

Slutrapport Forskningsprogrammet TVANE

**Effekter av buller och vibrationer från tåg-
och vägtrafik - tågbonus, skillnader och
samverkan mellan tåg- och vägtrafik**



Evvy Öhrström, Docent
Anita Gidlöf-Gunnarsson, Fil.Dr
Mikael Ögren, Tekn.Dr
Tomas Jerson, Ingenjör

Rapport nr 1:2011
Enheten för Arbets- och miljömedicin
Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa





Denna rapport utgör slutrapport inom forskningsprogrammet TVANE - Effekter av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik - tågbonus, skillnader och samverkan mellan tåg- och vägtrafik. TRV 2010/23572 (Tidigare Banverket Dnr: S07-5094/AL50 samt Dnr: S07-5095/AL50.)

Tryck:

Intellecta Infolog AB, Göteborg, 2011

Rapporten finns att hämta som pdf.fil på www.tvane.se och www.trafikverket.se eller kan beställas från nedanstående adress:

Enheten för Arbets- och miljömedicin
Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa
Sahlgrenska akademien vid Göteborgs universitet
Box 414, 405 30 Göteborg
ISBN 978-91-978916-4-6

Telefon: 031 – 786 63 00
E-post: amm@amm.gu.se
Hemsida: www.amm.se



Resultat och slutsatser från forskningsprogrammet TVANE
Effekter av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik - tågbonus, skillnader
och samverkan mellan tåg- och vägtrafik

Slutrapport

Evvy Öhrström, docent¹⁾, Anita Gidlöf-Gunnarsson, fil.dr¹⁾
Mikael Ögren, tekn.dr²⁾ och Tomas Jerson, ingenjör³⁾

¹⁾ Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet
Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa
Enheten för Arbets- och miljömedicin
Box 414, SE- 405 30 Göteborg

²⁾ Statens Väg- och Transportforskningsinstitut
Box 8072, SE-402 78 Göteborg

³⁾ WSP Environmental Akustik
Box 130 33, SE- 415 26 Göteborg

Förord

Forskningsprogrammet TVANE (Effekter av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik, tågbonus, skillnader och samverkan mellan tåg- och vägtrafik) har bedrivits i samarbete mellan Avdelningen för samhällsmedicin och Folkhälsa, enheten för Arbets- och miljömedicin inom Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, WSP Environmental Akustik, Göteborg och Statens Väg- och Transportforskningsinstitut, Göteborg. Projektet startade under våren 2006 och avslutades våren 2011.

Forskningsprogrammet har fokuserat på att studera hur buller och vibrationer från tågtrafik upplevs av människor i deras boendemiljö med avseende på allmän störning, påverkan på olika dagliga aktiviteter inomhus och utanför bostaden samt hur de störs av buller och vibrationer under sin sömn. Jämförande studier har belyst skillnader i upplevelse av vägtrafikbuller och tågbuller och hur antalet tåg per dygn inverkar på olika upplevda effekter. Det förekommer ofta att bostäder är utsatta för buller både från stora trafikleder och från järnvägslinjer med hög trafikering. TVANE-programmet har studerat hur människor upplever trafikbuller i sådana situationer.

Som ett komplement till fältepidemiologiska studier har experimentella studier under väl kontrollerade exponeringsförhållanden och hemlika miljöer genomförts i Ljudmiljölaboratoriet vid Arbets- och miljömedicin. I ett experiment har effekter på sömnen av vibrationer och buller från tågtrafik studerats och ett annat sömnexperiment har belyst effekter av vägtrafikbuller och tågbuller.

För att kunna bestämma exponeringen för buller och vibrationer på de platser där undersökningarna genomförts har ett stort antal mätningar och beräkningar utförts inom projektet. Beräkningarna är utförda enligt de standardiserade nordiska metoderna för buller från tåg- och vägtrafik. Mätningarna genomfördes dels som korta stickprov av buller och vibrationer, dels som mer omfattande vibrationsmätningar under ett dygn för att kartlägga vibrationsexponeringen i de områden som var känsliga för markvibrationer.

Denna rapport redovisar övergripande resultat och slutsatser från de olika studierna samt en övergripande diskussion och slutsatser baserade på dessa delstudier, studier som ingår i litteraturöversikten av Öhrström & Skånberg (2006) samt ny litteratur inom området. För detaljer om metod och resultat hänvisas till respektive delrapporter som finns förtecknade i denna rapport jämte sammanfattningar. Rapporterna kan även laddas ner från projektets hemsida (www.tvane.se) som kommer att läggas in på Trafikverkets hemsida (www.trafikverket.se).

Undersökningarna har finansierats med medel från Banverket som beviljats projektet "Effekter av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik - tågbonus, skillnader och samverkan mellan tåg- och vägtrafik", BV:s Dnr: S07-5094/AL50 samt Dnr: S07-5095/AL50. Dnr TRV 2010/23572.

Projektet är godkänt av Regionala etikprövningsnämnden i Göteborg 7 januari 2007, Dnr: 567-06.

Innehållsförteckning

Del 1

1. INLEDNING OCH BAKGRUND	9
1.1 Trafikbuller som miljöhälsoproblem	9
1.2 Störning och andra hälsoeffekter av tågbuller – behov av ny kunskap	10
1.2.1 Effekter av tågbuller jämfört med vägtrafikbuller	10
1.2.2 Effekter av tågtrafik vid samtidig förekomst av buller och vibrationer	11
1.2.3 Störning vid samtidig exponering för tågbuller och vägtrafikbuller	11
2. SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	12
3. METOD OCH MATERIAL	13
3.1 Fältstudier	13
3.1.1 Utvärdering av effekter av exponering för tåg- och vägtrafik	14
3.1.2 Bestämning av bullerexponering	14
3.1.3 Bestämning av vibrationer	15
3.1.4 Undersökningsmaterial	16
3.2 Experimentella studier i ljudmiljölaboratorium	17
3.2.1 Experiment 1: Studier av effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tågtrafik	17
3.2.2 Experiment 2: Studier av effekter på sömnen av vibrationer och buller från tågtrafik	18
3.2.3 Utvärdering av effekter på sömnen i experiment 1 och 2	18
3.3 Reanalyser av data från studien av effekter av buller från tåg- och vägtrafik i Lerum	19
3.4 Mätning och beräkning av buller och vibrationer	20
3.4.1 Beräkning av buller från väg- och tågtrafik vid försöksområden	20
3.4.2 Stickprovsmätningar av buller	20
3.4.3 Noggrannhet hos bullerberäkningarna	21
3.4.4 Beräkning av antal tågpassager som ger maximal nivå över 70 dB	21
3.4.5 Mätning och beräkning av vibrationer i hus och mark	22
3.4.6 Bullerskärmar i Sollentuna och några kommentarer från de boende	23

Del 2

4. EFFEKTER AV TÅGBULLER OCH VÄGTRAFIKBULLER PÅ ALLMÄN STÖRNING OCH OLIKA AKTIVITETER DAGTID	27
4.1 Allmän störning av buller i relation till $L_{Aeq,24h}$ och L_{den}	28
4.1.1 Hur störande är buller från vägtrafik (Kungälv och Borås) jämfört med buller från tågtrafik i områden med relativt många tåg (Töreboda och Falköping)?	28
4.1.2 Hur störande är tågbuller vid järnvägar med mycket stort antal tåg (Sollentuna) jämfört med områden med relativt många tåg (Töreboda och Falköping)?	28
4.1.3 Störning av vägtrafikbuller och störning av tågbuller i tre olika situationer: relativt många tåg, mycket stort antal tåg och starka vibrationer	29
4.2 Allmän störning av buller i relation till uteplatsens och sovrumsfönstrens läge i förhållande till järnväg och väg	30
4.3 Störning av aktiviteter dagtid (samtal, lyssning, vila/avkoppling)	33
4.3.1 Störning av samtal	33
4.3.2 Störning vid lyssning på radio/TV	34
4.3.3 Störning av vila/avkoppling	34

4.4	Uteplatsens/balkongens läge och dess betydelse för påverkan på samtal och avkoppling utomhus	35
4.5	Kommentarer och slutsatser	36
4.5.1	Allmän störning	36
4.5.2	Störning av olika aktiviteter dagtid	37
4.5.3	Slutsatser	37
5.	EFFEKTER AV SAMTIDIG EXPONERING FÖR BULLER OCH VIBRATIONER FRÅN TÅGTRAFIK	41
5.1	Allmän störning av buller i relation till $L_{Aeq,24h}$ i områden med respektive utan starka vibrationer	42
5.2	Allmän störning av vibrationer i relation till vibrationsnivå i mm/s i mark respektive i hus	43
5.2.1	Störning av vibrationer i relation till vibrationsnivå i mark	43
5.2.2	Störning av vibrationer bland boende i småhus i relation till vibrationsnivå i mark	43
5.2.3	Störning av vibrationer i relation till vibrationsnivå i hus bland boende i småhus i Kungsbacka	44
5.3	Allmän störning av vibrationer och buller i relation till avstånd mellan bostad och järnväg	45
5.4	Kommentarer och slutsatser	46
5.4.1	Kommentarer	46
5.4.2	Slutsatser	46
6.	SÖMNSTÖRNINGAR AV BULLER FRÅN VÄG- OCH TÅGTRAFIK SAMT SÖMNSTÖRNINGAR AV VIBRATIONER FRÅN TÅGTRAFIK – FÄLTSTUDIER OCH EXPERIMENTELLA STUDIER	49
6.1	Sömnstörningar av tågbuller och vägtrafikbuller i relation till ljudnivå i L_{natt}	50
6.1.1	Sovrumsfönstrets läge har stor betydelse för sömnstörningar	51
6.2	Sömnstörningar vid samtidig exponering för vibrationer och buller från tågtrafik	54
6.2.1	Samband mellan sömnstörningar av tågtrafik och vibrationsnivå i hus	55
6.3	Kommentarer och slutsatser	57
6.3.1	Sömnstörningar av vägtrafikbuller och tågbuller	57
6.3.2	Sömnstörningar av vibrationer och buller från tågtrafik	59
6.3.2	Slutsatser	60
7	SAMVERKANSEFFEKTER VID EXPONERING FÖR BULLER FRÅN BÅDE TÅGTRAFIK OCH VÄGTRAFIK	63
7.1	Störning av buller från enskilda källor (tåg- eller vägtrafik) då de förekommer enskilt respektive samtidigt som en annan källa (tåg- och vägtrafik) i relation till $L_{Aeq,24h}$	63
7.2	Störning av den totala trafikljudmiljön (total störning) i relation till summerad buller-exponering från vägtrafik och tåg ($L_{Aeq,24h,tot}$)	65
7.3	Kommentarer och slutsatser	65
8.	EFFEKTER AV TÅGBULLER: DOS-RESPONS SAMBAND MELLAN BULLERNIVÅER BERÄKNADE PÅ 2 M OCH 4 M HÖJD OCH STÖRNING	69
9.	ANTAL TÅG PER MAXTIMME PÅ UTEPLATS OCH SAMBAND MED STÖRNINGSUPPLEVELSE	72
9.1	Störning av tågbuller vid samtal och avkoppling på uteplats – vilken betydelse har antalet tågpassager och den maximala ljudnivån?	73
9.2	Samband mellan allmän störning av tågbuller och antal tåg/maxtimme över L_{AFmax} 70 dB	74
9.3	Kommentarer och slutsatser	74
10.	SLUTSATSER I SAMMANDRAG	75

11. REFERENSER	78
----------------------	----

APPENDIX

1 Översiktstabeller av resultat från delstudierna	82
2 Förteckning av delrapporter inom TVANE-projektet samt sammanfattningar från dessa.....	92
3 Förteckning över rapporter och övriga publikationer inom TVANE-projektet	102
4 Dos-responssamband för allmän störning och sömnstörning av buller från vägtrafik och tågtrafik (EU position papers 2002 och 2004 samt Miedema et. al., 2001 och 2002)	105
5 Begreppsordlista	106
6 Referensgrupp.....	108

Del 1

I denna del av rapporten beskrivs bakgrunden till TVANE-projektet och dess syfte och frågeställningar. Här beskrivs vilka olika studier, experimentella och fältepidemiologiska, som genomförts samt undersökningsmaterialets omfattning. Denna del beskriver vidare vilka undersökningsmetoder som använts för att fastställa effekter på människor och vilka metoder som använts för att mäta och beräkna exponering för buller från vägtrafik och tåg samt att mäta och beräkna vibrationer från tåg i mark samt inne i hus.

1. INLEDNING OCH BAKGRUND

1.1 Trafikbuller som miljöhälsoproblem

Buller från tåg, vägtrafik och flyg ger upphov till störning och besvärreaktioner av olika slag (se Öhrström, 2004a; WHO, 2000; WHO, 2009; Handlingsplan mot buller, 1993). De vanligaste hälsoeffekterna, utöver allmän störning, är samtalsstörning, och effekter på vila och avkoppling samt sömnstörningar. Buller kan leda till negativa effekter på prestation och inlärning genom att koncentrationsförmåga och möjligheten att uppfatta tal försämras. Trafikbuller av olika slag ger även upphov till psykologiska och fysiologiska stressrelaterade symptom och påverkar därigenom det allmänna välbefinnandet. Allt fler undersökningar under senare år visar att det föreligger ökad risk för hjärt-kärlsjukdom, högt blodtryck och hjärtinfarkt vid höga bullernivåer orsakade av flyg- och vägtrafik (Babisch, 2006).

Litteraturen visar att tågbuller upplevs mindre störande än vägtrafikbuller. Skillnaden i dos/responskurvorna är ca 5 dB vilket brukar kallas tågbonus. Buller från spårtrafik har i de av riksdagen antagna riktvärdena (1996/97: 53, TU7) tilldelats 5 dB bonus, $L_{Aeq,24h}$ 60 dB istället för 55 dB, men endast vid åtgärd i järnväg eller annan spåranläggning och bara "i bostadsområdet i övrigt". För buller på uteplats och inomhus gäller samma riktvärden för tågbuller och vägtrafikbuller ($L_{Aeq,24h}$ 55 dB och L_{AFmax} 70 dB respektive $L_{Aeq,24h}$ 30 dB och $L_{AFmax,22-06h}$ 45 dB). Riktvärdena vid nybyggnation av bostadsbebyggelse är gemensamma för tåg- och vägtrafik. Riktvärdena bör normalt inte överskridas vid nybyggnation av bostadsbebyggelse eller vid nybyggnation eller väsentlig ombyggnad av trafikinfrastruktur. Boverkets allmänna råd (Boverket, 2008) har möjliggjort ny bostadsbebyggelse i bullerutsatta lägen där ljudnivåerna från trafik väsentligt överskrider riksdagens riktvärden och WHO:s riktlinjer till skydd mot negativa hälsoeffekter av buller (WHO, 2000; WHO 2009). Boverkets allmänna råd (2008:1) medger avsteg från huvudregeln $L_{Aeq,24h}$ 55 dB i ett antal olika avstegsfall vid planering av ny bostadsbebyggelse: (1) då ljudnivån överstiger 55-60 dB, (2) 60-65 dB samt, (3) "vid synnerliga skäl", då ljudnivån överstiger 65 dB. Det allmänna rådet anger att avvägningar mellan kraven på ljudmiljön och andra intressen bör kunna övervägas "i centrala delar av städer och större tätorter med bebyggelse av stadskaraktär, till exempel ordnad kvartersstruktur". Det sägs vidare att avsteg kan motiveras vid komplettering av befintlig bebyggelse längs kollektivtrafikstråk i större städer samt vid komplettering med ny tätare bebyggelse, till exempel ordnad kvartersstruktur längs kollektivtrafikstråk i större städer.

EU-direktivet om omgivningsbuller (2002/49/EG) antogs 2002 med syfte att fastställa ett gemensamt tillvägagångssätt för att "på grundval av prioriteringar förhindra, förebygga eller minska skadliga effekter, inbegripet störningar, p.g.a. exponering för omgivningsbuller". EU-direktivet har implementerats i den svenska lagstiftningen genom en förordning om omgivningsbuller (Förordning 2004:675) som trädde i kraft 1 september 2004. I förordningen har omgivningsbuller angetts som en miljökvalitetsnorm. Den inledande paragrafen i förordningen lyder: "1 § Genom kartläggning av omgivningsbuller samt upprättande och fastställande av åtgärdsprogram skall det eftersträvas att omgivningsbuller inte medför skadliga effekter på människors hälsa (miljökvalitetsnorm enligt 5 kap. 2 § punkt 4, miljöbalken)".

Buller har även uppmärksamats i det nationella miljökvalitetsmålet God Bebyggd Miljö, som riksdagen fastställde 1998 (Prop. 1997/98:145) samt i den senaste miljömålspropositionen (Prop. 2009/10:155). I generationsmålet gällande 2020 för det delmål som berör buller sägs att "Trafikbullret i tätorter bör minska så att det underskrider gällande riktvärden". Delmålet för år 2010 (Prop. 2000/01:130) är att "Antalet människor som utsätts för trafikbullerstörningar överskridande de riktvärden som riksdagen ställt sig bakom för buller i bostäder skall ha minskat med 5 % till år 2010 jämfört med år 1998".

Cirka 2 miljoner människor i Sverige är utsatta för bullernivåer från olika trafikslag som överskrider riksdagens riktvärde för trafikbuller utanför sin bostad ($L_{Aeq,24h}$ 55 dB). Den senaste beräkningen (Simonsson, 2009) visar att det totalt sett skett en ökning av antalet exponerade för bullernivåer över riktvärden utomhus mellan år 2000 och 2006. År 2006 var enligt beräkningarna 225 000 personer utsatta för ljudnivåer från tågtrafik över riktvärdet $L_{Aeq,24h}$ 55 dB utomhus. Jämfört med Banverkets egna beräkningar är detta en minskning, men tidigare uppskattningar har gjorts med annan metod. För vägtrafik finns en ökande trend. Cirka 1 730 000 personer beräknas år 2006 vara utsatta för ljudnivåer över $L_{Aeq,24h}$ 55 dB jämfört med 1 340 000 personer år 2000, med användande av samma beräkningsmetod.

Miljömålsrådets bedömning (De Facto, 2009; 2010) är att delmålet för buller år 2010 (5 % minskning jämfört med 1998) inte uppnås. Man konstaterar att "Stora insatser med skyddsåtgärder har dämpat bullret *inomhus* för de mest utsatta. Samtidigt har trafikökningen inneburit att fler människor exponeras för ljudnivåer strax över riktvärdena. De mest exponerade har alltså fått minskad belastning, medan fler exponeras för buller i de lägre intervallen." (De Facto, 2009, sid. 65).

1.2 Störning och andra hälsoeffekter av tågbuller – behov av ny kunskap

Järnvägsnätet i Sverige omfattar ca 17 000 spårkilometer. Statens spårplanläggningar utgör ca 80 % eller 11 900 km trafikerad bana varav 3 716 km är dubbelspår och flerspår. Västra och Södra stambanan trafikeras av ca 150-200 tåg per medeldygn. Inom storstäderna trafikeras järnvägarna av 150-500 tåg per medeldygn. På övriga banor är trafiken betydligt glesare (Banverket, 2009). Godstrafiken svarar för ungefär 30 % av det totala antalet tåg och en övervägande del av godstransporterna äger rum nattetid (Öhrström, 2004a). Den pågående utbyggnaden av nya järnvägslinjer och utökad järnvägstrafik på befintliga sträckor kommer sannolikt, på grund av bl.a. miljöskäl, att öka alltmer i framtiden. Kombinationen av tätare tågtrafik med tyngre och snabbare tåg riskerar därför att leda till ökade störningar. Nya studier behöver genomföras för att ge kunskapsunderlag om hur buller och andra störningar från tågtrafiken påverkar människor i deras boendemiljöer.

För att kunna planera åtgärder i existerande situationer, och som stöd vid planering av nyetablering, så är det nödvändigt att ta fram ökade kunskaper och att klargöra hur störande tågbuller är i olika specifika situationer. Hur påverkar ett mycket stort antal tåg störning av tågbuller och kan de skillnader som finns mellan japanska studier (tåg mer störande än vägtrafik) och europeiska studier (tåg mindre störande än vägtrafik) delvis bero på stora skillnader i antal tåg? (1) Kan man förvänta sig en **tågbonus** även i situationer vid mycket starkt trafikerade järnvägar? I vissa, relativt begränsade områden kan tågtrafiken, särskilt tunga godstransporter, ge upphov till vibrationer. (2) Kunskaper om hur störande **buller och vibrationer är i samverkan** behövs för att kunna planera åtgärder som ger maximal nytta av investeringen. I många fall är bostäder belägna nära järnvägar och stora trafikleder och människor utsätts för två, eller **flera, bullerkällor samtidigt**. En konsekvens är att antalet tysta perioder under dygnet minskar, särskilt i de fall när det förekommer godstrafik nattetid. (3) Kunskap om samverkan mellan störning från buller från vägtrafik och tågtrafik är viktig för planering och åtgärder mot buller.

1.2.1 Effekter av tågbuller jämfört med vägtrafikbuller

Tågbuller upplevs mindre störande än vägtrafikbuller (och flygbuller) både när det gäller allmän störning och sömnstörningar enligt de dos-respons samband som tagits fram i meta-analyser baserade på ett stort antal europeiska studier fram t.o.m. 1993 (EU position paper 2002 och 2004). Flera länder (t.ex. Österrike, Frankrike, Tyskland) har därför tilldelat buller från tågtrafik en *bonus på 5 dB* relativt buller från vägtrafik och flyg. I Sverige gäller denna tågbonus för "bostaden i övrigt" vid åtgärd i järnväg eller annan spårplanläggning.

Den sammantagna bedömningen efter den genomgång av litteraturen (Öhrström & Skånberg, 2006) som gjordes inför starten av TVANE-projektet var att det mesta talar för att det finns skäl för en tågbonus när det gäller allmän störning och sömnstörningar, men inte för samtalsstörningar. Resultaten från senare års japanska studier visar dock, till skillnad från de flesta europeiska studierna, att tågbuller kan upplevas som mer störande än vägtrafikbuller vid ljudnivåer över $L_{Aeq,24h}$ 55 dB. Detta gäller särskilt de japanska snabbtågen Shinkansen men även konventionella tåg. Flera av de japanska undersökningarna har gjorts i områden med ett mycket stort antal tåg (ca 500 – 800 tåg per dygn) vilket innebär upptill 1 tåg varannan minut. Så många tåg är mer sällan förekommande i Europa vilket skulle kunna förklara en del av de skillnader som finns mellan japanska och europeiska studier. Den svenska studien i Lerum (Öhrström *et al.*, 2005) invid E20 och Västra Stambanan ger heller inga belägg för en tågbonus vid ljudnivåer över $L_{Aeq,24h}$ 55 dB.

Det saknas svenska studier som belyser effekter av tågbuller i områden med mycket stort antal tåg. Det är väsentligt att belysa effekter på störning, men även sömnstörningar och samtalsstörning behöver studeras för att ge säkrare underlag för att jämföra och bedöma hälsoeffekter av vägtrafikbuller och tågbuller vid järnvägar med medelhög respektive med mycket intensiv tågtrafik och om det ur miljömedicinsk synpunkt är rimligt med en bonus för tågtrafik.

1.2.2 Effekter av tågtrafik vid samtidig förekomst av buller och vibrationer

Markvibrationer i samband med tågtrafik förekommer vid ett relativt begränsat antal bansträckor i Sverige. Totalt beräknades 6 560 lägenheter utmed 141 km bansträcka vara exponerade för vibrationsnivåer $>0,35$ mm/s varav 920 lägenheter vid 26 km bansträcka beräknades utsatta för vibrationsnivåer $>1,4$ mm/s (Pagoldh, 1990). Vibrationsvärdena är omräknade till maximal komfortvägd vibrationshastighet (Göransson, 1991; Öhrström, 2004a). Där kraftiga vibrationer förekommer utgör de ett stort störningsproblem och det är känt från tidigare studier i Sverige (Öhrström & Skånberg 1995; 1996) och Norge (Klaeboe *et al.*, 2003) att störning av tågbuller är högre i områden med markförhållanden (djup lera) som medför att tågtrafiken alstrar starka vibrationer i mark och byggnader. I Banverkets och Naturvårdsverkets policy för buller och vibrationer (2006) anges i kommentarerna till riktvärden för miljökvalitet att "Vid högre vibrationsnivåer än 0,5 mm/s kan vibrationerna bidra till att förstärka upplevelsen av bullerstörningen. Ska man vara säker på att skyddsåtgärden blir effektiv bör man därför vara uppmärksam på att vibrationer inte påverkar störningsbilden. Vid kraftiga vibrationer $>1,0$ mm/s (vägt RMS värde) bör vibrationsåtgärder i första hand vidtas för att sedan bedöma behovet av bullerskyddsåtgärder".

Beroende på vibrationernas styrka ger de upphov till olika typer av störningar. Några exempel på effekter som rapporterats är att föremål rör sig i bostaden, oro för skador på hus och egendom samt sömnstörningar. De resultat rörande samverkan av buller och vibrationer som framkom i litteraturstudien (Öhrström & Skånberg, 2006) visar att det finns en interaktion mellan störning av buller och störning av vibrationer. Störning av buller påverkas av vibrationsnivå (ökad störning av buller vid ökad vibrationsstyrka) men störning av vibrationer varierar på ett mera komplext sätt med bullernivå.

Undersökningar i områden med lika antal tåg och varierande vibrationsnivåer, verifierade med mätningar, är nödvändiga för att belysa effekter av vibrationer vid olika vibrationsnivåer och vid vilken vibrationsnivå som interaktion med buller leder till ökad störningsupplevelse av buller. Kontrollerade experiment i sömnlaboratorium ger möjlighet att studera betydelsen av vibrationer för uppkomst av sömnstörningar.

1.2.3 Störning vid samtidig exponering för tågbuller och vägtrafikbuller

Buller från två eller flera källor, t.ex. vägtrafik och tågtrafik förekommer i många miljöer. För boende eller andra personer som vistas i dessa miljöer är påverkan av den totala ljudmiljön avgörande. Litteraturstudien (Öhrström & Skånberg, 2006) visar att effekter av kombinerade bullerkällor har

undersökts i begränsad omfattning och i de fall olika modeller (t.ex. energisummers- och dominansmodell) prövats för att bedöma samband mellan total bullerexponering och total störning, har undersökningsmaterialet oftast inte varit tillräckligt stort för att medge statistisk prövning av signifikansen av resultaten. De två studier som är baserade på ett relativt stort undersökningsmaterial (Frankrike $n=664$ och Sverige Lerum, $n=1953$), visar att det finns en interaktion som påverkar störningsupplevelsen av var och en av bullerkällorna vid samtidig förekomst av buller från vägtrafik och tåg. Sannolikheten för att bli störd av tågbuller ökar om ljudnivån från vägtrafiken överstiger $L_{Aeq,24h}$ 55 dB, omvänt råder samma förhållande för störning av vägtrafikbuller vid samtidig förekomst av tågbuller. Den totala störningen av tåg- och vägtrafikbuller var i Lerumsstudien högre i områden med lika exponering för buller från vägtrafik och tåg än i områden som dominerades av en av bullerkällorna.

Det krävs ytterligare forskning för en säkrare bedömning av hur den sammanlagda bullerexponeringen skall beräknas och beskrivas och hur den samvarierar med olika typer av effekter, inte bara allmän störning av buller. En hög samtidig belastning av både väg- och tågtrafik medför att mängden tysta perioder under dygnet minskar. Dessa perioder är väsentliga för vila och återhämtning såväl dagtid som under natten.

2. SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Fyra övergripande frågeställningar har formulerats inom forskningsprogrammet TVANE:

1. **Är en tågbonus befogad?**
- dvs. upplevs tågbuller som mindre störande (allmänt och under sömn) än vägtrafikbuller vid samma ljudnivå?
2. **Finns det samverkans effekter vid samtidig exponering för vibrationer och buller från tågtrafik?**
- dvs. är tågtrafik mer störande i områden utsatta för både buller och vibrationer jämfört med i områden där tågtrafiken inte ger upphov till markvibrationer. Vilken betydelse har vibrationer för sömnkvalitet?
3. **Finns det samverkans effekter vid samtidig exponering för buller från vägtrafik och tågtrafik?**
- dvs. är störning av respektive bullerkälla högre i områden där det förekommer flera bullerkällor samtidigt jämfört med när det bara finns en bullerkälla?
4. **Hur stör tågbuller då antalet tåg per dygn är mycket stort?**
- dvs. är tågtrafik mer störande (vid samma medelljudnivå) vid järnvägar med ett mycket stort antal tåg per dygn jämfört med järnvägslinjer med färre tåg?

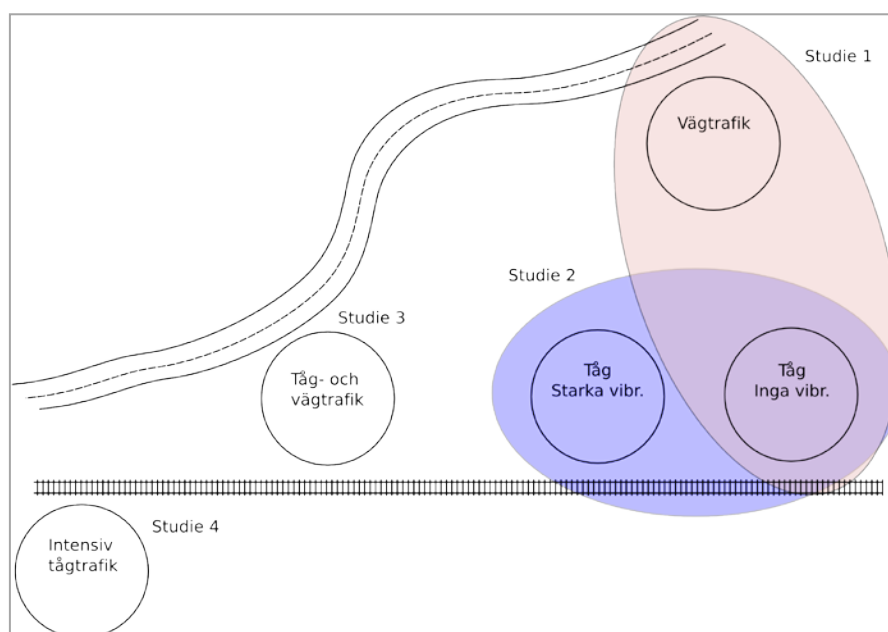
För att besvara dessa frågeställningar har fältstudier, laboratorieexperiment samt reanalyser av data från en tidigare studie av effekter av tågtrafik och vägtrafik i Lerums kommun genomförts.

Inom forskningsprogrammet har analyser av den totala mängden insamlade data från fältstudier i de olika tågområdena gjort det möjligt att även belysa två ytterligare frågeställningar om (5) **samband mellan effekter av tågbuller och bullernivå beräknad på 2 respektive 4 m höjd** och (6) **samband mellan effekter av tågbuller och antal tåg per maxtimme $>L_{AFmax}$ 70 dB på uteplats**.

3. METOD OCH MATERIAL

För att besvara programmets olika frågeställningar har 3 fältstudier, 2 experimentella studier samt reanalyser av en tidigare fältstudie genomförts. För detaljer om undersökningsmetod och material se delrapporter för respektive studie.

3.1 Fältstudier



Figur 3.1. Schematisk skiss över fältstudierna.

Studie 1 utfördes i områden med vägtrafik (Borås och Kungälv nära E40 respektive E6) och i områden med tågtrafik där tågtrafiken inte gav upphov till några markvibrationer (Töreboda och Falköping nära Västra Stambanan) för att belysa om en tågbonus är befogad (*frågeställning 1*).

I *Studie 2* jämfördes resultat från tågområdena i Studie 1 med nya studier i ett tågområde där tågtrafiken gav upphov till starka markvibrationer (Alingsås och Kungsbacka nära Västra Stambanan respektive Västkustbanan) för att belysa om det finns samverkans effekter vid samtidig exponering för vibrationer och buller från tågtrafik (*frågeställning 2*).

Studie 3 utgjordes av reanalyser av data från en tidigare fältstudie i Lerums tätort (belägen mellan Göteborg och Alingsås), i områden exponerade för både tågtrafik och vägtrafik nära Västra Stambanan och E20. Analyser av data belyser om det finns samverkans effekter vid exponering för två olika bullerkällor (*frågeställning 3*).

Studie 4 utfördes i ett av de områden i landet som är utsatt för mest intensiv tågtrafik (Sollentuna nära Ostkustbanan). I denna studie belyses effekter av ett mycket stort antal tåg (*frågeställning 4*) och jämförelser görs dels med områden med färre tåg per dygn och dels med tidigare studier i samma område i Sollentuna 7 år tidigare.

3.1.1 Utvärdering av effekter av exponering för tåg- och vägtrafik

Undersökningar av effekter av tågbuller och vägtrafikbuller utfördes med hjälp av frågeformulär om upplevelse av boendemiljö, hälsa och välbefinnande samt störning och annan påverkan av tågbuller och vägtrafikbuller. Formuläret är baserat på de formulär som tidigare använts i olika större epidemiologiska studier av bullerstörningar i Sverige, t.ex. i undersökningar av effekter av buller och vibrationer från tåg (Öhrström & Skånberg, 1995; 1996) samt studier inom forskningsprogrammet "Ljudlandskap för bättre hälsa" (Öhrström *et al.*, 2006) och studien i Lerum (Öhrström *et al.*, 2005; 2007). Frågeformuläret innehåller totalt 50 frågor (exklusive delfrågor) och består av följande 5 delar:

(A) *Bostad och boendemiljö.* I avsnittet om bostaden ingår frågor om boendetid, antal personer i bostaden, småhus eller flerbostadshus. Vidare ställs frågor om antal rum och våningsplan samt typ av fönster i bostaden och dess placering i förhållande till olika bullerkällor. Avsnittet innehåller även frågor om tillgång till balkong eller uteplats och vistelsetid på dem, tillgång till grönområden i närheten samt hur ofta promenader i omgivningen sker. Denna del innehåller vidare frågor om störning av olägenheter av olika slag som kan förekomma i ett bostadsområde (bl.a. buller och lukt från industrier, ljud/buller från tåg och flyg, ventilation, installationer och grannar, buller och avgaser från vägtrafik och vibrationer från tåg- och vägtrafik).

(B och C) *Frågor om vägtrafik respektive tågtrafik.* I dessa avsnitt ingår frågor om störning och påverkan på olika vardagsaktiviteter av buller från tåg- respektive vägtrafik.

(D) *Allmänna frågor.* Innehåller frågor om ålder, kön, civilstånd, självrapporterad ljudkänslighet, försörjningssituation, färd sätt till arbete/studieort samt utbildningsnivå.

(E) *Plats för egna kommentarer.*

Frågeformuläret med introduktionsbrev skickades med post till samtliga utvalda personer mellan 18 och 75 år i de olika undersökningsområdena (flera personer på samma adress ingår). I brevet presenterades undersökningen som en undersökning om boendemiljö och människors hälsa och välbefinnande. Totalt deltog 2 163 personer i de olika undersökningarna 2007 – 2008 inom studie 1, studie 2 och studie 4. Data från undersökningen i Lerum 2004 omfattade 1 953 personer (studie 3). Se översikt av studiematerial i tabell 3.1.

3.1.2 Bestämning av bullerexponering

Bullerexponering ($L_{Aeq,24h}$, L_{den} , L_{natt} och L_{AFmax}) från tågtrafik respektive vägtrafik fastställdes för samtliga deltagare ($n=2163$) och angavs som frifältsvärde (exkl. fasadreflex) vid mest exponerad sida av bostaden. Vidare fastställdes avståndet mellan bostaden och trafikled respektive järnväg. Beräkningar av buller gjordes på 2 m och på 4 m höjd i de olika undersökningsområdena (Borås endast på 2 m höjd). Vid alla analyser användes värdena för 2 m höjd för samtliga bullermått. I avsnitt 8 redovisas jämförande resultat för beräkningar på 2 och 4 m höjd.

Beräkningarna genomfördes med underlag i form av digitala kartor från respektive kommun tillsammans med trafikuppgifter, bank- och skärmhöjder från Banverket och Vägverket. De beräkningsprogram som användes är baserade på de nordiska beräkningsmetoderna för buller och spårbunden trafik och vägtrafik, se vidare om mätning och beräkning av buller under avsnitt 3.4.

Buller och bullermått

Buller definieras som oönskat ljud, och ljudtrycksnivå mäts i dB relativt ett referensljudtryck ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa). I rapporten förkortar vi ofta ljudtrycksnivå till ljudnivå. De olika bullermåtten kallas indikatorer och i denna rapport används följande:

$L_{Aeq,24h}$ - dygnsekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå. Ett slags medelvärde över dygnet.

L_{AFmax} - maximal A-vägd ljudtrycksnivå. Den maximala nivån som förekommer under en viss mättid med en viss föreskriven mättröghet (tidskonstant).

L_{den} – Level day-evening-night. En A-vägd ekvivalent ljudtrycksnivå där alla bullerhändelser under kvällstid (18-22) ökas med 5 dB och alla under nattetid (22-06) ökas med 10 dB. Är alltid högre än eller lika med $L_{Aeq,24h}$.

L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} – Ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå under dagtid (06-18), kvällstid (18-22) och nattetid (22-06).

3.1.3 Bestämning av vibrationer

Totalt genomfördes 20 dygnslånga vibrationsmätningar i undersökningsområdena med starka vibrationer (Kungsbacka och Alingsås) samt i området med ett mycket stort antal tåg (Sollentuna). Samtidigt som stickprovsmätningarna för buller genomfördes i de områden där inga vibrationer förväntades kontrollerades detta med parallella vibrationsmätningar, även i vägområdena. Se vidare om mätning och beräkning av vibrationer under avsnitt 3.4.

Vibrationer

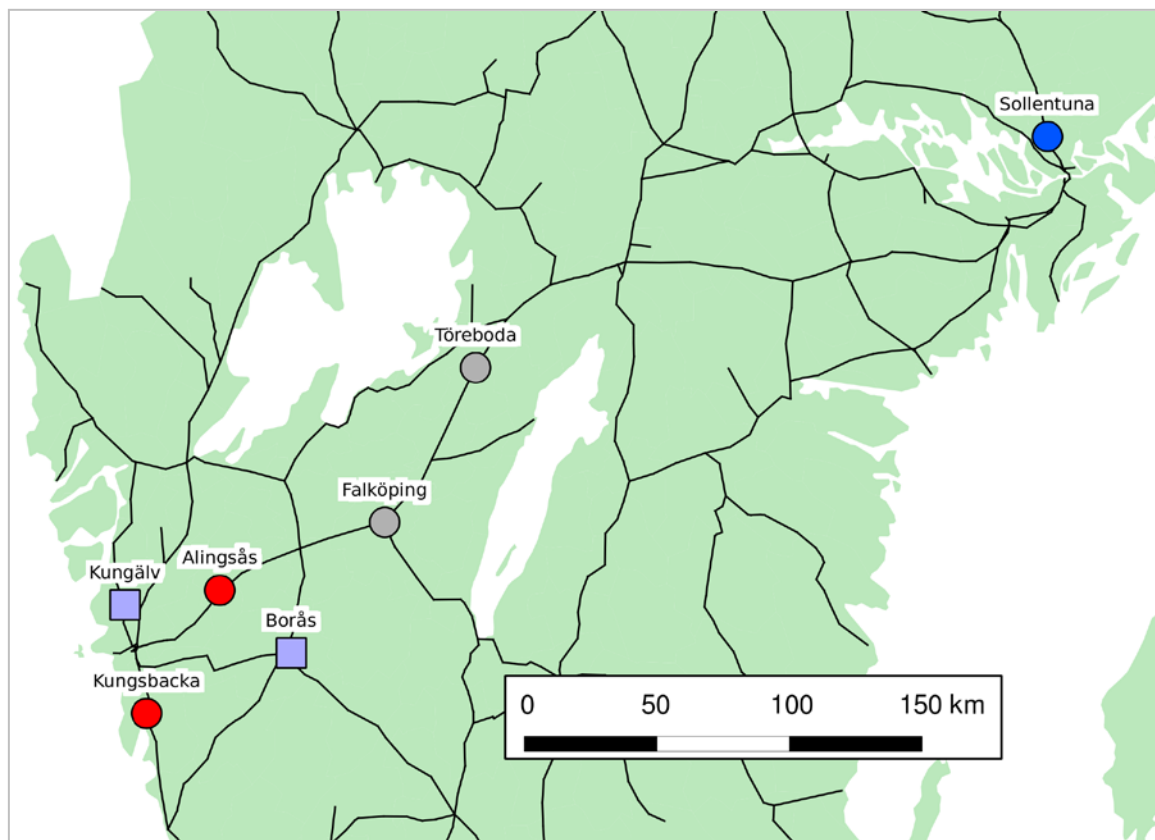
Vibrationer från tågtrafik mäts som komfortvägd vibrationshastighet med enheten mm/s.

Komfortvägningen är ett filter som anpassar mätvärdet efter människans typiska känslighet för vibrationer vid olika frekvenser. För att omvandla en mätning under en eller flera tågpassager till ett värde tar man det maximala värdet med en exponentiell tidsvägning om en sekund (ungefär som medelvärdesbildning under en sekund).

Vid mätning inomhus placerar man en givare, accelerometer eller geophon, på golvet och mäter i tre riktningar, vertikalt och horisontellt längs och tvärs järnvägens riktning. Den riktning som ger det högsta utslaget bestämmer mätvärdet.

3.1.4 Undersökningsmaterial

Figur 3.2 visar var de olika undersökningsområdena är belägna och tabell 3.1 visar en sammanställning av de olika fältstudierna med angivande av antal deltagare, bullernivåer och tidpunkt för genomförandet av studierna.



Figur 3.2. Översikt av undersökningsområdenas läge. Tågområden utan vibrationer är markerade med grå punkter, röda punkter markerar tågområden med starka vibrationer, den blå punkten är området med många tåg och vägtrafikområdena är markerade med lila kvadrater.

Tabell 3.1. Översikt över antal deltagare, genomförandetid och svarsfrekvens för de olika undersökningarna.

Undersökningsområde och Studie nr	Insamling enkätdata	Antal deltagare i olika bullerkategorier i L _{Aeq,24h}						Svarsfrekvens
		41-44 dB	45-50 dB	51-55 dB	56-60 dB	61-65 dB	Totalt	
Vägområden (1)	april - maj 2007	-	177	120	97	74	468	48 %
Tågområden utan vibrationer (1, 2)	april - maj 2007	15	142	266	88	25	521	50 %
Tågområden med starka vibrationer (2)	nov.- dec. 2007	66	218	112	31	32	459	57 %
Tågområde många tåg Sollentuna (4)	april - maj 2008	-	167	280	191	77	715	48 %
Totalt nya fältstudier		81	689	778	407	208	2 163	
Tåg- och vägområden Lerum, reanalyser (3)	febr. - mars 2004	-	762/925	590/507	434/331	167/190	1 953	71 %

3.2 Experimentella studier i ljudmiljölaboratorium

Två serier med experimentella undersökningar utfördes i ljudmiljölaboratorium (se figur 3.3 och tabell 3.2) för att studera effekter på sömnen av buller från tåg och vägtrafik (*frågeställning 1*) respektive effekter av tågbuller i kombination med vibrationer från tågtrafik (*frågeställning 2*).



Figur 3.3. Interiörer från ljudmiljölaboratoriet med sovrum (vänster överst) beläget på övre plan samt det kombinerade kök- och vardagsrummet på nedre plan (höger överst samt nederst).

Tabell 3.2. Översikt över genomförandetid, antal personer och antal nätter i de två sömnexperimenten.

Sömnexperiment	Tidsperiod	Antal försökspersoner	Antal nätter
Experiment 1: Tågbuller jfr vägtrafikbuller	våren 2007	18	5
Experiment 2: Buller och vibrationer från tåg	hösten 2007 - våren 2008	21	5

3.2.1 Experiment 1: Studier av effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tågtrafik.

I experimentet deltog 18 personer i åldern 23 - 35 år med normal hörsel. Experimentet omfattade 6 försöksserier där 3 personer deltog samtidigt och sov 5 nätter i följd. Första natten var en tillvänjningsnatt, därefter följde en tyst referensnatt och 3 nätter med exponering för tåg- eller vägtrafikbuller vilka presenterades i randomiserad ordning i de 6 försöksserierna.

Bullerexponeringen från tåg utgjordes av såväl gods-, som lokal- och fjärrtåg motsvarande trafikeringen nattetid på Västra Stambanan mellan Göteborg och Alingsås (totalt 46 tåg kl. 23-07). Två olika vägtrafikbullerexponeringar användes, dels ett vägtrafikbuller med samma ekvivalenta ljudnivå som tågexponeringen ($L_{Aeq,23-07}$ 31 dB), dels ett vägtrafikbuller med samma maximala ljudnivå som tågbullerexponeringen (L_{AFmax} 54 dB). Bullerexponeringarnas frekvensspektrum förändrades så att det motsvarade realistiska hemförhållanden inomhus med sovrumsfönstret öppet på glänt. Bullerexponeringen under de tre olika exponeringsnätterna visas i tabell 3.3.

Tabell 3.3. Bullerexponering från tågtrafik och vägtrafik under experiment 1.

Bullerexponering	$L_{Aeq,23-07}$	$L_{AFmax,23-07}$	Antal händelser (kl. 23-07)
Tågtrafik (Tåg)	31	54	46
Vägtrafik (VägL_{Aeq}) lika L_{Aeq}-nivå	31	50	369
Vägtrafik (Vägmax) lika L_{AFmax}-nivå	29	54	28

3.2.2 Experiment 2: Studier av effekter på sömnen av vibrationer och buller från tågtrafik

I experimentet deltog 21 personer i åldern 18 - 30 år med normal hörsel. Experimentet omfattade 8 försöksserier där 3 personer deltog samtidigt och sov 5 nätter i följd. Första natten var en tillvänjningsnatt, därefter följde en tyst referensnatt och 3 nätter med exponering för tågbuller med hög eller låg bullernivå i kombination med svaga eller kraftiga vibrationer vilka presenterades i randomiserad ordning i de 8 försöksserierna.

Bullerexponeringen utgjordes av ljud från såväl gods-, som lokal- och fjärrtåg motsvarande trafikeringen nattetid på Västra Stambanan mellan Göteborg och Alingsås (totalt 46 tåg kl. 23-07). Ljudexponeringarnas frekvensspektrum förändrades så att det motsvarade realistiska hemförhållanden inomhus med sovrumsfönstret öppet på glänt. Två olika bullerexponeringsnivåer och två olika vibrationsnivåer valdes för experimenten. Vibrationerna presenterades samtidigt med godstågspassagera (25 st) men inte tillsammans med övriga tågtyper. Exponeringsförhållandena under de tre olika exponeringsnätterna visas i tabell 3.4.

Tabell 3.4. Exponering för buller och vibrationer från tågtrafik under experimentet.

Bullerexponering	Vibrationsexponering	Antal tåg totalt (varav godståg) kl. 23-07
$L_{Aeq,23-07}$ 31 dB / L_{AFmax} 54 dB	svaga vibrationer 0,4 mm/s	46 (25)
$L_{Aeq,23-07}$ 31 dB / L_{AFmax} 54 dB	starka vibrationer 1,4 mm/s	46 (25)
$L_{Aeq,23-07}$ 28 dB / L_{AFmax} 48 dB	starka vibrationer 1,4 mm/s	46 (25)

3.2.3 Utvärdering av effekter på sömnen i experiment 1 och 2

Utvärdering av sömnen i ljudmiljölaboratoriet gjordes med olika frågeformulär. Försökspersonerna besvarade även frågeformulär om bullerkänslighet och om ljudmiljö och sömn i den egna hemmiljön. Varje morgon inom 15 minuter efter uppvaknandet besvarade försökspersonerna ett formulär med frågor, (utan relation till ljud/buller eller vibrationer) om svårigheter att somna, insomningstid, uppvaknanden, sömnkvalitet, kroppsrörelser, antal uppvaknanden och orsaker till detta samt hur de kände sig på morgonen med avseende på trötthet.

Dessutom ställdes ett antal frågor direkt relaterade till ljud/buller respektive vibrationer av samma typ som de frågor som ingick i frågeformulären i fältstudierna. Frågorna innehöll 5 svars kategorier från "inte alls" till "oerhört störande" och gällde om man stördes av ljud/buller under natten och frågor om ljud/buller lett till sömnstörningar (svårt somna, väckts och sämre sömnkvalitet). I experiment 2 innehöll formuläret motsvarande frågor om sömnstörning av vibrationer. Varje kväll inom 15 minuter före sänggående, besvarades ett formulär med frågor avseende trötthet under dagen samt trötthet på kvällen.

3.3 Reanalyser av data från studien av effekter av buller från tåg- och vägtrafik i Lerum

För att belysa om det finns samverkans effekter vid samtidig exponering för två olika bullerkällor utfördes reanalyser av omfattande data från en tidigare fältstudie i Lerums tätort (belägen mellan Göteborg och Alingsås), i områden exponerade för både tågtrafik och vägtrafik nära Västra Stambanan och E20. Tabell 3.5 visar undersökningspopulationen fördelad över olika buller-exponeringskategorier i 5 dB intervall i $L_{Aeq,24h}$ för tågtrafik respektive vägtrafik och tabell 3.6 visar undersökningspopulationen fördelad över olika ljudnivåkategorier angiven som summerad ljudnivå från vägtrafik och tåg ($L_{Aeq,24h,tot}$). Reanalyser utfördes av data från delpopulationer som var exponerade för buller enbart från en källa, tåg eller vägtrafik (rad 1 respektive kolumn 3 i tabell 3.5), samt från en delpopulation som var exponerad för båda bullerkällorna (diagonalen i tabell 3.5).

Tabell 3.5. Undersökningspopulationen – antal personer i olika ljudnivåkategorier ($L_{Aeq, 24h}$).

		Tågtrafik $L_{Aeq, 24h}$				VÄG: totalt antal personer
		45-50 dB	51-55 dB	56-60 dB	61-72 dB	
Vägtrafik $L_{Aeq, 24h}$	45-50 dB	455	192	88	27	762
	51-55 dB	294	158	89	49	590
	56-60 dB	134	126	108	66	434
	61-70 dB	42	31	46	48	167
TÅG: totalt antal personer		925	507	331	190	1953

Tabell 3.6. Undersökningspopulationen – antal personer i olika kategorier av total ljudnivå från vägtrafik och tåg ($L_{Aeq, 24h,tot}$).

Total ljudnivå från tåg och vägtrafik, $L_{Aeq,24h, tot}$								
48-50 dB	51-53 dB	54-56 dB	57-59 dB	60-62 dB	63-65 dB	66-68 dB	69-72 dB	Totalt
142	526	403	377	260	146	66	33	1953

I reanalyserna av data från olika delpopulationer utvärderades effekter av buller i form av *allmän störning* av respektive bullerkälla samt *allmän störning av den totala trafikljudmiljön*, *sömnstörningar* och *störning av dagliga aktiviteter* som *samtal* och *vila/avkoppling*.

För att studera om det förelåg en interaktion mellan exponering av buller från vägtrafik och buller från tåg analyserades materialet mera i detalj med logistisk regression där störning (av vägtrafikbuller respektive tågbuller) utgjorde responsvariabel och bullernivå från vägtrafik och tåg som förklarande variabler, tillsammans med potentiella modifierande variabler (boendetid, typ av fönster, sovrumsfönstrets läge samt känslighet för buller). Analyserna var baserade på data som omfattade ljudnivåer upp till 60 dB $L_{Aeq,24h}$. Delgrupper valdes ut på följande sätt: (a) Personer som hade **lika bullernivå från tåg och vägtrafik**, skillnad i $L_{Aeq,24h}$ mindre eller lika med 1 dB, ($n_a=386$); (b) personer utsatta **enbart för tågbuller**, vägtrafikbuller $L_{Aeq,24h} < 51$ dB, ($n_b=305$); och (c) personer utsatta för **enbart vägtrafikbuller**, tågbuller $L_{Aeq,24h} < 51$ dB, ($n_c=489$). För detaljer om material och metod se vidare delrapport (Öhrström *et.al.*, 2009).

3.4 Mätning och beräkningar av buller och vibrationer

3.4.1 Beräkning av buller från väg- och tågtrafik vid försöksområden

Huvuduppgiften för den mät- och beräkningstekniska delen av TVANE-projektet var att ange bullernivåer i form av frifältsvärde vid mest exponerad fasad för alla de hus och lägenheter där ett enkätsvar erhöles. Detta genomfördes genom beräkningar med de nordiska beräkningsmetoderna för buller från väg- och tågtrafik (Naturvårdsverket, 1996). Beräkningarna baserades på trafikdata från Trafikverket och digitala kartor från respektive kommun som inkluderade byggnader och höjdkurvor. Mottagarpunkterna baserades på det koordinatsatta adressmaterialet. Förutom den dygns-ekvivalenta ljudnivån ($L_{Aeq,24h}$) beräknades även maximalnivån (L_{AFmax}) samt L_{den} som baseras på en sammanvägning av ekvivalentnivån under dagen, kvällsperioden och natten. Mer detaljer kring mätningarna och beräkningarna presenteras i den mättekniska rapporten (Ögren & Jerson, 2011).

3.4.2 Stickprovsmätningar av buller

Förutom beräkningar genomfördes också en serie stickprovsmätningar av buller i tågområdena Töreboda och Falköping samt i vägområdena Kungälv och Borås. Avvikelsen från beräknade dygns-ekvivalenta värden i samma punkt var typiskt inom 2 dB men som mest 4 dB (medelvärde 0,9 dB och standardavvikelse 2,5 dB). Denna spridning är ungefär vad man förväntar sig för noggrannhet i beräkningsmodellen och mätmetoden. För tågområdena genomfördes mätningarna endast för några få passager, företrädesvis godståg eftersom vibrationsmätningar genomfördes samtidigt och godstågen genererar mest vibrationer. Omräknat till dygns-ekvivalent nivå så var avvikelsen från de beräknade värdena kring 3 dB (5,5 dB som mest, medelvärde 0,1 dB och standardavvikelse 2,9 dB), vilket var förväntat eftersom det handlar om enstaka passager. Sammantaget visar dessa stickprov inte några allvarliga avvikelser i beräkningarna i de punkter som kontrollerats.



Figur 3.4. CargoNet godståg framfört med ett El 16 ellok.

3.4.3 Noggrannhet hos bullerberäkningarna

Alla beräkningar utfördes av ackrediterade konsulter med professionell programvara som automatiskt tar hänsyn till skärmning av byggnader och terräng och när bullerskärmar skall tas med, hur markeffekt från olika ytor skall kombineras med mera. Trots detta förekommer att programvaran räknar fel, och det beror förmodligen i första hand på att skärmning eller markeffekt faller bort där den borde vara med eller tvärt om. I litteraturen finner man att avvikelser på enstaka punkter kan vara upp emot 10 dB även med professionell programvara (Kang, 2005), men detta är undantagsfall och i majoriteten av punkterna är resultatet korrekt. I mindre utredningar där man har ett fåtal beräkningspunkter upptäcks förmodligen oftast sådana fel, men i så stora material som i vårt fall kan de vara mycket svåra att upptäcka.

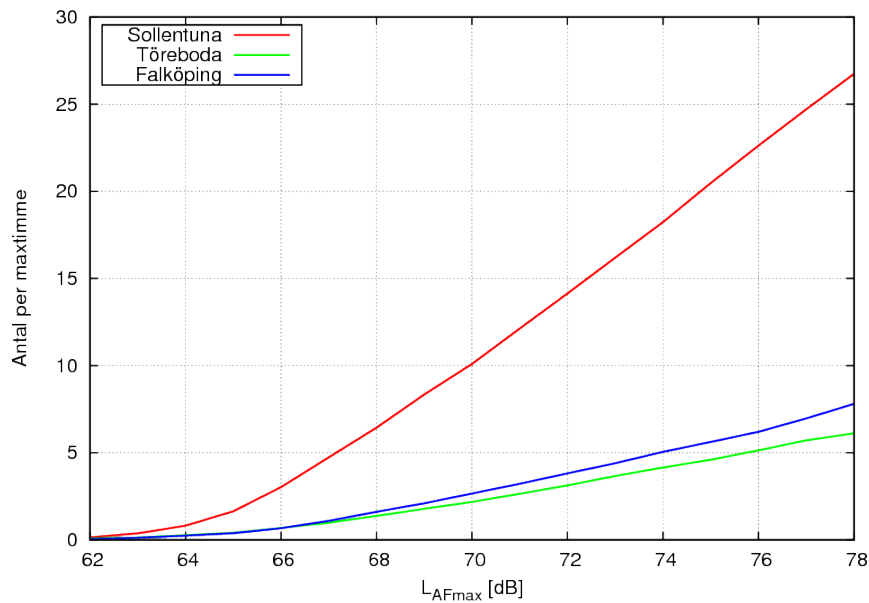
Majoriteten av de fel som upptäcktes under kvalitetsgranskningen av beräkningarna är dock relaterade till problem i indata, t.ex. att en adresspunkt inte befinner sig där huset eller lägenheten den är kopplad till finns eller att mottarpunkten blir felplacerad i relation till källan, d.v.s. på fel sida om byggnader. Ett annat bekymmer var att programmen som vi nyttjade uppdaterades med felrättningar och nya funktioner relativt ofta, vilket gjorde att beräkningarna blev beroende av vilken version av programmet som var installerad när de genomfördes. I något fall infördes dessutom allvarliga fel när programvaran uppdaterades, detta gav stora skillnader när en beräkning från början på projektet jämfördes med en genomförd i slutet. Ett systematiskt problem som alla programvaror vi använt inom projektet tycks lida av är att de ibland på långa avstånd vid tät trafik ger maximalnivåer som är lägre än ekvivalentnivån. I beräkningsmetoderna anges att om detta inträffar skall man höja den maximala nivån upp till den ekvivalenta, men i praktiken gör programvaran aldrig den justeringen eftersom beräkningen av maximalnivån är en separat del av programmet fristående ifrån den del som beräknar den ekvivalenta nivån. För oss var det enkelt att rätta alla data i efterhand, men för mindre erfarna användare är det lätt att missa att göra denna manuella justering.

Sammantaget är vår bedömning att beräkningarna i medeltal är av god kvalitet, men stora avvikelser kan förekomma i enstaka fall trots att vi manuellt granskat data för att minimera felen. Generellt sett är sannolikheten att felen inträffar större på långa avstånd från källan där terrängen kan ge stark skärmning och markeffekten också blir viktig. En annan känslig situation som ibland ger felaktiga beräkningar är där det är kort avstånd mellan ett skärmande objekt (huskropp eller bullerskärm) och en mottarpunkt.

3.4.4 Beräkning av antal tågpassager som ger maximal nivå över 70 dB

Baserat på långtidsmätningar av bullernivån i två punkter i Sollentuna och en i Lerum så anpassades en enkel teoretisk modell till att passa in på variationerna i maximalnivå. Modellen antar helt enkelt att respektive tågtyp har en normalfördelad spridning kring den källstyrka som anges i den nordiska beräkningsmodellen (Naturvårdsverket, 1996). Normalt sett har varje tågpassage av samma tågtyp exakt samma källstyrka, men när vi anpassat en spridning till detta kan man beräkna sannolikheten för att ett eller flera tåg överskrider en viss ljudnivå vid en punkt. Särskilt viktigt blir då vad som händer den så kallade maxtimmen, timmen dag- eller kvällstid då man har flest passager.

Slutsatsen blir att inte bara närheten till järnvägen avgör utan även trafikmängden. Om många tåg passerar under maxtimmen ökar sannolikheten att några ovanligt bullriga tågindivider skall bidra. Resultatet illustreras i figur 3.5, där det sannolika antalet passager som ger en maximal nivå över 70 dB ges som en funktion av den beräknade maximalnivån helt utan spridning för tre olika trafikfall. Med andra ord kan det inträffa att en eller flera passager överskrider 70 dB trots att den beräknade nivån utan spridning är lägre. För en hög beräknad maximalnivå (nära järnvägen, till höger på x-axeln) överskrider en stor andel av alla passager 70 dB, och för en låg beräknad maximalnivå (längre ifrån järnvägen, till vänster på x-axeln) är det bara någon enstaka passage som når så högt som 70 dB.



Figur 3.5. Beräknat antal passager som överstiger 70 dB vid maxtimme som funktion av beräknad L_{AFmax} .

3.4.5 Mätning och beräkning av vibrationer i hus och mark

Totalt genomfördes 20 dygnslånga vibrationsmätningar i Kungsbacka, Alingsås och Sollentuna. Samtidigt som vibrationerna mättes i tre riktningar på en punkt inomhus mättes vibrationerna dessutom i vertikal riktning utanför huset och i en referenspunkt nära järnvägen. Data från dessa mätningar analyserades för samtliga godstågspassager under mättiden för att ge en bild av vibrationer i mark och hus. Resultatet visar att den maximala komfortvägda vibrationshastigheten inomhus är starkt beroende av husets konstruktion, det kan vara upp till fem gånger så starka vibrationer inomhus som utomhus beroende på konstruktionens resonansfrekvenser. Slutsatsen blir att det inte är möjligt att beräkna vibrationshastigheten inomhus om man inte har medel att göra detaljerade beräkningar eller mätningar för varje byggnad som ingår i studien. I Kungsbacka visade det sig dock under fältmätningarna att en stor majoritet av byggnaderna är av liknande konstruktion och är lika känsliga för vibrationer. Vibrationerna utomhus uppvisar däremot ett enkelt samband med avståndet både i Kungsbacka och i Alingsås där den maximala komfortvägda vibrationshastigheten avtar med ungefär 47 % för varje fördubbling av avståndet från järnvägen.

Samtidigt som stickprovsmätningarna för buller genomfördes i de områden där inga vibrationer förväntades kontrollerades detta med parallella vibrationsmätningar, även i vägområdena. Resultatet visar att det fanns inga eller endast mycket svaga vibrationer i marken i de områden som valdes ut som lågvibrationsområden (Töreboda och Falköping). Se vidare om mätningarna och beräkningar av vibrationer i den mättekniska rapporten (Ögren & Jerson, 2011).

3.4.6 Bullerskärmar i Sollentuna och några kommentarer från de boende

I ett av undersökningsområdena, Sollentuna, finns en bullerskärm utmed båda sidor av järnvägen. Skärmen som uppfördes år 1995 är utförd i trä och skärmhöjden varierar från 2,10 till 4,7 över mark på mottagarsidan. Vid besök på platsen konstaterades att skärmarna var i dåligt skick på flera sträckor. Några kommentarer från de boende som framkom i vår undersökning gällde skärmarna, deras brister och nytta i störningshänseende. Kommentarer, varav några återges nedan, visar att underhåll av bullerskärmar är viktigt.

Kommentarer om bullerskärmarna: "Banverkets 3 m höga plank låter oerhört mycket när det slår emot de gjutna metallstolparna, borde vara betonggjuten mur eftersom ljudet kommer från tåghjul"; "Störningar från tågen har ökat kraftigt sedan bullerplank installerades vid järnvägen, detta gör att ljuden reflekteras upp emot den kulle vi bor på"; "Saknar bullerplank, vill ha öppet sovrumsfönster"; "470 tåg/dygn, man kan inte vistas på balkongen utan hörselskydd, bullerplanket är inte monterat att passa vårt hus"; "Viktigt med riktigt bullerplank i Häggvik/Sollentuna"; "Det fula bullerplanket gör ingen nytta"; "Bor 25 m ifrån järnväg – man kan inte bli annat än störd bullerplank till trots".



Figur 3.6. Bullerskärm i Sollentuna.

Del 2

I denna del av rapporten presenteras resultat från de olika studierna uppdelat på olika separata avsnitt för var och en av de olika frågeställningar som studerats inom TVANE-projektet:

(4) Är tågbuller mindre störande än vägtrafikbuller och hur stör tågbuller då antalet tåg är mycket stort?

(5) Finns det samverkans effekter vid samtidig exponering för vibrationer och buller från tågtrafik och hur störande är vibrationer?

(6) Hur påverkas sömnen av buller från vägtrafik och av buller och vibrationer från tågtrafik?

(7) Finns det samverkans effekter vid samtidig exponering för buller från vägtrafik och tågtrafik?

Här redovisas även en sammanfattning av resultat av analyserna av:

(8) Samband mellan effekter av tågbuller och bullernivå beräknad på 2 respektive 4 m höjd samt

(9) Samband mellan effekter av tågbuller och antal tåg per maxtimme $>L_{AFmax}$ 70 dB på uteplats.

Kommentarer och slutsatser redovisat under respektive avsnitt och slutsatser i sammandrag redovisas i avsnitt 10.



4 EFFEKTER AV TÅGBULLER OCH VÄGTRAFIKBULLER PÅ ALLMÄN STÖRNING OCH OLIKA AKTIVITETER DAGTID

För att kunna planera åtgärder i existerande situationer, och som stöd vid planering av nyetablering, är det viktigt att ha kunskap om hur buller från tåg- och vägtrafik kan jämföras och att undersöka om buller från spårburen trafik upplevs som mindre störande än buller från vägtrafik. I TVANE-projektet ingår *empiriska studier i fält och i laboratorium* som undersöker om en tågbonus är befogad.

Huvudsyftet med fältundersökningarna var att undersöka effekter av vägtrafikbuller och tågbuller på *allmän störning* och påverkan på olika dagliga aktiviteter såsom *störning av samtal, lyssning på radio/TV och vila/avkoppling* samt *sömnstörningar* och om det finns skäl för en bonus för buller från tågtrafik. Ett annat syfte var att undersöka betydelsen av en rad situationsfaktorer såsom typ av hus och byggnadsår, fönstertyp, sovrumsfönstrens och balkong/uteplatsens läge för de olika studerade effekterna av tågbuller och vägtrafikbuller.

I detta avsnitt redovisas översiktligt jämförelser av resultat från *fältundersökningar* i vägtrafik-områden i Kungälv och Borås, tågområden med relativt många tåg (Töreboda och Falköping), tågområden vid den mycket starkt trafikerade järnvägen genom Sollentuna (481 tåg/dygn) samt tågområden med starka vibrationer (Alingsås och Kungsbacka).

Resultat för sömnstörningar av buller från fältundersökningar samt från experimentella studier redovisas separat i avsnitt 6. I Appendix 1 visas översiktstabeller över allmän störning, aktivitetsstörningar samt sömnstörningar.

Allmän störning

Störning definieras som en känsla av obehag och irritation direkt riktad mot något i omgivningen som man tror har en negativ inverkan på en individ eller en grupp (t.ex. Lindvall & Radford, 1973).

Störning kan uppkomma som en konsekvens av att buller påverkar möjligheten att föra samtal, utföra andra aktiviteter, att sova ostört eller som en följd av att buller ger upphov till stressreaktioner och olika fysiska och psykologiska symptom. Allmän störning brukar användas som indikator på negativa hälsoeffekter av buller.

Allmän störning har utvärderats med en 5-gradig verbal skala graderad från 1 "inte alls störd", 2 = "inte särskilt störd", 3 = "ganska störd", 4 = "mycket störd" till 5 = "oerhört mycket störd". Allmän störning redovisas som *andel störda* i procent och avser de som svarat 3, 4 eller 5. *Andel mycket störda* i procent avser de som svarat 4 eller 5.

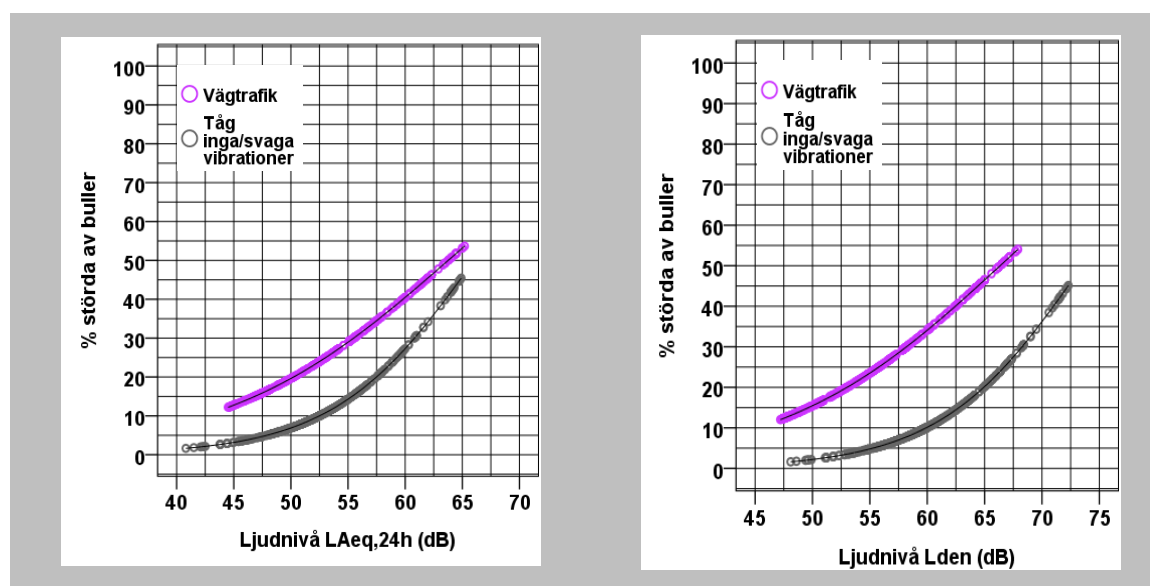
Störningsfrågan är formulerad enligt ISO-specifikation, (ISO/TS15666, 2003). Se vidare begreppsordlistan, Appendix 5.

4.1 Allmän störning av buller i relation till ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ och L_{den}

I detta avsnitt redovisas jämförande resultat mellan störning av vägtrafikbuller och tågbuller i områden med relativt stort antal tåg, jämförelser mellan störning av tågbuller i områden med relativt stort respektive mycket stort antal tåg. Till sist jämförs störning av vägtrafikbuller och störning av tågbuller i tre olika situationer: relativt många tåg, mycket stort antal tåg och starka vibrationer.

4.1.1 Hur störande är buller från vägtrafik (Kungälv och Borås) jämfört med buller från tågtrafik i områden med relativt många tåg (Töreboda och Falköping)?

Figur 4.1 visar samband mellan ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ respektive L_{den} på mest exponerad sida och störning av tågbuller och vägtrafikbuller beräknat med binär logistisk regression. En skattning av predicerat värde för andel störda utifrån kurvorna i vänster figur visar att vägtrafikbuller (lila kurva) är mer störande än tågbuller (grå kurva), en skillnad på ca 15 procentenheter vid $L_{Aeq,24h}$ 55 dB. Skillnaden i andelen störda minskar vid högre ljudnivåer.



Figur 4.1. Predicerat värde för andel störda av vägtrafikbuller (lila kurva) respektive tågbuller (grå kurva) som funktion av bullernivå i $L_{Aeq,24h}$ (vänster figur) och som funktion av bullernivå i L_{den} (höger figur).

Motsvarande samband mellan allmän störning av buller från vägtrafik och tåg och ljudnivå i L_{den} visas i höger figur. Predicerad andel störda av vägtrafik (lila kurva) var avsevärt högre än störning av tågtrafik (grå kurva), en skillnad på ca 25 procentenheter vid L_{den} 60 dB. Den större skillnaden i allmän störning av buller mellan tåg- och vägtrafik då ljudnivån anges i L_{den} jämfört med i $L_{Aeq,24h}$ förklaras av att bullernivåernas fördelning över dygnet är olika för vägtrafik och tågtrafik. En stor del av godstrafiken på järnväg sker nattetid vilket leder till ett högre L_{den} -värde (tågbuller: L_{den} 7,5 dB högre än $L_{Aeq,24h}$, och vägtrafikbuller: L_{den} 2,7 dB högre än $L_{Aeq,24h}$).

4.1.2 Hur störande är tågbuller vid järnvägar med mycket stort antal tåg(Sollentuna) jämfört med områden med relativt många tåg (Töreboda och Falköping)?

Jämförelser av allmän störning av tågbuller i områdena Töreboda och Falköping med 124 tåg per dygn (1 tåg var 12:e minut) och områdena i Sollentuna med 481 tåg per dygn (1 tåg var 3:e minut) visade att en signifikant högre andel var störda av tågbuller i Sollentuna vid motsvarande ljudnivå. Skillnaderna i störning ökade med ökande ljudnivå (se tabell 4.1) från 4 procentenheter vid

$L_{Aeq,24h}$ 45 dB till ca 30 procentenheter vid ljudnivåer på 60 dB och däröver. Andelen störda varierade mellan de olika delområdena i undersökningsområdet i Sollentuna. I de norra områdena Norrviken (där en hög andel angav att de var störda av flygbuller) och Häggvik var ca 20 procentenheter fler störda av tågbuller vid ljudnivåer mellan 55 och 65 dB än i Helenelundsområdet längst i söder. Andelen störda av tågbuller i Helenelundsområdet var mellan 9 och 20 procentenheter högre än Töreboda/Falköping vid ljudnivåer mellan 55 och 65 dB.

Tabell 4.1. Jämförelser av predicerad andel störda av tågbuller vid olika ljudnivåkategorier för områdena Töreboda/Falköping och Sollentuna.

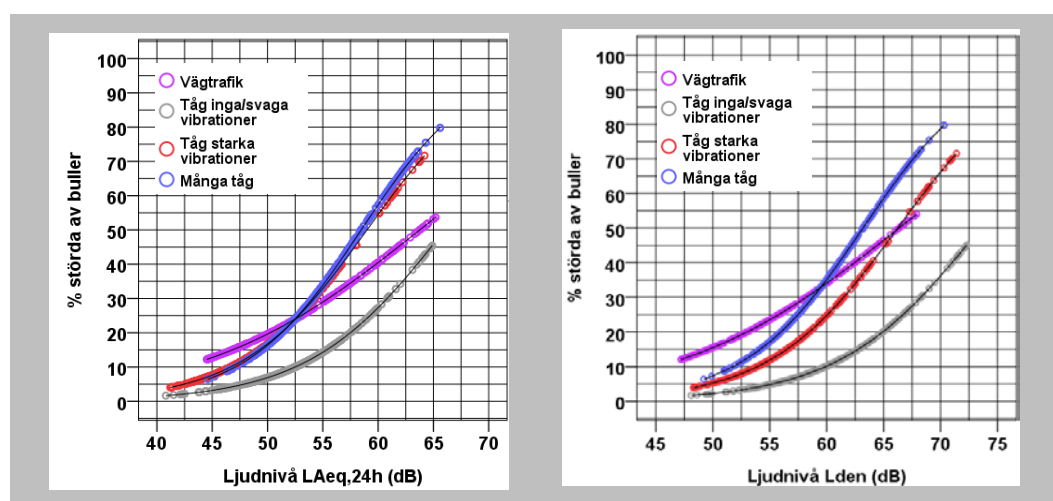
	Predicerad andel störda (%) vid olika ljudnivåkategorier i $L_{Aeq,24h}$				
	45 dB	50 dB	55 dB	60 dB	65 dB
124 tåg/dygn, Töreboda/Falköping	4	8	13	28	45
481 tåg/dygn, Sollentuna	8	17	35	58	77
Differens andel störda av buller	+4	+9	+22	+30	+32

4.1.3 Störning av vägtrafikbuller och störning av tågbuller i tre olika situationer: relativt många tåg, mycket stort antal tåg och starka vibrationer

I figur 4.2 nedan visas jämförelser mellan störning av vägtrafikbuller (lila kurva) i vägtrafikområdena Kungälv och Borås med störning av tågbuller i områden utan vibrationer (grå kurva) i Töreboda och Falköping, områden med mycket stort antal tåg i Sollentuna (blå kurva) och områden med starka vibrationer i Alingsås och Kungsbacka (röd kurva). I Appendix 1 (4/10, sid. 85) finns en motsvarande figur samt en tabell som visar andel mycket störda av tågbuller och vägtrafikbuller.

Vägtrafikbuller är ungefär lika störande som tågbuller i vibrationsutsatta områden och områden med mycket stort antal tåg vid ljudnivåer upp till $L_{Aeq,24h}$ 55 dB men vid högre nivåer upplevs vägtrafikbuller som mindre störande (vänster figur). Tågbuller i områden utan vibrationer och med relativt stort antal tåg och ger upphov till betydligt lägre andel störda än vägtrafikbuller (se även figur 4.1).

Sambandet mellan andel störda och ljudnivå i L_{den} (höger figur) visar att vägtrafikbuller är mer störande än tågbuller i samtliga tågområden upp till ca L_{den} 57 dB. Vid 65 dB är andelen störda av vägtrafikbuller ungefär densamma som för tågbuller i områden med starka vibrationer men lägre än störning av tågbuller i områden med mycket stort antal tåg.

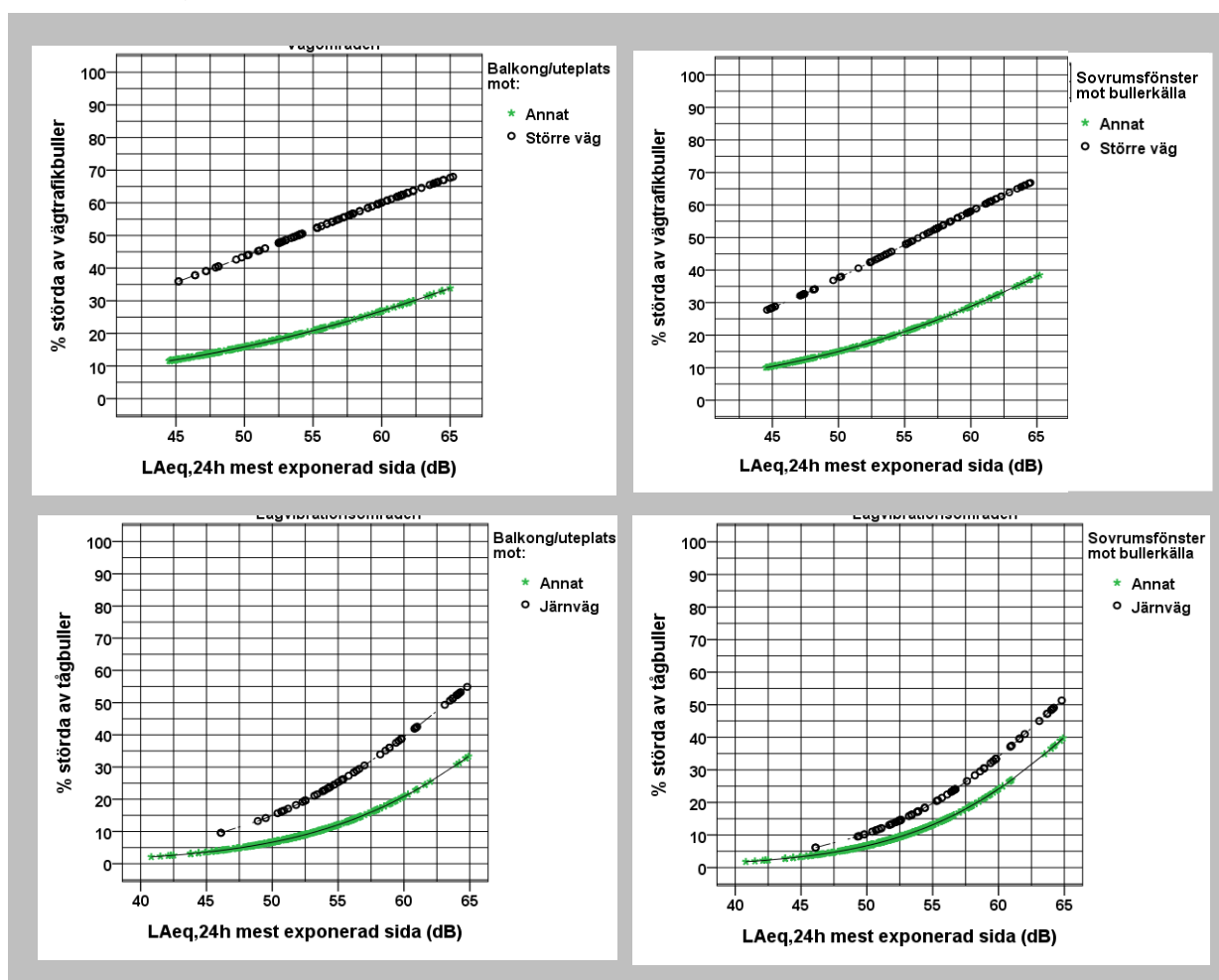


Figur 4.2. Predicerat värde för andel störda av vägtrafikbuller (lila kurva), tågbuller i områden utan vibrationer (grå kurva), tågbuller vid många tåg (blå kurva) samt tågbuller i områden med starka vibrationer (röd kurva) som funktion av bullernivå i $L_{Aeq,24h}$ (vänster figur) och L_{den} (höger figur).

4.2 Allmän störning av buller i relation till uteplatsens och sovrumsfönstrens läge i förhållande till järnväg och väg

Det fanns överlag inga signifikanta skillnader i allmän störning av tågbuller eller vägtrafikbuller mellan boende i *småhus* och boende i lägenhet i *flerfamiljshus*. Husets *byggnadsår* och vilken *typ av fönster* som fanns i bostaden hade heller inget samband med andel som stördes av tågbuller eller av vägtrafikbuller. Två faktorer av stor betydelse för allmän störning var uteplatsens och sovrumsfönstrens läge i förhållande till bullerkällan (järnväg och trafikled).

Som framgår av figur 4.3 är andelen störda av buller avsevärt högre då balkong/uteplats vetter mot större väg eller mot järnväg. Vid riktvärdet 55 dB är 50 % störda av vägtrafikbuller och 25 % är störda av tågtrafikbuller då balkong/uteplats vetter mot större väg respektive mot järnväg (figur 4.3 vänster). I vägområdena är sovrumsfönstrens läge lika viktigt för upplevd störning som balkong/uteplatsens läge (figur 4.3 överst). Resultaten från tågområdena tyder på att det kan vara viktigare att balkong eller uteplats inte placeras mot järnvägen än att sovrumsfönstren finns på den skyddade sidan. Se figur 4.3 nederst med resultat för tågområden utan vibrationer som visar att det inte är någon stor skillnad i allmän störning om sovrumsfönstren vetter mot järnväg eller mot annat håll. Resultaten för övriga tågområden visade ett likartat mönster (se Appendix 1 (5/10 och 6/10), sid. 86 och 87).

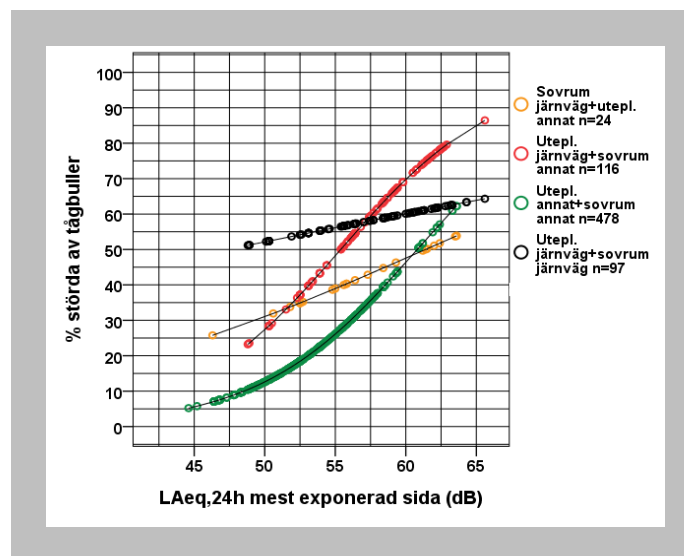


Figur 4.3. Predicerat värde för andel störda av buller för personer med balkong/uteplats mot bullerkälla (vänster, svart kurva) respektive mot annat håll (vänster, grön kurva) samt andel störda för personer med sovrumsfönster mot bullerkälla (höger, svart kurva) respektive mot annat håll (höger, grön kurva). De övre figurerna visar vägområden och de nedre visar tågområden utan vibrationer (Töreboda/Falköping).

I Sollentunaområdet var antalet deltagare i undersökningen tillräckligt stort ($n=715$) för att medge mer detaljerade analyser av betydelsen av placering av sovrum och uteplatser för upplevd allmän störning av buller.

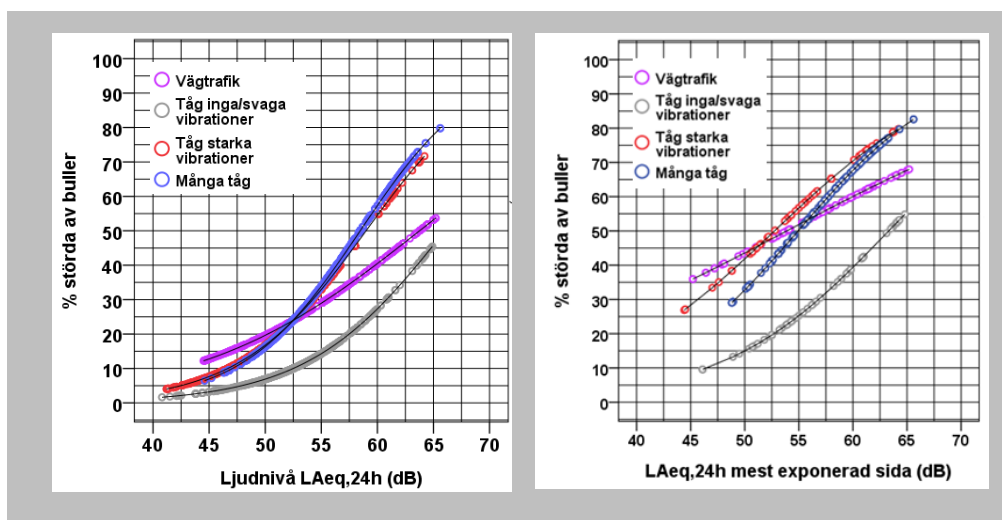
Det *mest optimala* ur störningssynpunkt är att både sovrumsfönster och uteplats är placerade på den sida av huset som inte vetter mot järnvägen, dvs. grön kurva i figur 4.4.

Det *minst optimala* ur störningssynpunkt var inte, som förväntat, att både sovrumsfönster och uteplats vetter mot järnvägen (svart kurva), i alla fall inte vid ljudnivåer över ca 57 dB vid mest exponerad sida. Vid höga ljudnivåer, ca 57 dB och högre, (där svart och röd kurva korsas) var andelen störda högst bland dem som har uteplats mot järnvägen men sovrumsfönster åt annat håll (röd kurva). Detta skulle kunna förklaras av att sovrumsfönster har bytts ut i de fall L_{AFmax} i sovrum överskrider 55 dB och att såväl sömnstörning som allmän störning därigenom påverkats på ett positivt sätt.



Figur 4.4. Sollentunaområdet. Predicerat värde för andel störda av buller för personer med balkong/uteplats mot järnväg och sovrumsfönster åt annat håll (röd kurva), både uteplats och sovrumsfönster mot järnväg (svart kurva), sovrumsfönster mot järnväg och uteplats åt annat håll (orange kurva) samt andel störda för personer med både uteplats och sovrumsfönster mot annat håll (grön kurva) i relation till ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$.

Figur 4.5 visar resultat samlat för alla områden för andel störda av buller i relation till ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ för samtliga personer (vänster figur) och för personer vars uteplats/balkong vetter mot järnväg eller trafikled. Resultaten redovisas även i tabellform i Appendix 1 (8/10, sid. 89).



Figur 4.5. Predicerat värde för andel störda av buller i olika områden i relation till $L_{Aeq,24h}$ vid mest exponerad sida för samtliga personer, n=2 148 (vänster figur) samt andel störda av buller i olika områden för personer med balkong/uteplats mot bullerkälla, n=446 (höger figur).

Som framgår av figur 4.5 och Appendix 1 (7/9) är andelen störda av buller avsevärt högre bland personer som har balkong/uteplats mot järnväg eller väg, upptill 27 procentenheter, beroende på ljudnivå och typ av bullerexponering. Detta visar att det är viktigt att vid riskbedömningar av störning, i samband med planering och åtgärder mot buller, ta hänsyn till hur uteplats/balkong är belägen för att inte underskatta risken för störning.

4.3 Störning av aktiviteter dagtid (samtal, lyssning, vila/avkoppling)

De mest framträdande effekterna av tågbuller är samtalstörning och störning under lyssningsaktiviteter såsom radio/TV medan den mest dominerande effekten av vägtrafikbuller är störning av vila/avkoppling och sömn.

I detta avsnitt redovisas resultatjämförelser för alla undersökningsområden. (Se även översiktstabeller i Appendix 1, sid. 82-84 om störning av olika aktiviteter.)

Störning av olika aktiviteter

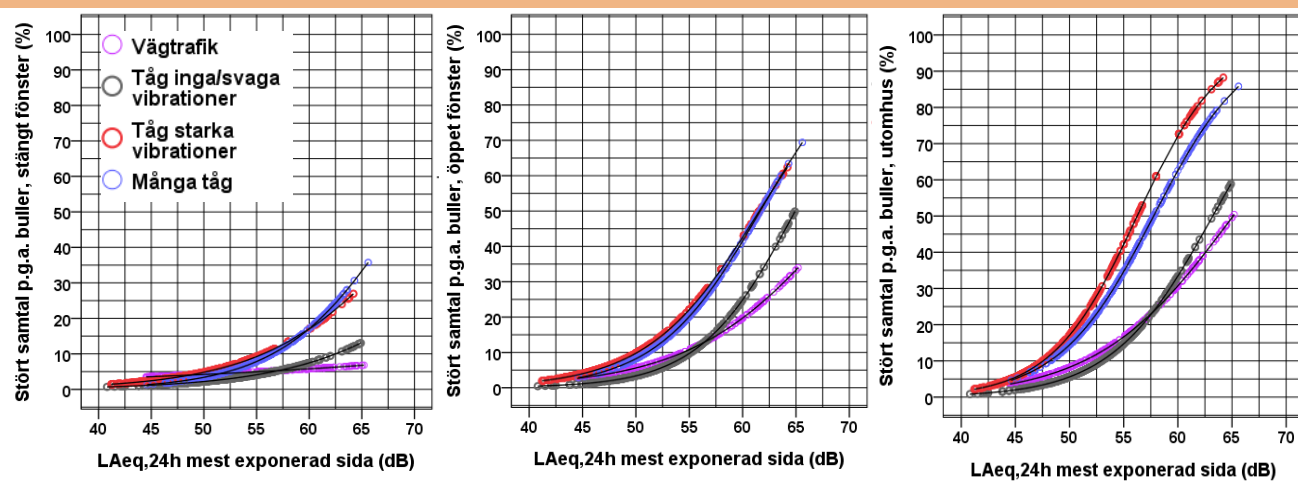
Störning av olika aktiviteter har ett mycket starkt samband med allmän störning av buller.

Störning av olika aktiviteter har mätts med två delfrågor. På frågan (del 1) "**Hur ofta**" var svarsalternativen "**aldrig**" = 0, "**ibland**" = 1, "**ofta**" = 2, och på frågan (del 2) "**Hur störande eller besvärande**" det är att bullret försvårar olika aktiviteter var svarsalternativen "**inte särskilt**" = 2, "**ganska**" = 3 och "**mycket**" = 4.

Värdet på de två delfrågorna adderades i ett summamått som kan anta värden mellan 0 och 6. Personer som har ett summerat värde >3 har klassats som påverkade av buller. Resultaten har utvärderats som andel i % med ett summerat värde >3 för olika typer av aktivitetspåverkan.

4.3.1 Störning av samtal

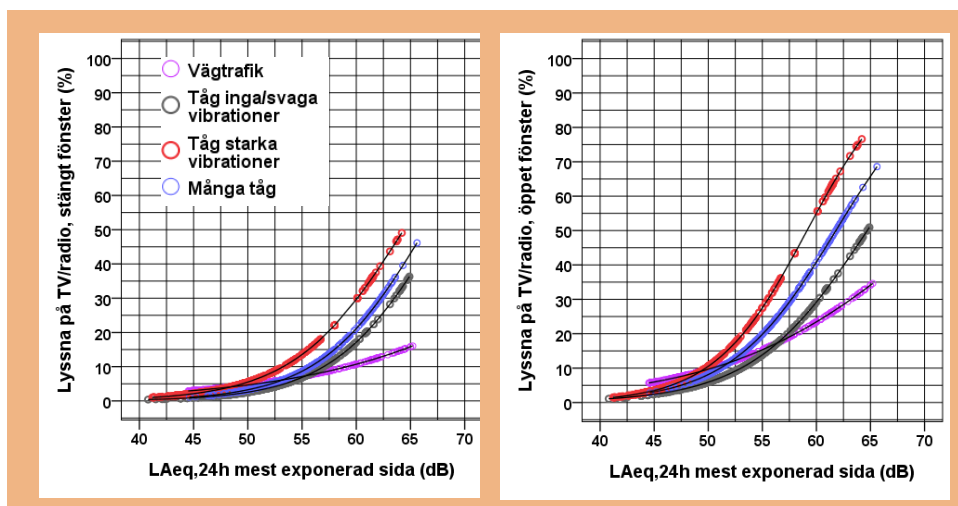
Inomhus med **stängt fönster** är det bara en liten andel som är störda av vägtrafikbuller under samtal, som mest 5 %. Tågbuller är mer störande, som mest 15 % i områden utan vibrationer och drygt 30 % i områden med starka vibrationer samt i områden med många tåg (figur 4.6, vänster). Vid **öppet fönster** (figur 4.6, mitten) är andelen som störs under samtal avsevärt högre, 35 % i vägtrafikområden och mellan 50 och 65 % i tågområdena i den högsta ljudnivåkategorin (65 dB). **Utomhus** är andelen som störs vid samtal omfattande (figur 4.6, höger). Andelen samtalsstörda är ungefär lika för vägtrafikbuller och tågbuller i områden utan vibrationer (50-60 % störda vid 65 dB). I de två övriga tågområdena störs en majoritet av tågbuller under samtal (ca 85 %).



Figur 4.6. Samband mellan störning av samtal (andel i % >3) och ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ för olika undersökningsområden vid **stängt fönster** (vänster), **öppet fönster** (mitten) och **utomhus** vid uteplats (höger).

4.3.2 Störning vid lyssning på radio/TV

Inomhus med **stängt fönster** är det framför allt tågbuller som stör då man lyssnar på radio/TV, mellan 35 och 50 % störs vid ljudnivåer på 65 dB medan bara 15 % störs av vägtrafikbuller vid denna ljudnivå (figur 4.7, vänster). Vid **öppet fönster** fördubblas andelen störda av vägtrafikbuller till 35 %. Störningen av tågbuller varierar mellan områdena från 50 till 75 % i den högsta ljudnivåkategorin (figur 4.7, höger).

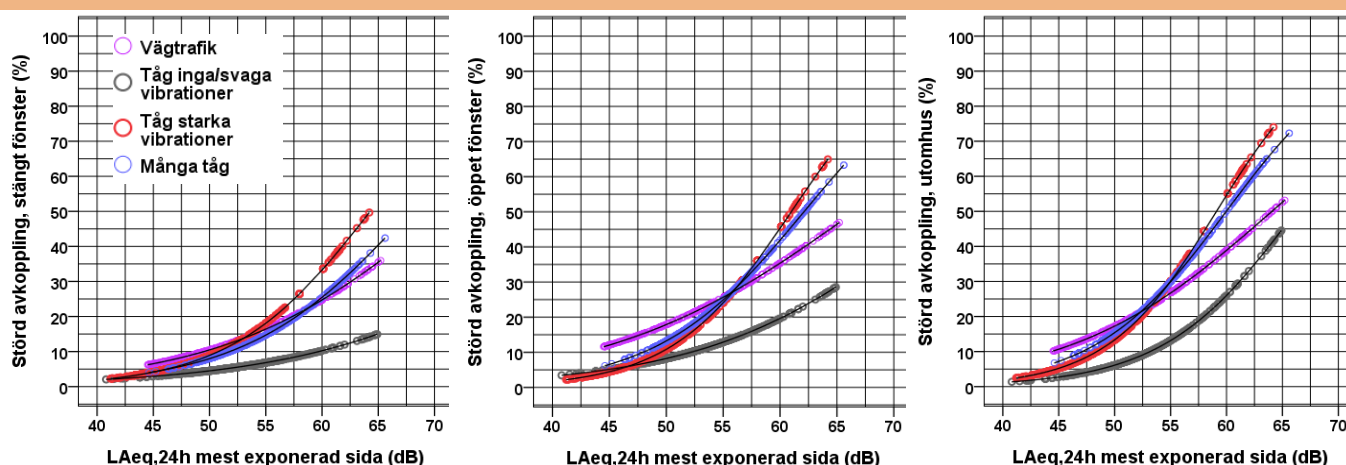


Figur 4.7. Samband mellan störning (andel i % >3) vid lyssning på radio/TV och ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ för olika undersökningsområden vid stängt fönster (vänster), öppet fönster (höger).

4.3.3 Störning av vila/avkoppling

Vägtrafikbuller stör i hög omfattning vila/avkoppling såväl inomhus med **stängt fönster** som med **öppet fönster** samt **utomhus** (35, 45 respektive 55 % störda vid ljudnivån $L_{Aeq,24h}$ 65 dB). Tågbuller i områden utan vibrationer är avsevärt mindre störande, 15, 30 respektive 45 % störda vid 65 dB.

I områden med starka vibrationer liksom i områden med många tåg stör tågbuller vila/avkoppling mer än vägtrafikbuller, en skillnad på ca 15 procentenheter vid ljudnivån $L_{Aeq,24h}$ 65 dB (figur 4.8).



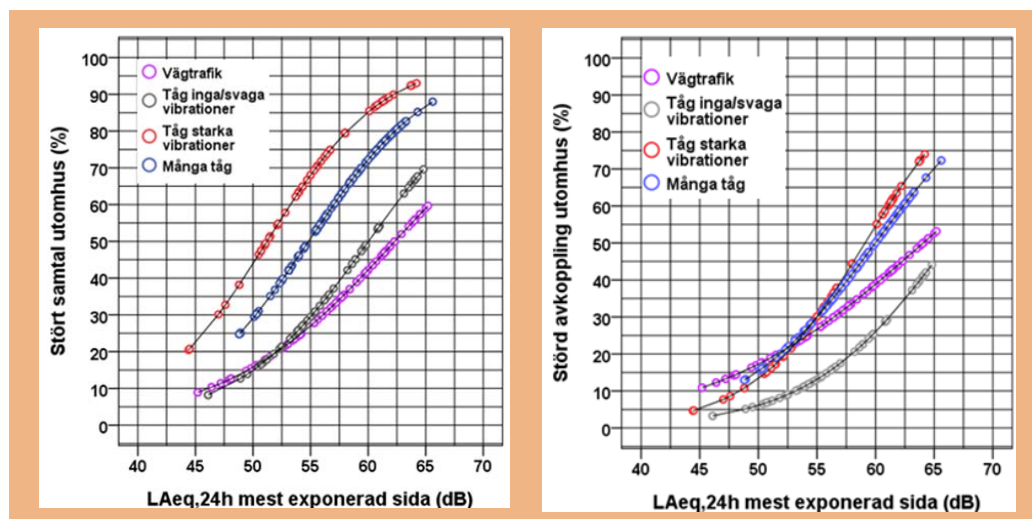
Figur 4.8. Samband mellan störning (andel i % >3) av avkoppling och ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ för olika undersökningsområden vid stängt fönster (vänster), öppet fönster (mitten) och utomhus vid uteplats (höger).

4.4 Uteplatsens/balkongens läge och dess betydelse för påverkan på samtal och avkoppling utomhus

Om uteplats eller balkong var belägen på den sida av bostaden som vetter mot trafikled eller mot järnväg var en signifikant högre andel störda av vägtrafikbuller respektive tågbuller under samtal och under vila/avkoppling utomhus. Figur 4.9 visar jämförande resultat för andel (%) som störs av buller under samtal utomhus (vänster figur) respektive vila/avkoppling utomhus (höger figur) för områden med vägtrafik och de tre olika tågområdena **enbart för personer vars bostad har balkong/uteplats mot bullerkälla** (trafikled respektive järnväg).

När det gäller *samtalsstörningar utomhus* är vägtrafikbuller mindre störande än tågbuller i samtliga 3 typer av tågområden (figur 4.9, vänster). Vid ljudnivåer över 55 dB är vägtrafikbuller (lika kurva) mindre störande för *vila/avkoppling utomhus* (figur 4.9, höger) än tågbuller i områdena med många tåg (blå kurva) och områden med vibrationer (röd kurva) men vägtrafikbuller stör vila/avkoppling mer än tågbuller i områden utan vibrationer (grå kurva).

Se vidare Appendix 1 (7/10), sid. 88 som visar resultat för störning av samtal och vila/avkoppling utomhus separat för samtliga områden uppdelat på balkong/uteplats mot bullerkälla respektive åt annat håll.



Figur 4.9. Andel (%) av boende med balkong/uteplats mot bullerkälla (n=446) som störs av buller under samtal utomhus (vänster) respektive under vila/avkoppling (höger) i förhållande till balkongens/uteplatsens läge mot bullerkällan samt dess ljudnivå i LAeq,24h för områden med vägtrafik respektive de tre tågområdena.

4.5 Kommentarer och slutsatser

4.5.1 Allmän störning

De jämförande studierna av effekter av vägtrafikbuller och tågbuller i **områden med relativt stort antal tåg** (Töreboda/Falköping) är i linje med majoriteten av europeiska studier (litteraturstudie Öhrström & Skånberg, 2006). Vägtrafikbuller upplevdes som mer störande än tågbuller vid ljudnivåer upp till $L_{Aeq,24h}$ 60 dB, en skillnad på mellan 8 och 16 procentenheter beroende på ljudnivå. Vid ljudnivåer över $L_{Aeq,24h}$ 60 dB minskar skillnaderna i andel störda. Om ljudnivån istället anges i L_{den} (som i Miedema & Vos, 2001 och EU Position paper, 2002, se Appendix 4) var störning av vägtrafikbuller avsevärt högre än störning av tågbuller även vid de högsta ljudnivåerna, en skillnad på ca 25 procentenheter vid L_{den} över 65 dB. Oliktigheterna i dos-respons samband för $L_{Aeq,24h}$ respektive L_{den} förklaras av att L_{den} -måttet innebär en större ökning i dB för tågbuller än för vägtrafikbuller relativt $L_{Aeq,24h}$ (en skillnad på 3 dB) eftersom tågtrafiken hade en jämnare fördelning över dygnet än vägtrafiken.

I studien i Lerum var en högre andel störda av tågbuller än av vägtrafikbuller såväl i delpopulationer utsatta för enbart en av bullerkällorna, vägtrafik eller tåg, som i den population som var exponerad för lika ljudnivå från båda bullerkällorna (Öhrström *et.al.*, 2007). Störning av tågbuller var avsevärt högre i Lerum (figur 7.3, sid. 64) än i Töreboda/Falköping, en skillnad på ca 25 procentenheter vid 55 dB och vid 60 dB. Detta bekräftar hypotesen att oro för utbyggnad av järnvägsspår i Lerum bidrog till högre störningsrapportering.

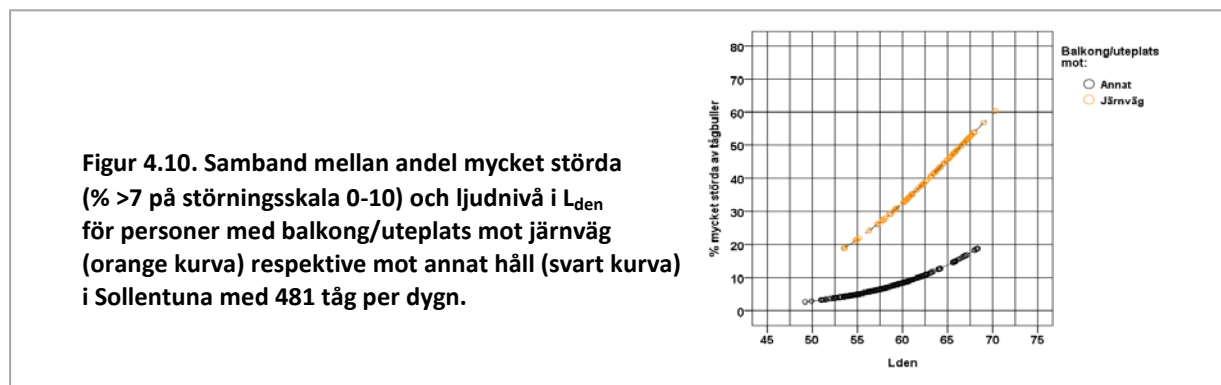
De jämförande studierna av vägtrafikbuller och tågbuller i områden med **mycket stort antal tåg** och i områden där tågtrafiken alstrar **starka vibrationer** i mark och hus visade däremot att tågbuller var mer störande än vägtrafikbuller vid ljudnivåer över $L_{Aeq,24h}$ 55 dB vilket är i linje med vad som framkom i litteraturstudien (Öhrström & Skånberg, 2006). Enligt denna visar samtliga japanska studier att tågbuller såväl från konventionella tåg som från Shinkansen-tåg, är mer störande än vägtrafikbuller vid ljudnivåer över $L_{Aeq,24h}$ 55 dB. Det kan noteras att flera av de japanska undersökningarna gjorts i områden med ett stort antal tåg (upptill 800 tåg/dygn) vilket innebär upptill 1 tåg varannan minut, d.v.s. ännu högre trafikeringsfrekvens än på de mest trafikerade järnvägarna i Sverige, t.ex. Ostkustbanan i Sollentunaområdet med 481 tåg per dygn. Detta skulle kunna förklara en del av de skillnader som finns mellan japanska och europeiska studier.

I en senare studie (Yano *et.al.*, 2006) framförs hypotesen att skillnaderna i störning av tågbuller mellan japanska och europeiska studier skulle kunna bero på att tågtrafiken, särskilt Shinkansen-tågen, alstrar mer **vibrationer** än vägtrafik och konventionella tåg vid samma ljudnivå och att japanska hus ligger närmare järnvägen än hus i Europa. Studier i Sydkorea (Lim *et.al.*, 2006) invid järnvägar med ca 250 tåg per dygn visar stora likheter med resultaten från de japanska studierna (tågbuller mer störande än vägtrafikbuller). Enligt författarna är även koreanska bostadshus belägna mycket nära järnvägen och dessutom är uteplatsen i de flesta fall belägen mot järnvägen.

Samtidig exponering för flera bullerkällor kan leda till högre störning vilket framkom i studien i Lerum (vägtrafik och tåg). I delar av undersökningsområdet i Sollentuna förekom samtidig exponering för två bullerkällor (flygbuller och tågbuller) och skillnaderna i andel störda av tågbuller mellan olika delområden beror sannolikt, åtminstone till en del, på samtidig förekomst av störningar av flygbuller. Vid ljudnivåer mellan 55 och 65 dB var andelen som stördes av tågbuller ca 20 procentenheter högre i områdena närmast Arlanda flygplats jämfört med området längst i söder (se rapport över Sollentunastudien, Appendix 16 och 17).

Vi utförde jämförande analyser av andel mycket störda av tågbuller i Sollentunastudien bland dem som har balkong/uteplats mot järnvägen (utvärderat som grad 8, 9 eller 10 på en 11-gradig störningsskala) och den koreanska studien (figur 3 i Lim, *et.al.*, 2006) och fann närmast identiska

resultat som den koreanska studien (30 % mycket störda vid L_{den} 60 dB och 60 % mycket störda vid L_{den} 70 dB), se figur 4.10 nedan baserade på data från Sollentunastudien.



Andelen störda av vägtrafikbuller i studierna inom TVANE-projektet (40 % störda vid $L_{Aeq,24h}$ 60 dB och 55 % störda vid 65 dB) stämmer relativt väl med resultat från tidigare svenska undersökningar i Göteborg och Lerum (Öhrström & Skånberg, 1999; 2004, Gidlöf-Gunnarsson *et al.*, 2005; 2010 samt Öhrström *et al.*, 2005; 2007) i områden nära större trafikleder och motorvägar, (41-55 % störda vid 60 dB och 44-96 % störda vid $L_{Aeq,24h}$ 65 dB). Den mycket höga andelen störda (96 %) av vägtrafikbuller (Öhrström & Skånberg, 1999; 2004; Öhrström 2004b; 2004c) berodde på att en hög andel av vägtrafiken (> 10 %) utgjordes av tung trafik till och från olika industriområden och trafikledens läge i ett område med vibrationskänslig mark varför många även rapporterade störning av vibrationer från vägtrafiken inne i bostäderna (1½-plans småhus med stomme i trä).

4.5.2 Störning av olika aktiviteter dagtid

Resultaten av de jämförande studierna mellan vägtrafikbuller och tågbuller i **områden med relativt stort antal tåg** stämmer väl överens med tidigare forskning om olika aktivitetsstörningar dagtid av tågbuller och vägtrafikbuller (litteraturstudie Öhrström & Skånberg, 2006). De dominerande effekterna av tågbuller var störning av *samtal* och störning av *lyssningsaktiviteter* såsom radio/TV och tågbuller var mer störande än vägtrafikbuller vid dessa aktiviteter. Den mest framträdande effekten av vägtrafikbuller var störning av *vila/avkoppling* och vägtrafikbuller var mer störande under vila avkoppling än tågbuller både inomhus med stängt och med öppet fönster och utomhus.

De jämförande studierna av vägtrafikbuller och tågbuller i områden med **mycket stort antal tåg** respektive i områden där tågtrafiken alstrar **starka vibrationer** i mark och hus är i linje med resultaten för allmän störning. När det gäller effekter på samtal och andra aktiviteter som involverar lyssning var tågbuller mer störande än vägtrafikbuller. Tågbuller var ungefär lika störande som vägtrafikbuller vid vila/avkoppling, särskilt utomhus då uteplats/balkong vetter mot trafikled respektive järnväg.

4.5.3 Slutsatser

En sammantagen bedömning när det gäller **jämförelser mellan vägtrafikbuller och tågbuller** är att vägtrafikbuller upplevs som mer störande än tågbuller (vid lika ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$) i områden med ett **relativt stort antal tåg** (124/dygn). I områden med ett **mycket stort antal tåg** (481 tåg/dygn) och i områden där tågtrafiken alstrar starka **vibrationer** i mark och hus är skillnaderna i störning mellan vägtrafikbuller och tågbuller små vid ljudnivåer under $L_{Aeq,24h}$ 55 dB (vägtrafikbuller något mer störande). Vid högre ljudnivåer är vägtrafikbuller mindre störande än tågbuller.

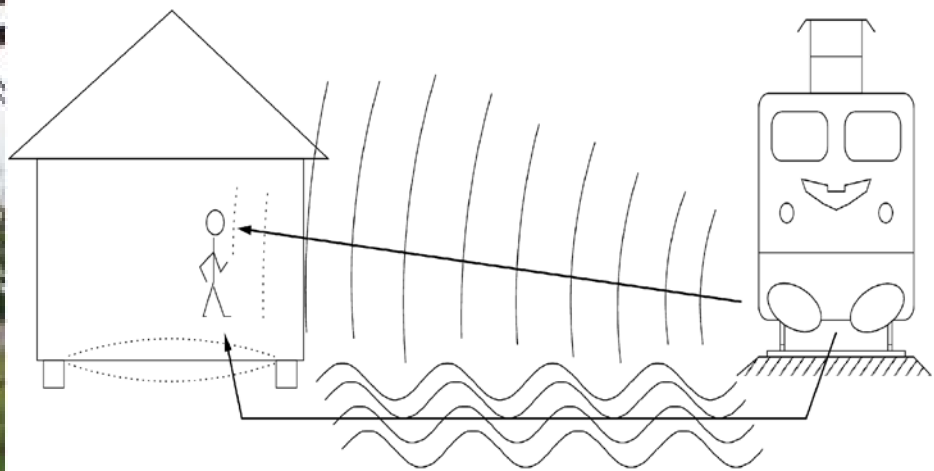
Då ljudnivån istället anges i L_{den} (ett mått som "bestraffar" buller kvälls- och nattetid) ökar skillnaderna i andel störda till tågtrafikens fördel. Vid ljudnivåer under L_{den} 60 dB är vägtrafikbuller

mer störande än tågbuller för samtliga typer av tågområden. Vid ljudnivåer över L_{den} 60 dB i områden med ett mycket stort antal tåg är tågbuller mer störande än vägtrafikbuller.

Tågbuller stör *samtal och lyssning på radio/TV* mer än vägtrafikbuller inomhus både med stängt och med öppet fönster. Utomhus, och med hänsyn tagen till uteplatsens läge i förhållande till bullerkälla, är vägtrafikbuller lika störande för samtal som tågbuller vid relativt stort antal tåg. Men vägtrafikbuller stör inte samtal lika mycket som tågbuller då antalet tåg är mycket stort eller då vibrationer förekommer. Vägtrafikbuller stör *vila/avkoppling* mer än tågbuller såväl inomhus med stängt och öppet fönster som utomhus i områden med relativt stort antal tåg. I tågområden med starka vibrationer och i områden med ett mycket stort antal tåg stör dock tågbuller vila/avkoppling mer än vägtrafikbuller, särskilt vid ljudnivåer över $L_{Aeq,24h}$ 60 dB.

En sammantagen bedömning när det gäller ***jämförelser av störning av tågbuller i områden med olika antal tåg*** är att antalet tåg per dygn, och inte enbart dygnekvivalentnivån har betydelse för hur störande tågbuller upplevs. Då antalet tåg är mycket stort, (481 tåg per dygn eller 1 tåg var 3:e minut) ger tågtrafiken upphov till mer omfattande bullerstörningar och andelen som störs eller påverkas under samtal, lyssningsaktiviteter och vila/avkoppling är avsevärt högre än vid järnvägar med färre tåg (124 tåg/dygn) och lika ljudnivå. Samma förhållande gäller för störning av tågbuller i områden där järnvägen är belägen på vibrationskänslig mark där tågtrafiken alstrar starka vibrationer i mark och hus.

Vid riskbedömningar av störning av buller och i samband med planering och åtgärder mot buller eller utbyggnad av ny infrastruktur, är det ***viktigt att ta hänsyn till hur uteplats/balkong är belägen*** för att inte underskatta risken för störning. Andelen störda av buller är avsevärt högre bland personer som har balkong/uteplats mot järnväg eller större väg, upptill 27 procentenheter högre, beroende på ljudnivå och typ av bullerkälla.



5. EFFEKTER AV SAMTIDIG EXPONERING FÖR BULLER OCH VIBRATIONER FRÅN TÅGTRAFIK

Spårburen trafik ger i varierande grad upphov till både buller och vibrationer i angränsande områden kring spåren. Man räknar med att ca 225 000 personer i Sverige (Simonsson, 2009) är utsatta för ljudnivåer över riksdagens långsiktiga mål på $L_{Aeq,24h}$ 55 dB. Markvibrationer i samband med tågtrafik förekommer vid ett relativt begränsat antal bansträckor i Sverige. Ca 6 560 lägenheter utmed 141 km bansträcka beräknades vara utsatta för vibrationer över 0,35 mm/s (maximal komfortvägd hastighet) förorsakade av spårburen trafik (Pagoldh, 1990; Öhrström, 2004a). Där kraftiga vibrationer förekommer utgör de dock ett stort störningsproblem. Beroende på hur kraftiga vibrationerna är ger de upphov till olika typer av störningar. Några exempel på effekter av vibrationer som rapporterats är att föremål rör sig i bostaden, man känner oro för skador på hus och egendom samt sömnstörningar. Vibrationer har således en stor störningspotential i sig.

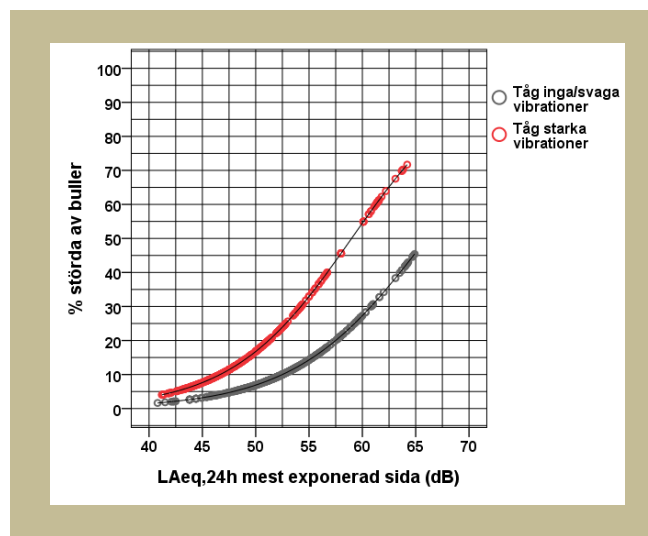
Järnvägstrafiken på befintliga sträckor kommer sannolikt av bl.a. miljöskäl att öka i framtiden. Kombinationen av tätare tågtrafik med tyngre och snabbare tåg riskerar därför att öka antalet störningar. För att kunna planera åtgärder i existerande situationer, och som stöd vid planering av nyetablering, är det nödvändigt att förstå sambanden mellan vibrationer och buller. Syftet med fältundersökningarna var att ta fram kunskap om hur människor störs och påverkas av tågbuller enskilt samt i kombination med vibrationer från tågtrafik och att undersöka vilka faktorer i byggnadens och markens beskaffenhet som är av betydelse för hur starka de vibrationsnivåer som alstras av tågtrafiken är inne i bostäder.

I detta avsnitt redovisas jämförande resultat från fältundersökningar i områden med starka vibrationer orsakade av tågtrafik i områdena Alingsås vid Västra Stambanan och Kungsbacka vid Västkustbanan samt resultat från fältundersökningar i områden utan vibrationer belägna i Töreboda och Falköping vid Västra Stambanan.

(Resultat för sömnstörningar av buller och vibrationer från fältundersökningar samt från experimentella studier redovisas separat i avsnitt 6. I Appendix 1 visas översiktstabeller över allmän störning, aktivitetsstörningar och sömnstörning.)

5.1 Allmän störning av buller i relation till ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ i områden med respektive utan starka vibrationer

Samtidig förekomst av vibrationer och buller från tågtrafiken påverkar störningsupplevelsen av buller. Sambandet mellan allmän störning av tågbuller (andel störda %) och ljudnivå ($L_{Aeq,24h}$) från tåg analyserades med binär logistisk regression för områden med respektive utan starka vibrationer. Figur 5.1 visar predicerad andel störda av tågbuller i områden utan (grå kurva) respektive med starka (röd kurva) vibrationer. Andelen som störs av tågbuller i områden utan/svaga vibrationer är relativt begränsade vid ljudnivåer under 55 dB liksom i områden med starka vibrationer då ljudnivåerna understiger 50 dB (ca 15 % störda).



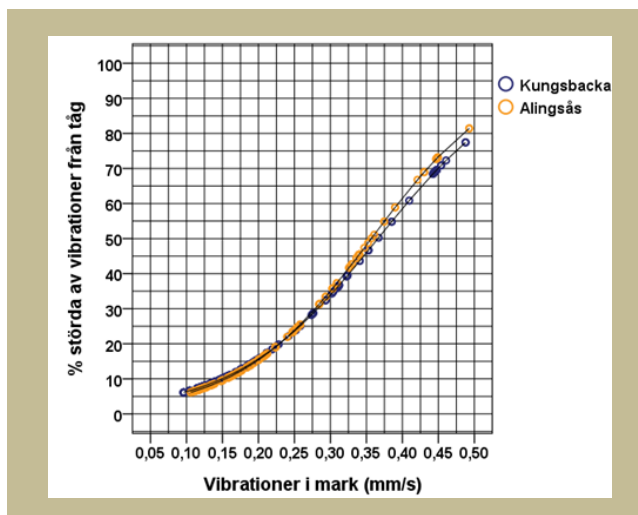
Figur 5.1. Andel störda (%) av tågbuller i områden med inga/svaga vibrationer (grå kurva) och starka vibrationer (röd kurva) som funktion av ljudnivå från tåg ($L_{Aeq,24h}$).

Skillnaderna i dos-respons samband mellan bullernivå och andel störda av buller i områden med starka vibrationer respektive inga/svaga vibrationer ökar med ökad ljudnivå. Vid låga ljudnivåer under 50 dB är mellan 5 och 10 procentenheter färre störda av tågbuller i områden utan vibrationer och vid ljudnivåer mellan 60 och 65 dB ökar skillnaderna i störning mellan områdena till ca 30 procentenheter. För lika andel störda av buller behöver således ljudnivån från tågtrafik i områden med starka vibrationer vara ca 5-7 dB lägre än i områden där det inte förekommer vibrationer från tågtrafiken.

5.2 Allmän störning av vibrationer i relation till vibrationsnivå i mm/s i mark respektive i hus

5.2.1 Störning av vibrationer i relation till vibrationsnivå i mark

Sambandet mellan störning av vibrationer (andel störda %) och vibrationsnivå (mm/s) från tåg analyserades med binär logistisk regression för områdena med starka vibrationer. Figur 5.2 visar predicerad andel störda av vibrationer i Kungsbacka (grå kurva) respektive Alingsås (orange kurva). Figuren visar endast resultaten för vibrationsnivåer upp till 0,50 mm/s eftersom högre vibrationsnivåer endast förekom i ett av områdena (Alingsås).



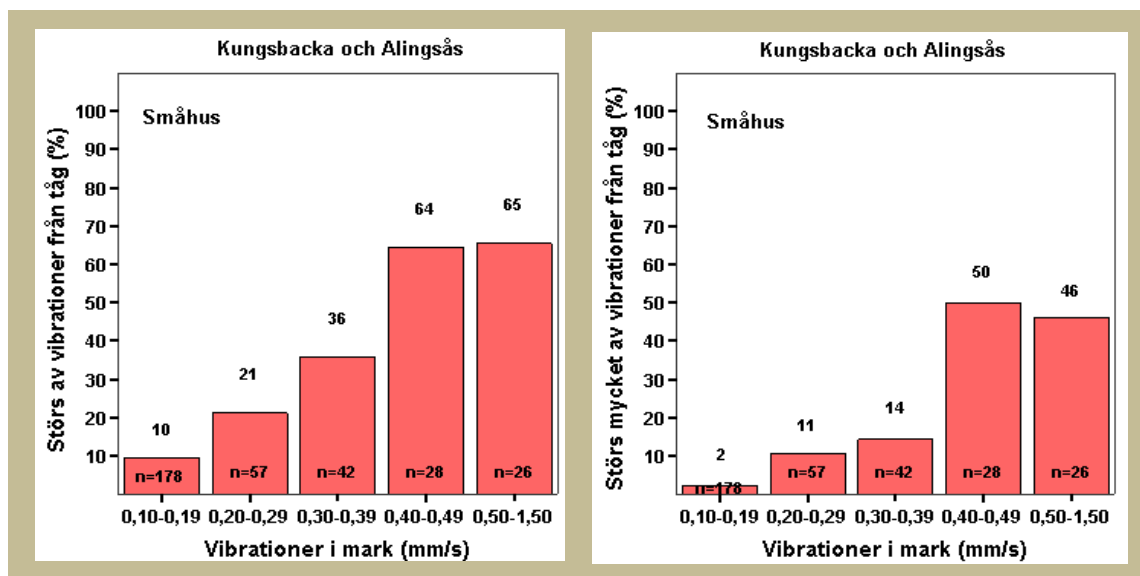
Figur 5.2. Andel störda (%) av vibrationer från tåg i relation till vibrationsnivå i mark i områdena med starka vibrationer – Kungsbacka och Alingsås med vibrationer upp till 0,50 mm/s (n=459).

5.2.2 Störning av vibrationer bland boende i småhus i relation till vibrationsnivå i mark

Typ av hus var en faktor av stor betydelse för störning av vibrationer. Boende i **småhus** var mer störda av vibrationer än boende i flerbostadshus men det fanns inga signifikanta skillnader i störning av vibrationer beroende på om det fanns källare eller ej eller om materialet i byggnadsstommen var av trä eller tegel/betong. I Kungsbacka var samtliga hus småhus medan 50 % av bostäderna i Alingsåsområdet utgjordes av flerbostadshus.

I figur 5.3 visas mera i detalj **andel störda** (vänster) och **andel mycket störda** (höger) av vibrationer från tågtrafik i relation till vibrationsnivå i mark i mm/s för boende i småhus i Kungsbacka och i Alingsås. Notera att i Kungsbacka har inga av de boende en vibrationsnivå i mark över 0,49 mm/s. Figuren visar att andelen som är **störda** av markvibrationer från tågtrafik (vänster) ökar med ökad vibrationsnivå från 10 % störda vid vibrationsnivåer mellan 0,10 och 0,19 mm/s till 36 % vid 0,30 - 0,39 mm/s. Vid nivåer över 0,40 mm/s i mark uppgår andelen som störs av vibrationer till 65 %.

Andelen som är **mycket störda** av markvibrationer (höger figur) är relativt låg vid vibrationsnivåer under 0,40 mm/s (2-14 % mycket störda). Vid vibrationsnivåer över 0,40 mm/s i mark är dock störningen hög (ca 50 % mycket störda).

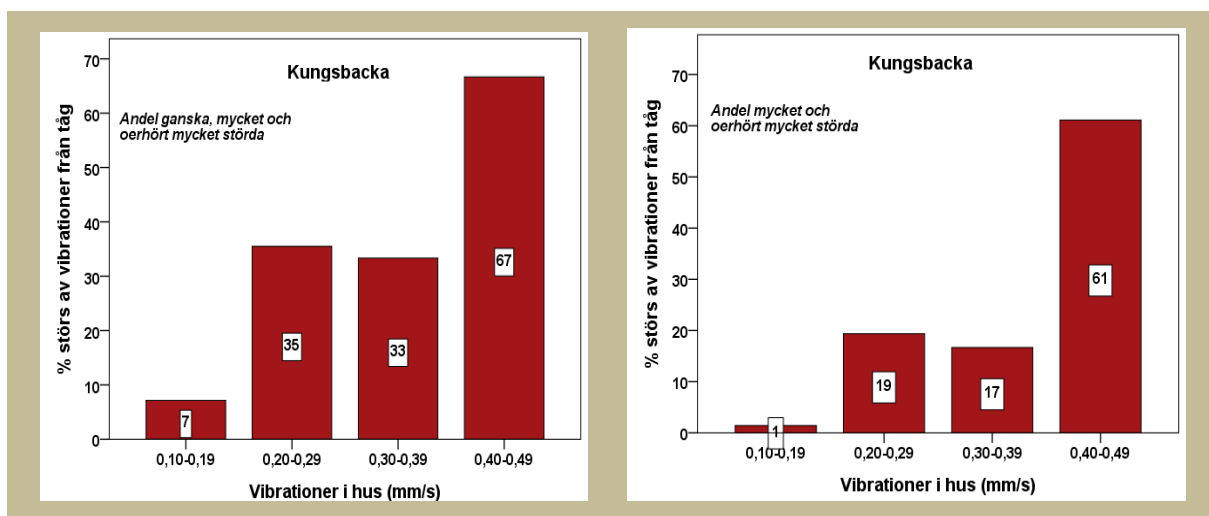


Figur 5.3. Andel (%) av boende i småhus som är störda (vänster figur) respektive mycket störda (höger figur) av tåg vibrationer i relation till vibrationsnivå i mark i Kungälv och Alingsås (n=331).

5.2.3 Störning av vibrationer i relation till vibrationsnivå i hus bland boende i småhus i Kungälv

En central frågeställning var huruvida vibrationsnivåerna från tågtrafik inne i bostäder kan beräknas (med tillräckligt god precision) utifrån resultat av enstaka mätningar utomhus i mark samt inomhus. Eftersom husens konstruktion till stor del avgör hur starka vibrationerna blir inomhus måste man veta alla detaljer kring material och byggnadsmetod för att kunna beräkna vibrationshastigheten inne i hus. I Kungälv visade det sig under fältmätningarna att en stor majoritet av byggnaderna är av liknande konstruktion och är lika känsliga för vibrationer och därför var det möjligt, till skillnad från i Alingsås, att beräkna en trolig vibrationshastighet inomhus i Kungälv. Sambandet mellan störning av vibrationer och vibrationsnivå i hus för Kungälvområdet visas i figur 5.4.

Andelen som är **störda** av vibrationer från tåg (vänster figur) ökar med ökad vibrationsnivå i hus från 7 % störda vid vibrationsnivåer mellan 0,10 och 0,19 mm/s till 67 % i kategorin 0,40 - 0,49 mm/s. Närmare 20 % är **mycket störda** av vibrationer (höger figur) under 0,40 mm/s. Vid vibrationsnivåer i hus som överstiger 0,39 mm/s syns en tröskleffekt med en majoritet (61 %) mycket störda.

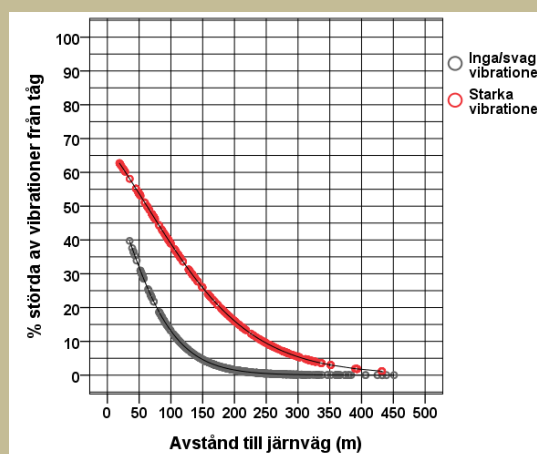


Figur 5.4. Andel (%) av boende i småhus som är störda (vänster figur) respektive mycket störda (höger figur) av tåg vibrationer i relation till vibrationsnivå i hus i Kungälv (n=218).

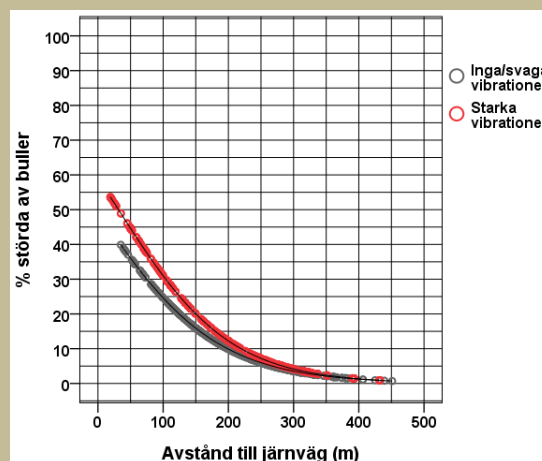
5.3 Allmän störning av vibrationer och buller i relation till avstånd mellan bostad och järnväg

Mätningarna av vibrationer i mark visade att det finns ett starkt samband mellan avstånd från järnvägen och vibrationsnivå i mm/s, den maximala komfortvägda vibrationshastigheten minskar med ca 47 % om avståndet till järnvägen dubblas. Störning av vibrationer samvarierar därför med avstånd från järnvägen (se figur 5.5). I områden med starka vibrationer var en relativt hög andel av de boende störda av vibrationer även på långt avstånd från järnvägen (t.ex. ca 10 % störda 250 m från järnvägen). På nära håll, 50 m från järnvägen, var 55 % störda av vibrationer och 100 m från järnvägen uppgick andelen störda till 40 %. I områden med inga/svaga vibrationer minskade andelen som stördes av vibrationer snabbt med ökande avstånd från järnvägen, t.ex. från 30 % på ett avstånd av 50 m till 12 % 100 m från järnvägen.

Figur 5.5. Predicerat värde för andel störda av vibrationer från tågtrafik i områden med starka vibrationer (röd kurva) och inga/svaga vibrationer (grå kurva) som funktion av avstånd från järnvägen (meter).



Figur 5.6. Predicerat värde för andel störda av buller från tågtrafik i områden med starka vibrationer (röd kurva) och inga/svaga vibrationer (grå kurva) som funktion av avstånd från järnvägen (meter).



Samband mellan störning av buller från tågtrafiken och avstånd till järnvägen (figur 5.6) visar att på långt avstånd från järnvägen är andelen som störs av tågbuller lika i de två undersökningsområdena men skillnaderna i andelen störda ökar ju närmare järnvägen man är bosatt, t.ex. 50 % störda av tågbuller i områden med starka vibrationer och 40 % i områden med inga/svaga vibrationer ca 30 m från järnvägen. Att skillnaden mellan områdena i andel bullerstörda nära järnvägen är relativt liten beror på att det i ett av de två områdena med starka vibrationer (Alingsås) finns en bullerskärm som gör att bullernivåerna nära järnvägen är upp till 10 dB lägre än i de övriga områdena. Jämför figur 5.1 avsnitt 5.1 sid. 42 som visar att vid lika bullernivå, 60-65 dB, är skillnaden i bullerstörning mellan områden med starka vibrationer respektive inga/svaga vibrationer ca 25 -30 procentenheter.

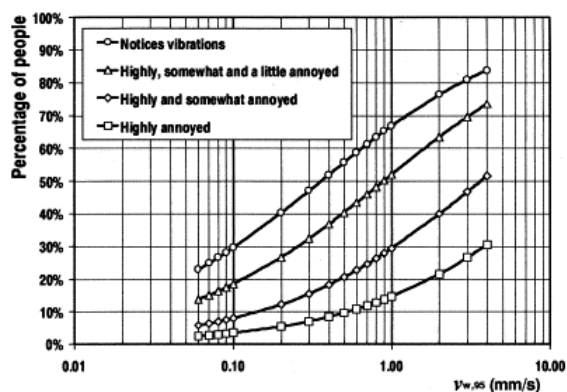
5.4 Kommentarer och slutsatser

5.4.1 Kommentarer

Resultaten visar att när vibrationer förekommer tillsammans med buller leder detta till att människor blir mer uppmärksammade på tågtrafiken vilket i sin tur leder till ökad **störning av tågbuller**. Skillnaderna i dos-responssamband mellan bullernivå och andel störda av buller i områden med starka vibrationer respektive områden utan vibrationer ökar med ökad ljudnivå. Vid låga ljudnivåer mellan 45 och 50 dB är mellan 5 och 10 procentenheter färre störda av tågbuller i områden utan vibrationer och vid ljudnivåer mellan 60 och 65 dB har skillnaderna i störning ökat till ca 25-30 procentenheter. Detta innebär att för lika andel störda av buller behöver ljudnivån från tågtrafiken i områden med starka vibrationer vara ca 5-7 dB lägre än i områden utan vibrationskänslig mark. Resultaten bekräftar fynden i den omfattande undersökningen av störning av buller i 15 tätorter i områden med och utan vibrationer (Öhrström & Skånberg, 1995) och är i linje med övriga studier i fält (Litteraturstudie Öhrström & Skånberg, 2006).

I områden med vibrationskänslig mark där tågtrafiken alstrar starka vibrationer kan vibrationer upplevas som lika störande som buller från tågtrafiken. **Störning av vibrationer** från tågtrafiken ökar med ökad vibrationsnivå och resultaten tyder på att det finns en tröskel för störning vid ca 0,40 mm/s maximal komfortvägd vibrationshastighet inomhus. Under 0,20 mm/s är färre än 10 % störda av vibrationer, mellan 0,20 och 0,39 mm/s är andelen störda ca 35 % och andelen mycket störda uppgår till ca 20 %. Vid vibrationsnivåer över 0,40 mm/s uppgår andelen störda av vibrationer till 65 % och andelen mycket störda till 61 %. Den norska studien som ligger till grund för den norska vibrationspolicyn (Klaeboe *et.al.*, 2003) finner likartade resultat vid låg vibrationsnivå (ca 10 % störda av vibrationer vid 0,20 mm/s) men lägre störning av vibrationer vid 0,40 mm/s än i denna undersökning (20 % störda jämfört med 33 % störda), se figur 5.7, kurva 2 nerifrån.

Figur 5.7. Estimated cumulative percentages of people reporting different degrees of annoyance by the strength of the vibrations V_w , 95 mm/s. (Klaeboe, Fyhri, Hårvik & Madshus, 2003, figur 4, sid. 101).



5.4.2 Slutsatser

Samtidig förekomst av buller och vibrationer från tågtrafik leder till förhöjd störning av tågbuller. Skillnaden i störning motsvarar ca 5-7 dB, d.v.s. för samma andel störda krävs en ljudnivå som är ca 5-7 dB lägre i områden med starka vibrationer jämfört med i områden utan vibrationer.

Störning av vibrationer är begränsade (<10 % *störda*) vid vibrationsnivåer under 0,20 mm/s. Vid nivåer på 0,40 mm/s och däröver är en majoritet *mycket störda* av vibrationer. Den situationsfaktor, utöver markens beskaffenhet, som har stor betydelse för upplevelse av olika effekter av vibrationer från tågtrafik är *typ av hus*, andelen störda av vibrationer är högre i småhus än i flerbostadshus.



6. SÖMNSTÖRNINGAR AV BULLER FRÅN VÄG- OCH TÅGTRAFIK SAMT SÖMNSTÖRNINGAR AV VIBRATIONER FRÅN TÅGTRAFIK – FÄLTSTUDIER OCH EXPERIMENTELLA STUDIER

Sömnstörningar anses utgöra en av de allvarligaste effekterna av trafikbuller. I detta avsnitt redovisas översiktligt jämförande resultat för olika typer av sömnstörningar från *fältundersökningarna* i vägtrafikområden i Kungälv/Borås, tågområden i Töreboda/Falköping (124 tåg/dygn), tågområden vid den starkt trafikerade järnvägen genom Sollentuna (481 tåg/dygn) samt tågområden med starka vibrationer (Alingsås/Kungsbacka).

Förutom dos-respons samband mellan ljudnivå i L_{natt} och olika typer av sömnstörningar redovisas resultat som belyser hur sovrumsfönstrens läge i förhållande till bullerkällan (trafikled, järnväg) inverkar på sömnstörningar. Här redovisas även några översiktliga resultat från de experimentella studierna av effekter av vägtrafikbuller och tågbuller samt effekter av buller och vibrationer från tågtrafik.

Resultat för sömnstörningar av buller från fältundersökningar samt från experimentella studier redovisas även i översiktstabeller i Appendix 1.

Sömnstörningar

Störning av sömnen (svårt somna, väcks, sämre sömnkvalitet) och störning p.g.a. att man inte kan sova med öppet fönster har ett mycket starkt samband med allmän störning av buller.

Störning av sömnen har mätts med två delfrågor. På frågan (del 1) "*Hur ofta*" var svarsalternativen "*aldrig*" = 0, "*ibland*" = 1, "*ofta*" = 2, och på frågan (del 2) "*Hur störande eller besvärande*" det är att bullret försvårar sömnen på olika sätt var svarsalternativen "*inte särskilt*" = 2, "*ganska*" = 3 och "*mycket*" = 4.

Värdet på de två delfrågorna adderades i ett summamått som kan anta värden mellan 0 och 6. Personer med summamåttet >3 har klassats som påverkade. Resultaten har utvärderats som andel i % med ett summerat värde >3 för olika typer av påverkan på sömnen.

Ett summerat *sömnstörningsindex* skapades genom att summera värdet på var och en av de tre sömnvariablerna svårt somna, väcks och sämre sömnkvalitet. Indexmåttet kan variera mellan 0 och 18.

6.1 Sömnstörningar av tågbuller och vägtrafikbuller i relation till ljudnivå i L_{natt}

FÄLTSTUDIER

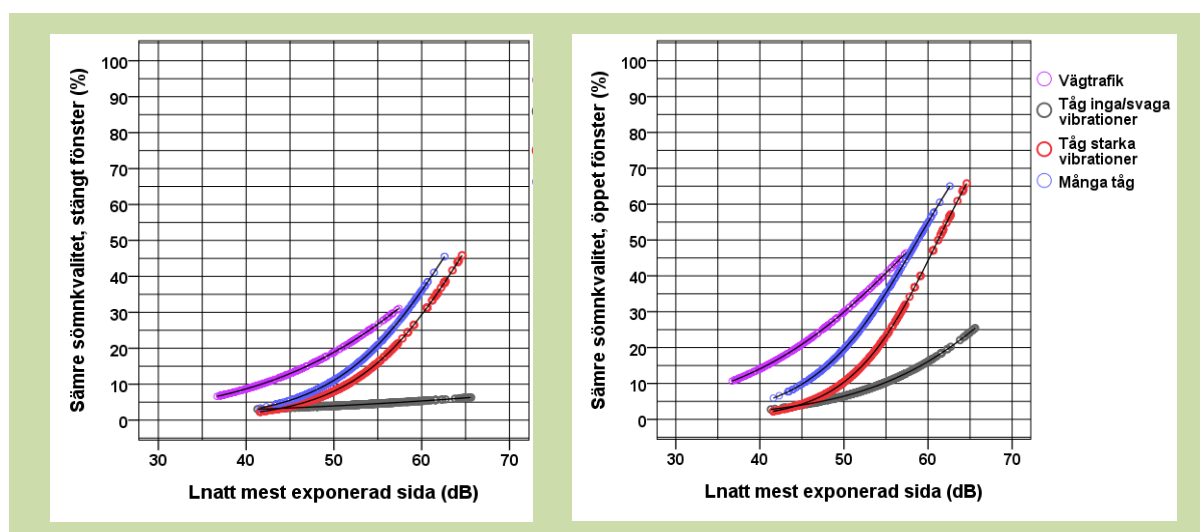
Resultaten från fältstudierna visar att vägtrafikbuller stör sömnen i betydligt högre omfattning än tågbuller. Detta gäller vid jämförelse med alla tre typerna av tågområden (relativt stort antal tåg, mycket stort antal tåg respektive starka vibrationer), se figur 6.1 och figur 6.2.

Vägtrafikbuller (lila kurva) stör sömnen mer än tågbuller men skillnaderna i sömnstörning mellan vägtrafikbuller och tågbuller minskar med ökande ljudnivå i områden med många tåg respektive områden med starka vibrationer. Skillnaderna i sömnstörningar mellan vägtrafikbuller och tågbuller i områden utan vibrationer ökar däremot med ökande ljudnivå i L_{natt} . Vid låga ljudnivåer är andelen som störs av vägtrafikbuller dubbelt så hög som andelen störda av tågbuller i de tre tågområdena såväl vid stängt (figur 6.1, vänster) som vid öppet fönster (figur 6.1, höger). Vid den högsta jämförbara ljudnivån (57 dB) är andelen sömnstörda i områden med många tåg ungefär densamma som för vägtrafikbuller, 45 %. En högre andel anger att de hindras av att ha sovrumsfönstret öppet p.g.a. vägtrafikbuller än av tågbuller även vid de högsta ljudnivåerna (figur 6.2).

I tågområden **utan vibrationer** (grå kurva) stör tågbuller sömnen i någon större omfattning först vid öppet sovrumsfönster (figur 6.1, höger) och ljudnivåer på ca L_{natt} 60 dB (15 % anger sämre sömnkvalitet och 25 % störs av att inte kunna sova med öppet fönster (figur 6.2)).

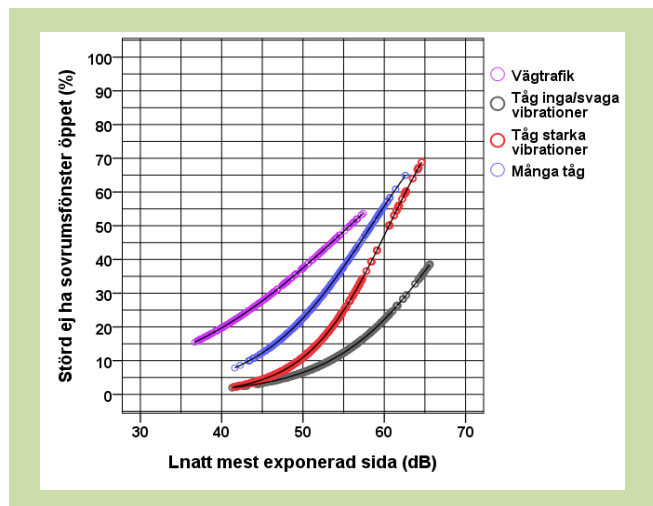
I området med **många tåg** (blå kurva) med närmare 3 gånger fler tåg nattetid än i området utan vibrationer (69 tåg respektive 26 tåg) var andelen som angav sämre sömnkvalitet p.g.a. tågbuller ungefär densamma i båda områdena vid låga ljudnivåer på L_{natt} 45 dB såväl vid stängt som vid öppet fönster (jfr blå och grå kurva). Vid högre ljudnivåer var skillnaderna däremot stora, drygt 3 gånger fler som anger försämrad sömnkvalitet vid L_{natt} 60 dB (figur 6.1, höger) och 2,5 gånger fler som anger sömnstörning p.g.a. man inte kan sova med fönstret öppet (figur 6.2).

I tågområden med **starka vibrationer** (röd kurva) är sömnstörningar av tågbuller omfattande både vid stängt och öppet fönster, ca 3 gånger högre än i området utan vibrationer (jfr röd och grå kurva), men andelen som anger försämrad sömnkvalitet är något lägre än i områden med många tåg (jfr röd och blå kurva), se figur 6.1, höger och figur 6.2.



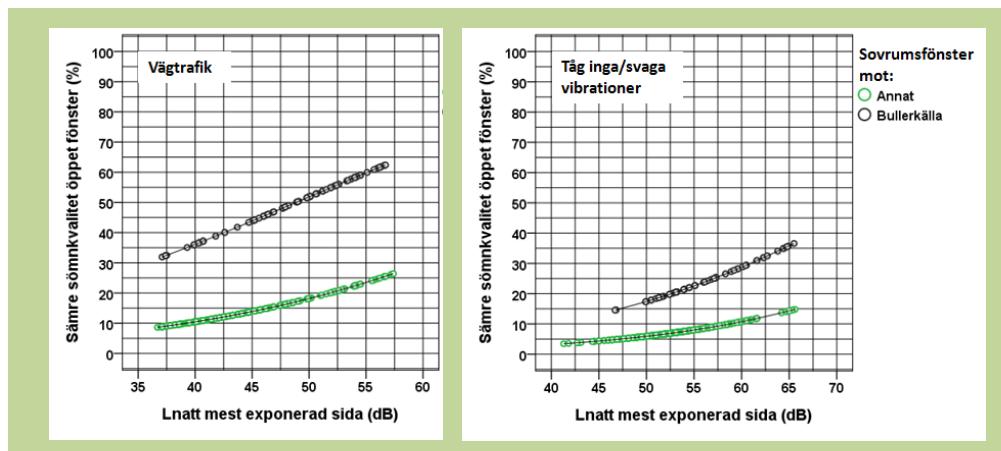
Figur 6.1. Samband mellan störning av sömnkvalitet p.g.a. buller och ljudnivå i L_{natt} för olika undersökningsområden vid stängt fönster (vänster) och vid öppet fönster (höger).

Figur 6.2. Samband mellan störning av att inte kunna ha sovrumsfönstret öppet pga. buller och ljudnivå i L_{natt} för olika undersökningsområden.



6.1.1 Sovrumsfönstrets läge har stor betydelse för sömnstörningar

Sovrumsfönstrets läge i förhållande till bullerkällan (järnväg och trafikled) har stor betydelse för uppkomst av sömnstörningar såväl vid stängt som vid öppet fönster. Förekomsten av sömnstörningar av vägtrafikbuller var närmare 3 gånger högre bland dem som har sovrumsfönster mot större väg (se figur 6.3, öppet fönster) jämfört med åt ett annat håll. I tågområdena var skillnaderna i andel med försämrad sömnkvalitet mindre, framför allt i området med inga/svaga vibrationer, mellan dem som hade sovrumsfönster mot järnvägen respektive åt annat håll. (Se även resultat för sömnkvalitet vid stängt och öppet fönster för samtliga undersökningsområden i Appendix 1 (8/10) sid. 89.

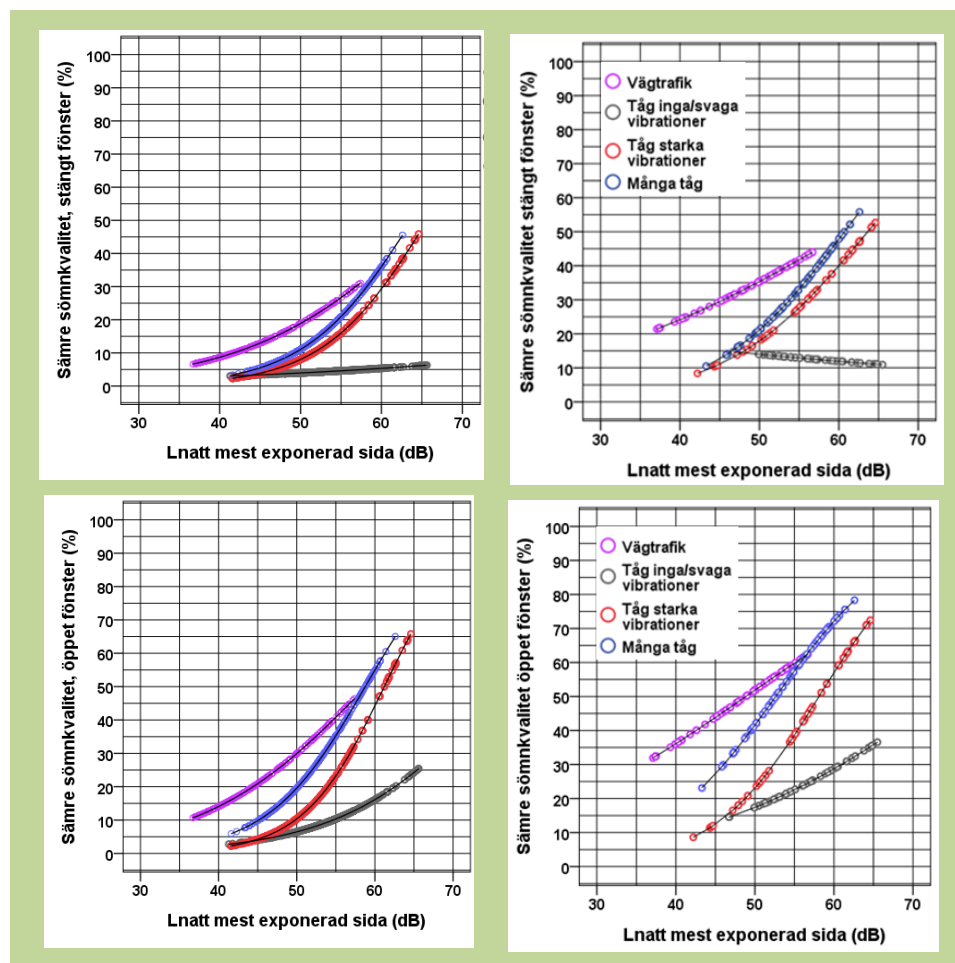


Figur 6.3. Andel (%) som anger att buller orsakar sämre sömnkvalitet vid öppet sovrumsfönster i förhållande till sovrumsfönstrets läge och bullernivå vid mest exponerad sida i ljudnivå i L_{natt} för områden med vägtrafik (vänster) och tågområden med inga/svaga vibrationer (höger).

Figur 6.4 visar jämförande resultat för andel (%) med försämrad sömnkvalitet p.g.a. buller för områden med vägtrafik och de tre olika tågområdena enbart för personer med sovrumsfönster mot bullerkälla (figurer till höger) respektive för samtliga personer (figurer till vänster). Övre figurerna visar resultat vid stängt fönster och nedre figurerna visar resultat vid öppet fönster.

Skillnaderna i påverkan på sömnkvalitet av vägtrafikbuller och tågbuller är än större då enbart personer med sovrumsfönster mot bullerkälla jämförs än då även personer med sovrumsfönster åt annat håll ingår i jämförelsen. Vid ljudnivåer upp till L_{natt} 55 dB orsakar vägtrafikbuller avsevärt större försämring av sömnkvaliteten än tågbuller i något av de tre tågområdena såväl vid stängt (figur 6.4, överst) som vid öppet fönster (figur 6.4, nederst).

Jämförelser mellan påverkan av vägtrafikbuller och tågbuller vid högre ljudnivåer är vanskliga att göra eftersom det inte finns data för vägtrafikbuller mer än upp till L_{natt} 57 dB. Skillnaderna mellan vägtrafikbuller och tågbuller i andel med försämrade sömnkvalitet minskar dock med ökande ljudnivå, men det är enbart i området med många tåg (Sollentuna) som andelen sömnstörda är lika hög som i vägtrafikområdet.



Figur 6.4. Predicerat värde för andel med sämre sömnkvalitet p.g.a. buller i olika områden i relation till L_{natt} vid mest exponerad sida för samtliga personer, n=2 148 (vänster) samt för personer med sovrumsfönster mot bullerkälla (väg respektive järnväg), n=373 (höger). De övre figurerna avser stängt sovrumsfönster och de nedre öppet sovrumsfönster.

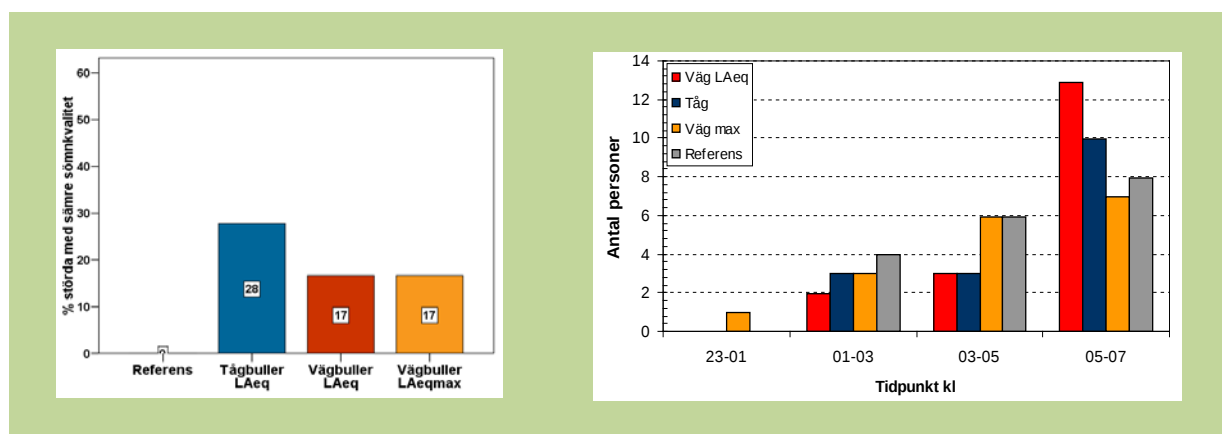
Som framgår i figur 6.4 samt tabellen i Appendix 1 (9/10), sid. 90 är andelen med sämre sömnkvalitet p.g.a. av buller bland personer som har sovrumsfönster mot järnväg eller väg, upptill 25 procentenheter högre, beroende på ljudnivå och typ av bullerexponering. Detta visar att det är viktigt att vid riskbedömningar av sömnstörningar av vägtrafikbuller och tågbuller i samband med planering och åtgärder mot buller samt utbyggnad av ny infrastruktur, ta hänsyn till hur sovrumsfönstren är belägna för att inte underskatta risken för sömnstörningar.

EXPERIMENTELLA STUDIER

De experimentella studierna av påverkan på sömnen av vägtrafikbuller och tågbuller omfattade totalt fem nätter varav 2 nätter med vägtrafikbuller och 1 natt med tågbuller. Tågbullerexponeringen hade samma antal tåg och komposition av tågtrafik som på Västra Stambanan (46 tåg varav 25 godståg). Ljudnivåerna (L_{natt} 31 dB) under experimenten motsvarade ljudnivåförhållanden med sovrumsfönster på glänt. Denna ljudnivå är jämförbar med en ca 20 dB högre ljudnivå, d.v.s. L_{natt} ca 50-55 dB, i en situation då sovrumsfönstren vetter mot mest exponerad sida (järnväg eller trafikled).

De experimentella studierna i sömnlaboratoriet visade att påverkan på sömnen överlag inte skiljde sig åt mellan nätter med tågbuller och nätter med vägtrafikbuller med samma ekvivalenta ljudnivå (L_{natt}) respektive med samma maximalnivå (L_{AFmax}) som tågbullret. Det framkom inga signifikanta skillnader i insomningssvårigheter, sömnkvalitet eller angiven störning av ljud/buller mellan tågbuller och vägtrafikbuller men andelen som angav olika sömnstörningar till följd av buller var något högre för tågbuller (se figur 6.5, vänster).

Antalet uppvaknanden (*frågan var inte specifikt relaterad till ljud/buller*) var något fler under nätter med tågbuller, i medeltal 2,2 uppvaknanden per natt jämfört med under de två nätterna med vägtrafikbuller, (1,5 respektive 1,3 uppvaknanden i medeltal), $p=0,03$. Figur 6.5 (höger) visar att antalet ihågkomna uppvaknanden var avsevärt fler under senare delen av natten vilket speglar förhållandet att sömndjupet minskar under nattens lopp.



Figur 6.5. Andel (%) som angav att de hade sämre sömnkvalitet p.g.a. ljud/buller (vänster figur) och antal personer som kom ihåg att och när de vaknat under olika perioder under natten (höger figur).

6.2 Sömnstörningar vid samtidig exponering för vibrationer och buller från tågtrafik

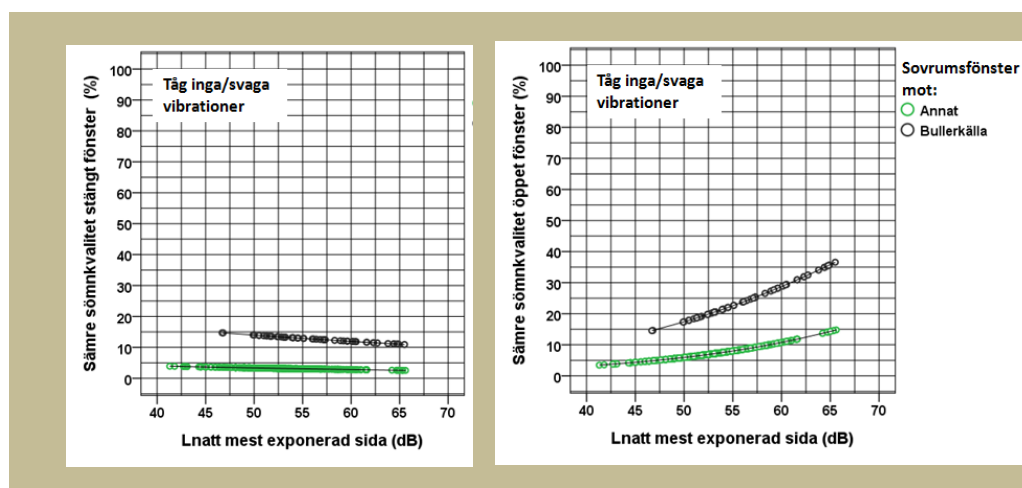
FÄLTSTUDIER

Som framgår i avsnitt 6.1 är sömnstörningar av tågbuller mer omfattande i områdena Alingsås och Kungsbacka med starka vibrationer än i områden utan vibrationer (Töreboda och Falköping). De olika typerna av sömnstörningar (Insomningssvårigheter, väckning och försämring av sömnkvalitet) påverkas i ungefär lika utsträckning. Tabell 6.1 visar att andelen som anger *försämrad sömnkvalitet* p.g.a. tågbuller vid *öppet* fönster uppgår till mer än 10 % först vid ljudnivåer (L_{natt}) mellan 55-59 dB i områden med inga/svaga vibrationer. I områden med starka vibrationer anger 13 % sämre sömnkvalitet redan vid 5 dB lägre ljudnivå (50-54 dB) och vid ljudnivåer mellan L_{natt} 60 och 65 dB anger 47 % sämre sömnkvalitet p.g.a. tågbuller.

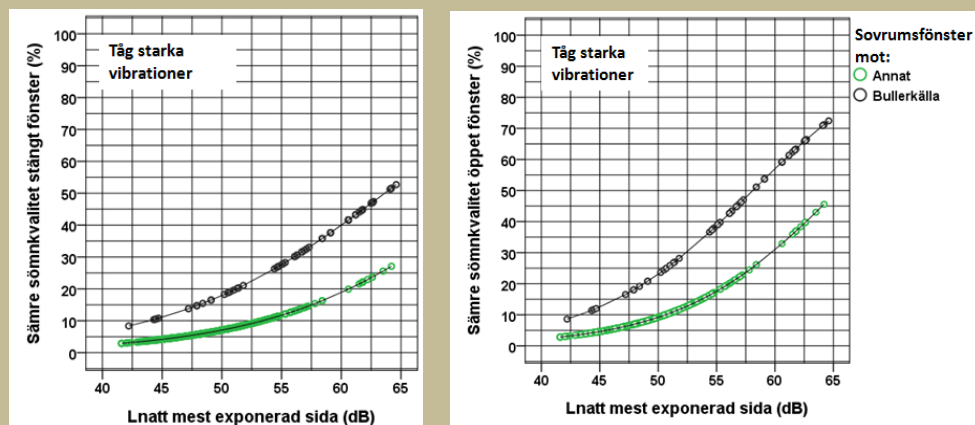
Tabell 6.1. Översikt och jämförelser av sömnstörningar (andel i %) p.g.a. tågbuller i områden med inga/svaga vibrationer och områden med starka vibrationer. Ljudnivån anges i L_{natt} .

	Töreboda, Falköping inga/svaga vibrationer			Alingsås, Kungsbacka starka vibrationer					
	50-54 dB	55-59 dB	60-65 dB	50-54 dB	Diff.	55-59 dB	Diff.	60-65 dB	Diff.
Sämre sömnkvalitet: ¹⁾									
Vid stängt fönster	3	5	9	10	+7	29	+24	25	+16
Vid öppet fönster	5	12	24	13	+8	34	+22	47	+23
Störs av att inte kunna sova med fönstret öppet	7	16	33	13	+6	39	+23	51	+18

Som visats i tidigare avsnitt har sovrumsfönstrets läge i förhållande till järnvägen stor betydelse för huruvida sömnen påverkas. Figur 6.6 visar att vid stängt sovrumsfönster är skillnaderna i sömnstörning små i områden med inga/svaga vibrationer mellan de som har sovrumsfönster mot järnväg respektive åt annat håll och det är först då man har fönstret öppet (höger figur) som skillnaderna i sömnstörning blir mer påtagliga.



Figur 6.6. Områden med inga/svaga vibrationer. Predicerat värde för andel med försämrad sömnkvalitet p.g.a. tågbuller i relation till ljudnivå i L_{natt} för personer med sovrumsfönster mot järnvägen (svart kurva) respektive mot annat håll (grön kurva). Vänster figur visar sömnstörning vid stängt fönster och figuren till höger visar sömnstörning vid öppet fönster.

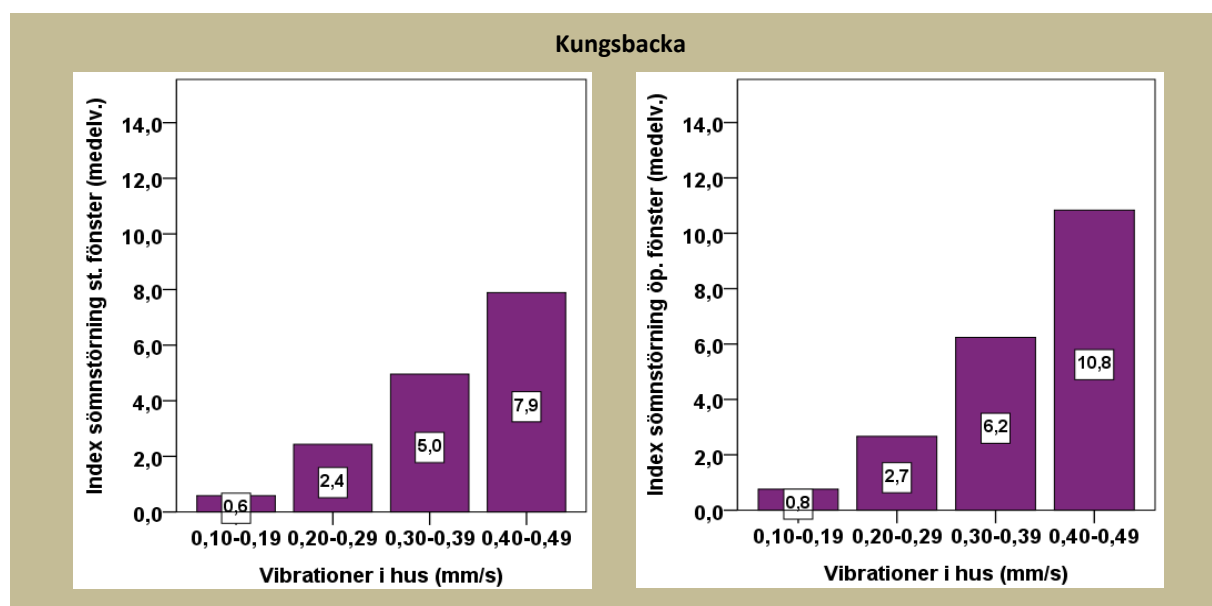


Figur 6.7. **Områden med starka vibrationer.** Predicerat värde för andel med försämrad sömnkvalitet p.g.a. tågbuller i relation till ljudnivå i L_{natt} för personer med sovrumsfönster mot järnvägen (svart kurva) respektive mot annat håll (grön kurva). Vänster figur visar sömnstörning vid stängt fönster och figuren till höger visar sömnstörning vid öppet fönster.

I områdena med starka vibrationer (figur 6.7) är skillnaderna mellan de två grupperna med sovrumsfönster mot järnväg respektive åt annat håll stora både vid stängt och vid öppet sovrumsfönster. Detta tyder på att även vibrationer, som antas vara lika starka vid samma ljudnivå oavsett åt vilket håll sovrumsfönstren vetter, har stor negativ påverkan på sömnen.

6.2.1 Samband mellan sömnstörningar av tågtrafik och vibrationsnivå i hus

Vibrationer från tågtrafiken inne i hus kunde endast beräknas med god tillförlitlighet i Kungsbackaområdet där husen, samtliga småhus, var av likartad konstruktion. I figur 6.8 visas samband mellan vibrationsnivå i mm/s beräknat inne i hus i Kungsbackaområdet och indexmättet för sömnstörning av tågbuller (svårt att somna, väcks, sämre sömnkvalitet) vid stängt (vänster) och öppet fönster (höger).



Figur 6.8. Index (medelvärde) för sömnstörningar (svårt att somna, väcks, sämre sömnkvalitet) p.g.a. tågbuller vid stängt (vänster) och öppet fönster (höger) i relation till vibrationsnivå i hus för Kungsbackaområdet.

Figuren visar att sömnstörningar av tågbuller vid såväl stängt som vid öppet fönster ökar med ökad vibrationsnivå inne i huset. Vid låga vibrationsnivåer (0,10 - 0,29 mm/s) är förekomsten av sömnstörningar liten och ungefärligt lika vid de båda situationerna med stängt och öppet fönster (jfr $M=0,6$ och $0,8$ respektive $M=2,4$ och $2,7$).

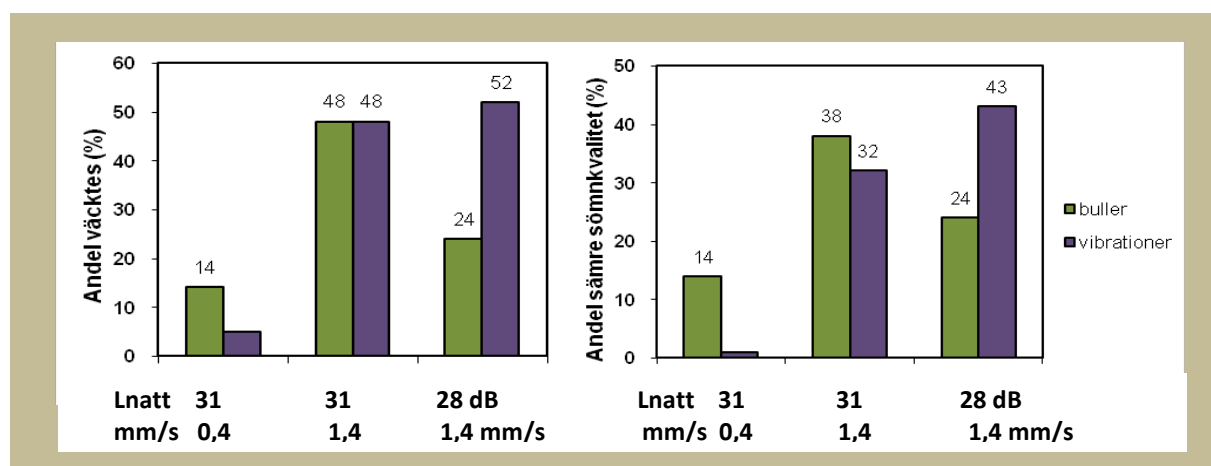
Vid starkare vibrationer, nivåer mellan 0,40 och 0,49 mm/s, har sömnstörningarna ökat kraftigt (ca 3 gånger fler sömnstörda vid stängt respektive 4 gånger fler sömnstörda vid öppet fönster jämfört med vid nivåer mellan 0,20 och 0,29 mm/s). Dessa resultat stämmer väl överens med den ökning i allmän störning av vibrationer som sågs vid vibrationsnivåer på 0,40 mm/s och högre (se figur 5.3, sid. 44).

EXPERIMENTELLA STUDIER

De experimentella studierna i sömnlaboratoriet av påverkan på sömnen av buller och vibrationer från tågtrafik omfattade totalt fem nätter varav 3 nätter med exponering för tågbuller med hög (L_{natt} 31 dB) eller låg ljudnivå (L_{natt} 28 dB) i kombination med svaga (0,4 mm/s) eller starka (1,4 mm/s) vibrationer. Tågbullerexponeringen motsvarade trafikeringen nattetid på Västra Stambanan mellan Göteborg och Alingsås (totalt 46 tåg kl. 23-07). Vibrationerna presenterades endast tillsammans med godstågspassagera (25 st). Ljudnivåerna i den experimentella situationen motsvarade ljudnivåförhållanden med sovrumsfönstret öppet på glänt. Denna ljudnivå är jämförbar med en ljudnivå utomhus utanför sovrum på L_{natt} ca 50 - 55 dB, i de fall då sovrumsfönstren vetter mot järnvägen.

De experimentella studierna visade att vibrationer har stor negativ inverkan på sömnen. När vibrationsnivån ökades från 0,4 till 1,4 mm/s vid oförändrad bullernivå (L_{natt} 31 dB) försämrades *sömnkvaliteten* signifikant, sömnen blev oroligare och försökspersonerna kände sig tröttare påföljande morgon, dag och kväll. Antalet uppvaknanden var dock inte fler under nätter med starka vibrationer.

Buller upplevdes som mer störande för sömnen (svårigheter att somna, väcktes av buller och tendens till sämre sömnkvalitet) under nätter med starka vibrationer än under nätter med svaga vibrationer. Det fanns inte någon motsvarande interaktionseffekt för sömnstörningar av vibrationer, d.v.s. sömnstörning av vibrationer var lika oavsett om bullernivån var hög (L_{natt} 31 dB/ L_{AFmax} 54 dB) eller låg (L_{natt} 28 dB/ L_{AFmax} 48 dB). Se figur 6.9 som visar exempel på sömnstörningar för andel som väcktes (vänster figur) respektive fick sämre sömnkvalitet (höger figur) p.g.a. buller respektive vibrationer.



Figur 6.9. Andel som väcktes (vänster) och andel som angav försämrad sömnkvalitet (höger) av buller (gröna staplar) respektive vibrationer (lila staplar) under de tre olika exponeringsnätterna.

6.3 Kommentarer och slutsatser

6.3.1 Sömnstörningar av vägtrafikbuller och tågbuller

Resultaten från *fältstudierna* visade att vägtrafikbuller är mer störande för sömnen än tågbuller vilket stämmer väl överens med litteraturstudien (Öhrström & Skånberg, 2006) samt nya metaanalyser av data från 24 sömnstudier publicerade mellan 1971 och 2004 (Miedema & Vos, 2007). Resultaten från de *experimentella studierna* visade däremot inga signifikanta skillnader mellan tågbuller och vägtrafikbuller i subjektivt upplevda sömnstörningar vid samma ljudnivå inomhus och med ljudnivåer motsvarande en situation med fönstret öppet på glänt. Dessa resultat stämmer därmed överens med resultaten från studien i Lerum, (med samma tågbullerexponering som i experimentet) vilken visade att sömnstörningar (svårt att somna, uppvaknanden och sämre sömnkvalitet) var ungefär lika vanliga vid exponering för tågbuller som för vägtrafikbuller vid samma ljudnivå i L_{natt} vid mest exponerad fasad (Öhrström *et al.*, 2005).

Fältstudierna visade att vägtrafikbuller var mer sömnstörande än tågbuller i områdena vid Västra Stambanan (Töreboda och Falköping) med relativt många tåg (26 tåg kl. 22-07) såväl som i områden invid Ostkustbanan (Sollentuna) med mycket stort antal tåg (69 tåg kl. 22-07) och i områden med starka vibrationer (Alingsås och Kungsbacka). Skillnaderna i andel som angett att buller gav upphov till olika typer av sömnstörningar (svårt att somna, väcks, sämre sömnkvalitet samt förhindras att ha sovrumsfönstret öppet) var stora mellan vägtrafikområden och tågområden. Dock minskade skillnaderna vid högre ljudnivåer.

I tågområdena med 26 tåg per natt var 20 - 30 procentenheter fler sömnstörda av vägtrafikbuller än av tågbuller vid ljudnivåer över L_{natt} 50 dB och det var först vid L_{natt} >60 dB och med sovrumsfönstret öppet som sömnstörningar av tågbuller förekom i någon större omfattning (24 % sömnstörda).

Skillnaderna i påverkan på sömnkvalitet av vägtrafikbuller och tågbuller är än större då enbart personer med *sovrumsfönster mot bullerkälla* jämförs än då även personer med sovrumsfönster åt annat håll ingår i jämförelserna. Vid ljudnivåer upp till L_{natt} 55 dB orsakar vägtrafikbuller avsevärt större försämring av sömnkvaliteten än tågbuller i något av de tre tågområdena såväl vid öppet som vid stängt fönster. Jämförelser mellan påverkan av vägtrafikbuller och tågbuller vid högre ljudnivåer är vanskliga att göra eftersom det inte finns data för vägtrafikbuller mer än upp till L_{natt} 57 dB. Skillnaderna mellan vägtrafikbuller och tågbuller i andel med försämrade sömnkvalitet minskar dock med ökande ljudnivå, men det är enbart i området med mycket stort antal tåg (Sollentuna) som andelen sömnstörda är lika hög som i vägtrafikområdet i de fall sovrumsfönstren vetter mot bullerkällan.

Att vägtrafikbuller stör sömnen mer än tågbuller får även stöd i nya, mycket omfattande studier av sömnstörningar ($n = 4\,466$) i bostadsområden vid trafikleder och järnvägar i Oslo (Aasvang, 2009). Skillnaderna i sömnstörningar mellan vägtrafikbuller och tågbuller berodde i hög grad på *sovrumsfönstrens läge* och huruvida L_{natt} *utanför* sovrum eller L_{natt} *inne i* sovrum användes som mått på bullerexponering. Typ av bullerkälla hade, liksom i TVANE-studierna, störst betydelse då sovrumsfönstren vette åt samma håll som bullerkällan. I dessa fall var andelen sömnstörda av vägtrafikbuller signifikant högre än andelen sömnstörda av tågbuller, framför allt då ljudnivån angavs som nivå *utanför* sovrum, men även då ljudnivån *inne i* sovrum användes som mått på exponeringen. Typ av bullerkälla hade däremot avsevärt mindre betydelse när sovrumsfönstren vette mot den tystare sidan av bostaden (inga skillnader i sömnstörning mellan vägtrafikbuller och tågbuller).

Den minskning i andel sömnstörda mellan vägtrafikbuller och tågbuller (i områden med mycket stort antal tåg) vid ökande ljudnivåer som TVANE-studierna visade är inte i överensstämmelse med Miedema & Vos (2007) som tvärtom visade ökande skillnader i andel sömnstörda med ökande ljudnivå. Även Miedema & Vos (2007) kommer till slutsatsen att sovrumsfönstrens läge är viktigt att beakta vid upprättande av dos-respons samband mellan bullernivå och sömnstörning. Författarna

påpekar att de skattade sambandsfunktionerna mellan sömnstörning och ljudnivå kan förbättras om ljudnivån *utanför sovrumsfönster* och *skillnaden mellan ljudnivå utomhus och inomhus* i sovrum kan fastställas. Även kunskaper om ljudnivån i början på natten (med tanke på insomningssvårigheter) och ljudnivån under senare delen av natten (för tidigt uppvaknande) liksom maximal ljudnivå och ljudnivån under de tystaste perioderna under natten skulle bidra till en förbättrad skattning av bullerorsakade sömnstörningar. Basner *et al.*, 2010 delar denna uppfattning och menar att beräkningar av L_{natt} dessutom bör omfatta s.k. "shoulder hours" d.v.s. någon timme före kl. 22 och efter kl. 06 eftersom trafiken är intensiv under dessa perioder. Författarna påpekar också att precisionen i riskbedömningar av sömnstörning kan förbättras avsevärt om man tillför information om *antalet bullerhändelser* som bidrar till L_{natt} .

Det finns en ny studie som visar att tågbuller stör sömnen mer än vägtrafikbuller. Undersökningar i Korea (Hong *et al.*, 2010) visar till skillnad från europeiska sömnstudier (Miedema & Vos, 2007) och studierna inom TVANE-projektet, att tågbuller ger upphov till avsevärt mer sömnstörningar än vägtrafikbuller. Undersökningarna, som är de första i större skala i Korea ($n=1\ 160$), genomfördes under åren 2004 till 2006. Totalt ingick 18 mätplatser i tågområdena och 17 i vägområdena. Undersökningsområdena var i huvudsak belägna inom 100 m från järnväg respektive väg och de flesta boende hade järnvägen inom synhåll (antalet tåg mellan kl. 22-07 varierade mellan 59 och 82 tåg, varav 56 % godståg, och antalet vägfordon varierade mellan ca 6 000 och 37 000). Cirka 4 gånger fler personer var sömnstörda av tågbuller än av vägtrafikbuller, t.ex. 40 % HSD ("highly sleep disturbed") jämfört med ca 10 % HSD vid L_{natt} 60 dB (Hong *et al.*, fig. 1 och 2). Sömnstörning mättes med en skala från 0-10 där 8, 9 och 10 utvärderades som % HSD. Författarna för fram flera förklaringar till att så många är sömnstörda av tågbuller i Korea. Husen ligger närmare järnvägen vilket kan medföra mer vibrationer. Socio-kulturella skillnader samt en mycket mer negativ attityd till tågbuller än i europeiska länder kan utgöra andra förklaringsfaktorer.

Ytterligare orsaker till att tågbuller rapporterades störa sömnen i så hög utsträckning skulle kunna vara stora skillnader i maximal ljudnivå (L_{AFmax} 18 dB högre än L_{natt} i tågområden och ca 12 dB högre än L_{natt} i vägtrafikområden) vilket gör att tågbullret har en intermittent karaktär medan vägtrafikbullret har en jämnare och därmed mindre sömnstörande karaktär enligt studier av Öhrström & Rylander (1982). Undersökningsmetodiken avviker delvis från andra studier på så sätt att samtliga deltagande personer kontaktades när de gick in eller var på väg ut från sin bostad och deltagarna fyllde i frågeformulären under överinseende av undersökningsledaren. Denna metodik leder till att en ovanligt hög andel av deltagarna utgörs av kvinnor (77 %) och av personer som vistas hemma dagtid. Om detta har påverkat resultatet av studien är svårt att säga men författarna arbetar nu med att ta fram ett representativt urval av personer med avseende på kön och ålder.

I några studier under senare år har effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tåg utvärderats med fysiologiska mätmetoder såsom PSG (polysomnografi, mäter sömndjup, m.m.) (Aasvang, 2009; Griefahn *et al.*, 2006) och med aktimetri (kroppsrörelser) och EKG (hjärtfrekvens) (Passchier-Vermeer *et al.*, 2007). Griefahn *et al.* (2006) redovisar jämförande studier av sömnstörningar av buller från vägtrafik- tåg och flyg vilka utfördes i en serie laboratorieexperiment. I försöken ingick 32 personer som exponerades under 3 nätter, 3 veckor i följd för buller med olika antal bullerhändelser (172 – 261 st.), olika L_{AFmax} (50-62, 56-68, och 62-74 dB) och olika L_{natt} -nivåer (39, 44 och 50 dB) från de tre trafikslagen. Under alla exponeringsnätter, presenterades ett bakgrundsljud på 32 dB med s.k. "pink noise" (skärt brus). Bakgrundsljudet användes dels för att maskera ljud från ventilationen och dels för att erhålla samma bakgrundsljudnivå under nätter med olika trafikljud.) Sömnen utvärderades med polysomnografi, frågeformulär samt med prestationstest på morgonen. Resultaten visade att subjektiv sömnkvalitet och prestationsresultat försämrades med ökande bullernivå, men det förelåg inga skillnader i påverkan på subjektiv sömnkvalitet mellan de olika trafikslagen. Ett fåtal av de fysiologiska måtten (sömnlatenstid och mängden djupsömn) visade signifikanta skillnader i effekter mellan de olika trafikslagen och effekterna var större för tågbuller än för flyg- och vägtrafikbuller. Författarna menar att resultaten från studien, liksom från en del andra (ej angivna) studier, gör att

man kan ifrågasätta huruvida en bonus för tågbuller nattetid är berättigad men säger samtidigt att inga långtgående slutsatser om detta kan dras innan resultaten kan bekräftas i mer omfattande studier under mer realistiska förhållanden.

I studier i Nederländerna (Passchier-Vermeer *et al.*, 2007) ingick 262 personer (220 i vägtrafik-områden och 52 i tågområden) vars sömn mättes under 6 nätter i följd med frågeformulär samt med *aktimetri*. Dessutom registrerades EKG under sömnen hos en delgrupp på 36 personer. Bullerexponeringen mättes utomhus nära väg respektive järnväg mellan kl. 22 och 09 samt inne i varje persons sovrum under den tid sömnen registrerades. Resultaten visade att kroppsrörelser, självrapporterade uppvaknanden och hjärtfrekvens ökade medan subjektiv sömnkvalitet försämrades med ökande inomhusljudnivå från vägtrafik och tåg. Tågbuller ledde till färre kroppsrörelser ("mean motility onset") än vägtrafikbuller men för övriga sömnvariabler fann man inga skillnader mellan vägtrafikbuller och tågbuller vid samma inomhusljudnivå. Författarnas slutsats är att "det är mycket osannolikt att tågbuller med *samma inomhusljudnivå* som vägtrafikbuller har en större effekt på de studerade sömnvariablerna än vägtrafikbuller, tvärtom förväntas att effekterna vid *samma inomhusljudnivå* är lägre för tågbuller". I en delstudie inom Oslostudierna (Aasvang, 2009) studerades sömnstörningar med polysomnografi i två grupper exponerade för tågbuller (n=20) respektive vägtrafikbuller (n=17) i sin hemmiljö. Resultaten tydde inte på några större skillnader mellan vägtrafikbuller och tågbuller med undantag för en något kortare tid i REM-sömn och något längre vakenhetstid hos personer som var exponerade för åtminstone en tågpassage med en ljudnivå över L_{AFmax} 50 dB jämfört med personer exponerade för L_{AFmax} under 50 dB i inomhusnivå. Undergrupperna var dock alltför små (n=7 respektive n=13) för att medge några mer långtgående slutsatser om skillnader i fysiologisk påverkan på sömnen mellan vägtrafikbuller och tågbuller.

6.3.2 Sömnstörningar av vibrationer och buller från tågtrafik

Resultaten av *fältstudierna* visar att personer som bor i områden där tågtrafiken alstrar starka vibrationer påverkas i avsevärt högre omfattning av tågbuller i sin sömn än personer som bor i områden med inga/svaga vibrationer. Skillnaderna i andel med försämrad sömnkvalitet mellan de två typerna av områden ökar med ökande ljudnivå och 3 gånger fler anger försämrad sömnkvalitet p.g.a. tågbuller vid ljudnivåer på L_{natt} 60 dB i områden med starka vibrationer (jfr 45 respektive 15 % med försämrad sömnkvalitet vid öppet fönster). Sömnstörningarna i områden med starka vibrationer ökade med ökad vibrationsnivå inne i huset och var dubbelt så omfattande vid ca 0,35 som vid 0,25 mm/s (sömnindex $M=5,0$ respektive $M=2,4$).

Resultaten från den *experimentella studien* bekräftar resultaten från fältstudierna och ger stöd för hypotesen att starka vibrationer har en stor negativ inverkan på sömnkvalitet. När vibrationsnivån ökades från ca 0,4 till 1,4 mm/s med bullernivån konstant (L_{natt} 31 dB) försämrades sömnkvaliteten signifikant, sömnen blev oroligare och försökspersonerna kände sig tröttare påföljande dag. Antalet uppvaknanden skiljde sig inte signifikant åt mellan nätter med starka respektive svaga vibrationer, men till skillnad från sömnexperimentet som jämförde tågbuller och vägtrafikbuller, var antalet personer som vaknade relativt jämnt fördelat över olika perioder under natten. Detta tyder på att vibrationerna har stor inverkan på sömnen även då sömnen är djup, vilket normalt är fallet under den första tredjedelen av natten.

Kunskaperna om hälsoeffekter av vibrationer och vibrationer i kombination med buller är mycket begränsade och några nya studier har inte tillkommit sedan litteraturstudien (Öhrström & Skånberg, 2006). De undersökningar som genomfördes i 15 tätorter belägna utmed järnvägssträckor med respektive utan markvibrationer (Öhrström & Skånberg, 1995; 1996) visade att allmän störning av tågbuller var avsevärt högre i områden där tågtrafiken alstrade starka vibrationer. Sömnkvalitet (mätt med skala 1-10, och utan att relatera till buller) var signifikant sämre bland personer i områden med starka vibrationer (Partille) och sovrumsfönster mot järnvägen jämfört med åt annat håll. Några sådana skillnader sågs däremot inte i områden utan vibrationer (Lund), (Öhrström & Skånberg, 1995).

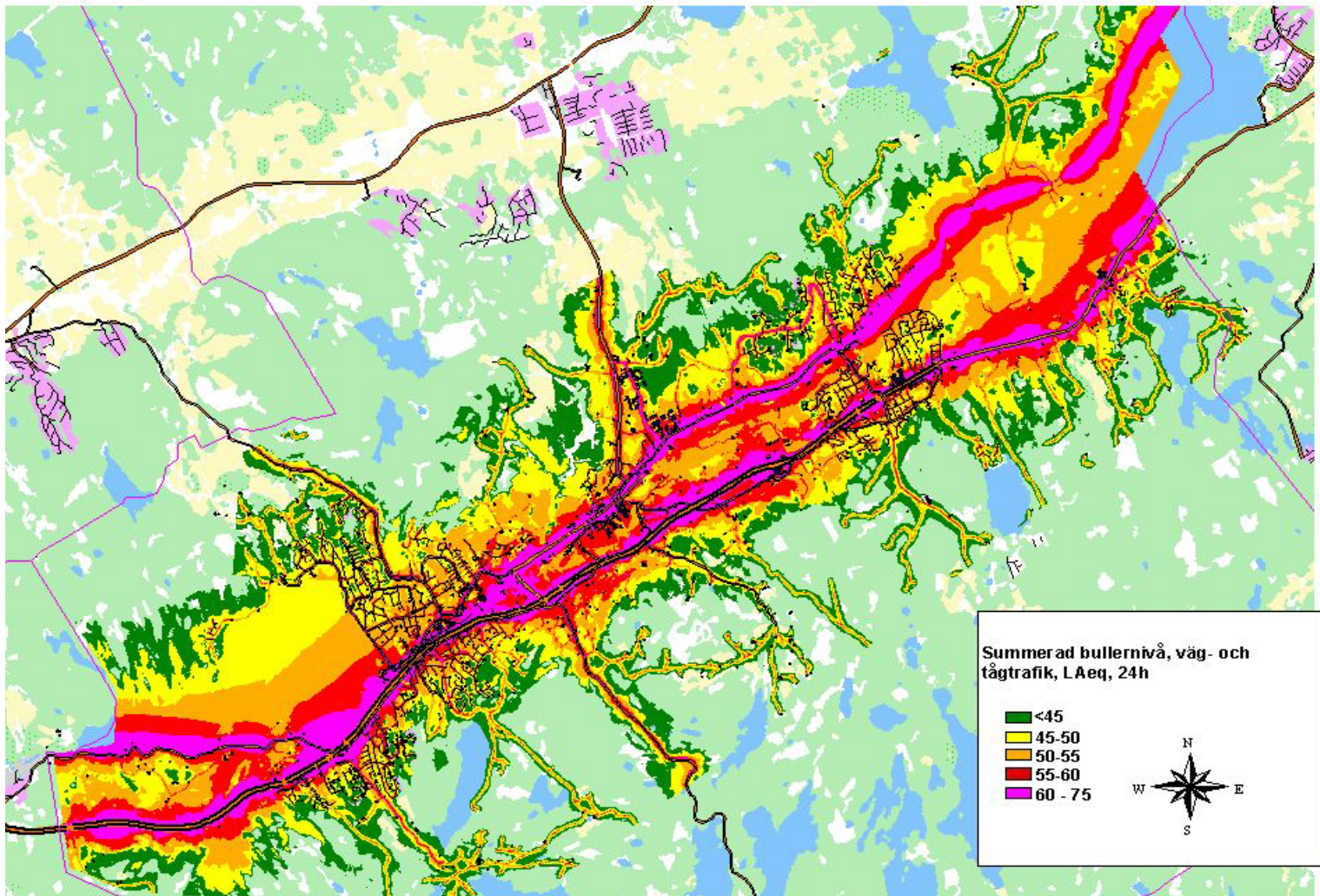
Resultaten från sömnstudierna inom TVANE-projektet är i linje med fynden i de svenska studierna från 1995. Att sömnstörningar av tågbuller var högre i områden med starka vibrationer, liksom under nätter med starka vibrationer i de experimentella studierna, visar att det finns en interaktionseffekt mellan sömnstörning (liksom för störning) av buller och vibrationer och att man även under sömnen uppmärksammar buller lättare då det åtföljs av vibrationer.

6.3.3 Slutsatser

En sammantagen bedömning baserad på studierna inom TVANE-projektet och övriga europeiska studier är att tågbuller är mindre störande för sömnen än vägtrafikbuller. Vid ett mycket stort antal tåg förelåg en minskning i skillnaderna mellan vägtrafikbuller och tågbuller vid de högsta ljudnivåerna (L_{natt}), något som inte är i överensstämmelse med Miedema & Vos (2007) dos-respons samband, vilket visade ökande skillnader i andel sömnstörda mellan vägtrafikbuller och tågbuller med ökande ljudnivå (L_{natt}).

Det är viktigt att beakta sovrumsfönstrens läge i förhållande till bullerkällan. Då sovrumsfönster vetter mot järnväg (eller väg) är ljudnivå på mest exponerad sida ett korrekt mått på ljudnivå nattetid och kan då användas i dos-respons samband. Om inte ljudnivån utanför sovrut är känd är det viktigt att dela upp undersökningsmaterialet i grupper med sovrumsfönster mot respektive från bullerkällan. I annat fall kommer risken för sömnstörningar av buller vid en viss ljudnivå att kraftigt underskattas.

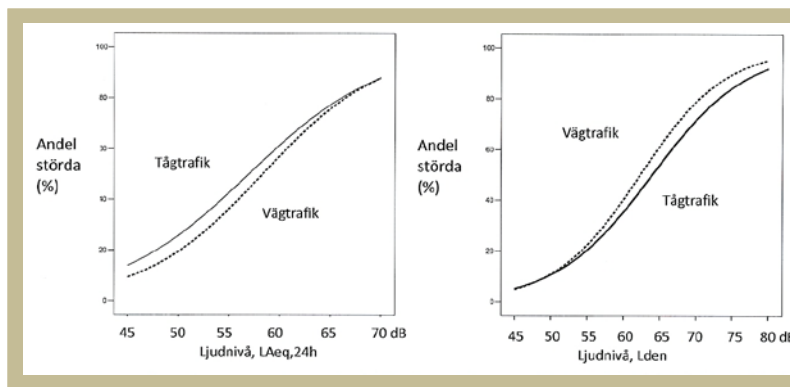
Vibrationer har stor negativ inverkan på sömnen och den experimentella studien visar att sömnkvaliteten kan förbättras genom en sänkning av vibrationsnivån. Att sömnstörningar av tågbuller var högre i områden med starka vibrationer, liksom under nätter med starka vibrationer i de experimentella studierna, visar att det finns en interaktionseffekt mellan sömnstörning (liksom för störning) av buller och vibrationer och att man även under sömnen uppmärksammar buller lättare då det åtföljs av vibrationer. Om vibrationerna överstiger 0,4 mm/s i hus enligt fältstudierna (se figur 6.8) räcker det sannolikt inte att reducera ljudnivån, t.ex. genom ljudisolerande fönster eller bullerskärmar, för att minska sömnstörningar.



7. SAMVERKANSEFFEKTER VID EXPONERING FÖR BULLER FRÅN BÅDE TÅGTRAFIK OCH VÄGTRAFIK

Studien av hälsoeffekter av buller från vägtrafik och tåg som genomfördes i Lerums kommun 2004 visade, till skillnad från tidigare svenska och europeiska studier, endast små skillnader i allmän störning mellan tågbuller och vägtrafikbuller. Dos-respons samband för störning och ljudnivå angiven i $L_{Aeq,24h}$ visade att mellan 2 och 7 procentenheter fler var störda av tågbuller än av vägtrafikbuller vid ljudnivåer upp till ca $L_{Aeq,24h}$ 65 dB (figur 7.1, vänster). Ett annorlunda dos-respons samband förelåg mellan L_{den} och störning av buller (figur 7.1, höger), andelen som stördes av tågbuller var något lägre än andelen störda av vägtrafikbuller vid lika L_{den} -nivå (en skillnad på ca 5 procentenheter).

Figur 7.1. Hela undersökningspopulationen.
Dos-respons samband för störning av tågbuller (heldragen kurva) och vägtrafikbuller (streckad kurva) som funktion av ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ (vänster) respektive L_{den} (höger), (n=1953).



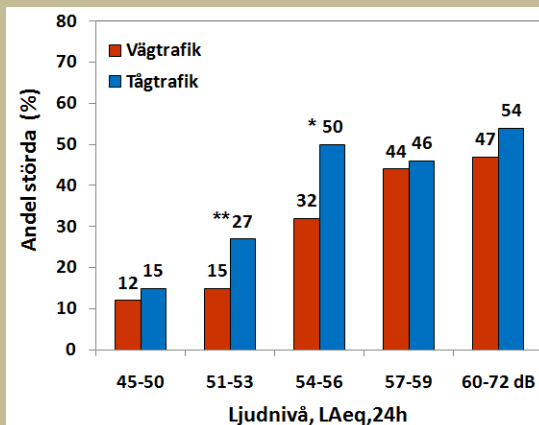
Vi bedömde att den mest troliga förklaringen till att en så hög andel av de boende var störda av tågbuller i Lerum var oro för ökade störningar p.g.a. den planerade utbyggnaden av järnvägen med ett 3:e och 4:e spår och den samtidiga förekomsten av buller från både vägtrafik och tåg. Resultaten från studien i Lerum finns publicerade i huvudrapporten (Öhrström *et al.*, 2005) samt i artiklar Öhrström *et al.*, 2007 och Barregård *et al.*, 2009). Eftersom studien i Lerum är mycket omfattande (n = 1953) och har en design (se tabell 3.5 sid. 19) som medger analyser av störning av buller även för olika delpopulationsnivå har vi inom ramen för TVANE-projektet utfört reanalyser av data för att studera samverkanseffekter vid exponering för två bullerkällor samtidigt respektive störning vid en enskild bullerkälla.

7.1 Störning av buller från enskilda källor (tåg- eller vägtrafik) då de förekommer enskilt respektive samtidigt som en annan källa (tåg- och vägtrafik) i relation till $L_{Aeq,24h}$

Syftet med reanalyserna av data från delpopulationer i Lerumsstudien var att undersöka om det finns samverkanseffekter vid samtidig exponering för buller från vägtrafik och tåg och att jämföra störning av buller från respektive bullerkälla då den förekommer enskilt (mycket låga ljudnivåer från den andra bullerkällan). Resultaten från reanalyser baserade på delpopulationer som *enbart* är exponerade för buller från tågtrafik eller från vägtrafik och reanalyser baserade på delpopulationer som är exponerade *både* för buller från tåg- och vägtrafik har publicerats i konferenspapers på Inter Noise 2005 och 2007 (Öhrström *et al.*, 2005; 2007).

Andel störda av respektive bullerkälla i delpopulationerna (se tabell 3.5, sid. 19, röd och blå markering) som enbart är utsatt för buller från en av de två källorna är likartad (se figur 7.2). Störning av tågbuller var något högre än störning av vägtrafikbuller vid motsvarande ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$. Statistiskt signifikanta skillnader förelåg i kategorierna 51-53 dB ($p=0,004$) och 54-56 dB ($p=0,03$). Vid högre ljudnivåer över 56 dB finns inga signifikanta skillnader i störning mellan vägtrafikbuller och tågbuller.

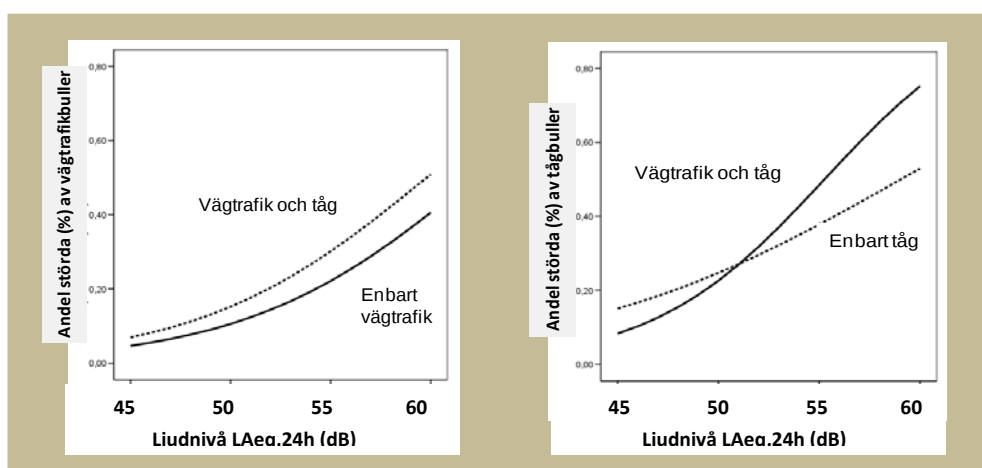
Figur 7.2. Delpopulationer exponerade för en bullerkälla. Andel (%) störda av tågbuller och vägtrafikbuller i relation till bullernivå från respektive ljudkälla, $L_{Aeq,24h}$.



För att studera om det förelåg en interaktion mellan exponering av buller från vägtrafik och buller från tåg analyserades materialet med logistisk regression där störning (av vägtrafikbuller respektive tågbuller) utgjorde responsvariabel och bullernivå från vägtrafik och tåg som förklarande variabler, tillsammans med potentiella modifierande variabler (boendetid, typ av fönster, sovrumsfönstrets läge samt känslighet för buller).

Analysen visade att *störning av vägtrafikbuller* (figur 7.3, vänster diagram) alltid var något högre för de som var exponerade för lika ljudnivå från vägtrafik och tåg (skillnad i $L_{Aeq,24h}$ mindre eller lika med 1 dB) jämfört med dem som var exponerade för "enbart vägtrafik". Skillnaden uppnådde dock inte statistisk signifikans ($p=0,056$). Störning av vägtrafikbuller vid 55 dB var 22 % för "enbart vägtrafik" jämfört med 30 % för "lika vägtrafik och tåg".

Analysen av *störning av tågbuller* visade att för låga ljudnivåer (under $L_{Aeq,24h}$ 56 dB) fanns inga statistiskt signifikanta skillnader i störning av tågbuller (figur 7.3, höger diagram) mellan de som var exponerade för "enbart tågbuller" och de som var exponerade för "lika ljudnivå från tåg och vägtrafik". För ljudnivåer från 56 dB och högre var andelen störda av tågbuller högre för dem som var exponerade för "lika ljudnivå från tåg och vägtrafik". Det fanns sålunda en signifikant interaktions-effekt ($p=0,048$). Andelen störda av tågbuller vid 55 dB var 38 % för "enbart tåg" jämfört med 48 % för "lika ljudnivå från tåg och vägtrafik".

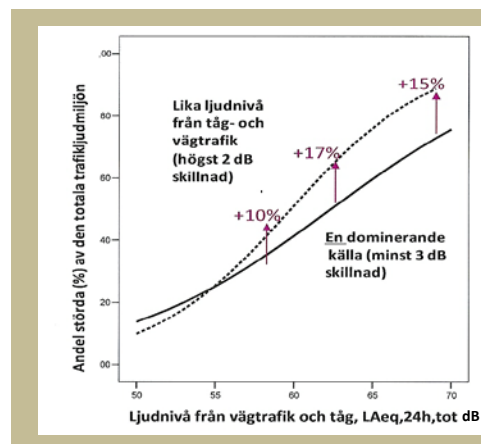


Figur 7.3. Vänster: Samband mellan *störning av vägtrafikbuller* och ljudnivå ($L_{Aeq,24h}$) för personer med lika exponering för vägtrafik och tåg (streckad kurva) och för personer exponerade enbart för vägtrafik (heldragen kurva). **Höger:** Samband mellan *störning av tågbuller* och ljudnivå ($L_{Aeq,24h}$) för personer med lika exponering för tåg- och vägtrafikbuller (heldragen kurva) och för personer exponerade enbart för tågbuller (streckad kurva).

7.2 Störning av den totala trafikljudmiljön (total störning) i relation till summerad bullerexponering från vägtrafik och tåg ($L_{Aeq,24h,tot}$)

För att ytterligare undersöka hur störande buller upplevs vid exponering för en enskild bullerkälla respektive för två samtidigt förekommande bullerkällor analyserades data med multipel logistisk regressionsanalys. Störning av buller från den totala trafikljudmiljön användes som mått på total störning och ljudnivån angavs i summerad ljudnivå från vägtrafik och tåg ($L_{Aeq,24h,tot}$). Figur 7.4 visar samband mellan total trafikbullerexponering i $L_{Aeq,24h,tot}$ och *total störning* för personer boende i de två typerna av bostäder: "vägtrafik och tåg lika ljudnivå" ($n=683$) respektive "en dominant bullerkälla" ($n=1270$).

Figur 7.4. Samband mellan andel störda (%) av den totala trafikljudmiljön och summerad ljudnivå i ($L_{Aeq,24h,tot}$) för personer exponerade för "lika ljudnivå från tåg och vägtrafik" (streckad kurva) och personer exponerade för "en dominant bullerkälla" (heldragen kurva).



Vid en låg total trafikbullernivå (angiven i $L_{Aeq,24h,tot}$) förelåg ingen skillnad i total störning mellan personer som bodde i bostäder exponerade för en dominant bullerkälla (heldragen kurva) och personer som var exponerade för lika ljudnivå från tåg och vägtrafik (streckad kurva). Men med ökande total bullernivå ökade störningen gradvis för personer som bodde i bostäder med lika ljudnivå från vägtrafik och tåg. Sålunda fanns det en interaktion mellan störning av den totala trafikljudmiljön och bostadens exponeringssituation. Denna interaktion var statistiskt signifikant ($p=0,004$).

Skillnaden i total störning mellan de två typerna av exponeringssituation var statistiskt signifikant när den totala trafikbullernivån ($L_{Aeq,24h,tot}$) översteg 58 dB. Vi skattade den förväntade skillnaden i andelen störda mellan situationer med "en dominant bullerkälla" och en situation med "två källor med lika ljudnivå" till 0,2 procentenheter vid 55 dB, 10 procentenheter vid 60 dB (40 % jämfört med 50 % störda), 17 procentenheter vid 65 dB (60 % jämfört med 77 % störda) och 15 procentenheter vid 70 dB (75 % jämfört med 90 % störda).

7.3 Kommentarer och slutsatser

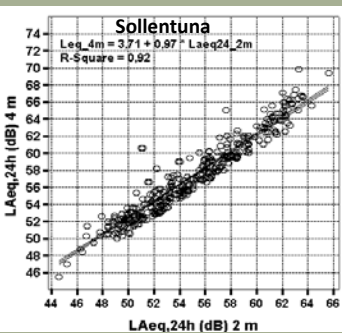
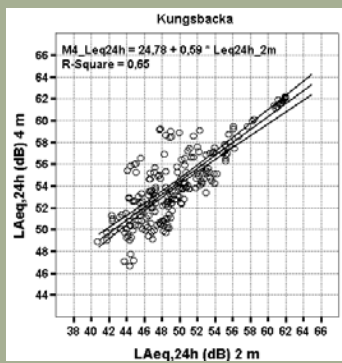
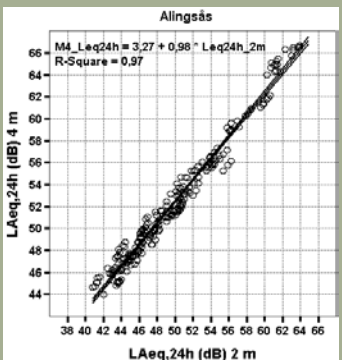
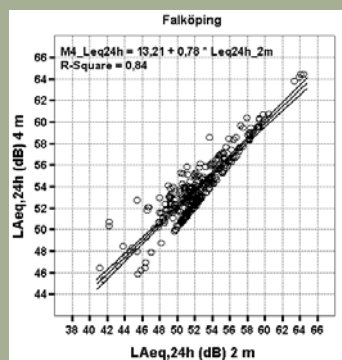
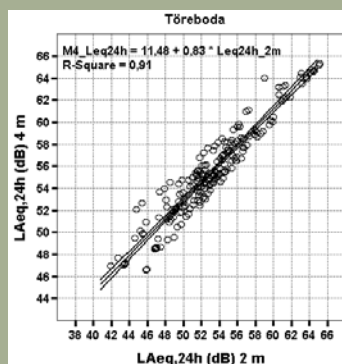
De flesta tidigare studier har visat att tågbuller är mindre störande än vägtrafikbuller (översikter av Miedema & Oudshoorn, 2001; Miedema & Vos, 1998; Öhrström & Skånberg, 2006) men i Lerumsstudien fann vi endast små skillnader i allmän störning mellan tågbuller och vägtrafikbuller. Dos-respons sambandet mellan ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ och andel störda av buller visade att mellan 2 och 7 procentenheter fler var störda av tågbuller än av vägtrafikbuller vid ljudnivåer upp till ca $L_{Aeq,24h}$ 65 dB. Motsvarande samband mellan ljudnivå i L_{den} och störning visade däremot att andelen som stördes av tågbuller var något lägre än andelen som stördes av vägtrafikbuller (en skillnad på 5 procentenheter). Olika samband baserade på $L_{Aeq,24h}$ respektive L_{den} förklaras av

att L_{den} -mättet innebär en större ökning i ljudnivå relativt $L_{Aeq,24h}$ för tågbuller än för vägtrafikbuller (en skillnad på ca 3 dB) eftersom tågtrafik i motsats till vägtrafik har ungefär samma fördelning över dygnet. Reanalyserna av samband mellan allmän störning och ljudnivå för *delpopulationer* exponerade för enbart en av bullerkällorna visade samma resultat – tågbuller var något mer störande än vägtrafikbuller vid lika ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ och något mindre störande än vägtrafikbuller vid lika L_{den} -nivå.

Det finns en statistiskt signifikant samverkans effekt vid exponering för buller från både vägtrafik och tåg. I en sådan situation upplevdes buller från var och en av källorna som mer störande (en skillnad i andel störda på 8-10 procentenheter vid $L_{Aeq,24h}$ 55 dB) än i en situation då det bara förekom en bullerkälla.

Då dos-responssambandet angavs som samband mellan *summerad ljudenergi* ($L_{Aeq,24h,tot}$) och andel *störda av den totala trafikljudmiljön* (total störning) var skillnaden i andel störda mellan de två typerna av exponeringssituation (lika exponering från två bullerkällor respektive en dominerande bullerkälla) statistiskt signifikant vid en ljudnivå som översteg $L_{Aeq,24h,tot}$ 58 dB.

En viktig slutsats från studierna i Lerum är att effekter av den totala bullerexponeringen, och inte bara effekter av enskilda källor var för sig, måste beaktas i samband med riskbedömningar och då man vidtar åtgärder för att minska effekterna av buller.



Figur 8.1. Diagram över samband mellan ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ beräknad på 2 m och på 4 m höjd över mark i de 5 olika tågområdena Töreboda, Falköping, Alingsås, Kungsbacka och Sollentuna.

8. EFFEKTER AV TÅGBULLER: DOS-RESPONS SAMBAND MELLAN BULLERNIVÅER BERÄKNADE PÅ 2 M OCH 4 M HÖJD OCH STÖRNING

Inom TVANE-projektet har bullernivåer från tåg beräknats för två höjder, 2 m över mark samt 4 m över mark. Bullerexponering beräknad på 2 m över mark har använts vid analyserna av samband mellan bullernivå angivet i olika mått ($L_{Aeq,24h}$, L_{den} , L_{night} och L_{AFmax}) och olika effekter av tågbuller.

Enligt EU-direktivet 2002/49/EG (END), vilket implementerats i den svenska lagstiftningen genom förordningen om omgivningsbuller (Förordning 2004:675) som antogs i januari 2005, skall varje land kartlägga buller i större tätorter och vid större vägar, järnvägar och flygplatser. Rapporteringen till EU avser bland annat uppgifter om antalet exponerade personer och bostäder i olika bullerintervall, exponerad yta samt kartor över bullersituationen. Vid upprättandet av strategiska bullerkartor skall måtten L_{den} samt L_{night} användas. Naturvårdsverket ansvarar för rapporteringen till EU i enlighet med denna förordning och en första rapport lämnades till EU den 30 december 2007.

För nationell information om resultaten av de strategiska kartläggningarna får även andra mått än L_{den} och L_{night} användas. De svenska riktvärdena som ska ligga till grund för kommande åtgärdsprogram uttrycks i ekvivalent ljudnivå ($L_{Aeq,24h}$) och maximalnivå (L_{AFmax}) och Naturvårdsverket (2007) anger i sin redovisning att det kan vara bra att, som några myndigheter valt, också ange de svenska måtten i redovisningen i Sverige.

EU-direktivet anger att beräkningar av L_{den} och L_{night} skall avse en beräkningshöjd av 3,8-4,2 m och inte på 2 m höjd som är praxis vid användning av den nordiska beräkningsmodellen i olika bullerkartläggningar.

För direkt exponerade fasader avses en punkt på fasaden medan man för oexponerade fasader på den "tysta" sidan avser ett avstånd på 1,8 – 2,2 m från fasad.

Beräkning av bullernivån på 4 m höjd som EU-direktivet föreskriver kan ge en missvisande bild av bullerexponeringen om det finns bullerskärmar för enplansbebyggelse (Jonasson, 2005). En beräkningsnivå på 4 m ger högre bullernivåer än 2 m; för vägtrafikbuller ca 1-5 dB högre ljudnivåer än vid 2 m, i ett beräkningsfall 4 dB högre. För tågbuller menar Jonasson (2005) att skillnaden mellan 2 och 4 meters höjd är försumbar.

Eftersom bullernivåer finns beräknat för tågbuller på både 2 och 4 m höjd i samtliga fem undersökningsområden inom TVANE-projektet (Töreboda, Falköping, Alingsås, Kungsbacka och Sollentuna) har vi utfört särskilda analyser för att belysa följande frågeställningar:

- (1) *Hur stor är skillnaden i bullernivå från tåg beräknad på 2 m respektive 4 m höjd över mark?*
- (2) *Hur påverkas dos-respons sambandet mellan bullernivå och olika effekter av tågbuller då tågbuller beräknats på olika höjd över mark?*

Ljudnivån beräknad på 4 m höjd var högre än ljudnivån beräknad på 2 m höjd (se tabell 8.1 samt figur 8.1). Skillnaderna i ekvivalent ljudnivå ($L_{Aeq,24h}$) vid 4 m och 2 m höjd varierade mellan 1,6 och 2,5 dB i medeltal i fyra av de fem undersökningsområdena. I flera av områdena förekom skillnader mellan ljudnivå på 2 och 4 m med upptill ca 8 dB (tabell 8.1). I Kungsbackaområdet var ljudnivån i medeltal 4,6 dB högre på beräkningshöjden 4 m än på 2 m och för närmare en tredjedel av fallen var skillnaden stor, mellan 6 och 11,5 dB.

Tabell 8.1. Differens i ljudnivå ($L_{Aeq,24h}$) beräknad på 2 respektive 4 m höjd för de 5 tågområdena i Töreboda, Falköping, Kungsbacka Alingsås och Sollentuna.

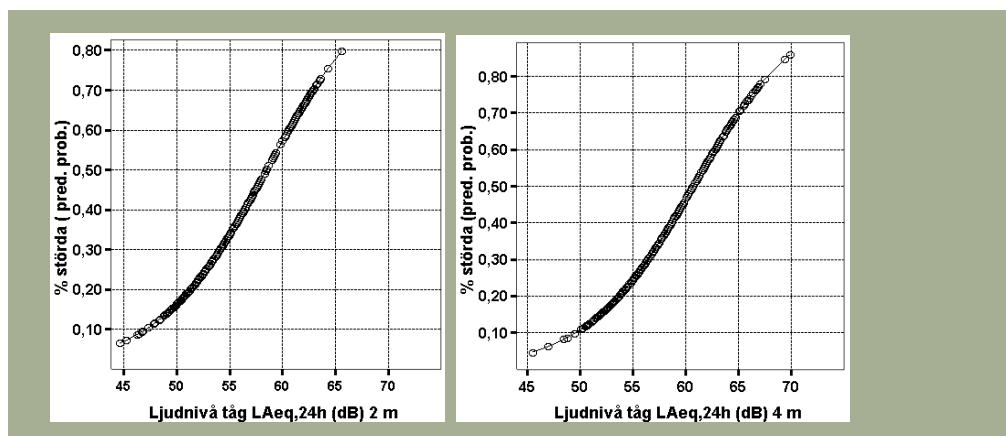
	Differens i $L_{Aeq,24h}$ mellan beräkningshöjd 2 m och 4 m, antal observationer och andel (%)											
	0,1 – 1,9 dB		2,0 – 3,9 dB		4,0 – 5,9 dB		6 – 7,9 dB		8 – 9,9 dB		10 – 11,5 dB	
Områden	Antal	(%)	Antal	(%)	Antal	(%)	Antal	(%)	Antal	(%)	Antal	(%)
Töreboda	97	(45)	85	(39)	28	(13)	6	(3)	–		–	
Falköping	192	(63)	93	(30)	17	(6)	–		–		–	
Kungsbacka	37	(17)	72	(33)	43	(20)	37	(17)	17	(8)	12	(5)
Alingsås	70	(29)	154	(64)	17	(7)	–		–		–	
Sollentuna	340	(48)	304	(42)	62	(9)	7	(1)	2	(0,3)	–	

Skillnaden i beräknad nivå mellan 2 m och 4 m höjd beror delvis på skillnad i markdämpning men framförallt skillnad i skärmning av terrängen och byggnader nära mottagaren. Dessa effekter blir mer uttalade på långa avstånd. En förklaring till de stora skillnaderna i Kungsbackaområdet är att avstånden är långa och det förekommer skärmning av både terräng och huskroppar i stora delar av området. Detta räcker dock inte för att förklara hela skillnaden utan resultatet påverkas också av exakt hur den använda programvaran hanterar den tredimensionella miljön med skärmningseffekter, reflexer i mark och byggnader m.m. Detta diskuteras mer ingående i den mättekniska rapporten (Ögren & Jerson, 2010).

I och med att den beräknade ljudnivån från tågtrafiken är högre då den är beräknad på 4 m jämfört med på 2 m höjd förskjuts dB-skalan mot högre ljudnivåer vilket medför att andelen störda av tågbuller blir lägre vid t.ex. 55 dB beräknat på 4 m höjd än vid motsvarande ljudnivå beräknat vid 2 m höjd över mark. Figur 8.1 visar exempel på dos-responssamband från Sollentunaområdet för andel störda av tågbuller (%) och ljudnivå beräknad på 2 m (vänster) respektive på 4 m (höger) höjd över mark.

En skattning av andel störda utifrån kurvorna i figur 8 visar relativt stora skillnader i dos-respons då ljudnivån beräknats på 2 respektive 4 m höjd. Vid 45 dB är skillnaden liten (3 procentenheter) men ökar med ökande ljudnivå till en skillnad på 10 procentenheter vid 55 dB och 13 procentenheter vid 60 dB. Motsvarande jämförelser för områdena Kungsbacka och Alingsås visade likartade skillnader i andel störda medan skillnaderna i dos-responssamband var små i områdena Töreboda och Falköping (som mest 3 procentenheter).

Sammantaget visar resultaten att andelen störda i de olika undersökningsområdena är mellan 3 och 20 procentenheter lägre vid en viss ljudnivå om ljudnivån beräknats på 4 m höjd jämfört med om ljudnivån beräknats på 2 m höjd, vilket beror på att den beräknade ljudnivån är högre vid 4 m än vid 2 m.



Figur 8.1. Predicerad sannolikhet för andel störda av tågbuller som funktion av ljudnivå från tåg i $L_{Aeq,24h}$ beräknat för 2 m över mark (vänster) respektive 4 m över mark (höger) för Sollentuna.

Det mest korrekta vore att beräkna ljudnivån för det våningsplan som den aktuella bostaden är belägen på. I de flesta fall beräknas dock ljudnivån av kostnadsskäl endast för en nivå över mark (såvida det inte är fråga om detaljplan och bygglovshandlingar). EU-direktivet anger att beräkningar av L_{den} och L_{night} skall avse en beräkningshöjd av 3,8 - 4,2 m och inte på 2 m höjd som är praxis vid användning av den nordiska beräkningsmodellen i olika bullerkartläggningar.

Våra undersökningar i tågområdena visar att det kan skilja mellan 1,6 och ända upp till 11,5 dB i beräknad ljudnivå beroende på om ljudnivån från tågtrafiken beräknats på 2 eller 4 m höjd. Om bostäderna är 1-plans eller 1½-planshus är 2 m den mest lämpliga beräkningshöjden men om bostadsfastigheten innehåller många våningsplan är 4 m en lämpligare beräkningshöjd.

9. ANTAL TÅG PER MAXTIMME PÅ UTEPLATS OCH SAMBAND MED STÖRNINGSUPPLEVELSE

Beslut om riktvärden för buller från tåg och andra transportmedel antogs av riksdagen den 20 mars 1997 (1996/97:TU7). Riktvärdet för maximal bullernivå (L_{AFmax}) vid uteplats är 70 dB. Naturvårdsverket (2001) har föreslagit, i avvaktan på ett säkrare bedömningsunderlag, att antalet bullerhändelser inte får överskrida L_{AFmax} 70 dB vid uteplats mer än 5 ggr per maxtimme under dag/kväll kl. 06.00-22.00.

Naturvårdsverket (2001) skriver i sitt förslag att när det gäller buller på uteplats är det risken för samtalsstörning som i första hand bör beaktas. Vidare sägs (sid. 42, Naturvårdsverket, 2001) att det inte bara är antalet bullertoppar under en viss tidsperiod som är avgörande utan också längden av den enskilda bullerhändelsen. I de undersökningar som vi utfört inom TVANE-projektet liksom i tidigare undersökningar av effekter av tågbuller (se litteraturstudie Öhrström & Skånberg, 2006) har det framkommit att samtalsstörningar är en kritisk effekt vid exponering för tågbuller vid uteplats. Andra effekter av tågbuller utomhus som studerats är påverkan på avkoppling och möjligheten att kunna vistas utomhus utan att uppleva tågbuller som ett hinder.

Riktvärdet för trafikbuller **på uteplats är L_{AFmax} 70 dB.**

För vägtrafik och järnvägstrafik har Naturvårdsverket föreslagit att i avvaktan på resultat av fortsatt utredningsarbete får riktvärdet tills vidare överskridas **högst fem gånger per maxtimme** under dag/kväll (06.00 - 22.00).

(Naturvårdsverket (2001). Riktvärden för trafikbuller vid nyanläggning eller väsentlig ombyggnad av infrastruktur - Förslag till utveckling av definitioner.)

Inom TVANE-projektet finns insamlade data från totalt 1680 personer från 5 olika tågområden med uppgifter om L_{AFmax} -nivåer, uteplatsernas läge i förhållande till järnvägen samt olika effekter av tågbuller utomhus på uteplats. Vi har kunnat utnyttja dessa datamängder för analyser av samband mellan antal tågpassager per maxtimme dag/kväll och olika effekter av tågbuller utomhus på uteplats. Två av de fem tågområdena (Alingsås och Kungsbacka) är belägna i områden där markförhållandena är sådana att tågtrafiken alstrar kraftiga vibrationer. Eftersom vibrationerna bidrar till ökad störning av tågbuller ingår inte dessa områden.

Syftet med dessa analyser är att, som ett första steg, bidra till ökat kunskapsunderlag för bedömning av sambandet mellan effekter av tågbuller på uteplats och bullerexponering angiven som antal överskridanden per maxtimme över maximalnivån 70 dB. Resultaten av analyserna förväntas även ge kunskaper om vilka effekter och exponeringssituationer som ytterligare behöver belysas, t.ex. i experimentella studier med väl kontrollerade exponeringsförhållanden.

9.1 Störning av tågbuller vid samtal och avkoppling på uteplats – vilken betydelse har antalet tågpassager och den maximala ljudnivån?

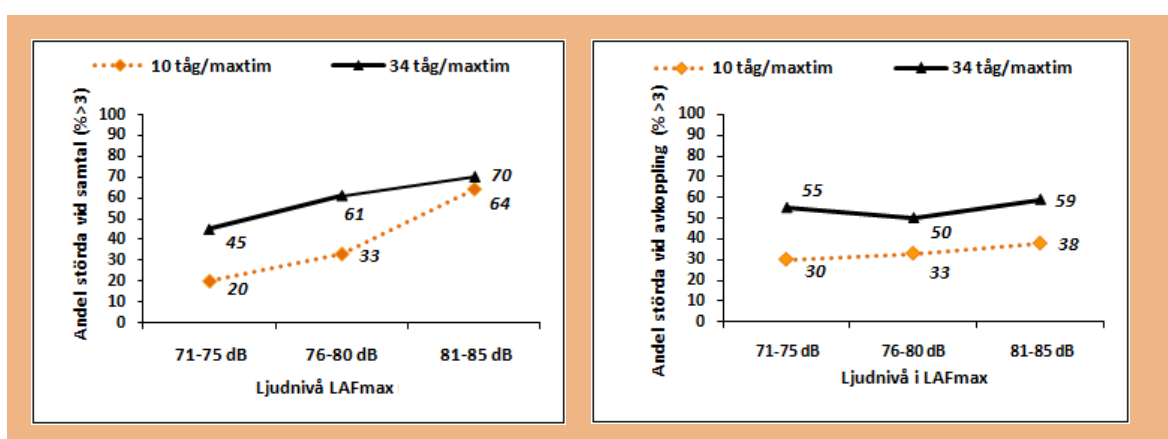
För analyserna identifierades i ett första steg "maxtimmen", vilken inföll under något olika tider i de tre områdena, kl. 18-19 i Töreboda, kl. 17-18 i Falköping och kl. 16-17 i Sollentuna. I ett andra steg identifierades personer som var exponerade för ljudnivåer över L_{AFmax} 70 dB (764 personer) och vilka av dessa som hade sin uteplats/balkong mot järnvägen (239 personer). Eftersom undersökningsmaterialet inte är så omfattande att vi kunnat göra en finindelning i faktiskt antal tågpassager för boende med uteplats mot järnväg valde vi att använda hela undersökningsmaterialet med L_{AFmax} över 70 dB på mest exponerad sida i våra analyser. Undersökningsmaterialet delades in i tre grupper för maximal ljudnivå (71-75, 76-80 och 81-85 dB) och två grupper för antal tågpassager per maxtimme över L_{AFmax} 70 dB (10 respektive 34 tågpassager), se tabell 9.1.

Tabell 9.1. Antal personer med ljudnivåer över L_{AFmax} 70 dB uppdelat på olika ljudnivåkategorier i L_{AFmax} i olika undersökningsområden.

Område	Totalt antal tåg/maxtim.	Antal personer med $>L_{AFmax}$ 70 dB (uteplats mot jvg.)	Antal personer med $>L_{AFmax}$ 70 dB + uteplats mot jvg.		
			L_{AFmax} 71-75 dB	L_{AFmax} 76-80 dB	L_{AFmax} 81-85 dB
Töreboda, Falköping	10	278 (52)	20	18	14
Sollentuna	34	486 (187)	38	112	37
Totalt	–	764 (239)	58	130	51

För den mest kritiska effekten (störning av samtal) var andelen störda vid **samtal** fördubblad vid 34 tåg jämfört med 10 tåg per maxtimme vid ljudnivåer mellan L_{AFmax} 71 och 80 dB men vid de högsta ljudnivåerna (L_{AFmax} 81-85 dB) hade antalet tåg per maxtimme liten betydelse för samtalsstörningar (figur 9.1, vänster).

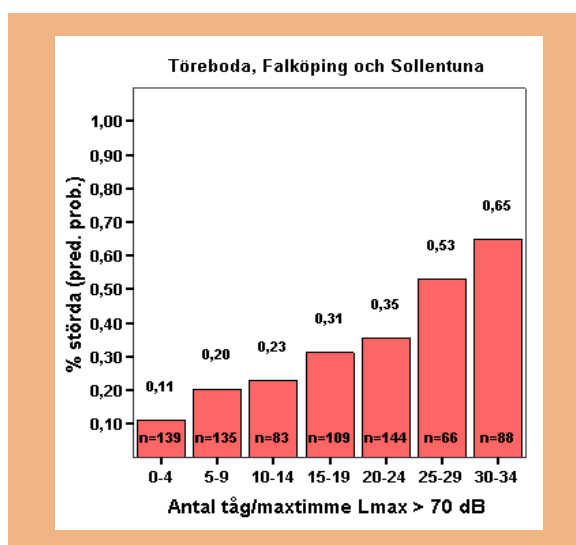
Andelen som anger att tågbuller stör **avkoppling** påverkas endast marginellt av den maximala ljudnivån medan skillnaden i andel störda vid 10 tåg respektive 34 tåg per maxtimme uppgår till ca 20 procentenheter (figur 9.1, höger).



Figur 9.1. Störning av tågbuller utomhus (andel i % >3) för boende med balkong/uteplats mot järnväg i relation till tre L_{AFmax} -kategorier över 70 dB vid 10 respektive 34 antal tåg/maxtimme. Vänster figur visar störning av samtal och höger figur visar störning vid avkoppling.

9.2 Samband mellan allmän störning av tågbuller och antal tåg/maxtimme över L_{AFmax} 70 dB

Sambandet mellan antal tåg per maxtimme med ljudnivåer över L_{AFmax} 70 dB (indelat i kategorier om 5 tågpassager) och allmän störning av tågbuller (% som är ganska, mycket eller oerhört mycket störda) visas i figur 9.2. I figuren ingår samtliga personer som har ljudnivåer $>L_{AFmax}$ 70 dB vid mest exponerad sida av bostaden, d.v.s. både personer som har uteplats mot järnvägen och personer som har uteplats mot ett annat håll. Som framgår av figuren ökar andelen störda med ökat antal tåg per maxtimme med $>L_{AFmax}$ 70 dB. I den lägsta kategorin med 0-4 tågpassager per maxtimme är andelen störda 11 %, vid 25-29 tågpassager per maxtimme är ungefär hälften störda och i den högsta kategorin med 30-34 tågpassager per maxtimme uppgår andelen störda till 65 %.



Figur 9.2. Samband mellan skattad andel störda (%) och antal tågpassager per maxtimme över L_{AFmax} 70 dB på mest exponerad sida (kategorivariabel) beräknat med logistisk regressionsanalys.

9.3 Kommentarer och slutsatser

Denna studie var inte designad för att belysa samband mellan antal bullerhändelser per maxtimme över L_{AFmax} 70 dB. Resultaten av analyserna tyder dock på att det är viktigt att riktvärdet för maximal ljudnivå på uteplats är uppfyllt och att uteplatsen om möjligt inte förläggs till den sida av bostaden som vetter mot järnvägen. Redan vid 10 tågpassager per maxtimme med en maximal ljudnivå på 71-75 dB är andelen som störs vid samtal och avkoppling hög, 20 respektive 30 %.

Det saknas i stort sett studier som är utformade för att undersöka samband mellan störning och andra effekter av buller från olika trafikslag och antal bullerhändelser per maxtimme över L_{AFmax} 70 dB. Innan några säkra slutsatser kan dras behövs därför väl designade socio-akustiska studier i fält med enkäter och med detaljerade beräkningar och mätningar av ljudnivån vid uteplatser. Väl kontrollerade experiment i laboriemiljö ger möjlighet att skapa exponeringsförhållanden med stor variation i antal bullerhändelser och maximal ljudnivå för att studera olika akuta effekter av olika typer av buller.

10. SLUTSATSER I SAMMANDRAG

I detta avsnitt redovisas sammanfattande slutsatser vilka utgår från de frågeställningar som studerats inom TVANE-projektet. Slutsatserna är baserade på resultat från de olika delstudierna, de studier som ingick i litteraturöversikten (2006) samt ny tillkommen litteratur inom området. I avsnittet framförs även nya frågeställningar som uppkommit under projektets gång samt fortsatt behov av forskning.

Effekter av vägtrafikbuller och tågbuller

Allmän störning

En sammantagen bedömning när det gäller allmän störning är att **vägtrafikbuller är mer störande än tågbuller** vid lika ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$. I en situation med ett mycket stort antal tåg (481 tåg/dygn) är skillnaderna i allmän störning mellan vägtrafikbuller och tågbuller små vid ekvivalenta ljudnivåer under ca 55 dB, men vid högre ljudnivåer är tågbuller i denna situation mer störande än vägtrafikbuller.

Då ljudnivån i stället anges i L_{den} (ett mått som "bestraffar" buller under kvälls- och nattetid) ändras andelen störda till tågtrafikens fördel i områden med ett relativt stort antal tåg och hög andel godstrafik nattetid.

Andelen störda av buller är avsevärt högre bland personer som har balkong/uteplats mot järnväg eller större väg, upptill 3 gånger högre, beroende på ljudnivå och typ av bullerkälla. Vid riskbedömningar av störning av buller och i samband med planering och åtgärder mot buller eller utbyggnad av ny infrastruktur, är det **viktigt att ta hänsyn till hur uteplats/balkong är belägen** för att inte underskatta risken för störning.

Sömnstörningar

Vägtrafikbuller orsakar mer sömnstörningar än tågbuller vid lika ljudnivå. Vid L_{natt} 50 dB utanför sovrumsfönstret var andelen med försämrad sömnkvalitet vid stängt sovrumsfönster dubbelt så hög p.g.a. vägtrafikbuller som p.g.a. tågbuller. Vid ett mycket stort antal tåg/dygn minskar skillnaderna i sömnstörning något mellan vägtrafikbuller och tågbuller vid högre ljudnivåer. Dos-respons samband baserat på flera fältstudier i metaanalyser (Miedema & Vos, 2007) visar dock att skillnaderna i andel sömnstörda (vägtrafik mer sömnstörande än tågbuller) ökar med ökande ljudnivå.

Andelen med försämrad sömnkvalitet p.g.a. buller var närmare 3 gånger högre bland dem som hade sovrumsfönster mot bullerkälla (järnväg eller väg) än bland dem som hade sovrumsfönster mot annat håll och därför är det viktigt att **beakta sovrumsfönstrets läge i förhållande till bullerkällan**. Då sovrumsfönster vetter mot järnväg (eller väg) är ljudnivå på mest exponerad sida ett korrekt mått på ljudnivå nattetid och kan då användas i dos-respons samband och vid riskbedömningar. I annat fall kommer risken för sömnstörningar av buller vid en viss ljudnivå att kraftigt underskattas utifrån de beräknade bullernivåerna.

Effekter av tågbuller då antalet tåg per dygn är mycket stort

En sammantagen bedömning är att **antalet tåg per dygn, och inte enbart den dygnsekvivalenta ljudnivån, har betydelse för hur störande tågbuller upplevs**. Då antalet tåg är mycket stort, i medeltal ca 20 tåg per tim, ger tågtrafiken upphov till avsevärt mer omfattande bullerstörningar och andelen som störs eller påverkas under samtal, lyssningsaktiviteter, vila/ avkoppling samt under sömnen är högre än vid järnvägar med i medeltal ca 5 tåg per tim och lika dygnsekvivalent ljudnivå.

Samtidig exponering för vibrationer och buller från tågtrafik

Allmän störning av buller

Samtidig förekomst av buller och vibrationer från tågtrafik leder till att fler blir störda av tågbuller (allmän störning såväl som störning av olika aktiviteter). ***Skillnaden i andel störda motsvarar ca 5-7 dB***, vilket innebär att samma andel störda uppnås vid ca 5-7 dB lägre ljudnivå i områden där tågtrafiken alstrar starka vibrationer. Till exempel uppgår andelen som störs av tågbuller till ca 30 % vid en ljudnivå på 55 dB i områden med starka vibrationer medan samma andel störda uppnås först vid 60 dB i områden utan vibrationer.

Störning av vibrationer

Störning av vibrationer är begränsad (mindre än 10 % störda) vid vibrationsnivåer under 0,20 mm/s. Vid nivåer på ***0,40 mm/s (i mark och sannolikt även i hus) och däröver är en majoritet mycket störda*** av vibrationer. Den situationsfaktor, utöver markens beskaffenhet, som har stor betydelse för upplevelse av olika effekter av vibrationer är hustyp – andelen störda av vibrationer är högre i småhus än i flerbostadshus.

Sömnstörningar

Vibrationer har en stor negativ inverkan på sömnen. Sömnstörningar av tågbuller var högre i områden med starka vibrationer, liksom under nätter med starka vibrationer i de experimentella studierna. Detta innebär att ***buller och vibrationer i samverkan leder till ökad sömnstörning*** och att man även under sömnen lättare uppmärksammar buller då det åtföljs av vibrationer. Om vibrationerna överstiger 0,40 mm/s i hus räcker det sannolikt inte att reducera ljudnivån, t.ex. genom ljudisolerande fönster eller bullerskärmar, för att minska sömnstörningarna.

Samtidig exponering för buller från vägtrafik och tågtrafik

I en situation med ***samtidig exponering för buller från vägtrafik och tåg upplevdes buller från var och en av källorna som mer störande än i en situation då det bara förekom en bullerkälla*** (en skillnad i andel störda på 8-10 procentenheter vid $L_{Aeq,24h}$ 55 dB).

Då dos-responssambandet angavs som samband mellan *summerad ljudenergi* ($L_{Aeq,24h,tot}$) och andel *störda av den totala trafikljudmiljön* (total störning) var skillnaden i andel störda mellan de två typerna av exponeringssituation (lika exponering från två bullerkällor respektive en dominerande bullerkälla) statistiskt signifikant vid en ljudnivå som översteg $L_{Aeq,24h,tot}$ 58 dB.

Detta visar att det finns en ***samverkans effekt*** och att den totala bullerexponeringen, och inte bara effekter av enskilda källor var för sig, måste beaktas i samband med riskbedömningar och då man vidtar åtgärder för att minska effekterna av buller.

Är en bonus för tågbuller befogad?

Vägtrafikbuller är mer störande allmänt och mer sömnstörande än tågbuller i de allra flesta fall, vilket ger stöd för en bonus för tågbuller. Det finns däremot inget som talar för att en tågbonus är berättigad ur bullersynpunkt i situationer där antalet tåg är mycket stort, ca 500 tåg per dygn, eller i områden där tågtrafiken alstrar starka vibrationer. I dessa situationer är tågbuller mer störande (angett som *andel störda*) än vägtrafikbuller vid ljudnivåer över $L_{Aeq,24h}$ 55 dB. Då störningen anges i *andel mycket störda* är dock vägtrafikbuller lika störande som tågbuller i områden med starka vibrationer.

I situationer med samtidig exponering för flera bullerkällor (vägtrafik och tåg) och då ljudnivån från de enskilda källorna ger en sammanlagd ljudnivå över $L_{Aeq,24h}$ ca 58 dB är andelen som störs av buller signifikant högre än i situationer då bara en bullerkälla med motsvarande ljudnivå förekommer. I dessa situationer behövs särskilda åtgärder mot buller för att reducera risken för störning.

Nya frågeställningar

Under projektets gång har vi identifierat ett antal frågeställningar/områden som behöver utforskas ytterligare:

Samband mellan störning och andra effekter av buller från olika trafikslag och antal bullerhändelser per maxtimme $L_{AFmax} > 70$ dB på uteplats

Det saknas i stort sett studier som är utformade för att undersöka samband mellan störning och andra effekter av buller från olika trafikslag och antal bullerhändelser per maxtimme $L_{AFmax} > 70$ dB. Studierna inom TVANE visar dock att andel störda vid samtal eller vid avkoppling på uteplatsen är hög vid ljudnivåer mellan L_{AFmax} 71 och 75 dB. Det behövs väl designade socio-akustiska studier i fält med enkäter och med detaljerade beräkningar och mätningar av ljudnivån vid uteplatser. Experimentella studier i laboratoriemiljö ger möjlighet att skapa exponeringsförhållanden med stor variation i antal bullerhändelser och maximal ljudnivå för att studera olika akuta effekter.

Bullerskärmar – hur effektiva är de ur störningssynpunkt

Det behövs studier av hur väl bullerskärmar skyddar mot buller och hur skärmars utförande påverkar störningsupplevelsen av buller. Vilken betydelse har bristande underhåll av bullerskärmar?

Moderna beräkningsprogram

Hur noggranna är moderna beräkningsprogram jämfört med enklare beräkningar egentligen? Tillför dessa GIS/kartbaserade system något vad det gäller beräkningsnoggrannhet och kontroll av resultaten, eller gör de det lättare att göra många beräkningar med felaktigheter både i indata och i programvarubuggar som inte upptäcks? Det vore intressant att studera konsekvenserna av att allt fler övergår till dessa komplexa system som för många användare är "svarta lådor", särskilt när nästa generations beräkningsmetoder och program blir ännu mer komplexa och kräver mer indata, t.ex. i form av detaljerade meteorologiska data.

11. REFERENSER

Aasvang, G.M., Överland, B., Ursin, R., Moum, T. (2009). The effects of noise on sleep in subjects habitually exposed to nocturnal noise from road traffic and railway: results from a socio-acoustic survey and sleep recordings in the home. *The European Conference on Noise Control (Euronoise 2009)*, Edinburgh, Scotland, October 26-28, 2009, (In CD-ROM).

Aasvang, G.M. (2009). Effects of transportation noise on sleep. Assessment of night time noise exposure from railway and road traffic and effects on self-reported sleep and sleep assessed by polysomnography. Doctoral thesis, Faculty of Medicine, University of Oslo. ISBN 978-82-8072-388-8.

Aasvang, G.M., Moum, T. & Engdahl, B. (2008). Exposure-response relationships for night time equivalent and maximum noise levels. *J Acoust Soc Am*, 124 (1), pp. 257-268.

Babisch, W. (2006). Transportation noise and cardiovascular risk: updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. *Noise & Health*, 8, pp. 1-29.

Banverkets årsredovisning 2009 (2010). Rapport februari 2010. www.banverket.se.

Banverket och Naturvårdsverket (2006). Buller och vibrationer från spårburen linjetrafik, riktlinjer och tillämpning. Banverket och Naturvårdsverket, 2006-02-01, Dnr. S02-4235/SA60.

Banverket och Naturvårdsverket (1997). Buller och vibrationer från spårburen linjetrafik. Policy och tillämpning. BVPO 724.001.

Barregard, L., Bonde E. & Öhrström, E. (2009). Risk of hypertension from exposure to road traffic noise in a population-based sample. *Occup Environ Med*, 66, pp. 410-415.

Basner, M., Müller, U., & Griefahn, B. (2010). Practical guidance for risk assessment of traffic noise effects on sleep. *Applied Acoustics*, Vol. 71 (6), pp. 518-522.

Boverkets allmänna råd 2008:1 (2008). Buller i planeringen – Planera för bostäder i områden utsatta för buller från väg- och spårtrafik. Boverket, februari 2008. ISBN: 978-91-85751-72-3.

EU (2002). Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance. EU's Future Noise Policy, WG2 – Dose/Effect. European Communities, 2002. ISBN 92-894-3894-0.

EU (2004). Position paper on dose-effect relationships for night time noise, 11 Nov 2004. European Commission Working Group on Health and Socio-Economic Aspects.

EU-direktivet 2002/49/EG: Europaparlamentets och rådets direktiv 2002/49/EG av den 25 juni 2002 om bedömning och hantering av omgivningsbuller.

Infrastrukturinriktning för framtida transporter, Prop. 1996/97:53, antagen av riksdagen den 20 mars 1997. <http://www.riksdagen.se>.

Förordning om omgivningsbuller SFS nr:2004:675 utfärdad 2004-07-01.

Gidlöf-Gunnarsson, A., Öhrström, E., & Kihlman, T. (2010). A full-scale intervention example of the "quiet side-concept" in a residential area exposed to road traffic noise: Effects on the Perceived sound environment and general annoyance. Invited paper to the 38th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Noise and sustainability, Inter Noise 2010, Lisbon, Portugal, 13-16 June 2010.

- Gidlöf-Gunnarsson, A. & Öhrström, E. (2008). The effectiveness of quiet asphalt and earth berm in reducing annoyances due to road traffic noise in residential areas. Proceedings of the 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise (ICBEN) 2008, July 21-25, Foxwoods CT, USA. (Available on CD), ISBN 978-3-9808342-5-4.
- Griefahn, B., Marks, A., & Robens, S. (2006). Noise emitted from road, rail and air traffic and their effects on sleep. *J Sound Vib* 295, pp. 129-140.
- Göransson C. (1991). Vibrationer från tågtrafik – Jämförelse av två mätmetoder och olika riktvärden. SP rapport 1991:44; 1991.
- Handlingsplan mot buller SOU 1993:65 (1993). Öhrström, E. Omgivningsbullers effekter på människan. Bilaga 4, Bilagedel till betänkande av Utredningen för en handlingsplan mot buller. ISBN 91-38-13399-7, ISSN 0375-250X.
- Hong, J., Kim, J., Lim, C., Kim, K. & Lee, S. (2010). The effects of long-term exposure to railway and road traffic noise on subjective sleep disturbance. *J Acoust Soc Am*, 128 (5) Nov; 2829.
- ISO/TS15666 (2003). Technical Specification, first edition 2003-02-01 Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. Reference number ISO/TS 15666:2003 (E).
- Jonasson, H. (2005). Svenska riktvärden och L_{den} . Rapport ETaP404604 ver.3, SP Akustik, Borås 2005.
- Jonasson, H. & Nielsen, H.L. (1996). Road traffic noise – Nordic Prediction Method. In: Nordic Council of Ministers. Tema Nord. Copenhagen, Denmark, Vol. 525. ISBN 92 9120 836 1.
- Kang, J. (2005). Noise mapping: Accuracy and strategic application, Inter Noise 2005, Rio de Janeiro, Brazil.
- Klaeboe, R., Fyhri, A., Hårvik, L. & Madshus, C. (2003). "Vibration in dwellings from road and rail traffic - Part II: exposure effect relationships based on ordinal logit and logistic regression models." *Applied Acoustics* 64, 89-109.
- Klaeboe, R., Öhrström, E., Turunen-Riise, I.H., Bendtsen, H. & Nykänen, H. (2003). Vibrations in dwellings from road and rail traffic – Part III: towards a common methodology for socio-vibrational surveys. *Applied Acoustics* 64, 111-120.
- Lim, C., L., Kim, J., Hong, J. & Leed, S. (2006). The relationship between railway noise and community annoyance in Korea. *J Acoust Soc Am*, 120, 2037-2042.
- Lindvall, T. & Radford, E.P. (eds.) (1973). Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors. Environmental Research, 6, pp. 1-36.
- Miedema, H. M.E. & Oudshoorn, C. (2001). Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environ Health Perspect.* 109 (4), 409-16.
- Miedema, H.M.E., Passchier-Vermeer, W. & Vos, H. (2002). Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. TNO Inro report 2002-59. ISBN 90-6743-981-9.
- Miedema, H. M.E. (2004). Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. *J Acoust Soc Am* 116 (2), 949-57.
- Miedema, H.M.E. & Vos, H. (2007). Associations Between Self-Reported Sleep Disturbance and Environmental Noise Based on Reanalyses of Pooled Data From 24 Studies. *Behavioral Sleep Medicine*, 5, 1-20.
- Miljömålen i halvtid - De Facto 2009. Miljömålsrådets uppföljning av Sveriges miljömål. ISSN 1654-4641, ISBN 978-91-620-1272-4.

Miljömålen – svensk konsumtion och global miljöpåverkan - De Facto 2010. Miljömålsrådets uppföljning av Sveriges miljömål. ISSN 1654-4641, ISBN 978-91-620-1280-9.

Naturvårdsverket (2007). Vår rapportering för 2007 enligt Förordningen om omgivningsbuller. (www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Buller/).

Naturvårdsverket (2005). Redogörelse för svenska riktvärden för buller och deras tillämpning med anledning av rapportering enligt Direktiv 2002/49/EG om bedömning och hantering av omgivningsbuller. Regeringskansliet, Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet, 2005-06-17.

Naturvårdsverket (2001). Riktvärden för trafikbuller vid nyanläggning eller väsentlig ombyggnad av infrastruktur - Förslag till utveckling av definitioner. Redovisning av regeringsuppdrag. Dnr. 540-355-01 Rv.

Naturvårdsverket, Vägverket och Nordiska Ministerrådet (1996). Vägtrafikbuller – Nordisk beräkningsmodell reviderad 1996. ISBN 91-620-4653-5.

Naturvårdsverket (1996). Buller från spårburen trafik – Nordisk beräkningsmodell. Rapport 4935, 1996. ISBN 91-620-4935-6.

Nordling, E. & Bluhm, G. (2002). Tågbuller och hälsa – en besvärstudie av exponering för buller från tågtrafiken i Sollentuna och Upplands Väsby. Rapport från Arbets- och miljömedicin, Stockholms läns landsting, 2002:5. ISSN 1651-0321.

Pagoldh, C. (1990). Godstågstrafikens stambanenät, Vibrationsstörningar från järnvägstrafik i Sverige. Rapport S-5967-A, Ingemansson Akustik.

Passchier-Vermeer, W., Vos, H., Jansen, S.A. & Miedema, H.M.E. (2007). Sleep and traffic noise. TNO Summary report 2007-D-R0012/A. Delft. The full report (in Dutch) can be obtained from: www.tno.nl/slaapverstoring.

Simonsson, B. (2009). Uppskattning av antalet exponerade för väg, tåg och flygtrafikbuller överstigande ekvivalent ljudnivå 55 dBA. Rapport 2009-11-24, upprättad av WSP på uppdrag av Naturvårdsverket.

Svenska miljömål – miljöpolitik för ett hållbart Sverige. Prop. 1997/98:145, maj 1998.

Svenska miljömål – delmål och åtgärdsstrategier. Prop. 2000/01:130, april 2001.

Svenska miljömål – för ett effektivare miljöarbete. Prop. 2009/10:155, mars 2010.

WHO (2000). Guidelines for community noise (Ed. Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D.H. & Goh, K.-T.) Geneva: World Health Organization.

WHO (2009). Night Noise Guidelines for Europe. ISBN 978 92 890 4173 7.

Yano, T., Y., Sato, T. & Morihara, T. (2006). Impact of vibration on railway and road traffic noise annoyance. Inter Noise 2006, 3-6 December, Honolulu, Hawaii, USA.

Ögren, M och Jerson, T (2010). Mätning och beräkning av buller och vibrationer från tågtrafik inom TVANE-projektet. VTI Notat nr 2 2011, Göteborg.

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. (2010). Effekter av buller från vägtrafik och tåg - undersökningar i Kungälv, Borås, Töreboda och Falköping. Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport nr: 1 2010. ISBN 978-91-978916-0-8.

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. & Jerson, T. (2010a). Effekter av buller och vibrationer från tågtrafik – undersökningar i Töreboda, Falköping, Alingsås och Kungsbacka. Rapport nr 4: 2010, Enheten för Arbets- och miljömedicin, Göteborgs universitet. ISBN 978-91-978916-3-9.

- Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. & Jerson, T. (2010b). Effekter av tågbuller vid en starkt trafikerad järnväg – undersökningar i Sollentuna kommun. Rapport nr 2: 2010, Enheten för Arbets- och miljömedicin, Göteborgs universitet. ISBN 978-91-978916-1-5.
- Öhrström, E., Barregård, B., Andersson, E., Skånberg, A., Svensson, H. & Ängerheim, P. (2007). Annoyance due to single and combined exposure from railway and road traffic noise. *J Acoust Soc Am*. 122, 2642-2652, Part 1.
- Öhrström, E., Andersson, E., Skånberg, A. & Barregård, L. (2007). Relationships between annoyance and exposure to single and combined noise from railway and road traffic. Inter Noise 2007, Istanbul 28-31 August, Paper no IN07_242 (Available on CD.)
- Öhrström, E. & Skånberg, A. (2006). Litteraturstudie – Effekter avseende buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik. Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet. Rapport 112, 2006. ISSN 1650-4321, ISBN 91-7876-111-5.
- Öhrström, E., Skånberg, A., Svensson, H. & Gidlöf-Gunnarsson, A. (2006). Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness. *J Sound Vib*, 295, pp. 40-59.
- Öhrström, E., Skånberg, A., Barregård, L., Svensson, H. & Ängerheim, P. (2005). Effects of simultaneous exposure to noise from road- and railway traffic. Inter Noise 2005, Rio de Janeiro 6-10 August, 2005. Paper no 1570.(Available on CD.)
- Öhrström, E., Barregård, L., Skånberg, A., Svensson, H., Ängerheim, P., Holmes, M. & Bonde, E. (2005). Undersökning av hälsoeffekter av buller från vägtrafik, tåg och flyg i Lerums kommun. Rapport 30 maj 2005, Avdelningen för Miljömedicin, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet och Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum (VMC) ISSN 1400-5808, ISRN GU-MMED-R-2005/1 SE.
- Öhrström, E. (2004a). Samhällsbuller – Omfattning, hälsoeffekter och bedömning. I: Miljökonsekvensbeskrivning och hälsa – Några föroreningskällor beskrivning och riskbedömning. Socialstyrelsen 2004. ISBN 91-7201-8666-6.
- Öhrström, E. & Skånberg, A. (2004). Longitudinal surveys on effects of road traffic noise – Substudy on sleep assessed by wrist actigraphs and sleep logs. *J Sound Vib*. 272, pp. 1097-1109.
- Öhrström, E. (2004b). Longitudinal surveys on effects of changes in road traffic noise – Annoyance, activity disturbances and psycho-social well being. *J Acoust Soc Am*. 115 (2), pp. 719-729.
- Öhrström, E. (2004c). Longitudinal surveys on effects of changes in road traffic noise – Effects on sleep assessed by general questionnaires and 3-day sleep logs. *J Sound Vib*. 276, pp. 713-727.
- Öhrström, E. & Skånberg, A. (1999). Konsekvenser av Lundbytunneln. Del I: Undersökningar av störningsupplevelse, sömn, hälsa och välbefinnande hos befolkningen vid Västra Bräckevägen, Göteborg. Del II: Fördjupade sömnundersökningar. Rapport 4/99, Avdelningen för miljömedicin, Göteborgs universitet. ISSN 1400-5808, ISRN GU-MMED-R-1999/4-SE.
- Öhrström, E. (1998). Effekter av åtgärder mot buller och vibrationer från tågtrafik – Undersökning i Kungsbacka. Rapport 9/98, Avdelningen för miljömedicin, Göteborgs universitet.
- Öhrström, E. (1997). Community reactions to railway noise- effects of countermeasures against noise and vibration. Inter Noise 97, Budapest, Hungary.
- Öhrström, E. & Skånberg, A. (1996). A field survey on effects of exposure to noise and vibration from railway traffic, part I: annoyance and activity effects. *J Sound Vib*. 193, 39-47.
- Öhrström, E. & Skånberg, A. (1995). Effekter av exponering för buller och vibrationer från tågtrafik - undersökningar i 15 tätorter. Rapport 1/95, Avdelningen för miljömedicin, Göteborgs universitet.
- Öhrström, E. & Rylander, R. (1982). Sleep disturbance effects of traffic noise - a laboratory study on after effects. *J Sound Vib*. 84, 87-103.

APPENDIX 1 (1/10)

JÄMFÖRELSE R MELLAN EFFEKTER AV BULLER FRÅN VÄGTRAFIK OCH TÅGTRAFIK

Översikt av jämförelser avseende störningar av vägtrafikbuller och tågbuller (andel i % samt differens) för allmän störning, störning av aktiviteter och sömnstörningar. Allmän störning och aktivitetsstörningar dagtid anges för olika ljudnivåkategorier i $L_{Aeq,24h}$ och sömnstörningar anges för olika ljudnivåkategorier i L_{natt} .

	Vägtrafikbuller Kungälv, Borås			Tågbuller Töreboda, Falköping					
	51-55 dB	56-60 dB	61-65 dB	51-55 dB	Diff	56-60 dB	Diff	61-65 dB	Diff
Allmän störning ¹⁾	30	41	38	9	-21	18	-23	46	+8
Aktivitetsstörningar ²⁾									
Samtal:									
Inomhus stängt fönster	5	7	4	2	-3	6	-1	12	+8
Inomhus öppet fönster	10	11	28	5	-5	15	+4	44	+16
Utomhus	14	29	34	8	-6	22	-7	54	+20
Lyssna på radio/TV:									
Inomhus stängt fönster	7	9	13	3	-4	15	+6	21	+8
Inomhus öppet fönster	17	15	28	6	-11	24	+9	44	+16
Avkoppling:									
Inomhus stängt fönster	16	26	24	5	-11	11	-15	9	-15
inomhus öppet fönster	25	36	35	8	-17	15	-21	32	-3
Utomhus	27	41	37	7	-20	21	-20	38	+1
	45-49 dB	50-54 dB	55-59 dB	45-49 dB	Diff	50-54 dB	Diff	55-59 dB	Diff
Sömnstörningar ²⁾									
Sämre sömnkvalitet:									
Vid stängt fönster	15	22	30	7	-8	3	-19	5	-25
Vid öppet fönster	26	35	38	12	-14	5	-30	12	-26
Störs av att inte kunna sova med sovrumsfönstret öppet	34	45	40	9	-25	7	-38	16	-24

¹⁾ Andel i % som är ganska, mycket eller oerhört mycket störda. ²⁾ Andel i % med påverkan >3.

Siffror i rött indikerar högre störning av tågbuller och siffror i blått indikerar högre störning av vägtrafikbuller.

Differenser i störning mellan vägtrafik- och tågtrafikområden ≥ 15 % är angett i fetstil.

APPENDIX 1 (2/10)

JÄMFÖRELSELER MELLAN EFFEKTER AV TÅGTRAFIK I OMRÅDEN MED INGA/SVAGA VIBRATIONER OCH OMRÅDEN MED STARKA VIBRATIONER

Översikt av jämförelser avseende störningar av tågbuller (andel i % samt differens): allmän störning och störning av aktiviteter mellan områden med svaga/inga vibrationer (Töreboda och Falköping) och områden med starka vibrationer (Alingsås och Kungsbacka). Allmän störning och aktivitetsstörningar dagtid anges för olika ljudnivåkategorier i $L_{Aeq,24h}$ och sömnstörningar anges för olika ljudnivåkategorier i L_{natt} .

	Töreboda, Falköping inga/svaga vibrationer			Alingsås, Kungsbacka starka vibrationer					
$L_{Aeq,24h}$	45-50 dB	51-55 dB	56-65 dB	45-50 dB	Diff	51-55 dB	Diff	56-65 dB	Diff
Allmän störning ¹⁾	8	9	24	12	+4	26	+17	56	+32
Aktivitetsstörningar ²⁾									
Samtal:									
Inomhus stängt fönster	2	2	7	4	+2	6	+4	19	+12
Inomhus öppet fönster	5	5	22	6	+1	14	+9	48	+26
Utomhus	8	8	29	11	+3	26	+18	73	+44
Lyssna på radio/TV:									
Inomhus stängt fönster	2	3	17	3	+1	7	+4	35	+17
Inomhus öppet fönster	8	6	29	6	-2	17	+11	60	+31
Avkoppling:									
Inomhus stängt fönster	6	5	10	6	0	14	+9	36	+26
inomhus öppet fönster	12	8	19	6	-6	16	+8	49	+30
Utomhus	9	7	25	8	-1	17	+10	60	+35
	Töreboda, Falköping inga/svaga vibrationer			Alingsås, Kungsbacka starka vibrationer					
L_{natt}	50-54 dB	55-59 dB	60-65 dB	50-54 dB	Diff	55-59 dB	Diff	60-65 dB	Diff
Sömnstörningar ²⁾									
Sämre sömnkvalitet:									
Vid stängt fönster	3	5	9	10	+7	29	+24	25	+16
Vid öppet fönster	5	12	24	13	+8	34	+22	47	+23
Störs av att inte kunna sova med sovrumsfönstret öppet	7	16	33	13	+6	39	+23	51	+18

¹⁾ Andel i % som är ganska, mycket eller oerhört mycket störda. ²⁾ Andel i % med påverkan >3.

Siffror i rött indikerar högre störning av tågbuller i områden med starka vibrationer och differenser i störning med ≥ 15 % är angett i fetstil.

APPENDIX 1 (3/10)

JÄMFÖRELSELER MELLAN EFFEKTER AV TÅGTRAFIK I OMRÅDEN MED RELATIVT MÅNGA TÅG OCH OMRÅDEN MED ETT MYCKET STORT ANTAL TÅG/DYGN

Översikt av jämförelser avseende störningar av tågbuller (andel i % samt differens): allmän störning, störning av aktiviteter och sömnstörningar mellan områden med 124 tåg/dygn (Töreboda och Falköping) och Sollentuna med 481 tåg/dygn. Allmän störning och aktivitetsstörningar dagtid anges för ljudnivåkategorier i $L_{Aeq,24h}$ och sömnstörningar anges för ljudnivåkategorier i L_{natt} .

	Töreboda, Falköping 124 tåg per dygn			Sollentuna 481 tåg per dygn					
$L_{Aeq,24h}$	51-55 dB	56-60 dB	61-65 dB	51-55 dB	Diff	56-60 dB	Diff	61-65 dB	Diff
Allmän störning ¹⁾	9	18	46	24	+15	49	+31	62	+16
Aktivitetsstörningar dagtid ¹⁾									
Samtal:									
Inomhus stängt fönster	2	6	12	5	+3	12	+6	24	+12
Inomhus öppet fönster	5	15	44	13	+8	32	+17	49	+5
Utomhus	8	22	54	21	+13	53	+31	69	+15
Lyssna på radio/TV:									
Inomhus stängt fönster	3	15	21	5	+2	15	0	30	+9
Inomhus öppet fönster	6	24	44	13	+7	29	+5	52	+8
Avkoppling:									
Inomhus stängt fönster	5	11	9	10	+5	25	+14	25	+16
inomhus öppet fönster	8	15	32	18	+3	37	+22	45	+13
Utomhus	7	21	38	22	+15	44	+23	53	+15
L_{natt}	50-54 dB	55-59 dB	60-65 dB	50-54 dB	Diff	55-59 dB	Diff	60-65 dB	Diff
Sömnstörningar ²⁾									
Sämlre sömnkvalitet:									
Vid stängt fönster	3	5	9	14	+11	27	+22	35	+26
Vid öppet fönster	5	12	24	25	+20	43	+31	44	+20
Störs av att inte kunna sova med sovrumsfönstret öppet	7	16	33	26	+19	45	+29	48	+15

¹⁾ Andel i % som är ganska, mycket eller oerhört mycket störda. ²⁾ Andel i % med påverkan >3. Siffror i rött indikerar högre störning av tågbuller i områden med många tåg och differenser i störning med ≥15 % är angett i fetstil.

Antal tåg per timme under olika perioder av dygnet i Töreboda och Falköping och i Sollentuna.

	Antal tåg Totalt per dygn	Antal tåg Dagtid Kl 06-18	Antal tåg Kvällstid Kl 18-22	Antal tåg Natt Kl 22-06
Töreboda, Falköping	124	50	48	26
	5,2/timme 1 tåg var 12:e minut	4/timme 1 tåg var 14:e minut	12/timme 1 tåg var 5:e minut	3,2/timme 1 tåg var 18:e minut
Sollentuna	481	323	89	69
	20/tim 1 tåg var 3:e minut	27/tim 1 tåg varannan minut	22/tim 1 tåg var 3:e minut	8,6/tim 1 tåg var 7:e minut

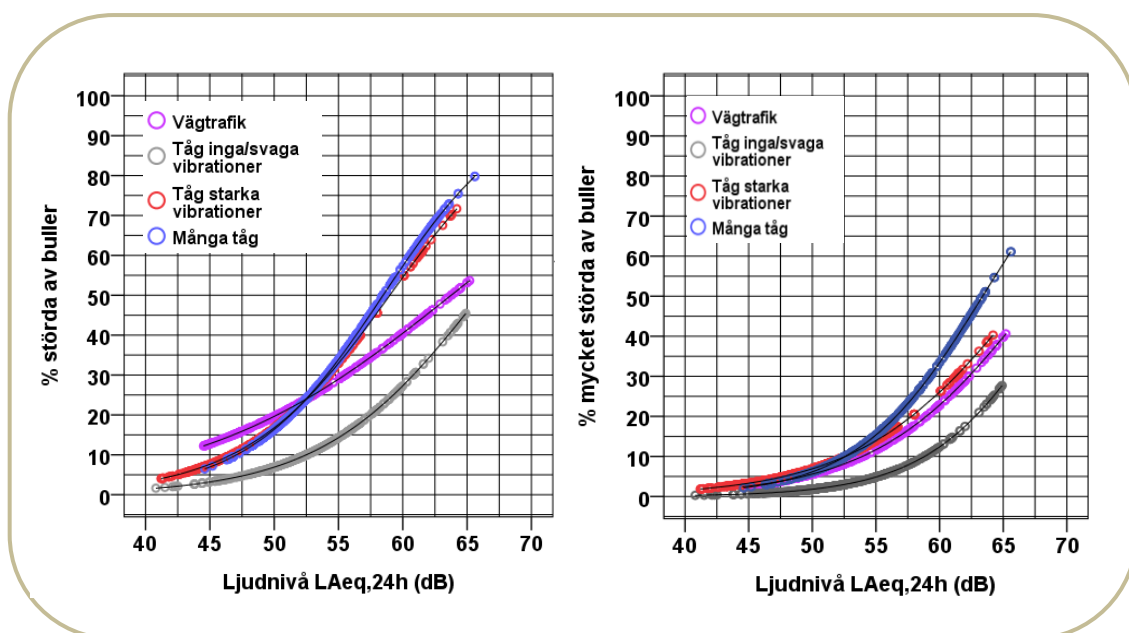
APPENDIX 1 (4/10)

Andel störda (%) och andel mycket störda (%) av tågbuller respektive vägtrafikbuller vid olika ljudnivåkategorier i de olika undersökningsområdena. Värdena i tabellen är skattade utifrån sambandskurvorna i figurerna nedan.

	Predicerad andel störda (%) och andel mycket störda (%) vid olika ljudnivåkategorier i $L_{Aeq,24h}$ vid mest exponerad sida				
	45 dB	50 dB	55 dB	60 dB	65 dB
Tåg: Inga/svaga vibrationer Töreboda och Falköping					
Andel störda (%)	4	8	13	28	45
Andel mycket störda (%)	0	2	5	12	27
Differens störda mycket störda (%)	4	6	8	16	18
Tåg: Mycket stort antal tåg Sollentuna					
Andel störda (%)	8	17	35	58	77
Andel mycket störda (%)	3	6	15	34	58
Differens störda mycket störda (%)	5	9	20	24	19
Tåg: Starka vibrationer Alingsås och Kungsbacka					
Andel störda (%)	8	17	33	54	75
Andel mycket störda (%)	4	7	14	26	42
Differens störda mycket störda (%)	4	10	19	28	33
Vägtrafik: Kungälv och Borås					
Andel störda (%)	12	20	29	40	53
Andel mycket störda (%)	2	5	12	23	41
Differens störda mycket störda (%)	10	15	17	17	12

Andel störda (%) avser kategorierna: ganska, mycket respektive oerhört mycket störda av vägtrafikbuller.

Andel mycket störda (%) avser kategorierna: mycket respektive oerhört mycket störda av vägtrafikbuller.

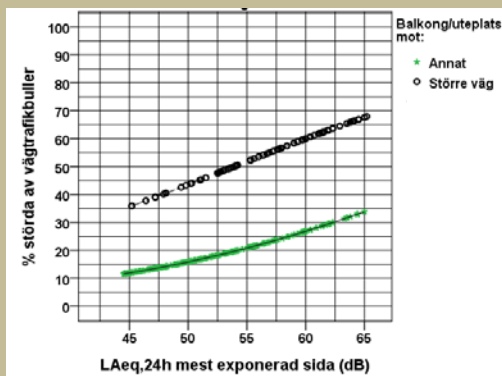


Samband mellan andel störda (vänster figur) respektive andel mycket störda (höger figur) av buller från tågtrafik och vägtrafik och ljudnivå i $L_{Aeq,24h}$ vid mest exponerad sida för de olika undersökningsområdena.

APPENDIX 1 (5/10)

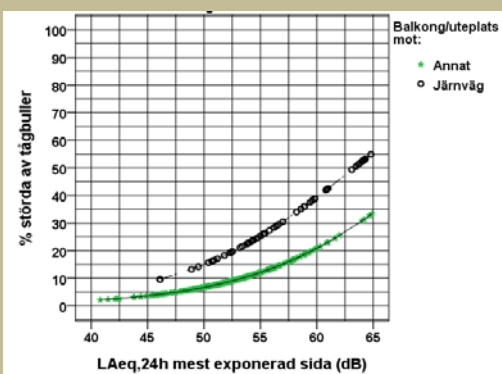
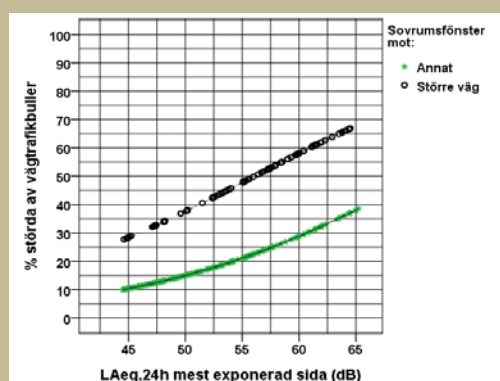
Samband mellan allmän störning av buller och ljudnivå vid mest exponerad sida. Figurer till vänster visar andel störda för personer med balkong/uteplats mot bullerkälla (svart kurva) respektive mot annat håll (grön kurva). Figurer till höger visar andel störda för personer med sovrumsfönster mot bullerkälla (svart kurva) respektive mot annat håll (grön kurva).

Balkong/uteplatsens läge

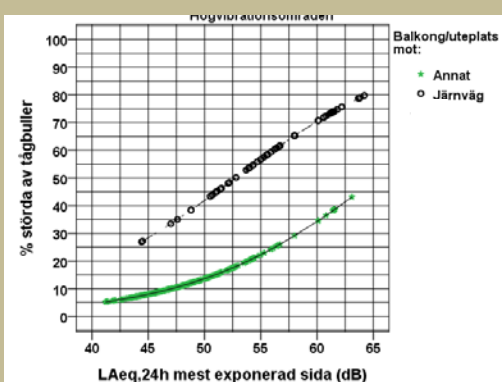
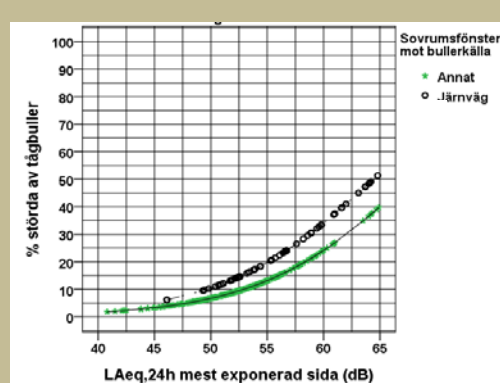


Vägtrafik-
områden

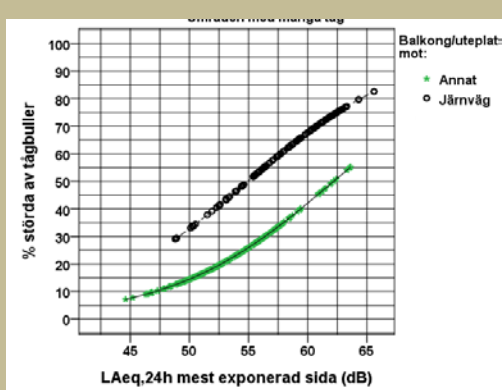
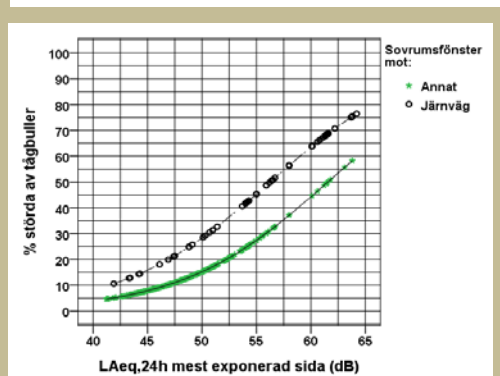
Sovrumsfönstrens läge



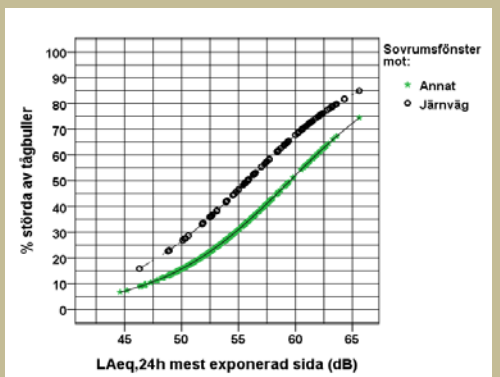
Tåg
inga/svaga
vibrationer



Tåg
starka
vibrationer



Tåg
områden
med många
tåg



APPENDIX 1 (6/10)

Resultat av analyser med multipel logistisk regressionsanalys. De övre tabellerna visar resultat för allmän störning i relation till ljudnivå vid mest exponerad sida samt balkong/uteplatsens läge mot bullerkälla. De nedre tabellerna visar allmän störning i relation till ljudnivå vid mest exponerad sida samt sovrumsfönstrens läge.

Vägtrafikområden

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
Step 1 ^a Leq24h_2m	,067	,021	10,196	1	,001	1,069	1,026	1,113
Väg_balkutepl_mot	1,410	,252	31,377	1	,000	4,094	2,500	6,704
Constant	-4,995	1,121	19,855	1	,000	,007		

a. Variable(s) entered on step 1: Leq24h_2m, Väg_balkutepl_mot.

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
Step 1 ^a Leq24h_2m	,083	,021	16,458	1	,000	1,087	1,044	1,132
Sovrumsfönst_mot	1,229	,242	25,901	1	,000	3,418	2,129	5,488
Constant	-5,901	1,113	28,105	1	,000	,003		

a. Variable(s) entered on step 1: Leq24h_2m, Sovrumsfönst_mot.

Tåg: inga/svaga vibrationer

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
Step 1 ^a Leq24h_2m	,131	,035	14,126	1	,000	1,139	1,064	1,220
Tåg_balk_utepl_mot	,901	,362	6,190	1	,013	2,462	1,211	5,006
Constant	-9,163	1,869	24,037	1	,000	,000		

a. Variable(s) entered on step 1: Leq24h_2m, Tåg_balk_utepl_mot.

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
Step 1 ^a Leq24h_2m	,149	,034	19,280	1	,000	1,160	1,086	1,240
Sovrumsfönst_mot	,484	,364	1,768	1	,184	1,622	,795	3,311
Constant	-10,061	1,832	30,176	1	,000	,000		

a. Variable(s) entered on step 1: Leq24h_2m, Sovrumsfönst_mot.

Tåg: starka vibrationer

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
Step 1 ^a Leq24h_2m	,120	,028	18,756	1	,000	1,127	1,068	1,190
Tåg_balk_utepl_mot	1,519	,342	19,758	1	,000	4,567	2,338	8,922
Constant	-7,841	1,403	31,246	1	,000	,000		

a. Variable(s) entered on step 1: Leq24h_2m, Tåg_balk_utepl_mot.

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
Step 1 ^a Leq24h_2m	,148	,027	29,975	1	,000	1,160	1,100	1,223
Sovrumsfönst_mot	,785	,345	5,180	1	,023	2,193	1,115	4,312
Constant	-9,128	1,378	43,869	1	,000	,000		

a. Variable(s) entered on step 1: Leq24h_2m, Sovrumsfönst_mot.

Tåg: områden med många tåg

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
Step 1 ^a Leq24h_2m	,146	,023	39,869	1	,000	1,157	1,106	1,211
Tåg_balk_utepl_mot	1,059	,193	30,156	1	,000	2,883	1,976	4,207
Constant	-9,069	1,250	52,625	1	,000	,000		

a. Variable(s) entered on step 1: Leq24h_2m, Tåg_balk_utepl_mot.

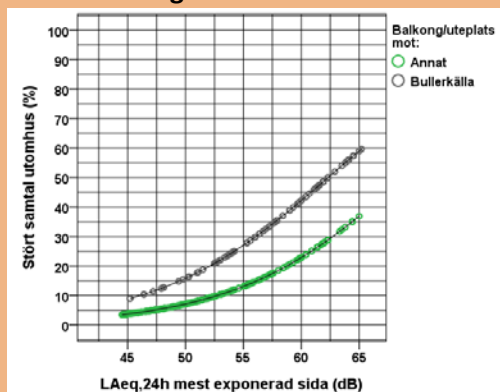
	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
Step 1 ^a Leq24h_2m	,176	,022	63,421	1	,000	1,193	1,142	1,246
Sovrumsfönst_mot	,659	,223	8,760	1	,003	1,932	1,249	2,989
Constant	-10,489	1,211	75,057	1	,000	,000		

a. Variable(s) entered on step 1: Leq24h_2m, Sovrumsfönst_mot.

APPENDIX 1 (7/10)

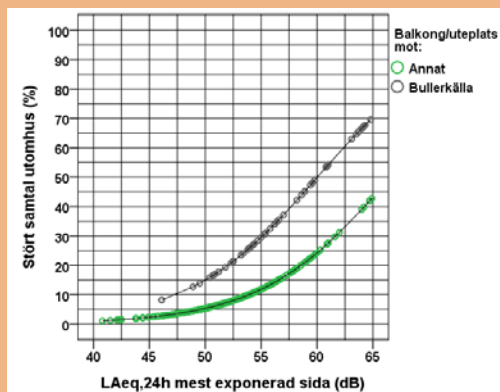
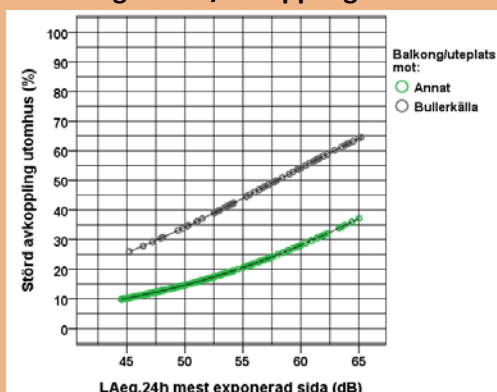
Samband mellan störning av samtal utomhus (vänster) respektive vila/avkoppling (höger) av buller och i relation till ljudnivå vid mest exponerad sida. Svarta kurvor visar andel störda för personer med balkong/uteplats mot bullerkälla och gröna kurvor visar andel störda för personer med balkong/uteplats åt annat håll.

Störning av samtal utomhus

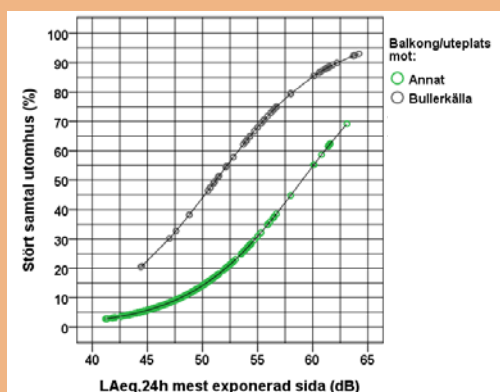
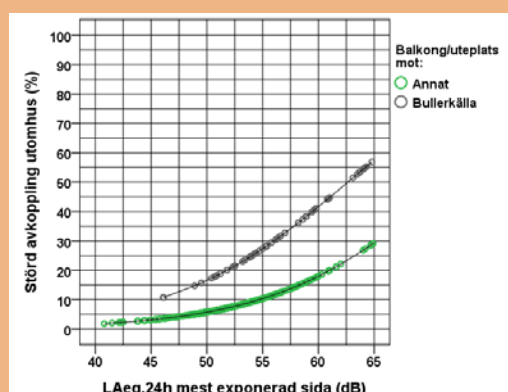


Vägtrafik-
områden

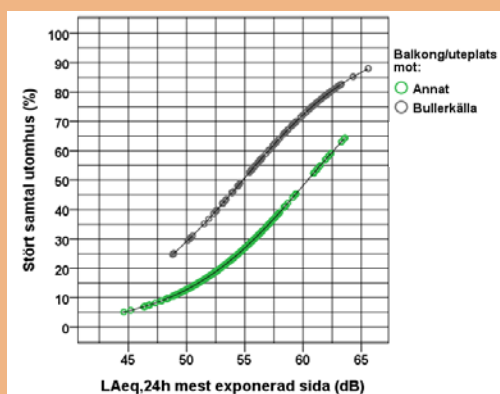
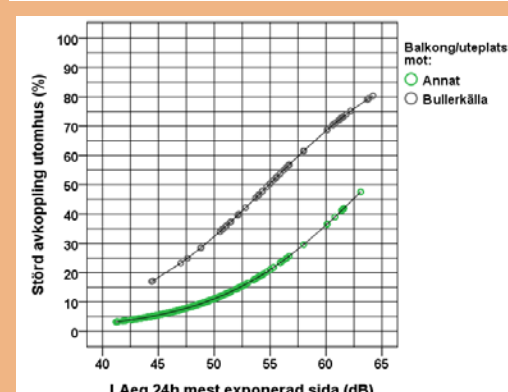
Störning av vila/avkoppling utomhus



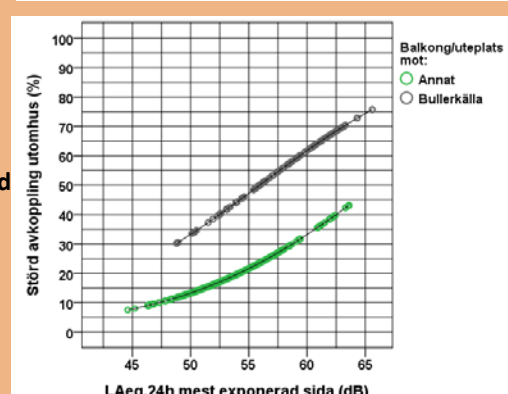
Tåg
Inga/svaga
vibrationer



Tåg
starka
vibrationer



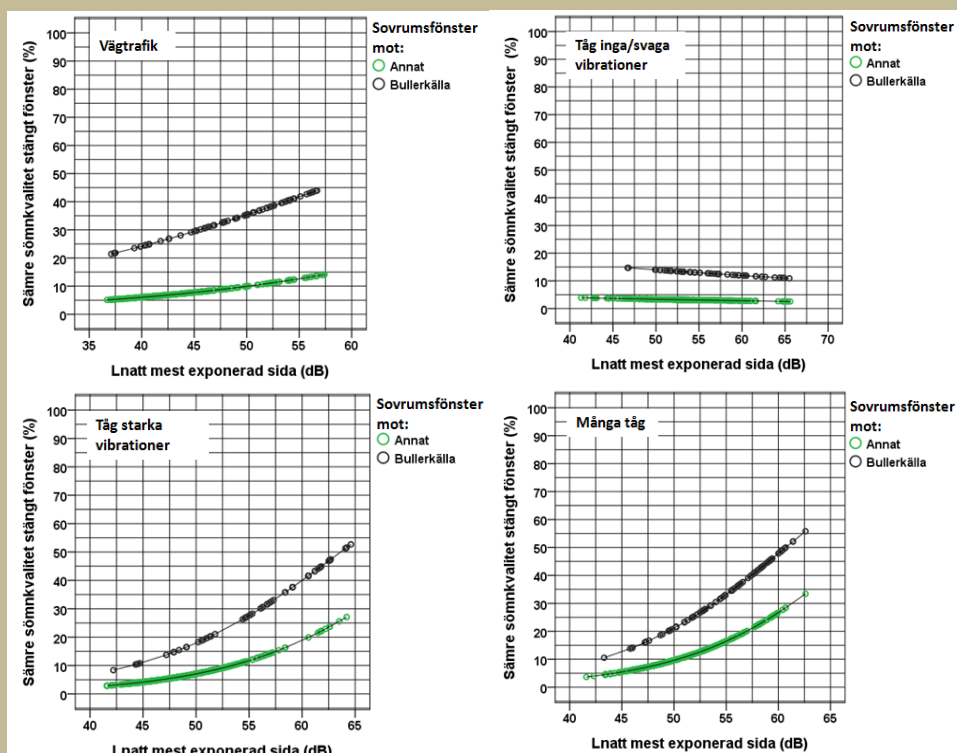
Tåg
områden med
många tåg



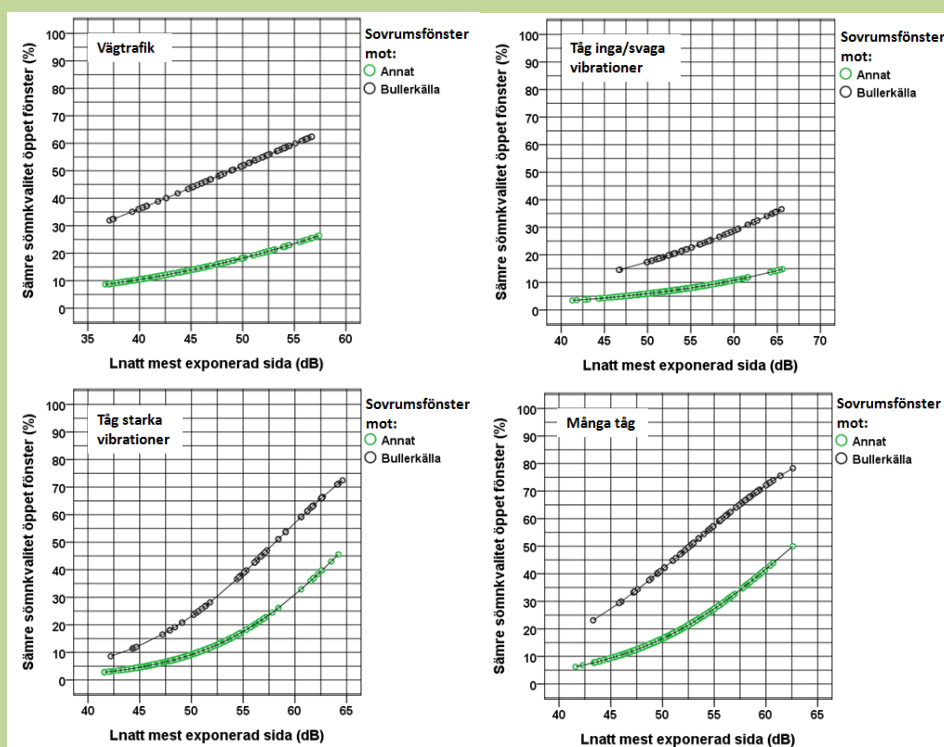
APPENDIX 1 (8/10)

Sömnstörningar av vägtrafikbuller och tågbuller (Töreboda/Falköping 124 tåg/dygn) i relation till sovrumsfönstrens läge i förhållande till bullerkälla och ljudnivå vid mest exponerad sida.

Försämring av sömnkvalitet vid stängt fönster



Försämring av sömnkvalitet vid öppet fönster



APPENDIX 1 (9/10)

Allmän störning och sömnstörning av tågbuller och vägtrafikbuller i relation till balkong/uteplatsens läge respektive sovrumsfönstrens läge i förhållande till bullerkälla (järnväg och trafikled) och ljudnivå vid mest exponerad sida.

Jämförelser av predicerad andel störda av tågbuller och vägtrafikbuller vid olika ljudnivåkategorier för alla personer och enbart för personer som har uteplats mot bullerkälla (järnväg respektive trafikled).

	Predicerad andel störda (%) vid olika ljudnivåer				
	L _{Aeq,24h} 45 dB	L _{Aeq,24h} 50 dB	L _{Aeq,24h} 55 dB	L _{Aeq,24h} 60 dB	L _{Aeq,24h} 65 dB
Tåg: inga vibrationer					
Alla	4	8	13	28	45
Uteplats mot	10	15	25	40	55
Differens	6	7	12	12	10
Tåg: många tåg					
Alla	8	17	35	58	77
Uteplats mot	-	35	50	67	82
Differens		18	15	9	5
Tåg: starka vibrationer					
Alla	7	15	35	55	70
Uteplats mot	25	42	57	70	80
Differens	18	27	22	15	10
Vägtrafikområden					
Alla	14	20	30	40	55
Uteplats mot	35	45	55	60	70
Differens	21	25	25	20	15

Jämförelser av predicerad andel med försämrad sömnkvalitet vid öppet fönster av tågbuller och vägtrafikbuller vid olika ljudnivåkategorier för alla personer och enbart för personer som har sovrumsfönster mot bullerkälla (järnväg respektive trafikled).

	Predicerad andel sömnstörda (%) vid olika ljudnivåer			
	L _{natt} 45 dB	L _{natt} 50 dB	L _{natt} 55 dB	L _{natt} 60 dB
Tåg: inga vibrationer				
Alla	5	5	10	15
Sovrumsfönster mot	15	17	23	27
Differens	10	12	13	12
Tåg: många tåg				
Alla	10	20	35	55
Sovrumsfönster mot	27	40	55	70
Differens	17	20	20	15
Tåg: starka vibrationer				
Alla	5	10	20	45
Sovrumsfönster mot	12	22	40	57
Differens	7	12	20	12
Vägtrafikområden				
Alla	20	30	40	-
Sovrumsfönster mot	45	55	60	-
Differens	25	25	20	

APPENDIX 1 (10/10)

Resultatöversikt: Experimentella studier av buller och vibrationer från tågtrafik. Effekter på sömnkvalitet under olika exponeringsnätter samt upplevda sömn-störningar av buller och vibrationer.

UPPLEVD SÖMNKVALITET	Vilken effekt har vibrationsnivån på sömnen? <i>Hypotes: Starka vibrationer (1,4 mm/s) påverkar sömnen mer än svaga vibrationer (0,4 mm/s) vid lika bullernivå.</i> Jfr L _{natt} 31 dB/Stark med 31 dB/Svag ¹⁾	Vilken effekt har bullernivån på sömnen? <i>Hypotes: Höga bullernivåer (L_{Aeq} 31dB) påverkar sömnen mer än låga bullernivåer (L_{Aeq} 28 dB) vid lika vibrationsnivå.</i> Jfr L _{natt} 31 dB/Stark med 28 dB/Stark ¹⁾
Sömnkvalitetsvariabler (urval): <i>Svårt att somna (0-10)</i> <i>Insomningstid i minuter</i>	Ja, tendens Ja, tendens	Nej Nej
<i>Antal uppvaknanden</i>	Nej	Nej
<i>Sömnkvalitet (0-10)</i> <i>Kroppsrörelser (0-10)</i>	Ja Ja	Nej Nej
<i>Trötthet (0-10)</i> <i>Morgon</i> <i>Dag</i> <i>Kväll</i>	Ja Ja Ja	Nej Nej Ja
UPPLEVD STÖRNING AV SÖMN	Vilken effekt har vibrationsnivån på upplevd sömnstörning av <u>buller</u>? <i>Hypotes: Buller upplevs som mera sömnstörande i kombination med starka vibrationer än i kombination med svaga vibrationer.</i> Jämför 31 dB/Stark med 31 dB/Svag ¹⁾	Vilken effekt har bullernivån på upplevd sömnstörning av <u>vibrationer</u>? <i>Hypotes: Vibrationer upplevs som mera sömnstörande i kombination med höga bullernivåer än i kombination med låga bullernivåer.</i> Jämför 31 dB/Stark med 28 dB/Stark ¹⁾
Störning p.g.a <u>buller</u>: <i>Svårt somna</i> <i>Väcktes</i> <i>Sämre sömnkvalitet</i>	Ja, vibr.nivå påverkar bullerstörning Ja, vibr.nivå påverkar bullerstörning Ja, tendens	_____
Störning p.g.a <u>vibrationer</u>: <i>Svårt somna</i> <i>Väcktes</i> <i>Sämre sömnkvalitet</i>	_____	Nej, bullernivå påverkar ej vibr.störning Nej, bullernivå påverkar ej vibr.störning Nej, bullernivå påverkar ej vibr.störning

¹⁾ Test av medelvärden med parat t-test; Test av andel störda med Mc Nemars test (1-sid. test).

Hypotesprövning: ja=p≤0,05; nej=p>0,05; tendens=p>0,05 och p<0,10.

APPENDIX 2 (1/10)

Förteckning över rapporter inom TVANE-projektet inklusive sammanfattningar av rapporterna

Delrapporter 2006 – 2010

Öhrström, E och Skånberg A. **Litteraturstudie – Effekter avseende buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik.** Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport 112, 2006. ISSN 1650-4321, ISBN 91-7876-111-5.

Öhrström, E., Ögren, M., Skånberg, A., Svensson, H. och Gidlöf-Gunnarsson, A. **Effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tåg: Experimentella studier i sömnlaboratorium.** Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport 121, 2009. ISBN 978-91-7876-120-3, ISSN 1650-4321.

Öhrström, E., Andersson, E. och Barregård, L. **Effekter av buller från vägtrafik och tåg: Reanalyser av data från olika delpopulationer i Lerumsstudien.** Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport 122, 2009. ISBN 978-91-7876-121-0, ISSN 1650-4321.

Öhrström, E., Ögren, M., Jerson, T., Zachau, G. och Gidlöf-Gunnarsson, A. **Effekter på sömnen av buller och vibrationer från tåg: Experimentella studier i sömnlaboratorium.** Arbets- och Miljömedicin, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport 123, 2009. ISBN 978-91-7876-122-7, ISSN 1650-4321.

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. **Effekter av buller från vägtrafik och tåg - undersökningar i Kungälv, Borås, Töreboda och Falköping.** Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport nr: 1 2010. ISBN 978-91-978916-0-8.

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. **Effekter av tågbuller vid en starkt trafikerad järnväg - undersökningar i Sollentuna kommun.** Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport nr: 2 2010. ISBN 978-91-978916-1-5.

Jerson, T., Ögren, M., Gidlöf-Gunnarsson, A. och Öhrström, E. **Effekter av tågbuller: Samband med bullernivåer beräknade på 2 och 4 m höjd (Del 1) samt antal tåg per maxtimme > LAFmax 70 dB på uteplats (Del 2).** Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport nr 3: 2010. ISBN 978-91-978916-2-2.

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. **Effekter av buller och vibrationer från tågtrafik -undersökningar i Töreboda, Falköping, Alingsås och Kungsbacka.** Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport nr 4: 2010. ISBN 978-91-978916-3-9.

Ögren, M. Jerson, T. **Mätning av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik inom TVANE-projektet. VTI-notat nr 2 2011.**

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. **Resultat och slutsatser från forskningsprogrammet TVANE - Effekter av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik tågbonus, skillnader och samverkan mellan tåg- och vägtrafik.** Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport nr 1: 2011. ISBN 978-91-978916-4-6. (Slutrapport = denna rapport).

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. **Effekter av buller från vägtrafik och tåg - undersökningar i Kungälv, Borås, Töreboda och Falköping**. Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport nr: 1 2010. ISBN 978-91-978916-0-8.



SAMMANFATTNING

Denna rapport redovisar jämförande resultat avseende effekter av vägtrafikbuller och tågbuller baserade på empiriska socio-akustiska studier i fält. Syftet med undersökningarna var att ta fram kunskap om hur buller från tåg- och vägtrafik kan jämföras och om buller från spårburen trafik upplevs som mindre störande än buller från vägtrafik (dvs. om det finns skäl för en tågbonus). Ett sådant kunskapsunderlag är viktigt för att kunna planera åtgärder i existerande situationer och som stöd vid planering av nyetablering.

Undersökningarna utfördes med hjälp av postala enkäter om upplevelse av boendemiljö, hälsa och välbefinnande samt störning och annan påverkan av tågbuller och vägtrafikbuller. Undersökningarna genomfördes i två bostadsområden med tågtrafik i Töreboda och Falköping vilka är belägna utmed Västra Stambanan samt i två bostadsområden belägna nära större trafikleder i Borås och i Kungälv. Undersökningarna genomfördes under april-maj 2007 och omfattade totalt 974 personer vilka besvarade en omfattande enkät om boendemiljö, hälsa och välbefinnande. Bullerexponering ($L_{Aeq,24h}$, L_{den} , L_{natt} och L_{AFmax}) från vägtrafik respektive tågtrafik fastställdes för samtliga deltagare och angavs som frifältsvärde vid mest exponerad sida av bostaden. Vidare fastställdes avståndet mellan bostaden och trafikled respektive järnväg.

Resultaten av undersökningarna var i linje med majoriteten av internationella och europeiska studier och visar att vägtrafikbuller (Öhrström & Skånberg, 2006) upplevs som mer störande (*allmän störning*) än tågbuller vid ljudnivåer upp till $L_{Aeq,24h}$ 60 dB, en skillnad på ca 20 procentenheter. Vid ljudnivåer över $L_{Aeq,24h}$ 60 dB var däremot skillnaderna i andel störda av buller från respektive trafikslag små vilket talar mot en bonus på 5 dB för tågbuller vid höga ljudnivåer. Om ljudnivån istället anges i L_{den} (det mått som EU-direktivet anger) var störning av vägtrafikbuller högre än störning av tågbuller även vid de högsta ljudnivåerna ($L_{den} > 65$ dB). Olika samband $L_{Aeq,24h}$ respektive L_{den} förklaras av att L_{den} -mättet innebär en större ökning i dB för tågbuller än för vägtrafikbuller relativt $L_{Aeq,24h}$ (en skillnad på 3 dB) eftersom tågtrafiken hade en jämnare fördelning över dygnet än vägtrafiken.

Vad avser påverkan på olika typer av aktiviteter var de dominerande effekterna av tågbuller störning av *samtal* och störning av *lyssningsaktiviteter* såsom radio/TV och tågbuller var mer störande vid dessa aktiviteter än vägtrafikbuller. Den mest framträdande effekten av vägtrafikbuller var störning av *vila/avkoppling* och vägtrafikbuller var mer störande under vila avkoppling än tågbuller både inomhus med stängt och med öppet fönster och utomhus. Vad gäller *sömnstörningar* såväl vid stängt som vid öppet sovrumsfönster var vägtrafikbuller mer störande än tågbuller och skillnaderna var stora, 20 - 30 procentenheter vid ljudnivåer över L_{natt} 50 dB. Det var först vid L_{natt} över 60 dB och med sovrumsfönstret öppet som sömnstörningar av tågbuller var mer vanligt förekommande.

De olika situationsfaktorer som hade stor betydelse för upplevda effekter var balkong/ uteplatsens och sovrumsfönstrets läge i förhållande till bullerkälla. Övriga undersökta faktorer som typ av hus, typ av fönster, vilket år huset var byggt hade liten betydelse för upplevda effekter.

Öhrström, E., Ögren, M., Skånberg, A., Svensson, H. och Gidlöf-Gunnarsson, A. **Effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tåg: Experimentella studier i sömnlaboratorium.** Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport 121, 2009. ISBN 978-91-7876-120-3, ISSN 1650-4321.



SAMMANFATTNING

Experimentella undersökningar utfördes i ljudmiljölaboratorium för att studera effekter på sömnen av buller från tåg och vägtrafik. I studien deltog 18 personer i åldern 23 – 35 år med normal hörsel. Experimentet omfattade 6 försöksserier där 3 personer deltog samtidigt och sov 5 nätter i följd. Första natten var en tillvänjningsnatt, därefter följde en tyst referensnatt och 3 nätter med exponering för tåg- eller vägtrafikbuller vilka presenterades i randomiserad ordning i de 6 försöksserierna. Tågexponeringen utgjordes av ljud från såväl gods-, som lokal- och fjärrtåg motsvarande trafikeringen nattetid på Västra Stambanan mellan Göteborg och Alingsås (totalt 46 tåg kl 23-07). Två olika vägtrafikexponeringar användes, dels ett vägtrafikljud med samma ekvivalenta ljudnivå som tågexponeringen ($L_{Aeq,23-07}$ 31 dB), dels ett vägtrafikljud med samma maximala ljudnivå som tågexponeringen (L_{AFmax} 54 dB). Ljudexponeringarnas frekvensspektrum förändrades så att det motsvarade realistiska hemförhållanden inomhus med sovrumsfönstret öppet på glänt. Resultaten visar att påverkan på sömnen överlag inte skiljde sig åt mellan nätter med tågbuller och nätter med vägtrafikbuller med samma maximalnivå respektive nätter med vägtrafikbuller med samma ekvivalenta ljudnivå som tågbullret. Det förelåg inga signifikanta skillnader i insomningssvårigheter, sömnkvalitet eller angiven störning av ljud/buller mellan de olika exponeringsnätterna. Antalet uppvaknanden var dock något fler under nätter med tågbuller, i medeltal 2,2 uppvaknanden per natt jämfört med under de två nätterna med vägtrafikbuller (1,5 respektive 1,3 uppvaknanden i medeltal). Dessa resultat står delvis i motsättning till den senaste metaanalysen (Miedema & Vos, 2007) av samband mellan subjektivt upplevda sömnstörningar och buller från olika trafikslag vilken visar att tågbuller ger upphov till mindre störningar av sömnen än vägtrafikbuller.

Öhrström, E., Andersson, E. och Barregård, L. **Effekter av buller från vägtrafik och tåg: Reanalyser av data från olika delpopulationer i Lerumsstudien.** Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet, Rapport 122, 2009. ISBN 978-91-7876-121-0, ISSN 1650-4321.



SAMMANFATTNING

Denna rapport redovisar resultat av reanalyser av enkätdata från Lerumsstudien baserade på delpopulationer som är exponerade för buller enbart från en källa, tåg eller vägtrafik, samt en delpopulation som samtidigt är exponerad för båda bullerkällorna. Dessa resultat har publicerats i konferenspaper vid Inter Noise 2005 i Rio de Janeiro samt Inter Noise 2007 i Istanbul. Rapporten redovisar även utdrag av några huvudresultat över allmän störning och aktivitetsstörningar från huvudstudien i Lerum vilka är publicerade i huvudrapporten (Öhrström *et al.*, 2005) samt i en artikel Öhrström *et al.*, 2007).

De flesta tidigare studier har visat att tågbuller är mindre störande än vägtrafikbuller (översikter av Miedema & Oudshoorn, 2001; Miedema & Vos; 1998; Öhrström & Skånberg, 2006). I Lerumsstudien förekom endast små skillnader i *allmän störning* mellan tågbuller och vägtrafikbuller. Dos-respons samband för störning och ljudnivå angiven i $L_{Aeq,24h}$ visade att mellan 2 och 7 procentenheter fler var störda av tågbuller än av vägtrafikbuller vid ljudnivåer upp till ca $L_{Aeq,24h}$ 65 dB (figur 4, vänster). Den mest troliga förklaringen till att en så hög andel av de boende var störda av tågbuller i Lerum är oro för ökade störningar p.g.a. den planerade utbyggnaden av järnvägen med ett 3:e och 4:e spår och den samtidiga förekomsten av buller från både vägtrafik och tåg.

Ett annorlunda dos-respons samband förelåg mellan L_{den} och störning av buller (figur 4, höger), andelen som stördes av tågbuller var något lägre än andelen störda av vägtrafikbuller (en skillnad på 5 procentenheter). Olika förklaringar i dos-respons samband $L_{Aeq,24h}$ respektive L_{den} förklaras av att L_{den} -måttet innebär en större ökning i dB för tågbuller än för vägtrafikbuller relativt $L_{Aeq,24h}$ (en skillnad på 3 dB) eftersom tågtrafiken hade en jämnare fördelning över dygnet än vägtrafiken.

Tågbuller rapporterades i högre utsträckning än vägtrafikbuller ge upphov till *störning av samtal* vilket stämmer väl med tidigare litteraturöversikter. Resultaten visar även att *vila/avkoppling* dagtid påverkades av både vägtrafikbuller och tågbuller i något högre utsträckning av tågbuller än av vägtrafikbuller då ljudnivån översteg $L_{Aeq,24h}$ 55 dB.

Störningar av sömnen var något mindre vanliga i samband med tågbuller. En högre andel av de boende var sömnstörda (svårt att somna, väcktes) av vägtrafikbuller än av tågbuller. Störst skillnad förelåg för svårigheter att sova med sovrumsfönstret öppet.

Samtidig exponering för buller från både vägtrafik och tåg leder till högre störning av buller från de enskilda bullerkällorna vid samma totala bullerexponering. En viktig slutsats av detta är att effekter av den totala bullerexponeringen, och inte bara effekter av enskilda källor var för sig, måste beaktas i samband med riskbedömningar och då man vidtar åtgärder för att minska effekterna av buller.

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. **Effekter av tågbuller vid en starkt trafikerad järnväg - undersökningar i Sollentuna kommun.** Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet, Rapport nr: 2 2010. ISBN 978-91-978916-1-5.



SAMMANFATTNING

Denna rapport redovisar resultat från socio-akustiska undersökningar av effekter av tågbuller i bostadsområden belägna på olika avstånd från Ostkustbanan i Sollentuna kommun. Denna järnvägslinje är en av de mest trafikerade i landet med 481 tåg/dygn. Syftet med studien var att genom empiriska undersökningar i fält studera hur människor upplever och påverkas av tågbuller då antalet tåg är mycket stort. Resultaten jämförs dels med resultat från undersökningar inom TVANE-projektet som genomförts i områden med färre tåg per dygn (Töreboda/Falköping med 124 tåg/dygn) och dels med tidigare undersökningar utförda i samma bostadsområden i Sollentuna kommun 7 år tidigare (Nordling & Bluhm, 2001).

Undersökningarna utfördes med hjälp av postala enkäter om upplevelse av boendemiljö, hälsa och välbefinnande samt störning och annan påverkan av tågbuller. Undersökningarna genomfördes i tre bostadsområden belägna utmed Ostkustbanan i Sollentuna kommun under april-maj 2008 och omfattade totalt 715 personer. Bullerexponering ($L_{Aeq,24h}$, L_{den} , L_{natt} och L_{AFmax}) från tågtrafik fastställdes för samtliga deltagare och angavs som frifältsvärde vid mest exponerad sida av bostaden. Vidare fastställdes avståndet mellan bostaden och järnvägen.

Resultaten av undersökningarna visar att tågtrafiken ger upphov till omfattande störningar. Andelen som *störs* av tågbuller varierade mellan 13 % vid ljudnivåer mellan $L_{Aeq,24h}$ 45 och 50 dB upp till 62 % vid ljudnivåer mellan 61 och 65 dB. Störning av *samtal* och *lyssningsaktiviteter* såsom radio/TV var omfattande vid ljudnivåer över $L_{Aeq,24h}$ 55 dB och, till skillnad från undersökningar med färre tåg per dygn, rapporterades även störning av *vila/avkoppling* och *sömnstörningar* av många. Om *balkongen/uteplatsen* samt *sovrumsfönster* vetter mot järnvägen ökar de negativa effekterna av tågbuller med bl.a. ökad störning och sämre sömnkvalitet. Övriga undersökta faktorer som typ av hus, typ av fönster, vilket år huset var byggt hade inget signifikant samband med upplevda effekter.

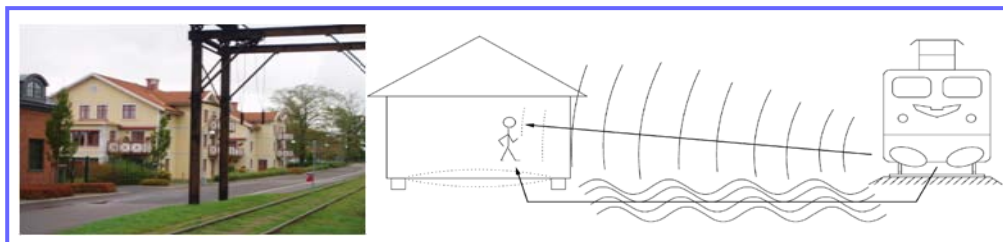
Jämförelser av resultat med studien som gjordes i Sollentuna 7 år tidigare visade att något färre rapporterade att de var störda av tågbuller varje dag (en minskning med mellan 7 och 16 procentenheter) vilket tyder på att det skett en viss tillvänjning till buller från tågtrafiken.

Jämförelser mellan resultat från undersökningarna i Töreboda/Falköping (124 per dygn) och Sollentuna (481 tåg per dygn) visade att antalet tåg, och inte bara den dygnsekvivalenta ljudnivån ($L_{Aeq,24h}$), har betydelse för upplevelse av störning av tågbuller.

Under dagtid mellan kl. 06-22 förekom i genomsnitt 27 tåg per timme i Sollentuna och detta är ca 7 gånger fler än i Töreboda/Falköping som har i genomsnitt 4 tåg per timme kl. 06-22. Vid ljudnivåer mellan 61 och 65 dB ($L_{Aeq,24h}$) var andelen som *störd* av tågbuller i Töreboda/Falköping 46 % medan motsvarande andel störda av tågbuller i Sollentuna uppnåddes vid 5 dB lägre ljudnivå (49 % störda vid 56-60 dB).

Under nattetid mellan kl. 22-06 var antalet tåg i Sollentuna närmare 3 gånger fler än i Töreboda/Falköping, 69 tåg respektive 26 tåg. Vid ljudnivåer mellan 45 och 49 dB (L_{natt}) var andelen som angav *försämrad sömnkvalitet* p.g.a. tågbuller ungefär densamma i båda områdena. Vid högre ljudnivåer var skillnaderna stora, t.ex. angav 12 % i Töreboda/Falköping och 43 % i Sollentuna sämre sömnkvalitet vid L_{natt} 55-59 dB.

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. **Effekter av buller och vibrationer från tågtrafik -undersökningar i Töreboda, Falköping, Alingsås och Kungsbacka**. Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport nr 4: 2010. ISBN 978-91-978916-3-9.



SAMMANFATTNING

Denna rapport redovisar jämförande resultat över effekter av tågbuller baserade på empiriska socio-akustiska studier i fält i områden med respektive utan vibrationer från tågtrafik. Syftet med undersökningarna var att ta fram kunskap om hur människor påverkas av tågbuller enskilt samt i kombination med vibrationer från tågtrafik och att undersöka vilka faktorer i byggnadens och markens beskaffenhet som är av betydelse för hur starka de vibrationsnivåer som alstras av tågtrafiken är inne i bostäder. Ett sådant kunskapsunderlag är viktigt för att kunna planera åtgärder i existerande situationer och som stöd vid planering av nyetablering.

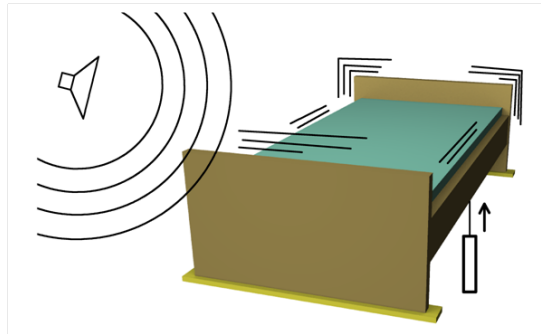
Undersökningarna utfördes med hjälp av postala enkäter om upplevelse av boendemiljö, hälsa och välbefinnande samt störning och annan påverkan av tågbuller. Undersökningarna genomfördes i två bostadsområden i Töreboda och Falköping vilka är belägna utmed Västra Stambanan där tågtrafiken inte alstrar några/endast mycket svaga markvibrationer samt i två områden i Alingsås vid Västra Stambanan respektive i Kungsbacka vid Västkustbanan där tågtrafiken alstrar starka markvibrationer. Undersökningarna genomfördes under april-maj samt november-december 2007 och omfattade totalt 980 personer. Bullerexponering ($L_{Aeq,24h}$, L_{den} , L_{natt} och L_{AFmax}) från tågtrafik fastställdes för samtliga deltagare och angavs som frifältsvärde vid mest exponerad sida av bostaden. Vidare fastställdes avståndet mellan bostaden och järnvägen. Vibrationsnivå i mm/s mättes i ett antal punkter i mark samt inomhus. Beräkningar av vibrationsnivå i mark utfördes för samtliga ingående bostäder i båda vibrationsområdena medan vibrationsnivå inomhus endast var möjligt att beräkna för bostäder i Kungsbacka.

Resultaten av undersökningarna visar att personer som bor i områden med starka vibrationer från tågtrafik påverkas i avsevärt högre omfattning av tågbuller än personer som bor i områden med inga/svaga vibrationer. Skillnaden i *allmän störning* motsvarar ca 5-7 dB, d.v.s. för att uppnå lika andel störda krävs i områden med inga/svaga vibrationer en ljudnivå som är 5-7 dB högre jämfört med i områden med starka vibrationer. Skillnaderna i andel störda mellan de två typerna av områden ökar med ökad ljudnivå och 2,5 gånger fler är störda av tågbuller vid ljudnivåer på $L_{Aeq,24h}$ 56-65 dB i områden med starka vibrationer (jfr 56 % respektive 24 % störda).

Förhållandet är likartat för påverkan på *lyssningsaktiviteter* och *samtal* samt vid *avkoppling*. En högre andel påverkas negativt av tågbuller i områden med starka vibrationer. Skillnaderna mellan områdena ökar med ökad ljudnivå och ca 2-3 gånger fler är negativt påverkade vid de högsta ljudnivåerna, 56-65 dB. Samtidig förekomst av buller och vibrationer påverkar även *sömnkvalitet* och andelen som anger *försämrad sömnkvalitet* p.g.a. tågbuller är 2-3 ggr högre i områden med starka vibrationer än i områden med inga/svaga vibrationer (jfr 12 % resp. 34 % vid ljudnivåer på 60-65 dB (L_{natt}) vid öppet fönster).

Om *balkongen/uteplatsen* samt *sovrumsfönster* vetter mot järnvägen ökar de negativa effekterna av tågbuller med bl.a. ökad störning och sämre sömnkvalitet. Övriga undersökta faktorer som typ av hus, typ av fönster och vilket år huset är byggt hade liten betydelse för upplevda effekter. De situationsfaktorer som, utöver markförhållanden, har stor betydelse för upplevelse av olika effekter av *vibrationer* från tågtrafik var typ av hus; andelen störda av vibrationer är högre i småhus än i flerbostadshus.

Öhrström, E., Ögren, M., Jerson, T., Zachau, G. och Gidlöf-Gunnarsson, A. **Effekter på sömnen av buller och vibrationer från tåg: Experimentella studier i sömnlaboratorium**. Arbets- och Miljömedicin, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport 123, 2009. ISBN 978-91-7876-122-7, ISSN 1650-4321.

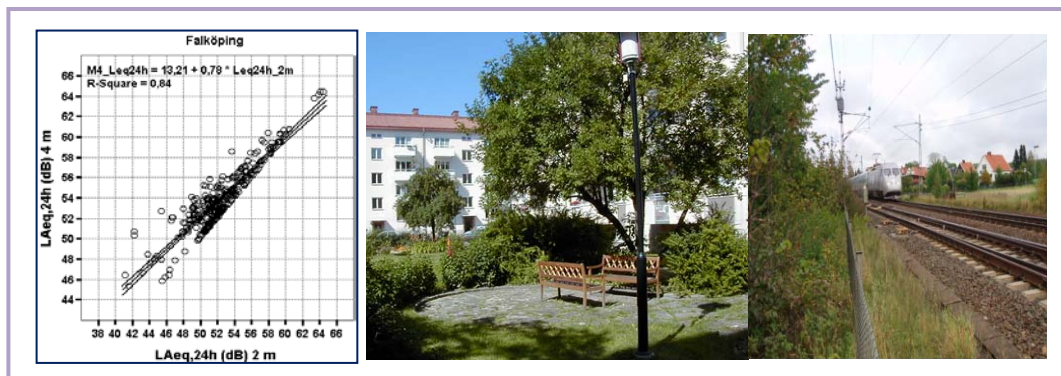


SAMMANFATTNING

Experimentella undersökningar utfördes i ljudmiljölaboratorium för att studera effekter på sömnen av buller och vibrationer från tåg. I studien deltog 21 personer i åldern 18 - 30 år med normal hörsel. Experimentet omfattade 8 försöksserier där 3 personer deltog samtidigt och sov 5 nätter i följd. Första natten var en tillvänjningsnatt, därefter följde en tyst referensnatt och 3 nätter med exponering för tågbuller med hög eller låg bullernivå i kombination med svaga eller kraftiga vibrationer vilka presenterades i randomiserad ordning i de 8 försöksserierna. Bullerexponeringen utgjordes av ljud från såväl gods-, som lokal- och fjärrtåg motsvarande trafikeringen nattetid på Västra Stambanan mellan Göteborg och Alingsås (totalt 46 tåg kl. 23-07). Ljudexponeringarnas frekvensspektrum förändrades så att det motsvarade realistiska hemförhållanden inomhus med sovrumsfönstret öppet på glänt. Två olika bullerexponeringsnivåer användes i experimenten, $L_{Aeq,23-07}$ 31 dB/ L_{AFmax} 54 dB samt $L_{Aeq,23-07}$ 28 dB/ L_{AFmax} 48 dB. Två vibrationsnivåer valdes för experimenten, en hög nivå med vägd vibrationsnivå på 1,4 mm/s och en lägre vibrationsnivå på 0,4 mm/s. Vibrationerna presenterades samtidigt med godstågspassagera (25 st) men inte tillsammans med övriga tågtyper.

Resultaten visar att vibrationer har stor negativ inverkan på sömnen. När vibrationsnivån ökade från 0,4 till 1,4 mm/s vid oförändrad bullernivå (L_{AFmax} 54 dB) försämrades sömnkvaliteten signifikant, sömnen blev oroligare och försökspersonerna kände sig tröttare påföljande morgon, dag och kväll. Upplevd sömnstörning av buller var högre vid samtidig förekomst av kraftiga vibrationer jämfört med då buller förekom tillsammans med svaga vibrationer. Det fanns inte någon motsvarande interaktionseffekt för sömnstörning av vibrationer, dvs. sömnstörning av vibrationer var lika oavsett om bullernivån var hög eller låg. Om vibrationerna är kraftiga (1,4 mm/s eller högre) räcker det inte att reducera ljudnivån, t.ex. genom ljudisolerande fönster eller bullerskärmar för att minska sömnstörningar. Fältstudier med stor variation i buller- och vibrationsnivå behövs för att närmare belysa samband mellan sömnstörningar och exponering för buller och vibrationer.

Jerson, T., Ögren, M., Gidlöf-Gunnarsson, A. och Öhrström, E. **Effekter av tågbuller: Samband med bullernivåer beräknade på 2 och 4 m höjd (Del 1) samt antal tåg per maxtimme > L_{AFmax} 70 dB på uteplats (Del 2).** Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet, Rapport nr 3: 2010. ISBN 978-91-978916-2-2.



SAMMANFATTANDE KOMMENTARER

Del 1: Ljudnivån beräknad på 4 m höjd var högre än ljudnivån beräknad på 2 m höjd. Skillnaderna i ekvivalent ljudnivå ($L_{Aeq,24h}$) vid 4 m och 2 m höjd varierade mellan 1,6 och 2,5 dB i medeltal i fyra av de fem undersökningsområdena. I Kungsbackaområdet var ljudnivån i medeltal 4,6 dB högre på beräkningshöjden 4 m än på 2 m och för närmare en tredjedel av fallen var skillnaden stor, mellan 6 och 11,5 dB.

I och med att den beräknade ljudnivån från tågtrafiken är högre då den beräknas på 4 m jämfört med då den beräknas på 2 m sker en förskjutning mot högre ljudnivåer vilket medför att andelen störda av tågbuller blir lägre vid t.ex. 55 dB beräknat på 4 m höjd än vid motsvarande ljudnivå beräknat vid 2 m höjd över mark. Sammantaget visar resultaten att andelen störda i de olika undersökningsområdena är mellan 3 och 20 procentenheter lägre vid en viss ljudnivå om ljudnivån beräknats på 4 m höjd jämfört med om ljudnivån beräknats på 2 m höjd, vilket beror på att den beräknade ljudnivån är högre vid 4 m än vid 2 m.

Del 2: Denna studie var inte designad för att belysa samband mellan antal bullerhändelser per maxtimme med $>L_{AFmax}$ 70 dB. Resultaten av analyserna tyder dock på att det är viktigt att riktvärdet för maximal ljudnivå på uteplats är uppfyllt och att uteplatsen om möjligt inte är förlagd till den sida av bostaden som vetter mot järnvägen. Redan vid 10 tågpassager per maxtimme med en maximal ljudnivå på 71-75 dB är andelen som störs vid samtal och avkoppling hög (20 respektive 30 %).

Det saknas i stort sett studier som är utformade för att undersöka samband mellan störning och andra effekter av buller från olika trafikslag och antal bullerhändelser per maxtimme över L_{AFmax} 70 dB. Innan några säkra slutsatser kan dras behövs därför väl designade socio-akustiska studier i fält med enkäter och med detaljerade beräkningar och mätningar av ljudnivån vid uteplatser. Väl kontrollerade experiment i laboriemiljö ger möjlighet att skapa exponeringsförhållanden med stor variation i antal bullerhändelser och maximal ljudnivå för att studera olika akuta effekter av olika typer av buller.

Öhrström, E & Skånberg, A.). **Litteraturstudie avseende effekter av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik.** Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet, Rapport nr 112, 2006. ISSN 1650-4321, ISBN 91-7876-111-5.



Bakgrund och syfte

Banverket, Järnväg och samhälle, Miljösektionen i Borlänge gav i december 2005 i uppdrag åt sektionen för arbets- och miljömedicin, avdelningen för samhällsmedicin och folkhälsa, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet, att göra en litteratursammanställning som belyser kunskapsläget för hälsoeffekter av buller och vibrationer från tåg. Studien avses ge en uppdatering av befintlig kunskap samt underlag för fortsatta forskningsstudier runt i huvudsak tre frågeställningar. (1) Finns det belägg för en tågbonus dvs. att buller från spårburen trafik är mindre störande än vägtrafik?; (2) Hur upplever man och störs av buller och vibrationer i samverkan?; samt (3) Hur påverkar samtidig exponering för tåg- och vägtrafikbuller den upplevda störningen? Rapporten skall därvid även redovisa undersökningar där olika störningseffekter är kopplade till de nya EU-måtten L_{den} och L_{night} .

Metodik

Insamlingen av litteratur har gjorts på basis av sökning i olika databaser, genomgång av proceedings från konferenser samt personliga kontakter med forskare inom och utom Sverige. Följande sökmetoder har använts:

Databaser:

SCOPUS 1975 – 12/2005, MEDLINE 1983 – 12/2005, BIOLOGICAL ABSTRACTS 1985 – 10/2005

Manuell sökning i proceedings från konferenser, etc.:

INTER-NOISE (1985 - 2005)

ICBEN – International Commission on Biological Effects of Noise (1983 - 2003)

5th International Workshop on Tracked Transit System Noise, 1995

6th International Workshop on Railway Noise, 1998

7th International Workshop on Railway Noise, 2001

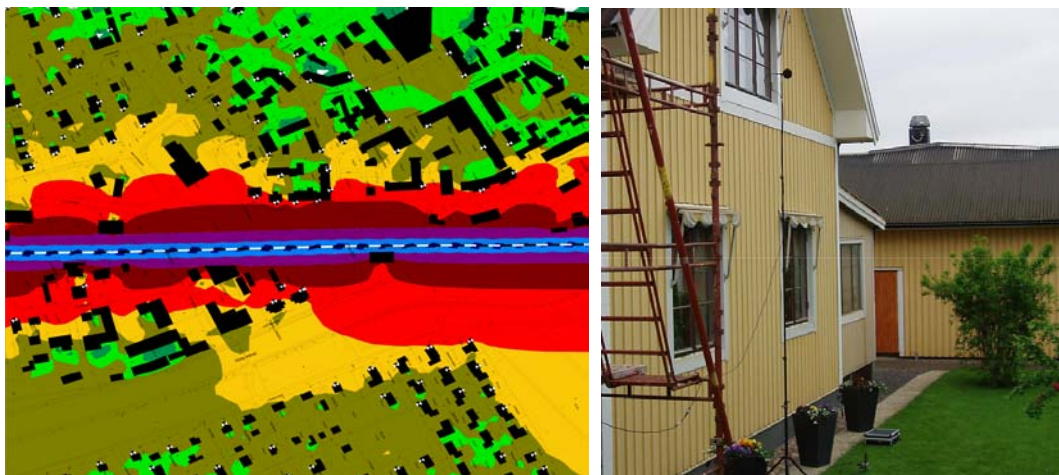
8th International Workshop on Railway Noise, 2004

Personliga kontakter: Jacques Lambert, INRETS, Lyon, Frankrike, Peter Lercher, Innsbruck, Österrike

Henk Miedema, Willy Passchier-Vermeer och Henk Vos TNO, Leiden, Nederländerna,

Ulrich Moehler, München, Tyskland och Takashi Yano, Kumamoto University, Japan

Ögren, M. och Jerson, T. **Mätning och beräkning av buller och vibrationer inom TVANE-projektet.** Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI), Miljö och trafikanalys, Göteborg, VTI Notat 2 2011.



SAMMANFATTNING

Projektet "Effekter av buller och vibrationer från tågtrafik" (TVANE) startade 2006 och avslutas under 2010. Projektet utgår ifrån enkätstudier i buller- och vibrationsutsatta områden nära väg- och tågtrafik samt studier i laboratoriemiljö för att beskriva störning, inverkan på sömn med mera.

Denna rapport dokumenterar de beräkningar och mätningar av både buller och vibrationer som genomförts inom projektet. Dessa data har sedan legat till grund för de analyser som genomförts i andra delar av projektet.

Totalt genomfördes mer än 30 vibrations- och bullermätningar inom projektet, och beräkningarna omfattade ca 1800 beräkningspunkter fördelade på sju olika områden. Dessutom redovisas beräkningar av vibrationsnivåer och analyser av spridning i maximal bullernivå.

Den viktigaste slutsatsen från rapporten är, utöver redovisning av använda mätmetoder och resultat, att det inte är meningsfullt att bara ta hänsyn till markförhållanden när man beräknar vibrationer eftersom huskonstruktionen har en avgörande betydelse för vibrationsnivån inomhus.

Projektets övriga rapporter samt konferensartiklar och andra publikationer återfinns på projektets hemsida:

<http://www.tvane.se>

samt på Arbets- och miljömedicin vid Göteborgs universitets hemsida:

<http://www.amm.se>

Förteckning över rapporter och övriga publikationer inom TVANE-projektet

2006

Öhrström, E. & Skånberg, A. (2006). Litteraturstudie – Effekter avseende buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik. Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademien vid Göteborgs universitet. Rapport 112, 2006. ISSN 1650-4321, ISBN 91-7876-111-5.

2007

Öhrström, E., Barregård, B., Andersson, E., Skånberg, A., Svensson, H. & Ängerheim, P. (2007). Annoyance due to single and combined exposure from railway and road traffic noise. *J Acoust Soc Am*, 122 (5): 2642-2652 Part 1, Nov 2007.

Öhrström, E., Andersson, E., Skånberg, A. & Barregård, L. (2007). Relationships between annoyance and exposure to single and combined noise from railway and road traffic. *Inter Noise 2007*, Istanbul 28-31 August, Paper no IN07_242 (Available on CD), (Invited paper).

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A. & Ögren, M. (2007). Listening experiments on effects of road traffic and railway noise occurring separately and in combination, *Inter Noise 2007*, Istanbul 28-31 August, Paper no IN07_116 (Available on CD), (Invited paper).

Ögren, M., Öhrström, E. & Jerson, T. (2007). A system for railway noise sleep disturbance trials. *International Workshop on Railway Noise (IWRN 9)*, München.

Jerson, T., Ögren, M. & Öhrström, E. (2007). Combined effects of noise and vibration from train and road traffic. *International Workshop on Railway Noise (IWRN 9)*, München, (Poster).

Andersson, H. & Ögren, M. (2007). Noise charges in railway infrastructure: A pricing schedule based on the marginal cost principle. *Transport Policy*, 14, 204-213. (Poster).

2008

Jerson, T., Öhrström, E. & Ögren, M. (2008). Combined effects of noise and vibration from railway and road traffic. *Nordiskt Järnvägsseminarium, Hooks herrgård 22-23 maj 2008*. (Poster)

Ögren, M., Jerson, T. & Öhrström, E. (2008). Design av sömnförsök i lab med vibrationer och buller från tågtrafik, *Hooks herrgård 22-23 maj 2008*. (Poster)

Öhrström, E., Ögren, M., Jerson, T. & Gidlöf-Gunnarsson, A. (2008). Experimental studies on sleep disturbances due to railway and road traffic noise. *Proceedings of the 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise (ICBEN) 2008*, July 21-25, Foxwoods CT, USA. (Invited paper) (Available on CD, ISBN 978-3-9808342-5-4)

Ögren, M., Öhrström, E. & Jerson, T. (2008). Noise and vibration generation for laboratory studies on sleep disturbances. *Proceedings of the 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise (ICBEN) 2008*, July 21-25, Foxwoods CT, USA. (Available on CD, ISBN 978-3-9808342-5-4)

APPENDIX 3 (2/3)

Jerson, T., Ögren, M. & Öhrström, E. (2008). TVANE – Train Vibration and Noise Effects: Presentation of a Swedish research project. Inter Noise 2008, 26-28 October, Shanghai, China. Paper no IN08_0166 (Available on CD.)

2009

Gidlöf-Gunnarsson, A. & Öhrström, E. (2009). Tågtrafikens buller- och vibrationseffekter, projekt TVANE. Transportforum Linköping 8 januari 2009.

Ögren, M. (2009). Beräkningsmetod för markvibrationer baserad på mätdata inom projekt TVANE. Transportforum Linköping 8 januari 2009.

Jerson, T. (2009). Fältmätningar och beräkningar av buller och vibrationer från tågtrafik inom projekt TVANE. Transportforum Linköping 8 januari 2009.

Öhrström, E., Ögren, M., Skånberg, A., Svensson, H. och Gidlöf-Gunnarsson, A. (2009). Effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tåg: Experimentella studier i sömnlaboratorium. Rapport från Arbets- och miljömedicin nr 121, 2009. ISBN 978-91-7876-120-3, ISSN 1650-4321.

Öhrström, E., Andersson, E. och Barregård, L. (2009). Effekter av buller från vägtrafik och tåg: Reanalyser av data från olika delpopulationer i Lerumsstudien. Rapport från Arbets- och miljömedicin nr 122, 2009. ISBN 978-91-7876-121-0, ISSN 1650-4321.

Öhrström, E., Ögren, M., Jerson, T., Zachau, G. och Gidlöf-Gunnarsson, A. (2009). Effekter på sömnen av buller och vibrationer från tåg: Experimentella studier i sömnlaboratorium. Rapport från Arbets- och miljömedicin nr 123, 2009. ISBN 978-91-7876-122-7, ISSN 1650-4321.

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M., & Jerson, T. (2009). Effects of railway noise and vibration in combination: field and laboratory studies. Proceedings of Euro Noise 2009, October 26-28, Edinburgh, Scotland. (Invited paper) Paper no 0270 (Available on CD.)

Gidlöf-Gunnarsson, A., Öhrström, E., Ögren, M., & Jerson, T. (2009). Good sound environment in green areas modify road-traffic noise annoyance at home. Proceedings of Euro Noise 2009, October 26-28, Edinburgh, Scotland. (Invited paper) Paper no 0492 (Available on CD.)

Ögren, M., Öhrström, E. & Gidlöf-Gunnarsson A. (2009). Effects of railway noise and vibrations on sleep - experimental studies within the Swedish research program. Proceedings of Euro Noise 2009, October 26-28, Edinburgh, Scotland. (Invited paper) Paper no 0516 (Available on CD.)

Barregård, L., Bonde, E. & Öhrström, E. (2009). Risk of hypertension from exposure to road traffic noise in a population-based sample. *Occup Environ Med*, 2009;66:410–415. (Lerumsstudien).

Jerson, T. & Hagberg, K. (2009). Pågående forskningsprojekt för Banverket: Train Vibration and Noise Effects (TVANE). Bygg & Teknik nr 3/09.

2010

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. (2010). Effekter av buller från vägtrafik och tåg - undersökningar i Kungälv, Borås, Töreboda och Falköping. Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet, Rapport nr: 1 2010. ISBN 978-91-978916-0-8.

APPENDIX 3 (3/3)

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. (2010). Effekter av tågbuller vid en starkt trafikerad järnväg - undersökningar i Sollentuna kommun. Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet, Rapport nr: 2 2010. ISBN 978-91-978916-1-5.

Jerson, T., Ögren, M., Gidlöf-Gunnarsson, A. och Öhrström, E. (2010). Effekter av tågbuller: Samband med bullernivåer beräknade på 2 och 4 m höjd (Del 1) samt antal tåg per maxtimme $> L_{AFmax}$ 70 dB på uteplats (Del 2). Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet, Rapport nr 3: 2010. ISBN 978-91-978916-2-2.

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. (2010). Effekter av buller och vibrationer från tågtrafik -undersökningar i Töreboda, Falköping, Alingsås och Kungsbacka. Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet, Rapport nr 4: 2010. ISBN 978-91-978916-3-9.

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. & Jerson, T. (2010). Comparative field studies on the effects of railway and road traffic noise. Inter Noise 2010, June 11-16, Lissabon, Portugal. (Invited paper) (Available on CD).

Jerson, T., Ögren, M., Gidlöf-Gunnarsson, A. och Öhrström, E. (2010). How does annoyance relate to traffic intensity? IWRN 10, Nagahama, Japan.

Ögren, M., Jerson, T., Gidlöf-Gunnarsson, A. och Öhrström, E. (2010). Difference in using 2 and 4 m receiver height in railway noise prediction. IWRN 10, Nagahama, Japan.

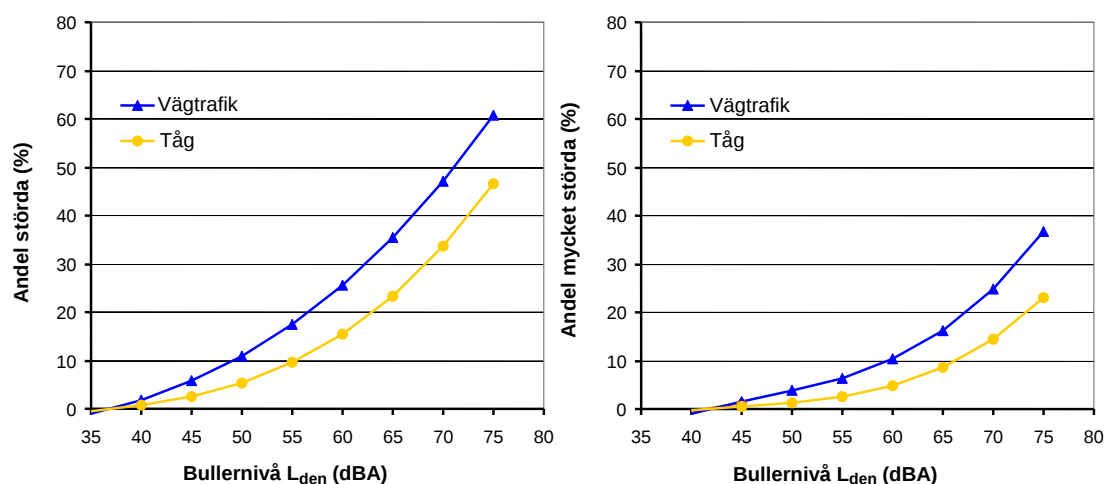
2011

Ögren, M. Jerson, T. (2011). Mätning av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik inom TVANE-projektet. VTI-notat nr 2 2011.

Öhrström, E., Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M. och Jerson, T. (2011). Resultat och slutsatser från forskningsprogrammet TVANE - Effekter av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik tågbonus, skillnader och samverkan mellan tåg- och vägtrafik. Arbets- och miljömedicin, Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet, Rapport nr 1: 2011. ISBN 978-91-978916-4-6. (Slutrapport = denna rapport).

APPENDIX 4

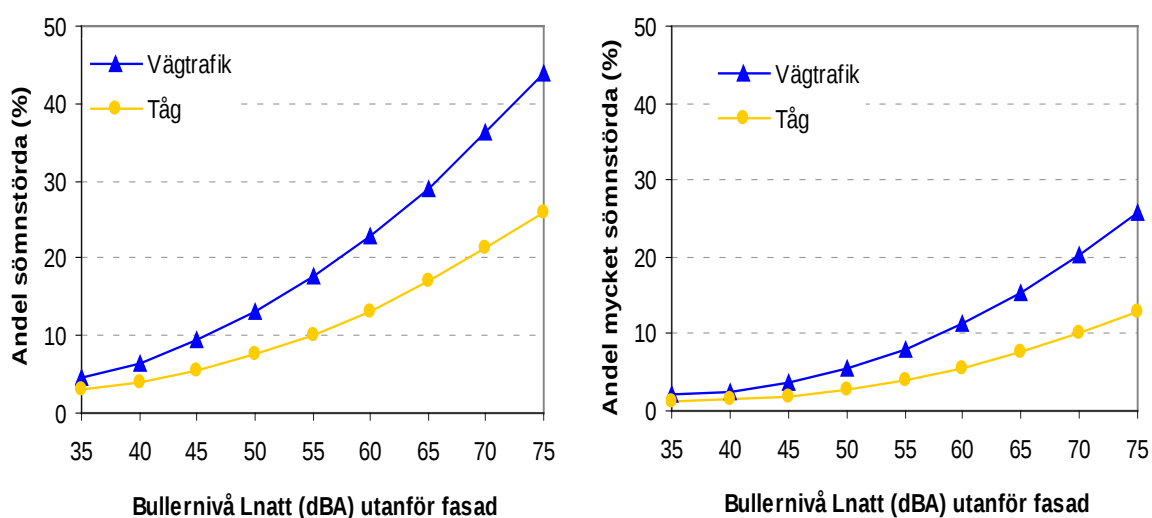
Dos-respons samband för **allmän störning** av vägtrafik respektive tåg (Miedema & Oudshoorn, 2001; EU, 2002) baserade på metaanalyser från 8 europeiska fältstudier av spårburen trafik genomförda under perioden 1972 till 1993. 18 fältstudier av vägtrafik utförda under perioden 1971 till 1993 ingår i analysen.



Sambandsfunktioner enligt Miedema & Oudshoorn (2001) för relationen mellan andel störda (vänster figur) och andel mycket störda (höger figur) och L_{den}, redovisade separat för tågbuller och vägtrafikbuller.

(Figurerna är från presentation av Babisch 2005-11-25 och ingår i litteraturstudien Öhrström & Skånberg, 2006.)

Dos-respons samband för **sömnstörning** av vägtrafik respektive tåg baserat på 15 dataset med mer än 12 000 individuella observationer från 12 fältstudier (Miedema *et. al.*, 2002, EU, 2004).



Sambandsfunktioner (Miedema *et. al.*, EU position paper, 2004) för relationen mellan andel sömnstörda (vänster figur) respektive andel mycket sömnstörda (höger figur) och L_{natt} utanför fasad, redovisade separat för tågbuller -●- och vägtrafikbuller -▲-

(Figurerna är från presentation av Babisch 2005-11-25 och ingår i litteraturstudien Öhrström & Skånberg, 2006.)

Begreppsordlista

$L_{Aeq,24h}$	Dygnsequiväld A-vägd ljudtrycksnivå. Ett slags medelvärde över dygnet.
L_{AFmax}	Maximal A-vägd ljudtrycksnivå. Den maximala nivån som förekommer under en viss mättid med en viss föreskriven mättröghet (tidskonstant).
L_{den}	Level day-evening-night. En A-vägd ekvivalent ljudtrycksnivå där alla bullerhändelser under kvällstid (18-22) ökas med 5 dB och alla under nattetid (22-06) med 10 dB. Är alltid högre än eller lika med $L_{Aeq,24h}$.
L_{day}	Ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå under dagtid (06-18),
$L_{evening}$	Ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå under kvällstid (18-22)
L_{night}	Ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå under nattetid (22-06).
<i>Vibrations-hastighet</i>	Vibrationer från tågtrafik mäts som maximal komfortvägd vibrationshastighet med enheten mm/s. Se Svensk standard SS 460 48 61.
<i>Allmän störning</i>	Allmän störning används som indikator på negativa hälsoeffekter av buller. Störningsfrågan är formulerad enligt ISO-specifikation, (ISO/TS15666, 2003): <i>"Om Du tänker på de senaste 12 månaderna, när Du befinner Dig hemma, hur störd eller besvärad är Du av buller från tågtrafik?"</i> ISO-specifikationen har två skalor för att mäta allmän störning dels en 5-gradig kategoriskala där 1 = "inte alls störd" och 5 = "oerhört störd" och dels en 11-gradig numerisk skala från 0-10 med ändpunkterna "inte alls störd" respektive "oerhört störd".
<i>Andel störda</i>	Andel i procent som på en 5-gradig skala angett sig vara "ganska störd", "mycket störd" eller "oerhört störd".
<i>Andel mycket störda</i>	Andel i procent som på en 5-gradig skala angett sig vara "mycket störd" eller "oerhört störd".

<i>Störning av aktivitet</i>	Störning av olika aktiviteter har mätts med två delfrågor. På frågan (del 1) "<i>Hur ofta</i>" var svarsalternativen: "<i>aldrig</i>" = 0, "<i>ibland</i>" = 1, "<i>ofta</i>" = 2, och på frågan (del 2) "<i>Hur störande eller besvärande</i>" det är att bullret försvårar olika aktiviteter var svarsalternativen: "<i>inte särskilt</i>" = 2, "<i>ganska</i>" = 3 och "<i>mycket</i>" = 4. Värdet på de två delfrågorna adderas i ett summamått som kan anta värden mellan 0 och 6. Resultaten har utvärderats som andel i procent med ett summerat värde >3 för olika typer av aktivitetspåverkan.
<i>Sömnstörning</i>	Störning av sömnen (svårt somna, väcks, sämre sömnkvalitet) och störning p.g.a. att man inte kan sova med öppet fönster har ett mycket starkt samband med allmän störning av buller. Störning av sömnen har mätts med två delfrågor. På frågan (del 1) "<i>Hur ofta</i>" var svarsalternativen: "<i>aldrig</i>" = 0, "<i>ibland</i>" = 1, "<i>ofta</i>" = 2, och på frågan (del 2) "<i>Hur störande eller besvärande</i>" det är att bullret försvårar sömnen på olika sätt var svarsalternativen: "<i>inte särskilt</i>" = 2, "<i>ganska</i>" = 3 och "<i>mycket</i>" = 4. Värdet på de två delfrågorna adderades i ett summamått som kan anta värden mellan 0 och 6. Resultaten har utvärderats som andel i procent med ett summerat värde >3 för olika typer av påverkan på sömnen.
<i>Index sömnstörning</i>	Det summerade värdet på var och en av de tre sömnvariablerna svårt somna, väcks och sämre sömnkvalitet. Indexmåttet kan anta värden mellan 0 och 18.

Referensgrupp

En referensgrupp har varit knuten till TVANE-projektet. Under perioden 2006 – 2010 har referensgruppsmöten ägt rum vid 8 tillfällen. Referensgruppen har bestått av representanter för:

Banverket
Vägverket
Naturvårdsverket
Socialstyrelsen
Länsstyrelsen Västra Götaland
Storstockholms Lokaltrafik
Göteborgs kommun
WSP



Genom ett antal omfattande enkätstudier i fält har forskningsprogrammet TVANE fokuserat på att empiriskt studera hur buller och vibrationer från tågtrafik upplevs av människor i deras boendemiljö. Jämförande studier har även belyst skillnader i upplevelse av vägtrafikbuller och tågbuller och hur antalet tåg per dygn inverkar på olika upplevda effekter.

Som ett komplement till fältstudierna har experimentella studier under väl kontrollerade exponeringsförhållanden och hemlika miljöer genomförts i Ljudmiljölaboratoriet vid Arbets- och miljömedicin, Göteborgs universitet. I ett experiment har effekter på sömnen av vibrationer och buller från tågtrafik studerats; ett annat sömnexperiment har belyst effekter av vägtrafikbuller och tågbuller.

Denna rapport redovisar de viktigaste resultaten och slutsatserna från dessa studier inom forskningsprogrammet TVANE.



Rapport nr 1:2011

Enheten för Arbets- och miljömedicin
Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa
Sahlgrenska akademien vid Göteborgs universitet
Box 414, 405 30 Göteborg
Telefon: 031 – 786 63 00
E-post: amm@amm.gu.se
Hemsida: www.amm.se
ISBN 978-91-978916-4-6