav en något sämre modellanpassning (Tabell 9).

Diskussion

Resultatet visar att C-A-differensen avspeglar en bulleregenskap som kan ha betydelse för störningsreaktionen på lågfrekvent buller. Men det står också klart att dess förklaringsvärde är mycket begränsat. Den förklarade andelen av variansen i skattningarna ökade bara med 1,4 procent, och endast ytterligare 0,7 procent av de störda identifierades genom att C-A-differensen togs med i analysen. Den stora undersökningsgruppen gjorde dock att dessa små bidrag var statistiskt signifikanta. Vid bedömningen av detta resultat bör man dock hålla i minne att C-A-differensen inte i något fall nådde upp till 25 dB, dvs till den nivå där Byggnadsstyrelsen antagit att de svåra störningsproblemen uppstår (3).

Den enklaste korrektionsmetoden, påslag med 6 dB då C-A-differensen var större än 15 dB, gav inte påtagligt sämre resultat än de mer komplicerade metoderna.

Regressionskoefficienten i den linjära funktionen som beskrev sambandet mellan ljudnivå och de logaritmerade kalibrerade skattningarna (0,0265, se figur 5) stämmer påfallande väl med den som brukar erhållas i hörstyrkestudier under kontrollerade förhållanden i laboratoriet (15); skattad störning fördubblades med varje steg om 11,3 dB. Som en tumregel brukar man ange regressionskoefficienten som 0,03, och att hörstyrkan fördubblas med varje ökning med 10 dB.

Noteras bör att C-A-differensen även kan förstärkas av höga nivåer i frekvensområdet 250–500 Hz. Ett buller som har höga energier inom detta område skulle i extrema fall kunna ge C-A-differenser som är större än 15 dB trots att bullret alltså inte har en lågfrekvent karaktär.

En annan allvarlig begränsning i detta tillvägagångssätt att predicera störningsrisken för lågfrekvent buller inte alltid upplevs som mer störande än högfrekvent vid samma dB(A)-nivå. Lågfrekventa toner tycks således mindre störande än högfre-

kventa toner (4). Vid jämförelse mellan hög- och lågfrekvent buller med tonkaraktär kan alltså ljudet med den större C-A-differensen upplevas som mindre störande än det med den lägre differensen.

Ett ytterligare problem kan uppstå som följd av att hörperceptionströskeln ligger mycket högt för de lägsta frekvenserna, och att det därför är vanligt att de lägsta frekvenserna i t ex ventilationsbuller, inte når över tröskelnivån. Om ljudnivån är låg kan sådana ohörbara lågfrekventa ljud bidra till C-A-differensen, utan att påverka störningsreaktionen.

Med dessa reservationer förefaller C-A-differensen ha en viss användbarhet som indikator på risken att bullrets lågfrekventa karaktär skulle kunna göra det mer störande än vad dB(A)-nivån indikerar.

Samtidigt är det viktigt att påpeka att varken alternativa vägningsfilter eller hänsyn till C-A-differensen väsentligt förbättrade möjligheten att förutsäga personernas störningsskattningar jämfört med vad som var möjligt enbart utifrån dB(A)-nivån. Resultaten innebär dock inte att A-vägningen utan större risk alltid kan användas vid utvärdering av buller oavsett om detta är hög- eller lågfrekvent. Laboratieförsök har klart visat att ett lågfrekvent ljud kan upplevas som betydligt starkare och mer störande än ett högfrekvent med samma A-vägda ljudnivå (2, 5, 14). Skillnaden mellan de låg- och högfrekventa ljudens frekvenssammansättning har dock i dessa fall varit ännu mycket större än i studie 1. Sådana skillnader kan även vara aktuella i mer realistiska sammanhang, t ex då man jämför ljudet från två olika ljudkällor. När man som i föreliggande studie jämför den totala ljudmiljön på inomhusarbetsplatser är det dock mindre troligt att vägningsförfarandet spelar någon avgörande roll.

Referenser

1. Aldenderfer MS, Blashfield RK. *Cluster analysis*. London: Sage publications, 1984.
2. Broner N, Leventhall HG. A modified PNdB for assessment of low frequency noise. *J Sound Vib* 1980;73:271-277.
3. Byggnadsstyrelsen. *Lågfrekvent buller från ventilationsanläggningar*. Byggnadsstyrelsen, 1982
4. International Standardization Organization. *ISO 532 Acoustics – Methods for calculating loudness level*. Geneva: ISO, 1975:
5. Kjellberg A, Goldstein M. Loudness assessment of band noise of varying bandwidth and spectral shape. An evaluation of various frequency weighting networks. *J Low Freq Noise Vib* 1985;4:12-26.
6. Kjellberg A, Landström U, Löfstedt P, Wide P, Åkerlund E. *Bedömning av upplevd bullerstörning i arbetet.. Arbete och Hälsa* 1988;30.
7. Kjellberg A, Landström U, Tesarz M, Söderberg L, Åkerlund E. The effects of non-physical noise characteristics, ongoing task and noise sensitivity on annoyance and distraction due to noise at work. *J Environ Psychol* 1996; 16:123–136..
8. Landström U, Kjellberg A, Byström M. Acceptable levels of sounds with different spectral characteristics during the performance of a simple and a complex non-auditory task. *J Sound Vib* 1993;160:533–542.
9. Landström U, Kjellberg A, Söderberg L. Spectral character, exposure levels and adverse effects of ventilation noise in offices. *J Low Freq Noise Vib* 1991;10:83–91.
10. Landström U, Kjellberg A, Tesarz M, Åkerlund E. *Samband mellan exponeringsnivå och störningsgrad för buller i arbetslivet. Arbete och Hälsa* 1992;42.
11. Landström U, Kjellberg A, Tesarz M, Åkerlund E. Exposure levels, tonal components and noise annoyance in working environments. *Environ Int* 1995;21:265–275.

12. Landström U, Löfstedt P, Åkerlund E, Kjellberg A, Wide P. Noise and annoyance in working environments. *Environ Int* 1990;16:555–559.
13. Menard S. *Applied logistic regression*. London: Sage, 1995
14. Persson K, Björkman M. Annoyance due to low frequency noise and the use of the dB(A) scale. *J Sound Vib* 1988;127:491-497.
15. Scharf B. Loudness. In: Carterette EC, Friedman MP, eds. *Handbook of perception. Vol 4*. New York: Academic Press, 1978: 187–242.
16. Socialstyrelsen. *Förslag till allmänna råd: Buller bostäder och andra lokaler*. Stockholm: Socialstyrelsen, 1995.
17. Tesarz M, Kjellberg A, Holmberg K, Landström U. Calibration of ratings of noise annoyance at work. *J Sound Vib* 1996;in press:.

Insänt 1996-09-23

Sammanfattning

Kjellberg A, Holmberg K, Landström U, Tesarz M, Bech-Kristensen, T. Lågfrekvent buller: En prövning av sambandet mellan några tekniska utvärderingsmått och upplevd störning. *Arbete och Hälsa* 1997;1.

I studie 1 som omfattade 508 personer från flera typer av arbetsplatser prövades olika frekvensvägda ljudnivåers samband med upplevd störning. Klusteranalys användes för att välja ut en grupp om 72 personer där hälften var exponerad för lågfrekvent och hälften för högfrekvent buller. Urvalet gjordes för att maximera möjligheten att diskriminera mellan de frekvensvägda nivåernas samband med störning. Regressionsanalyser gav inte något stöd för att den B-, C- eller D-vägda skulle vara överlägsen den A-vägda nivån för utvärdering av lågfrekvent bullerexponering. Studie 2 som omfattade 709 personer prövade om man kan förbättra prediktionen av upplevd störning genom att utöver den A-vägda nivån också ta hänsyn till skillnaden mellan den C- och A-vägda nivån. Multipla och logistiska regressionsanalyser visade att C-A-differensen gav ett signifikant men mycket litet bidrag till förklaringen av skillnaderna i störningsupplevelse.

Nyckelord: Lågfrekvent buller, frekvensvägning, störning, arbetsplats.

Summary

Kjellberg A, Holmberg K, Landström U, Tesarz M, Bech-Kristensen, T. Low frequency noise annoyance: A test of some technical assessment methods. *Arbete och Hälsa* 1997;1.

Study 1, including 508 persons from several types of work places, analyzed the correlations between different frequency weighted sound levels and annoyance. Using cluster analysis a group of 72 persons was selected half of which was exposed to low frequency noise and the other half to high frequency noise. The selection was made to maximize the possibility to discriminate between the ability of the different methods to predict rated annoyance. The regression analyses did not show any weighting to be superior to the A weighting for assessment of low frequency noise exposure. Study 2, including 709 persons, tested whether the prediction of annoyance could be improved by taking consideration both to the A-weighted level and to the difference between the A- and C-weighted sound levels. Multiple and logistic regression analyses showed that the C-A difference made a significant, although very small, contribution to the explanation of differences in annoyance ratings.

Key words: Low frequency noise, frequency weighting, annoyance, work places.