

Jämförelse av fysiologisk respons vid exponering för buller eller vibrationer

Michael Smith, Mikael Ögren, Kerstin Persson Waye

Rapport nr 2: 2014

Enheten för Arbets- och miljömedicin

Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa

Sahlgrenska akademien



GÖTEBORGS UNIVERSITET

Enheten för Arbets- och miljömedicin

Michael Smith

Mikael Ögren

Kerstin Persson Waye

Samtliga rapporter finns hämta som PDF fil på

www.amm.se/soundenvironment

Enheten för Arbets- och miljömedicin
Avdelningen för Samhällsmedicin och Folkhälsa
Sahlgrenska akademien vid Göteborgs universitet
Box 414, 415 30 Göteborg
ISBN 978-91-86863-06-7

Telefon: 031-786 6300
E-post: amm@amm.gu.se
Hemsida: www.amm.se

Innehåll

Sammanfattning.....	4
Inledning.....	5
CargoVibes	5
Litteraturstudie	5
Exponering vid likvärdig respons	8
Hjärtfrekvens.....	8
EEG och uppvaknanden	10
Sömnens makrostruktur	10
Sömnstörning	10
Störning nattetid	14
Allmän störning för buller och vibrationer i TVANE.....	16
Allmän störning för buller och vibrationer i CargoVibes	18
Jämförelse mellan subjektiva och fysiologiska data	20
Diskussion.....	21
Referenser.....	22
Annex A	25
Field studies	25
Miedema and Vos 2007	25
Hong et al. 2010	25
Elmenhorst et al. 2012	26
Pennig et al. 2012.....	28
Aasvang et al. 2008	29
Aasvang et al. 2011	30
Lab Studies	31
Basner et al. 2011	31
Marks & Griefahn 2005.....	32
Griefahn et al. 2006	33
Tassi et al. 2010.....	34

Sammanfattning

Tågtrafik ger upphov till buller och i vissa fall vibrationer i bostäder nära järnvägen, i synnerhet för godståg som är väsentligt tyngre än persontåg. Denna rapport redovisar vid vilka vibrationshastigheter som effekterna av vibrationer för de boende är ungefär likvärdiga som motsvarande ljudtrycksnivå (bullernivå). Effekterna är i detta sammanhang självrapporterad störning eller sömnstörning i tvärsnittsstudier och olika påverkan på sömnkvalité uppmätt i fält eller i sömnlaboratorium.

I många studier av vibrationers påverkan, både i fält och i laboratorium, utgörs exponeringen av både vibrationer och ljud. Därför måste resultaten analyseras som skillnaden mellan exponering för enbart buller och kombinationen av buller och vibrationer. Detta beror bland annat på att i verkligheten så är det mycket ovanligt med exponering för enbart vibrationer, men det kan förekomma vid enstaka platser såsom tunnlar i mjuk mark. Det vanligaste fallet är dock exponering för buller utan kännbara vibrationer, t.ex. vid alla hårda marktyper eller berggrund som underlag.

I Tabell 1 och 2 nedan så anges huvudresultatet av studien, dvs vid vilken vibrationshastighet som störningen är ungefär likvärdig som motsvarande bullernivå, och tvärt om. Trafikverkets riktvärden är indelade i två steg, ett som måste uppfyllas och en nivå då man skall överväga åtgärd om möjligt.

Tabell 1, Ljudtrycksnivå vid vilken självrapporterad störning är ungefär likvärdig med vibrationshastigheten vid nuvarande riktvärden för vibrationshastigheter [1]

Likvärdig reaktion	Befintlig miljö		Väsentlig ombyggn.		Ny infrastruktur	
	Högsta tillåtna	Ev. åtgärd	Högsta tillåtna	Ev. åtgärd	Högsta tillåtna	Ev. åtgärd
	2,5 mm/s	1 mm/s	1 mm/s	0,4 mm/s	0,7 mm/s	0,4 mm/s
$L_{AF,max,inne}$ (dB)	64,2	57,4	57,4	50,5	54,7	50,5
$L_{AEq,24h}$ (dB)	73,7	67,5	67,5	61,4	65,1	61,4

Tabell 2, Vibrationshastighet vid vilken självrapporterad störning är ungefär likvärdig med motsvarande ljudtrycksnivå vid nuvarande riktvärden för ljudtrycksnivå [1]

Likvärdig reaktion	Befintlig miljö		Väsentlig ombyggn.		Ny infrastruktur	
	$L_{AFmax,in}$	L_{AEq} fasad	$L_{AFmax,in}$	$L_{AEq,24h}$ fasad	$L_{AFmax,in}$	$L_{AEq,24h}$ fasad
	55 dB	70 dB	45 dB	60 dB	45 dB	60 dB
Vibration (mm/s)	0,73	1,44	0,19	0,33	0,19	0,33

Inledning

Trafikverket kontaktade Arbets- och miljömedicin under sommaren 2013 för att diskutera hur påverkan på människor av buller kunde jämföras med densamma av vibrationer, i båda fallen kopplat till tågtrafik. Denna rapport är en sammanfattning av de olika forskningsresultat som belyser detta, och en kort syntes kring hur man kan jämföra effekten av en viss bullerexponering med en viss vibrationsexponering. Notera att jämförelser av detta slag innehåller ett stort mått av osäkerhet som måste tas i beaktande vid tillämpning av resultaten.

CargoVibes

Ljudmiljögruppen på Arbets- och miljömedicin (AMM) har utfört en serie sömnförsök inom det EU-finansierade forskningsprojektet CargoVibes [2]. Totalt exponerades 59 försökspersoner i tre olika försöksserier för olika scenarier med buller och vibrationer simulerande godstågspassager medan de sov. Påverkan på sömnen utvärderades med frågeformulär och med polysomnografi (PSG). Sömnens mikrostruktur (EEG "arousals", uppvaknanden, förändringar i sömndjup, hjärtfrekvens mm) och makrostruktur (tid i olika sömndjup, total vakenhet mm) undersöktes med objektiva mått. Självrapporterad sömnkvalité, störning, trötthet och irritation undersöktes via enkätsvar. Det omfattande datamaterialet från CargoVibes möjliggör jämförelser med resultat från litteraturen för att se vilken exponering som ger en likvärdig respons i någon mening separat för buller och vibrationer.

Litteraturstudie

Projektet inleddes med en litteraturstudie över forskning som publicerat data om påverkan på människor av buller och/eller vibrationer från tågtrafik. De viktigaste publikationerna presenteras i Tabell 3 tillsammans med information om vad studien undersöker. Det är ofta svårt att direkt jämföra resultaten mellan olika studier eftersom både utfall och exponering kan skilja åt, framförallt på grund av att information saknas eller olika indikatorer använts, t.ex. maximal eller ekvivalent bullernivå, olika tidsvägning osv. En kort översikt över resultaten från de viktigaste studierna finns i Annex A.

Tabell 3, Sammanfattning av vetenskapliga arbeten där sömnpåverkan av buller och/eller vibrationer från tågtrafik studerats

Paper/source	Main outcome	Exposure source	Exposure - noise, vibration, both	Freight included?	Field or lab	Annoyance? (y/n)	Sub. sleep evaluation?	PSG?	Country
Janssen et al 2013 [3]	Annoyance & subjective sleep disturbance	Rail	Noise and vibration	Yes	Field	Yes	Yes	No	Netherlands & Poland
Aasvang et al 2008 [4]	Sleep disturbance - LAeq/LAFmax curves	Rail	Noise, vib not reported	3-19 (during night)	Field	No	Yes	No	Norway
Hong et al 2010 [5]	Sleep disturbance - LAeq curves	Road & rail (separate groups)	Noise, vibration not reported	Yes (56%)	Field	No	Yes	No	South Korea
Elmenhorst et al 2012 [6]	Awakening prob re: LAFmax	Rail	Noise, vibration not reported	1-150	Field	No effect of LAeq	Yes	Yes	Germany
Pennig et al 2012 [7]	Number of trains & # freight affect subj. Awakening	Rail	Noise, vibration not reported	1-150	Field	Yes	Yes	No	Germany
Saremi et al 2008 [8]	ER arousals & awakenings	Rail	Noise	Yes (16)	Lab	No	Yes (sleep qual & fatigue)	Yes	France
Tassi et al 2010 [9]	Some PSG parameters for single noisy night	Rail	Noise	Freight only	Lab	No	No	Yes	France
Tassi et al 2010 [10]	HR response	Rail	Noise	Yes (16)	Lab	No	No	Yes	France
Basner et al 2011 [11]	EEG probs & HR response	Road, rail & air	Noise	Yes	Lab	No	Yes	Yes	Germany
Persson Waye et al 2013 [12]	PSG data, subjective response, ER & HR data	Rail	Noise, vibration, noise and vibration	Yes - exclusively	Lab	No	Yes	Yes	Sweden
Aasvang et al 2007 [13]	Annoyance-LAFmax curves	Rail (in tunnels)	Structure borne noise	40-106 per week	Field	Yes	Yes	No	Norway
Aasvang et al 2011 [14]	Total REM, WASO, SSCs, arousals	Road & rail (separate groups)	Noise, vib not reported/measured	Not reported	Field	No	No	Yes	Norway
Miedema & Vos 2007 [15]	Disturbance-noise exposure response curves	Road, rail or air	Noise	No	Meta-analysis of field	No	Yes	No	Intl.
Di Nisi et al 1990 [16]	HR response	Road, rail and air	Noise	No	Lab	No	No	Yes	France
Howarth & Griffin 1991 [17]	VDV & SPL equivalence annoyance contours (not sleeping)	Rail	Both	No	Lab	Yes	No	No	UK
Griefahn et al 2008 [18]	HR response	Road, rail or air	Noise	Yes	Lab	No	No	Yes	Germany
Öhrström & Skånberg 1996 [19]; Öhrström 1997 [20]	Higher annoyance in areas with vibration	Rail	Both	Yes	Field	Yes		No	Sweden

Paper/source	Main outcome	Exposure source	Exposure - noise, vibration, both	Freight included?	Field or lab	Annoyance? (y/n)	Sub. sleep evaluation?	PSG?	Country
Öhrström et al 2011 [21]	Annoyance-vib dose response, enhanced sleep disturbance	Rail	Both	Yes	Field	Yes	Yes	No	Sweden
Gidlöf-Gunnarsson et al 2012 [22]	Number of trains & vib enhances noise annoyance	Rail	Both	2-48	Field	Yes	No	No	Sweden
Peris et al 2012 [23]	Higher vib. annoyance at night	Rail	Vibration	Yes	Field	Yes	No	No	UK
Paschier-Vermeer & Zeichart 1998 [24]	Annoyance-vib/noise dose-response	Rail	Both		Field	Yes		No	Germany
Woodruff & Griffin 1987 [25]	Annoyance-number of trains dose-response	Rail	Both		Field	Yes		No	UK
Klaeboe et al 2003 [26]	Annoyance-vib dose-response curves	Rail & road	Vibration	Yes	Field	Yes	Yes	No	Norway
Yano et al 2005 [27], 2006 [28]	Annoyance-vib dose-response	Rail	Vibration	No	Field	Yes	No	No	Japan
Yokoshima et al 2008 [29]									
Zapfe et al 2009 [30]	Annoyance-vib dose-response	Rail	Vibration		Field	Yes		No	USA
Waddington et al 2011 [31]	Annoyance-vib dose-response	Railway & construction	Noise and vibration	Yes	Field	Yes	No	No	UK
Fields 1979 [32]	Annoyance-distance	Rail	Noise and vibration	Not reported	Field	Yes	No	No	UK
Griefahn et al 2006 [33]	SWS, sleep quality, other PSG	Road, rail or air	Noise	Not reported (but looks like no)	Lab	No	Yes	Yes	Germany
Marks & Griefahn 2005 [34]	SQ, tiredness & stage %'s re: LAEq	Rail	Noise	Not reported (but looks like no)	Lab	No	Yes	Yes	Germany
Villot & Bailhache 2013 [35]	Summary of mitigation measures reducing annoyance	Rail	Vibration & groundborne noise	-	-	-	-	-	Intl.
Elias & Villot 2012 [36]	Summary of field studies & vibration standards	Rail	Vibration & groundborne noise	-	-	-	-	-	Intl.

Exponering vid likvärdig respons

Här följer en beskrivning av den förenklade metod vi använt för att ange vid vilken vibrationshastighet och ljudtrycksnivå som responsen är likvärdig, t.ex. lika störande. Genom att utnyttja denna princip har vi sedan kunnat ange likvärdiga vibrationshastigheter och ljudtrycksnivåer för de olika riktvärden som Trafikverket tillämpar [37].

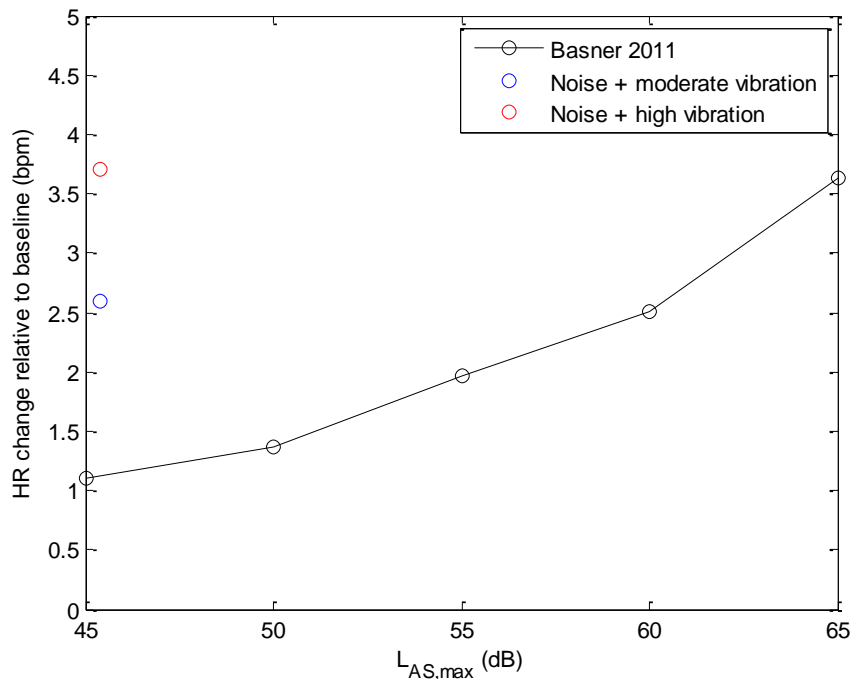
Hjärtfrekvens

Förändringar i hjärtfrekvens under sömnen till följd av tågbuller mättes av Basner et al i en labstudie [11]. Ökningen i hjärtfrekvens vid en bullerhändelse som funktion av ljudtrycksnivån $L_{AS,max}$ presenteras i Figur 1. En liknande mätning genomfördes med både buller och två olika styrka av vibrationer inom CargoVibes av Croy et al. [38]. I det experimentet var den maximala ljudnivån $L_{AF,max} = 49,8$ dB vid samtliga exponeringar. Genom att analysera om resultaten till tidsvägning SLOW blir exponeringarna jämförbara ($L_{AS,max}=45,4$ dB), dessa resultat är införda i Figur 1.

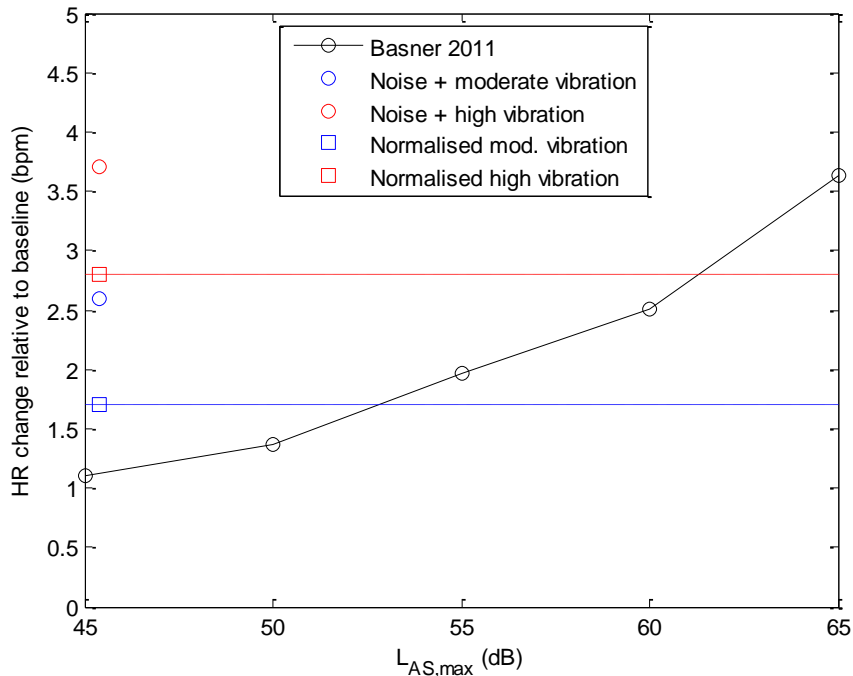
Eftersom forskningspersonerna i [38] exponerades för både vibration och buller så måste förändringen av hjärtfrekvens justeras så att den motsvarar fallen endast vibration och endast buller. Detta kan förenklat göras på tre olika sätt:

- Subtrahera responsen på grund av enbart buller vid likartat bullerexponering från Basners studie
- Subtrahera responsen på grund av enbart buller från en annan studie inom CargoVibes [12]
- Subtrahera skillnaden i respons mellan exponering för endast vibration och både buller och vibration från studie III inom CargoVibes [12]

I CargoVibes studie III var det ingen skillnad i förändring av hjärtfrekvens mellan nätter med 36 respektive 52 passager. Skillnaden mellan exponering för endast buller och buller tillsammans med vibrationer är ungefär 0,9 slag per minut (BPM), vilket ungefär motsvarar Basners resultat vid 45 dB. Om vi nu justerar resultaten i [38] i Figur 1 med 0,9 BPM får vi en första enkel approximation vad effekten skulle bli för endast vibrationer. Resultatet visas i Figur 2. Då kan vi jämföra effekten av buller och vibrationer genom att läsa av värdet där den blå och röda streckade linjen skär den svarta. Vid denna skärningspunkt är responsen densamma, och vi får att den mellanstarka vibrationshastigheten 0,7 mm/s motsvarar ca 52 dB $L_{AS,max}$ och den starkare 1,4 mm/s motsvarar ca 66 dB $L_{AS,max}$. Denna likvärdighet gäller då för respektive exponerings effekt med avseende på hjärtfrekvens. Enligt Watson och Downey [39] kan man förvänta sig ca 5 dB ökad nivå när man konverterar maximal nivå från tidsvägning Slow till Fast, så för att få det för svenska förhållanden mer relevanta maximalvärdet med tidsvägning Fast skall man göra ett tillägg med 5 dB i jämförelsen.



Figur 1, Förändring i hjärtfrekvens under sömn vid tågpassage som funktion av maximal bullernivå med tidsvägning S från Basner et al. [11] (endast buller) och Croy et al. [38] (både buller och vibrationer).



Figur 2, Förändring i hjärtfrekvens under sömn vid tågpassage normaliserad för att motsvara endast exponering för vibrationer.

Obs att jämförelsen i figur 1 och 2 utgår från ljudexponering med tidsvägning Slow. För motsvarande jämförelser med tidsvägning Fast bör man addera ca 5 dB till slow.

EEG och uppvaknanden

Basner et al. [11] beräknade sannolikheten att en tågpassage under natten väcker försökspersonen, eller skapar en EEG-reaktion. Data justerades för sannolikheten att en person vaknar eller får en EEG-reaktion naturligt under tågpassagen genom att utgå från data från en kontrollnatt där försökspersonerna inte exponerades för buller överhuvudtaget. För att ta fram vid vilken vibrationshastighet respektive bullernivå responsen är likvärdig använde vi samma metod som ovan. Resultatet redovisas i figur 14.

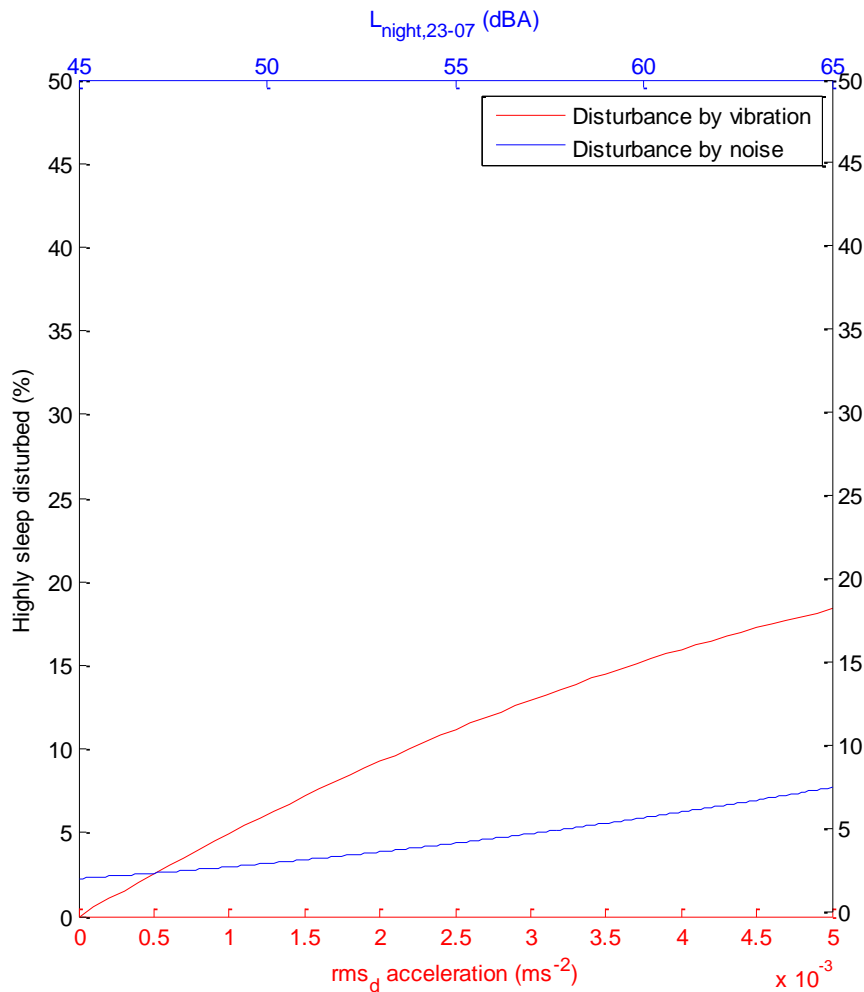
Sannolikheten för uppvaknande vid tågpassage har också uppmätts av Elmenhorst et al. [6] med hjälp av polysomnografi i hemmet hos försökspersoner. Tyvärr användes andra definitioner på ett uppvaknande än de som användes i CargoVibes, varför resultaten inte är jämförbara.

Sömnens makrostruktur

Aasvang et al. [14] gjorde mätningar av antalet minuter som en person är totalt vaken under natten efter det att personen somnat in första gången (WASO, "Wakefulness after sleep onset") och andel REM-sömn som en funktion av maximal bullernivå inomhus i fält. Dessa data jämfördes med resultat från CargoVibes med endast vibration för att få fram likvärdig exponering i termer av förändring i WASO och andel REM-sömn. Resultaten redovisas i figur 14. I CargoVibes avviker dock WASO och REM något jämfört med förväntade värden. Vi fann dock ingen signifikant skillnad mellan exponering för endast vibration och kontrollnatt (ingen exponering), vilket tyder på att dessa variabler inte påverkades i någon högre omfattning i CargoVibes.

Sömnstörning

Sömnstörning på grund av vibration uppmättes i CargoVibes labstudier och har använts för att bestämma en dos-responskurva för sömnstörning som funktion av vibrationshastighet. Liknande dos-responskurvor har beräknats för bullerexponering med hjälp av metaanalyser av Miedema och Vos [15]. Data från CargoVibes visar att försökspersonerna väl kunde urskilja vilket av vibrationer och buller som påverkade dem [40], och inte i något fall angavs vibrationerna som störande för nätter där det inte förekom någon vibrationsexponering. Därför anses dessa data vara direkt jämförbara med Miedemas. Andelen "mycket störda" presenteras för båda studierna i Figur 3. Notera de olika skalorna, vägd rms vibrationsacceleration (undre skalan) och ekvivalent ljudtrycksnivå under natten (övre skalan).



Figur 3, Andel mycket sömnstörda av buller respektive vibrationer som funktion av bullerexponering (blå kurva och övre axeln) och vibrationsexponering (röd kurva och under axeln).

I Tabell 4 nedan redovisas en omräkning av kurvorna i Figur 3 till jämförbara bullernivåer och vibrationshastigheter med svenska enheter. Notera att störningskurvan för endast buller är extrapolerad utanför giltigt intervall eftersom kurvan slutar vid en andel mycket störda på 7,5 %. I tabellen angivna bullernivåer är därför mycket höga vid hög vibrationsnivå.

Tabell 4, Jämförelse av buller och vibrationsexponering vid lika sömnstörning. Observera att de högsta bullernivåerna är extrapolerade utanför giltigt intervall i Miedemas studie [15]. Kolumn 1 är maximal komfortvägd vibrationshastighet med tidsvägning SLOW enl. SS [41], och kolumn 3 är acceleration rms under åtta timmar med W_d vägning enligt [42].

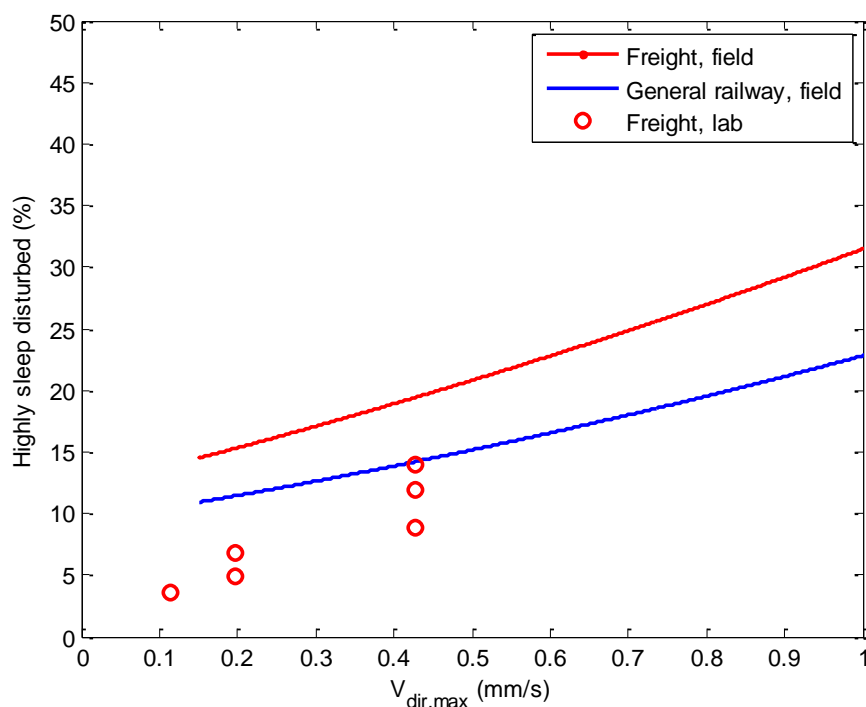
Max. vib. hast. (mm/s)	Antal tåg (n)	rms _d (mm/s ²)	Motsvarande L _{night} (dB)
0,4	36	0,0007	53
0,7	20	0,0010	58
0,7	36	0,0014	63
1,4	20	0,0019	68
1,4	36	0,0027	75
1,4	52	0,0033	78

Vibrationsexponeringarna i CargoVibes sömnstudier anges som $V_{dir,max}$ vilket är den maximala vibrationshastigheten i den dominanta riktningen vägd enligt ISO 2631 [42]. I Tabell 5 anges de nivåer som användes i CargoVibes omräknade till rms_d med vägningskurva W_d enligt ISO 2631.

Tabell 5, Vibrationshastighet i CargoVibes sömnstudier omräknat till rms_d . Kolumn 1 är maximal komfortvägd vibrationshastighet med tidsvägning SLOW enl. SS [41], kolumn 3 är acceleration rms under åtta timmar med W_d vägning enligt [42] och kolumn 4 är maximal vibrationshastighet med tidsvägning FAST och frekvensvägning W_d enl. [42].

Max. vib. hast. (mm/s)	Antal tåg (n)	rms_d (mm/s ²)	$V_{dir,max}$ (mm/s)
0,4	36	0,0007	0,1138
0,7	20	0,0010	0,1962
0,7	36	0,0014	0,1962
1,4	20	0,0019	0,427
1,4	36	0,0027	0,427
1,4	52	0,0033	0,427

Sömnstörning utvärderades inte bara i laboratorieförsök i CargoVibes, utan även i enkätundersökningar bland boende längs med tågbanor med huvudsakligen godstrafik respektive persontrafik. Dessa dos-responskurvor återges i Figur 4 tillsammans med resultat från laboratoriestudierna. Vid jämförelse av dessa resultat bör man ha i åtanke att enkätstudierna genomfördes på två av tre platser där både buller och vibrationer förekom samtidigt och det är osäkert om de svarande ibland blandade ihop exponering för buller med vibrationer och vise versa.



Figur 4, Jämförelse av sömnstörning från fältstudier (linjer) och labstudier (cirkclar), samtliga data från CargoVibes.

Jämförelsen i Figur 4 antyder att den rapporterade störning i laboratoriestudierna är underskattad jämfört med störningen i verkliga förhållanden.

Utifrån en enkätstudie i Sydkorea av Hong et al. [5] kan man räkna ut andelen mycket sömnstörda (%HSD) som en funktion av den ekvivalenta bullernivån utomhus under natten (9 timmar) på följande sätt

$$\%HSD = 100 / [1 + \exp(-0.120 \times L_{AEq,22-07} + 8.081)].$$

Genom att invertera ekvationen kan vi istället beräkna bullernivån vid en viss andel störning

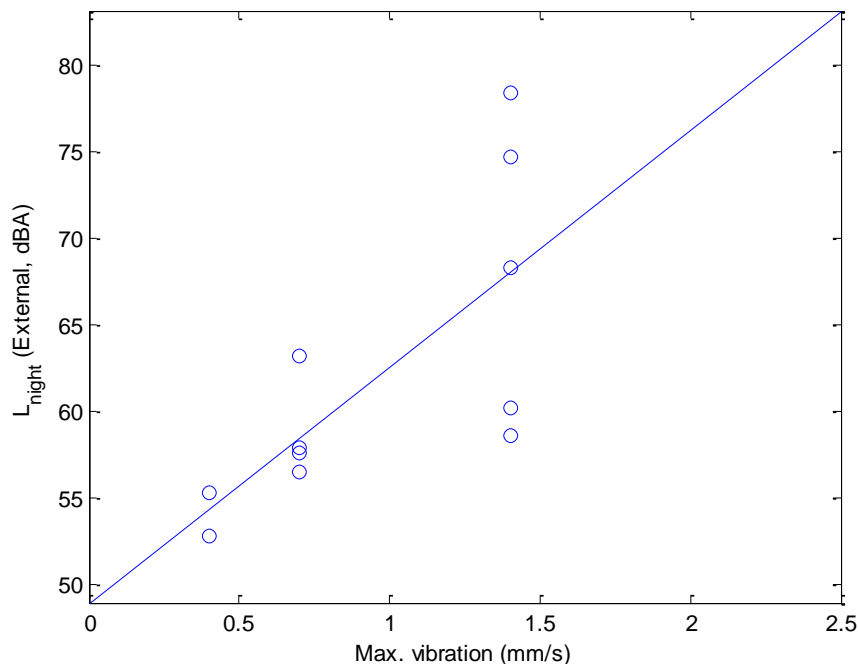
$$\%HSD = 100 / [1 + \exp(-0.120 \times L_{AEq,22-07} + 8.081)]$$

$$\frac{99}{\%HSD} = e^{-0.12L_{AEq,22-07}+8.081}$$

$$\ln\left(\frac{99}{\%HSD}\right) = -0.12L_{AEq,22-07} + 8.081$$

$$L_{AEq,22-07} = \frac{\ln\left(\frac{99}{\%HSD}\right) - 8.081}{-0.12}$$

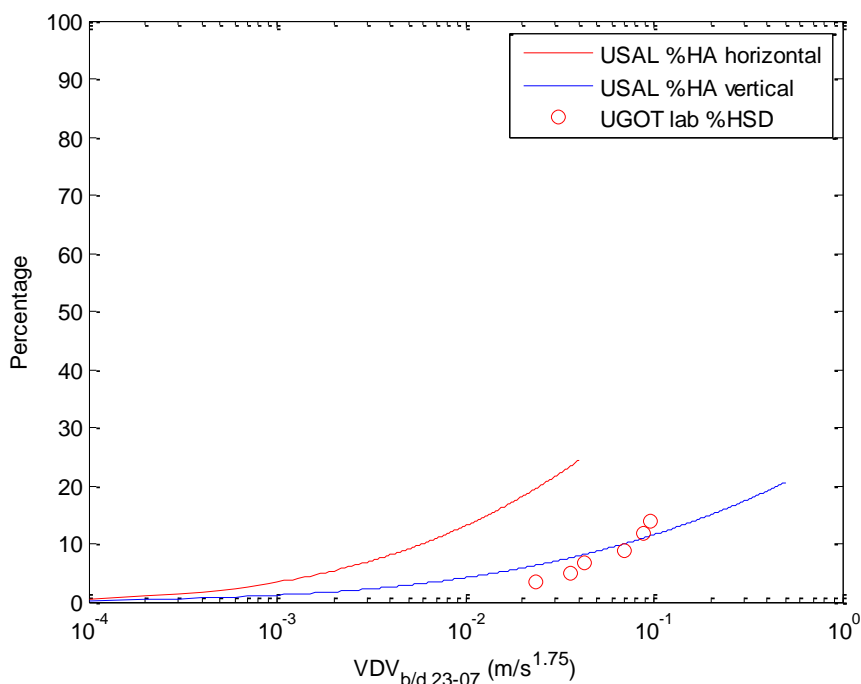
Genom att utnyttja andelen mycket sömnstörda vid CargoVibes labförsök kan vi då beräkna vilken bullernivå det motsvarar, se Figur 5. Notera dock att data från Hong här antas motsvara störningen vid endast bullerexponering, men en stor andel av tågtrafiken (56 %) var godstrafik så det kan ha förekommit vibrationer, åtminstone på platser nära järnvägen. I så fall överskattas störningen av exponering endast för buller i denna studie.



Figur 5, Jämförelse av antal mycket sömnstörda av buller (Hong et. al) och vibrationer (CargoVibes). Ekvationen för regressionslinjen är bestämd med minsta kvadratmetoden och extrapolerad för värden över 1,4 mm/s

Störning nattetid

Störning nattetid av vibrationer, dvs svaret på frågan hur störd man är under natten, utvärderades av Salford University (USAL) i rapporten NANR 209 [43]. Data presenteras som dos-responssamband i form av polynom som anger andelen ”mycket störda” (%HA) som funktion av det Brittiska måttet ”Vibration Dose Value” (VDV), som vägs olika för olika riktning, se BS 6472-1 [44]. Data presenteras tillsammans med andelen mycket sömnstörda (%HSD) från CargoVibes labförsök i Figur 6. Överensstämmelsen är god för VDV, vägd för vertikala vibrationer.

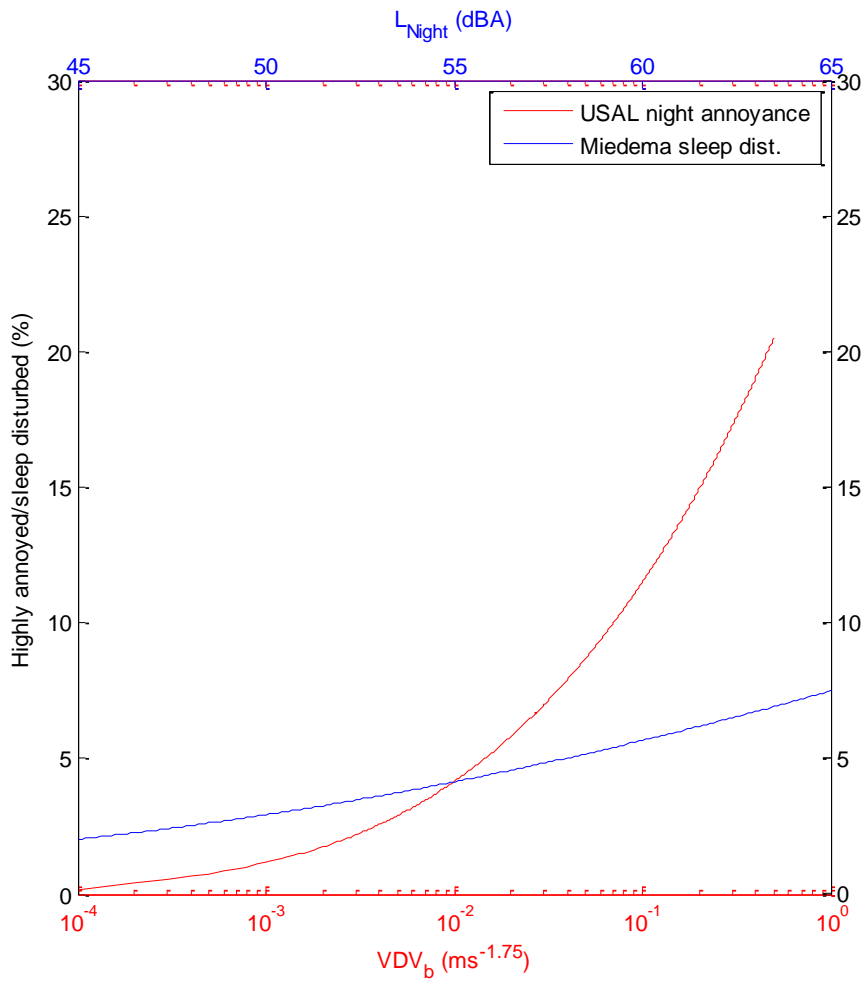


Figur 6, Jämförelse mellan störning nattetid (enkätdata USAL) och andel mycket sömnstörda (labförsök CargoVibes)

I Figur 7 jämförs sömnstörning [15] och störning nattetid [43] som funktion av ekvivalent bullernivå nattetid L_{night} eller VDV. Båda kurvorna anger hur stor andel av befolkningen som är sömnstörda eller störda nattetid. För intervallet 0,002 – 0,04 (VDV) respektive 45 – 65 dB (L_{night}) har kurvorna samma form. För att kunna jämföra mot resultaten i CargoVibes sömnförsök ges VDV i Tabell 6. I figur 7 kan man avläsa att sömnstörningen vid ungefär 65 dB L_{night} motsvarar störning från vibrationer vid $\text{VDV}=0,04 \text{ ms}^{-1,75}$, vilket översatt till mm/s motsvaras av 0,7 mm/s i CargoVibes labförsök.

Tabell 6, Vibration Dose Value (VDV) för exponeringarna i CargoVibes labstudie

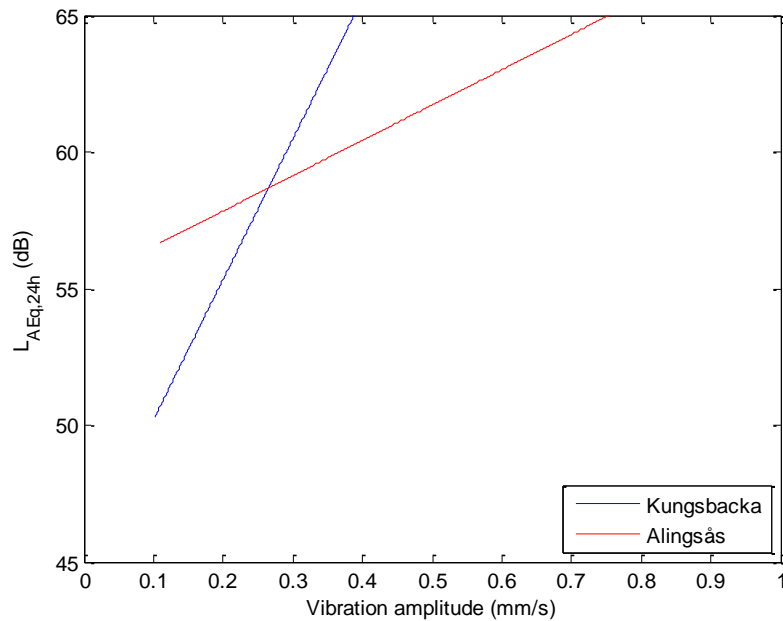
Max. velocity (mm/s)	Number of trains (n)	VDV _d (ms ^{-1.75})
0,4	36	0,0238
0,7	20	0,0363
0,7	36	0,043
1,4	20	0,0701
1,4	36	0,0882
1,4	52	0,0967



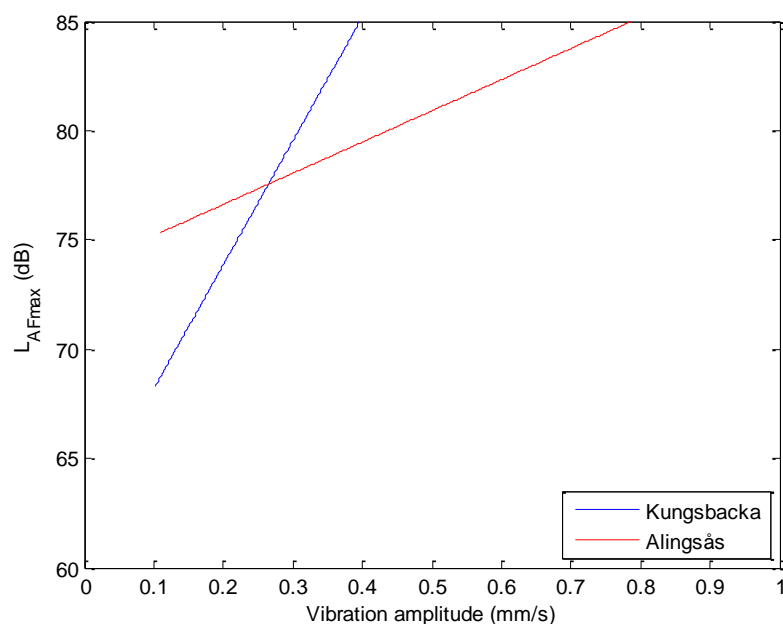
Figur 7, Jämförelse mellan störning nattetid (USAL) och sömnstörning (Miedema)

Allmän störning för buller och vibrationer i TVANE

I samband med TVANE-projektet [21] genomfördes mätningar och beräkningar av både buller och vibrationer i ett antal områden utmed Västra Stambanan (Alingsås, Falköping och Töreboda) och Väst kustbanan (Kungsbacka). Via enkäter undersöktes bland annat hur störda de boende var av vibrationer respektive buller utifrån en numerisk skala om 11 steg från "Inte alls" till "Extremt". I vår analys antar vi att de boende kan skilja på störning från vibrationer och buller, vilket visade sig vara fallet i t.ex. CargoVibes sömnförsök. I Figur 8 och 9 anges med hjälp av logistisk regression vid vilken vibrations- och bullernivå som boende angav lika störning. Kurvorna var nästan identiska för både lika andel mycket störda och lika andel störda, varför bara de senare presenteras här.

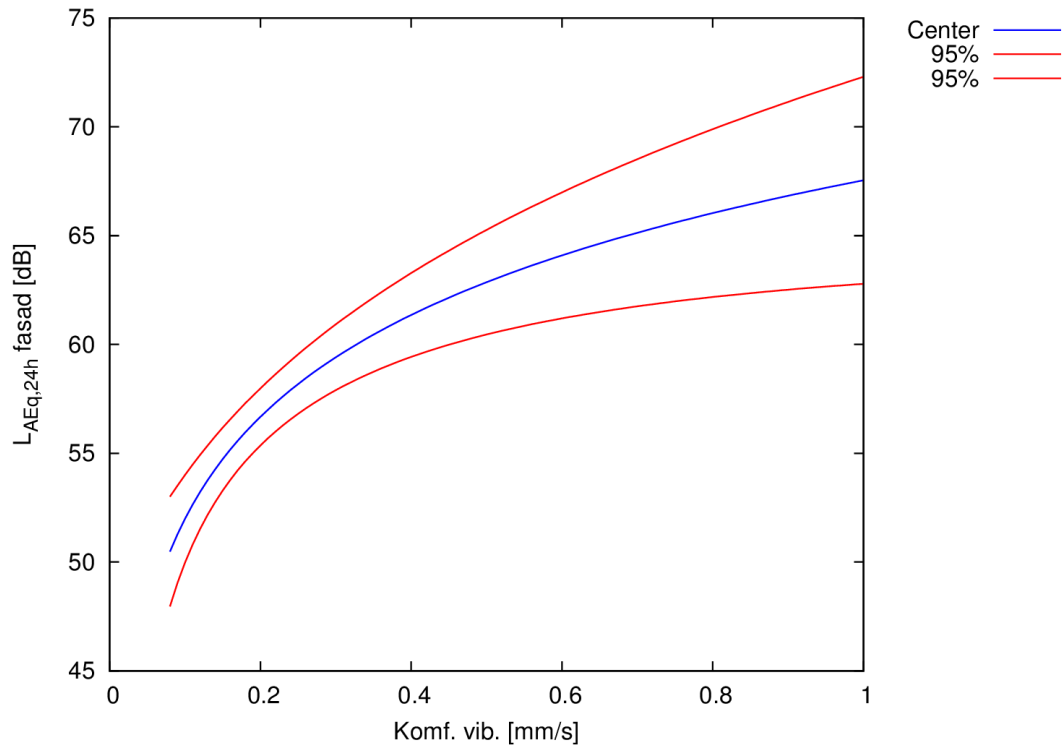


Figur 8, Kurvor för lika störning från buller (ekvivalent nivå utomhus) och vibration från TVANE



Figur 9, Kurvor för lika störning från buller (maximal nivå utomhus) och vibration från TVANE

Genom att sammanväga resultaten från Kungsbacka och Alingsås i en gemensam regressionsanalys får vi fram en kurva med ett konfidensintervall (95 %) som beskriver funktionen för lika störning från buller och vibrationer (Figur 10).



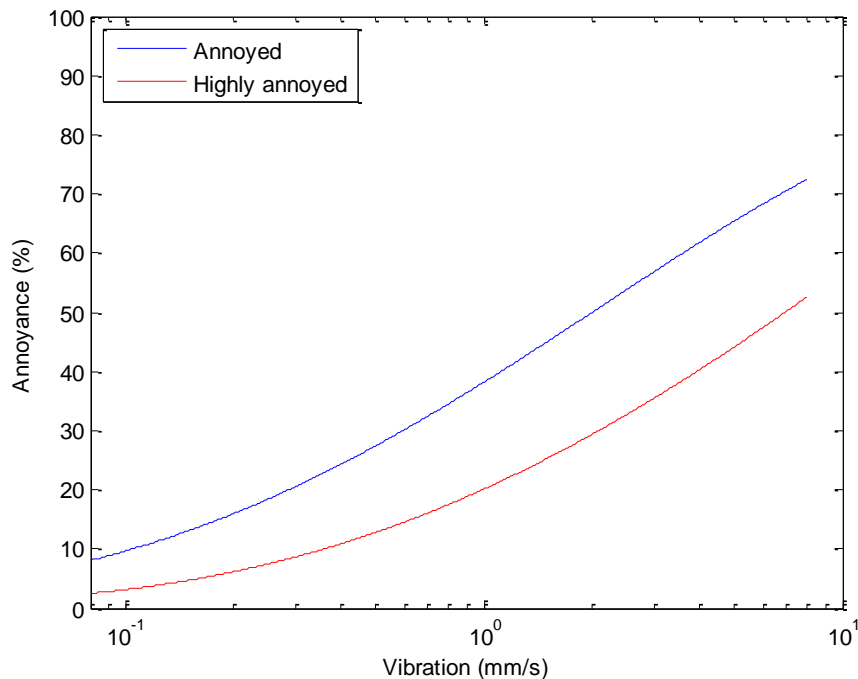
Figur 10 Samband mellan vibration och ekvivalent bullernivå där störningen är lika, inklusive 95% konfidensintervall. Baserat på data från TVANE (Kungsbacka och Alingsås).

Allmän störning för buller och vibrationer i CargoVibes

En meta-analys av ett flertal enkätstudier av störning från vibrationer från tågtrafik genomfördes inom CargoVibes [3]. En sammanfattning av de ingående delstudierna presenteras i Tabell 7. De beräknade dos-responskurvorna återfinns i Woodcock et al. [45] och ges i Figur 11. Tre olika vibrationsmått användes, $V_{dir,max}$, rms och VDV. Av dessa är $V_{dir,max}$ mest likt det svenska måttet enligt SS 460 48 62 [41]. Den största skillnaden är att tidsvägningen är FAST istället för SLOW, och omräkningsfaktorn mellan dessa båda anges som 1,25 [45].

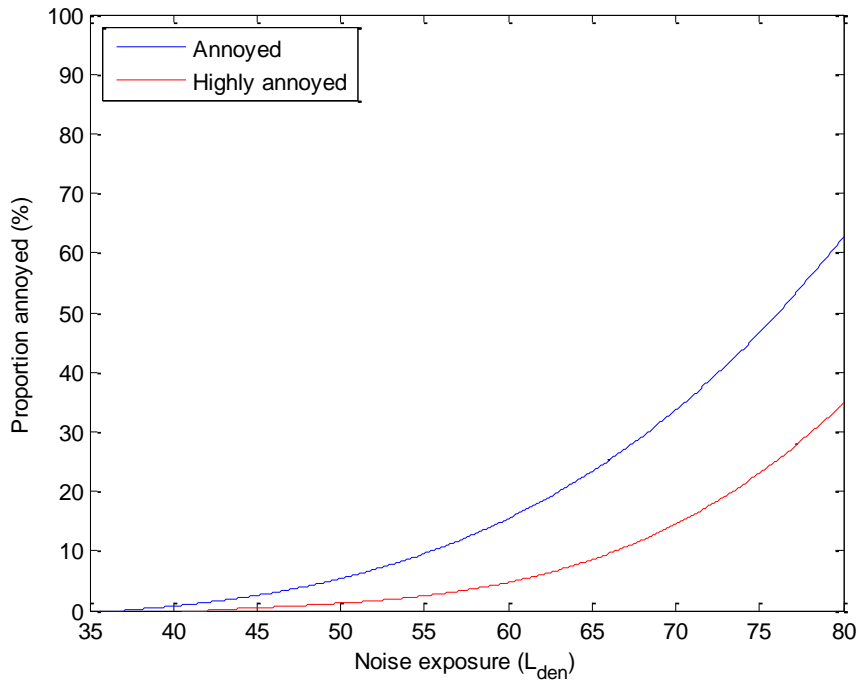
Tabell 7, Studier som använts i metaanalys [45]

Land	Referens	Vibration källa	Antal personer n
Germany	Zeichart et al. 1993 Passchier-Vermeer & Zeichart 1998	Mixed freight & passenger	403
Norway	Klaeboe et al. 2003	Mixed rail & road	969
Japan	Yano et al. 2005 Yokoshima et al. 2008	High speed rail	358
USA & Canada	Zapfe et al. 2009	Light rail / Rapid transit subway	139/1167
UK	Waddington et al. 2011	Mixed freight & passenger	752
Sweden	Öhrström et al. 2011 Gidlöf-Gunnarsson et al. 2012	Mixed freight & passenger	459
Netherlands	Unpublished CargoVibes study	Mixed freight & passenger	140
Poland	Unpublished CargoVibes study	Freight	103

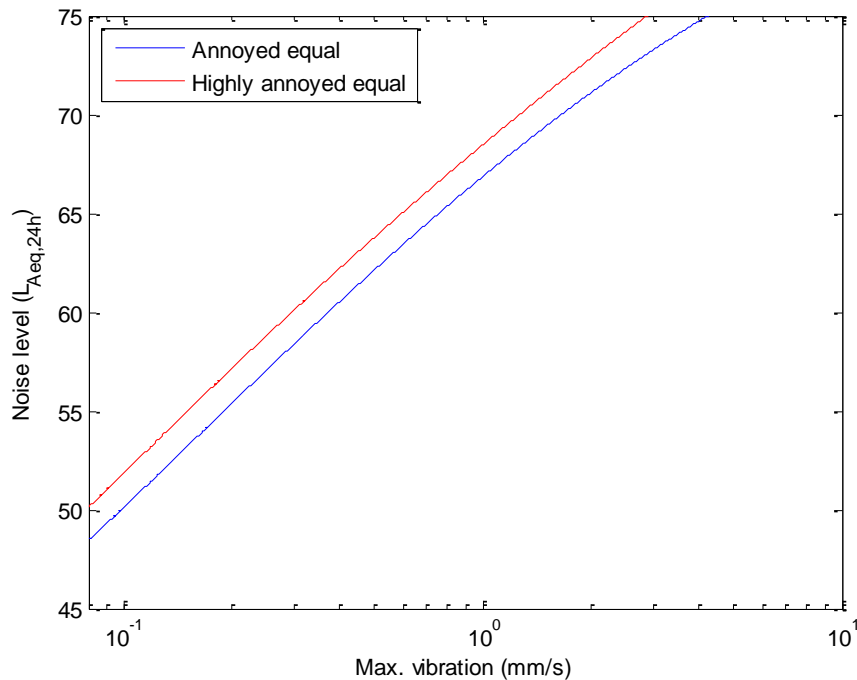


Figur 11, Dos-respons samband för störning av vibrationer från metaanalys [45]

Störningen från buller från tågtrafik bestämdes i den välkända meta-analysen av Miedema och Oudshoorn [46]. De beräknade ett dos-responssamband mellan störning och L_{den} (se Figur 12). Vi antar att L_{den} är 5 dB högre än $L_{Aeq,24h}$ för tågtrafik, och kan på så sätt jämföra störningarna från vibrationer och buller med svenska mått i Figur 13. Som exempel är ca 20 % av boende mycket störda av vibrationer vid 1 mm/s (10^0), vilket motsvarar en ekvivalent bullernivå om ca 68 dB (73 dB L_{den}).



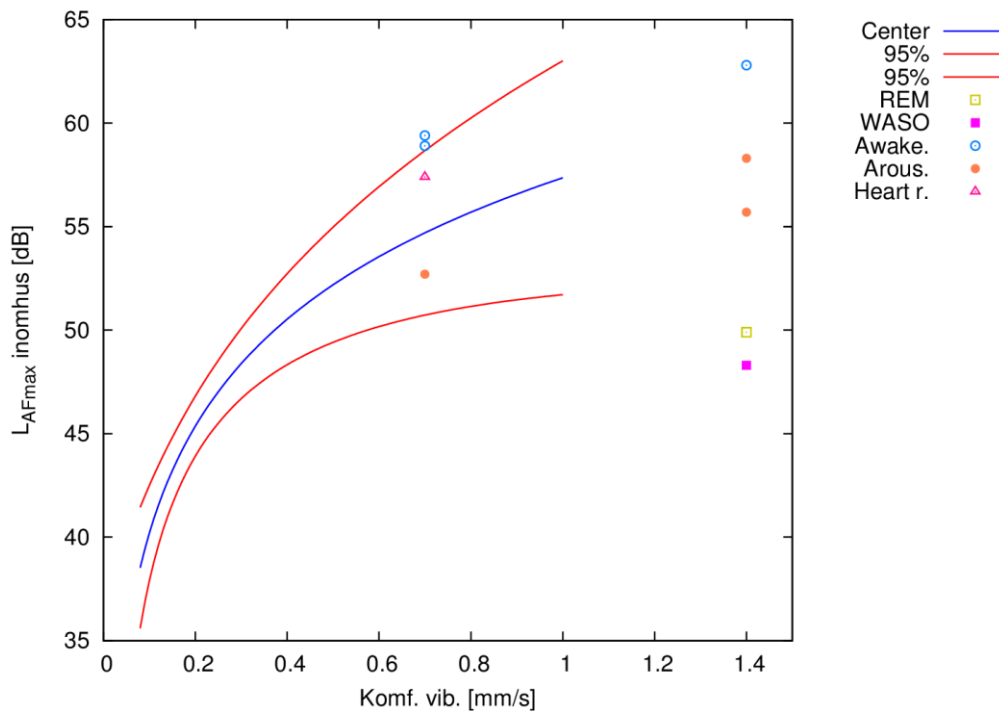
Figur 12, Störning av buller från tågtrafik som funktion av L_{den} [46]



Figur 13, Vibrationshastighet och bullernivå som ger lika andel störning

Jämförelse mellan subjektiva och fysiologiska data

I Figur 14 jämförs subjektiva data i form av störning baserat på TVANE och några olika fysiologiska data för sömn uppmätta i CargoVibes labstudie. TVANE-data är omräknat till maximal nivå inomhus genom att anta att fasadisoleringen är 30 dB. Kurvorna och punkterna anger lika stark störning eller fysiologisk respons för buller och vibrationer. Det verkar vara god överensstämmelse mellan subjektiva och fysiologiska data.



Figur 14, Lika respons för maximalt buller inomhus och vibration för enkätdata (linjer) och fysiologiska mätningar av sömn (punkter)

Genom att utgå från resultaten som redovisats kan man estimerar vilken bullernivå som ungefär motsvaras av en vibrationshastighet och tvärtom. I Tabell 8 och 9 redovisas de riktvärden som Trafikverket utgår ifrån omräknade från buller till vibration och tvärtom. Detta bygger på två antaganden:

1. Den maximala nivån i TVANE försöken bestäms inomhus genom att anta en fasadisolering på 30 dB.
2. Vibrationshastigheter högre än 0,85 mm/s behandlas genom att extrapolera resultaten från TVANE utanför det giltiga området, vilket motiveras med att de fysiologiska data ger en liknande bild för starka vibrationer.

Tabell 8, Ljudtrycksnivå vid vilken självrapporterad störning är ungefär likvärdig med vibrationshastigheten vid nuvarande riktvärden för vibrationshastigheter [1]

Likvärdig reaktion	Befintlig miljö		Väsentlig ombyggn.		Ny infrastr.	
	Högsta tillåtna	Ev. åtgärd	Högsta tillåtna	Ev. åtgärd	Högsta tillåtna	Ev. åtgärd
	2,5 mm/s	1 mm/s	1 mm/s	0,4 mm/s	0,7 mm/s	0,4 mm/s
$L_{AF,max,inne}$ (dB)	64,2	57,4	57,4	50,5	54,7	50,5
$L_{AEq,24h}$ (dB)	73,7	67,5	67,5	61,4	65,1	61,4

Tabell 9, Vibrationshastighet vid vilken självrapporterad störning är ungefär likvärdig med motsvarande ljudtrycksnivå vid nuvarande riktvärden för ljudtrycksnivå [1]

Likvärdig reaktion	Befintlig miljö		Väsentlig ombyggn.			Ny infrastr.		
	$L_{AFmax,in}$	L_{AEq} fasad	$L_{AFmax,in}$	$L_{AEq,24h}$ fasad	$L_{AEq,24h}$ utepl.	$L_{AFmax,in}$	$L_{AEq,24h}$ fasad	$L_{AEq,24h}$ utepl.
	55 dB	70 dB	45 dB	60 dB	55 dB	45 dB	60 dB	55 dB
Vib.(mm/s)	0,73	1,44	0,19	0,33	0,16	0,19	0,33	0,16

Sammanfattande kommentarer

Baserat på de analyser som presenteras i rapporten så estimeras ungefär vid vilken vibrationshastighet som störningen är ungefär likvärdig som motsvarande bullernivå. Många faktorer som inte har studerats här kan förväntas påverka detta samband, t.ex. ålder, kön, socioekonomisk status, ljudkänslighet och förekomst av nedsatt hörsel. Vi har heller inte tagit hänsyn till samverkans effekter mellan exponering för buller och vibrationer, där närvaro av en av dessa båda exponeringar kan påverka utfallet av den andra. I ljuset av dessa förenklingar måste de presenterade resultaten ses som grova skattningar. Störst förtroende för resultatet har vi i vibrationsområdet kring 0,7 mm/s där vi har både fysiologiska och enkätbaserade data som visar på ungefär samma samband mellan buller och vibrationer.

Referenser

1. Trafikverket (2006) Trafikverkets riktlinjer för buller och vibrationer från spårbunden linjetrafik, riktlinjer och tillämpning.
2. Muzet A (2007) Environmental noise, sleep and health. *Sleep Med Rev* 11: 135-142.
3. Janssen S, Vos H, Koopman A (2013) Cargovibes. Attenuation of ground-borne vibration affecting residents near freight railway lines. Deliverable D1.2 Exposure response relationships and factors influencing these relationships.
4. Aasvang GM, Moom T, Engdahl B (2008) Self-reported sleep disturbances due to railway noise: exposure-response relationships for nighttime equivalent and maximum noise levels. *J Acoust Soc Am* 124: 257-268.
5. 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: 2829-2835.
6. Elmenhorst EM, Pennig S, Rolny V, Quehl J, Mueller U, et al. (2012) Examining nocturnal railway noise and aircraft noise in the field: sleep, psychomotor performance, and annoyance. *Sci Total Environ* 424: 48-56.
7. Pennig S, Quehl J, Mueller U, Rolny V, Maass H, et al. (2012) Annoyance and self-reported sleep disturbance due to night-time railway noise examined in the field. *J Acoust Soc Am* 132: 3109-3117.
8. Saremi M, Greneche J, Bonnefond A, Rohmer O, Eschenlauer A, et al. (2008) Effects of nocturnal railway noise on sleep fragmentation in young and middle-aged subjects as a function of type of train and sound level. *Int J Psychophysiol* 70: 184-191.
9. Tassi P, Rohmer O, Schimchowitsch S, Eschenlauer A, Bonnefond A, et al. (2010) Living alongside railway tracks: Long-term effects of nocturnal noise on sleep and cardiovascular reactivity as a function of age. *Environ Int* 36: 683-689.
10. Tassi P, Saremi M, Schimchowitsch S, Eschenlauer A, Rohmer O, et al. (2010) Cardiovascular responses to railway noise during sleep in young and middle-aged adults. *Eur J Appl Physiol* 108: 671-680.
11. Basner M, Muller U, Elmenhorst EM (2011) Single and combined effects of air, road, and rail traffic noise on sleep and recuperation. *Sleep* 34: 11-23.
12. Persson Waye K, Smith MG, Croy I, Hammar O, Ögren M (2013) Cargovibes. Attenuation of ground-borne vibration affecting residents near freight railway lines. Deliverable D1.4 Report of the results of the sleep disturbance study. D1.4 D1.4.
13. Aasvang GM, Engdahl B, Rothschild K (2007) Annoyance and self-reported sleep disturbances due to structurally radiated noise from railway tunnels. *Applied Acoustics* 68: 970-981.
14. Aasvang GM, Overland B, Ursin R, Moom T (2011) A field study of effects of road traffic and railway noise on polysomnographic sleep parameters. *J Acoust Soc Am* 129: 3716-3726.
15. Miedema HM, Vos H (2007) Associations between self-reported sleep disturbance and environmental noise based on reanalyses of pooled data from 24 studies. *Behav Sleep Med* 5: 1-20.
16. Di Nisi J, Muzet A, Ehrhart J, Libert JP (1990) Comparison of cardiovascular responses to noise during waking and sleeping in humans. *Sleep* 13: 108-120.
17. Howarth HVC, Griffin MJ (1991) The Annoyance Caused by Simultaneous Noise and Vibration from Railways. *Journal of the Acoustical Society of America* 89: 2317-2323.
18. Griefahn B, Brode P, Marks A, Basner M (2008) Autonomic arousals related to traffic noise during sleep. *Sleep* 31: 569-577.

19. Öhrstrom E, Skånberg AB (1996) A field survey on effects of exposure to noise and vibration from railway traffic .1. Annoyance and activity disturbance effects. *Journal of Sound and Vibration* 193: 39-47.
20. Öhrström E (1997) Effects of exposure to railway noise - A comparison between areas with and without vibration. *Journal of Sound and Vibration* 205: 555-560.
21. Öhrström E, Gidlöf-Gunnarsson A, Ögren M, 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 (Results and conclusions from the research project TVANE - Effects of noise and vibration from railway and road traffic - railway bonus, differences and interactions between railway and road traffic noise). Gothenburg: Occupational and Environmental Medicine, University of Gothenburg.
22. Gidlöf-Gunnarsson A, Ögren M, Jerson T, Öhrstrom E (2012) Railway noise annoyance and the importance of number of trains, ground vibration, and building situational factors. *Noise and Health* 14: 190-201.
23. Peris E, Woodcock J, Sica G, Moorhouse AT, Waddington DC (2012) Annoyance due to railway vibration at different times of the day. *J Acoust Soc Am* 131: EL191-196.
24. Passchier-Vermeer W, Zeichart K (1998) Vibrations in the living environment: Relationships between vibration annoyance and vibration metrics. TNO report 98.030. Leiden, Netherlands: TNO.
25. Woodruff HJ, Griffin MJ (1987) A survey of the effect of railway-induced building vibration on the community. Institute of Sound and Vibration Research Technical Report, 160. Southampton: Institute of Sound and Vibration Research.
26. Klæboe R, Thurunen-Rise H, Harvik L, Madshus C (2002) 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.
27. Yano T, Morihara T, Sato T (2005) Community response to Shinkansen noise and vibration: A survey in areas along the Sanyo Shinkansen Line. *Forum Acusticum 2005*. Budapest.
28. Yano T, Sato T, Morihara T (2006) Impact of vibration on railway and road traffic noise annoyance. *Internoise 2006*. Honolulu, USA.
29. Yokoshima S, Morihara T, Ota A, Tamura A (2008) Reanalysis of dose-response curves of Shinkansen railway noise. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008. Foxwoods CT, USA.
30. Zapfe JA, Saurenman H, Fidell S (2009) Groundborne noise and vibration in buildings caused by rail transit. Final report for Transit Cooperative Research Program (TCRP) D-12.
31. Waddington D, Moorhouse A, Steele A, Woodcock J, Condie J, et al. (2011) Human response to vibration in residential environments (NANR 209). Final project report. London: DEFRA.
32. Fields JM (1979) Railway Noise and Vibration Annoyance in Residential Areas. *Journal of Sound and Vibration* 66: 445-458.
33. Griefahn B, Marks A, Robens S (2006) Noise emitted from road, rail and air traffic and their effects on sleep. *Journal of Sound and Vibration* 295: 129-140.
34. Marks A, Griefahn B (2005) Railway noise - Its effects on sleep, mood, subjective sleep quality, and performance. *Somnologie* 9: 68-75.
35. Villot M, Bailhache S (2013) Railway Induced Vibration Abatement Solutions (RIVAS). Deliverable D1.9 Evaluating the mitigation measures developed in WP2-5 in terms of decrease of exposure and annoyance.

36. Elias P, Villot M (2012) Railway Induced Vibration Abatement Solutions (RIVAS). Deliverable D1.4 Review of existing standards, regulations and guidelines, as well as laboratory and field studies concerning human exposure to vibration.
37. Banverket (2006) Buller och vibrationer från spårburen linjetrafik. Riktlinjer och tillämpning.
38. Croy I, Smith MG, Waye KP (2013) Effects of train noise and vibration on human heart rate during sleep: an experimental study. *BMJ Open* 3.
39. Watson R, Downey O (2008) *The little red book of acoustics. A practical guide.* Sheffield, UK: Blue Tree Acoustics.
40. Smith MG, Croy I, Ogren M, Persson Waye K (2013) On the influence of freight trains on humans: a laboratory investigation of the impact of nocturnal low frequency vibration and noise on sleep and heart rate. *PLoS One* 8: e55829.
41. SIS (1992) SS 460 48 61 Vibration och stöt - Mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader.
42. ISO (1997) ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration Part 1: General Requirements. International Organization for Standardization.
43. Woodcock J, Peris E, Condie J, Sica G, Koziel Z, et al. (2011) Human response to vibration in residential environments (NANR209). Technical report 6: Determination of exposure-response relationships. London: DEFRA.
44. Institute BS (2008) BS 6472-1:2008 Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings.
45. Woodcock J, Peris E, Moorhouse A, Waddington D (2014) Cargovibes. Attenuation of ground-borne vibration affecting residents near freight railway lines. Deliverable D1.5 Guidance document for the evaluation of railway vibration.
46. Miedema HM, Oudshoorn CG (2001) Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environ Health Perspect* 109: 409-416.

Annex A

What follows is a short summary of some of the existing research into human response to railway exposure, along with the most important findings that can be used to compare human response to railway noise and vibration. Road and air traffic noise will not be considered. There is insufficient data available on either regarding vibration exposure, although the results for railway exposure may potentially be considered as proxy for road.

Field studies

Miedema and Vos 2007

A meta-analysis based on results from 24 field studies was performed to establish associations between self-reported sleep disturbance and environmental noise [15]. They examined road, air and rail traffic exposure separately. For rail, data was available from five studies (one French, two German, one Japanese, one United Kingdom) involving a total of 3,178 respondents. Sleep disturbance was classified into three separate categories: a little sleep disturbed (LSD), sleep disturbed (SD), and highly sleep disturbed (HSD) which are analogous to annoyance classification slightly annoyed, annoyed and highly annoyed. The model used to determine sleep disturbance is the same as used to calculate annoyance, with cut-off categories of 28, 50 and 72 on a scale of 0 to 100 corresponding to a LSD, SD and HSD respectively. The resulting sleep disturbance dose-response relationships are reproduced in Figure 1. Sleep disturbance can be seen to increase with L_{night} . No data is provided regarding vibration exposure.

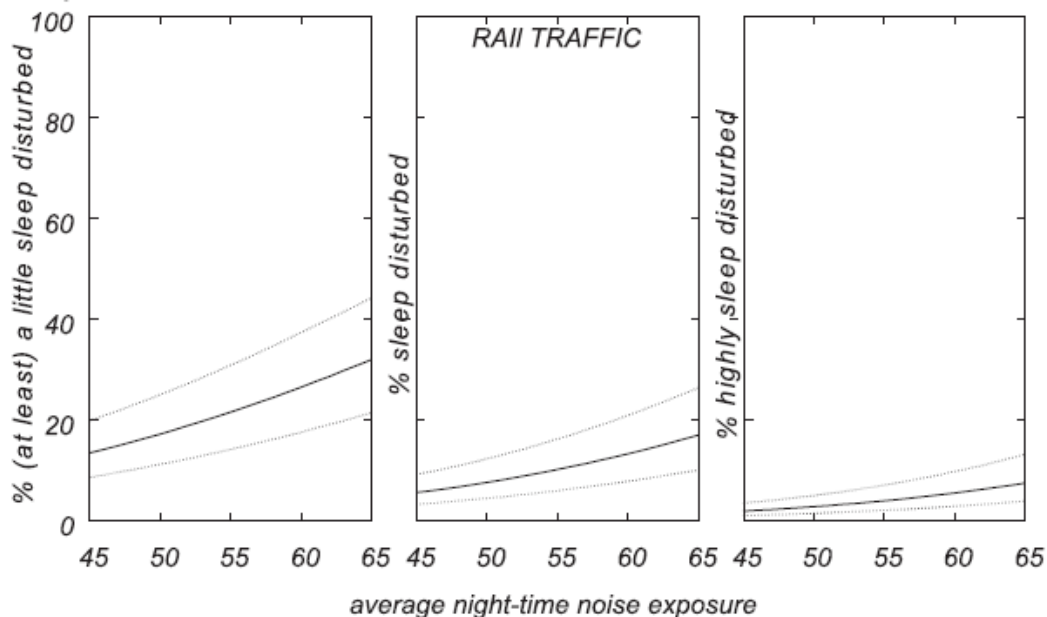


Figure 1 Sleep disturbance from railway noise determined from a meta-analysis of 24 studies, and their 95% confidence intervals. Noise levels are outdoor L_{night} . Exposure differences between facades and indoor-outdoor differences are treated as random factors. Reproduced from [15]

Hong et al. 2010

Sleep disturbance as a function of railway noise $L_{\text{AEq}, 22-07}$ was obtained in a South Korean field study [5]. Eighteen sites in the vicinity of railway lines (14 <100m) were investigated and noise surveyed. The rail traffic composition was 44% passenger and 56% freight, with a total of 59-82 pass-bys between 2200-0700. From these locations a total of 610 persons completed

questionnaires under the supervision of the investigators, including a numerical 11-point question regarding sleep disturbance due to noise. The authors determined relationships for the percentage of people reporting being sleep disturbed (rating of 6-10 on the disturbance question) and highly sleep disturbed (ratings of 8-10). The resulting dose-response relationships are presented in Figure 2. Disturbance increases with rising noise level. Compared to the relationships indicated in it appears that this Korean sample population are much more disturbed. This may be due to differences in the construction and insulation of the buildings, prevalence of opening windows, the high proportion of freight or the relatively small sample size for a field study.

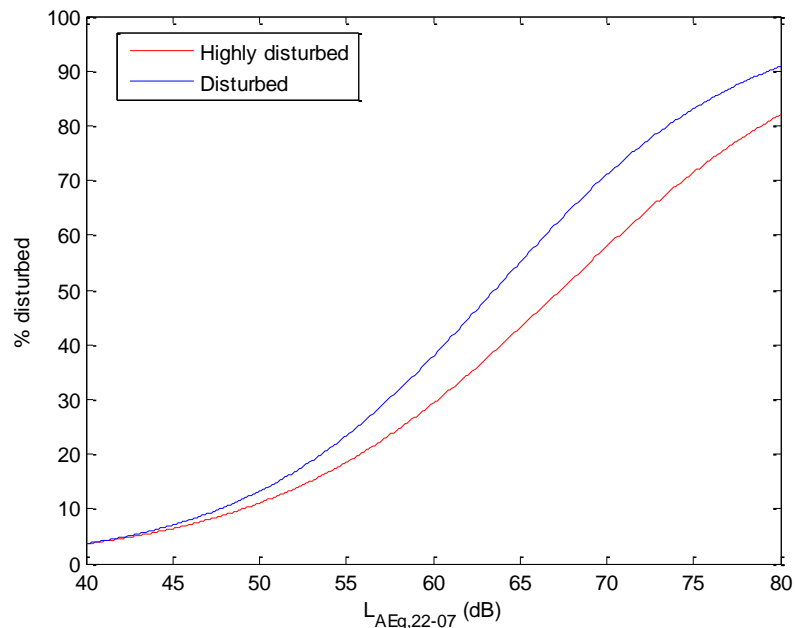


Figure 2 Percentage of respondents reporting sleep disturbance as a function of night time equivalent railway noise exposure at the most exposed façade.

Elmenhorst et al. 2012

A field study in Germany investigated the effects of nocturnal railway and aircraft noise on sleep, psychomotor performance, and annoyance [6]. Thirty three persons living close to railway lines (median distance 32m) had their sleep assessed for 9 consecutive nights using objective PSG methods. Night time annoyance was assessed using a 5-point Likert scale. Railway traffic was predominantly freight (median 48 per night compared to 17 passenger trains). Event-related analysis was performed whereby the likelihood of a given train pass-by resulting in a person moving to wake or light sleep (S1) was determined as a function of maximum noise level (Figure 3 and Figure 4) and difference from $L_{Aeq,1 min}$ (Figure 5). With increasing maximum noise level, the probability of a person waking up or moving to S1 correspondingly increases. Despite the large number of freight trains in this study, no data are provided regarding vibration exposure. Noise exposure was not found to affect subjective sleep latency, quantity, quality, depth or problems falling asleep. Recuperation was not found to be significantly related to nocturnal railway noise exposure.

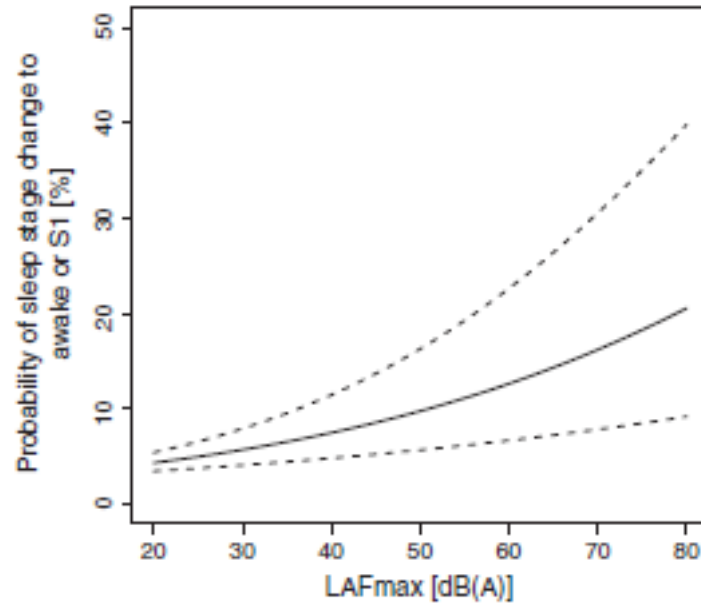


Figure 3 Probability for sleep stage changes to wake and S1 depending on the maximum sound pressure level at the sleeper's ear for a railway event. Dashed lines indicate 95% confidence interval. Reproduced from [6].

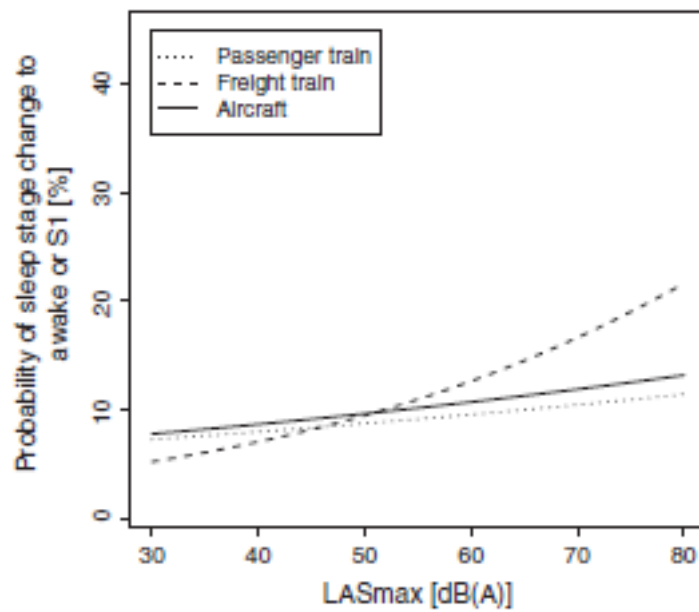


Figure 4 Ranking of the probability for sleep stage changes to wake and S1 due to freight train, passenger train and aircraft noise depending on the maximum sound pressure level of the noise event at the sleeper's ear. Reproduced from [6].

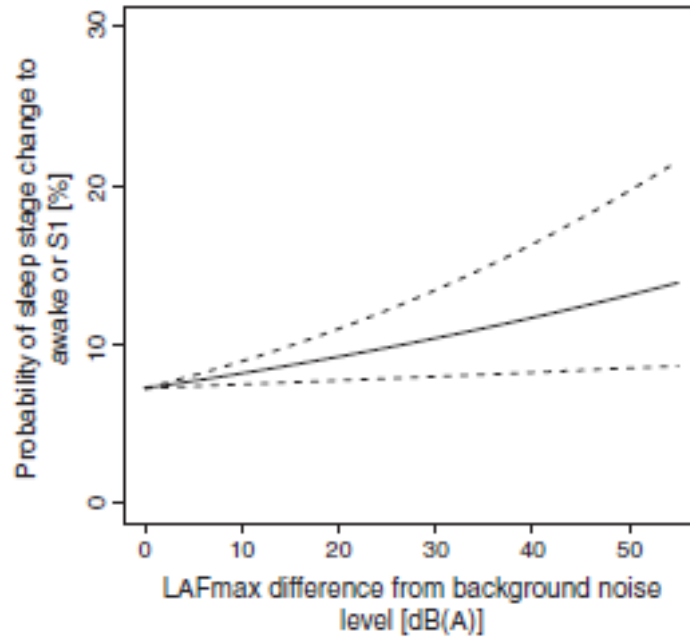


Figure 5 Probability for sleep stage changes to wake and S1 depending on the difference of the maximum sound pressure level at the sleeper's ear from the 1-min background L_{Aeq} for a railway event. Dashed lines indicate 95% confidence interval. Reproduced from [6].

Pennig et al. 2012

In addition to the objective analysis performed in the German field study outlined above [6], subjective response variables were investigated [7]. Subjectively measured sleep quality was not significantly affected by measured nocturnal railway noise. Annoyance was found to increase with the number of trains during the night (see Figure 6). The number of freight trains was found to be associated with self-reported awakening frequency.

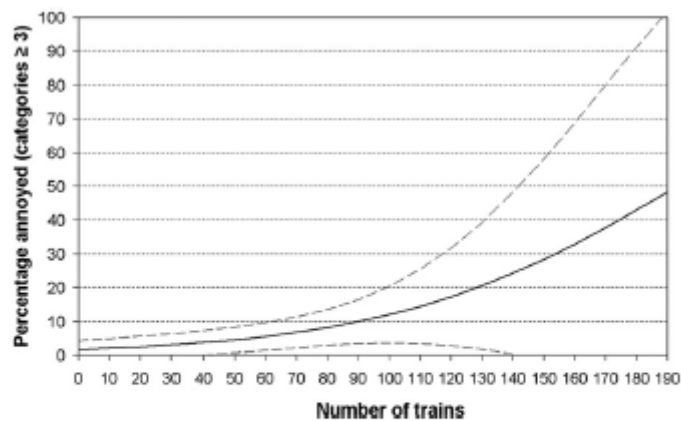


Figure 6 Percentage of annoyed persons (categories ≥ 3 : "moderately" to "very" annoyed) by rail traffic noise in the previous night as a function of the number of trains per night adjusted for subjective adaptation and length of residence. Dashed lines indicate 95% confidence intervals. Reproduced from [7].

Aasvang et al. 2008

A Norwegian field study investigated self-reported sleep disturbance due to railway noise [4]. Questionnaire data was obtained for 1349 people exposed to railway noise in and around Oslo and noise exposure calculated using the Nordic Prediction Model. The number of trains during the night (23-07) ranged from 11 – 136 with freight pass-bys ranging from 3 – 19, the proportion being 4% to 51%. Dose-response relationships for sleep disturbance were obtained, reproduced in Figure 7 and Figure 8. The authors also note that since around half of the study population did not sleep in a bedroom at the most exposed side of the house, the derived exposure-response curves actually underestimate noise-induced sleep disturbance.

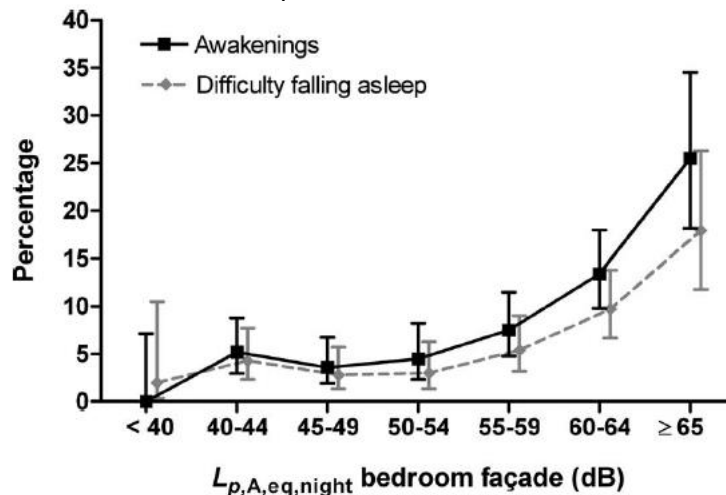


Figure 7 Self-reported sleep disturbances due to railway noise as a function of outdoor $L_{AEq,23-07}$. Error bars indicated 95% confidence intervals. Reproduced from [4].

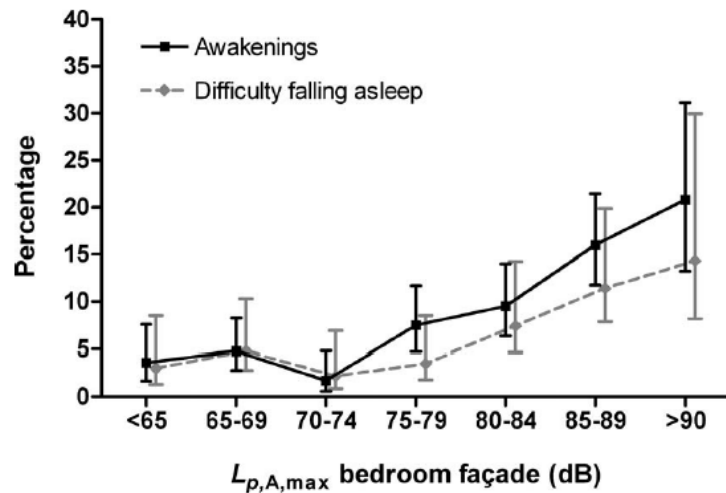


Figure 8 Self-reported sleep disturbances due to railway noise as a function of outdoor L_{AFmax} . Error bars indicated 95% confidence intervals. Reproduced from [4].

Aasvang et al. 2011

A Norwegian study investigated the physiological effects of road and railway traffic noise on sleep in the field [14]. Of the forty persons in the study who had their sleep measured using polysomnography in their own homes, 20 were predominantly exposed to railway noise. Maximum indoor railway noise level was found to correlate significantly with time spent awake after initially falling asleep (wakefulness after sleep onset, WASO, see Figure 9) and time spent in rapid eye movement sleep (REM, see Figure 10).

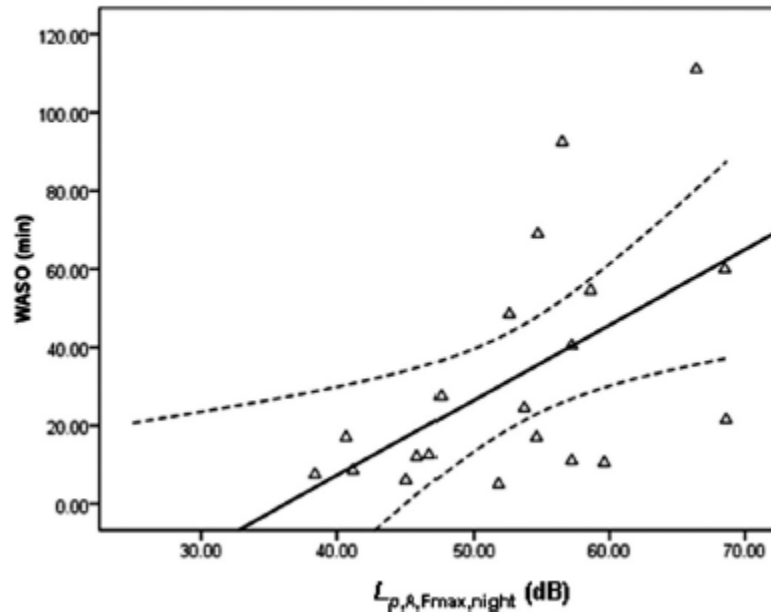


Figure 9 Effect on WASO due to maximum indoor railway traffic noise. Reproduced from [14].

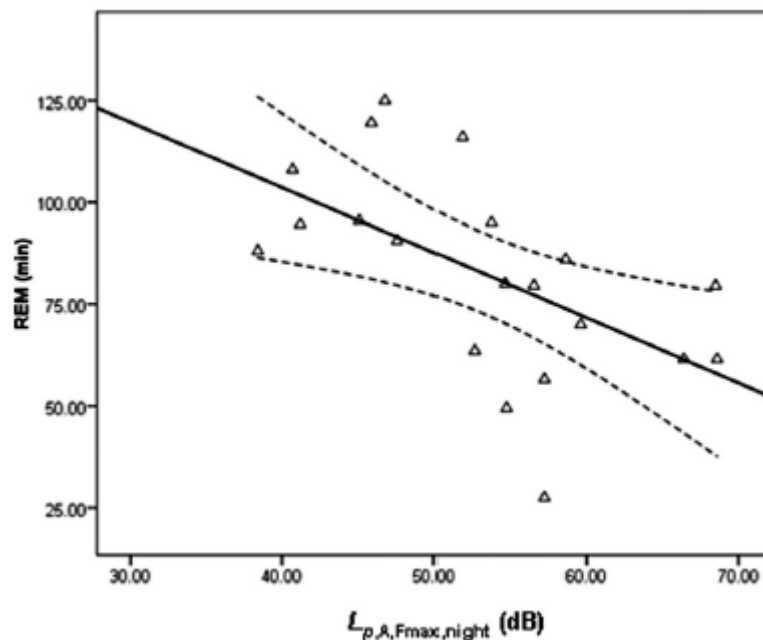


Figure 10 Effect on time in REM sleep due to maximum indoor railway traffic noise. Reproduced from [14].

Lab Studies

In addition to field work, a number of laboratory trials have examined physiological response to railway noise. The following section reproduces a number of key figures from the published literature.

Basner et al. 2011

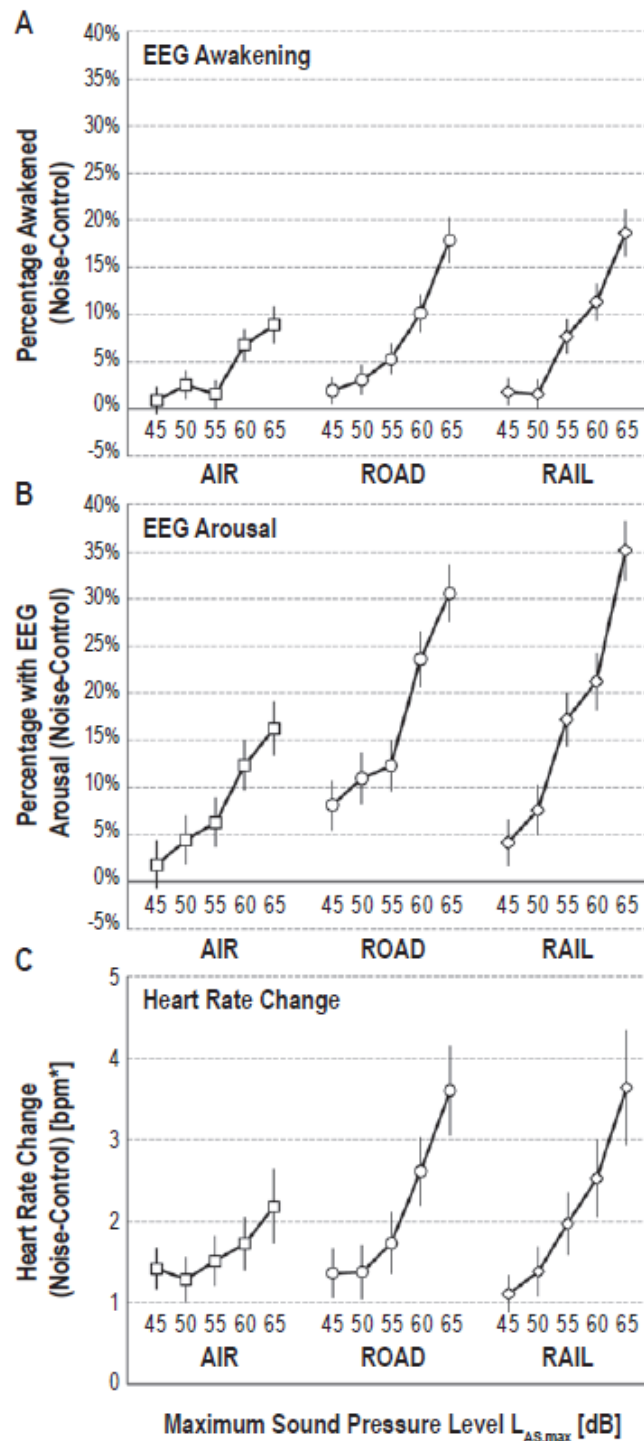


Figure 11 Probability of awakenings (A) and arousals (B) in noise exposure nights in excess of spontaneous probability observed in noise-free control nights. The change in heart rate between periods with and without noise exposure is shown in (C) depending on maximum SPL, bpm = beats per minute. Error bars indicate 95% confidence intervals. Reproduced from [11].

Marks & Griefahn 2005

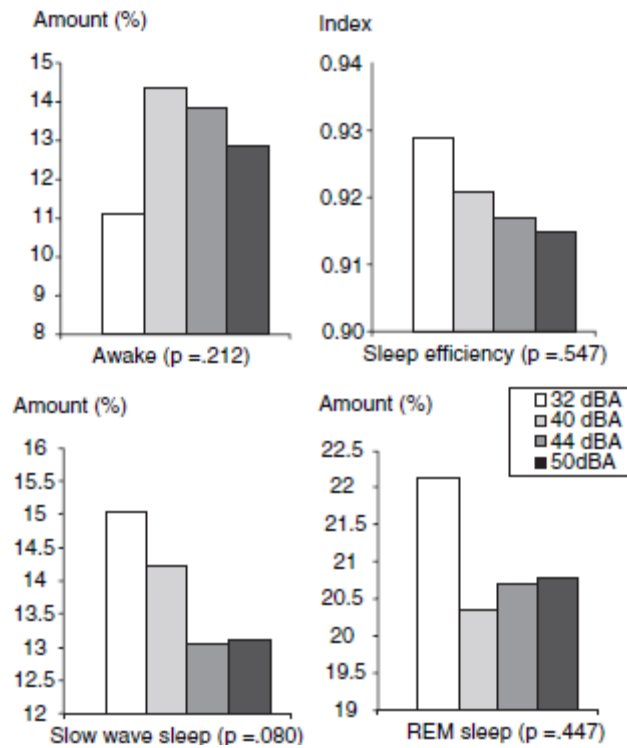


Figure 12 Noise level dependency on sleep parameter. Reproduced from [34]

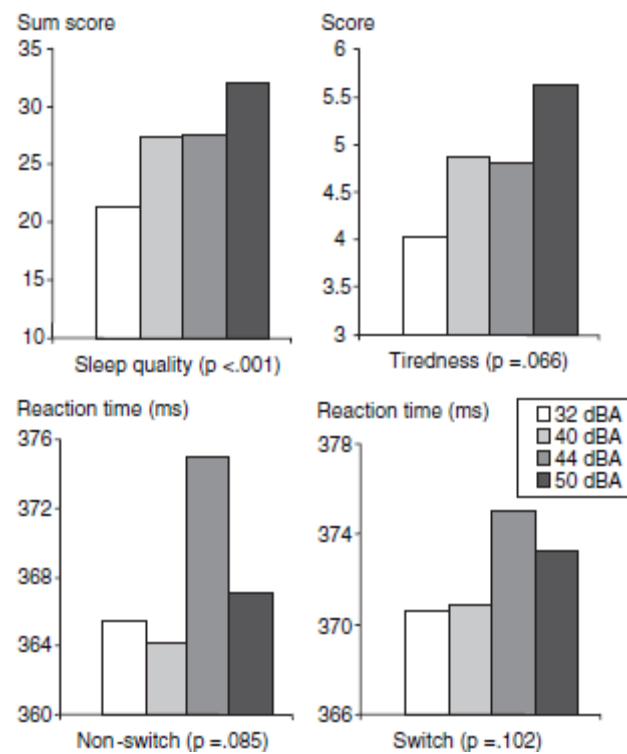


Figure 13 Noise level dependency of subjective sleep assessment and reaction time. Reproduced from [34]

Griefahn et al. 2006

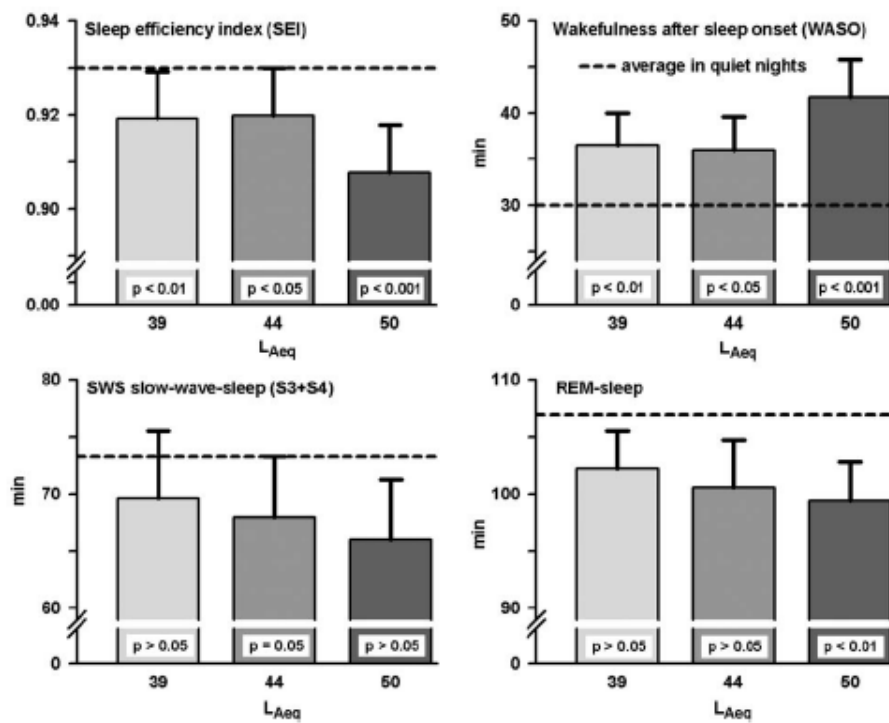


Figure 14 Effects of noise levels on selected physiological parameters. Mean (boxes) and standard errors (bars) during noisy nights as compared to means ascertained during quiet nights (broken line). Twenty-four participants; 19-28 years; Wilcoxon-two-sample test; *p*: levels of significance. Reproduced from [33]

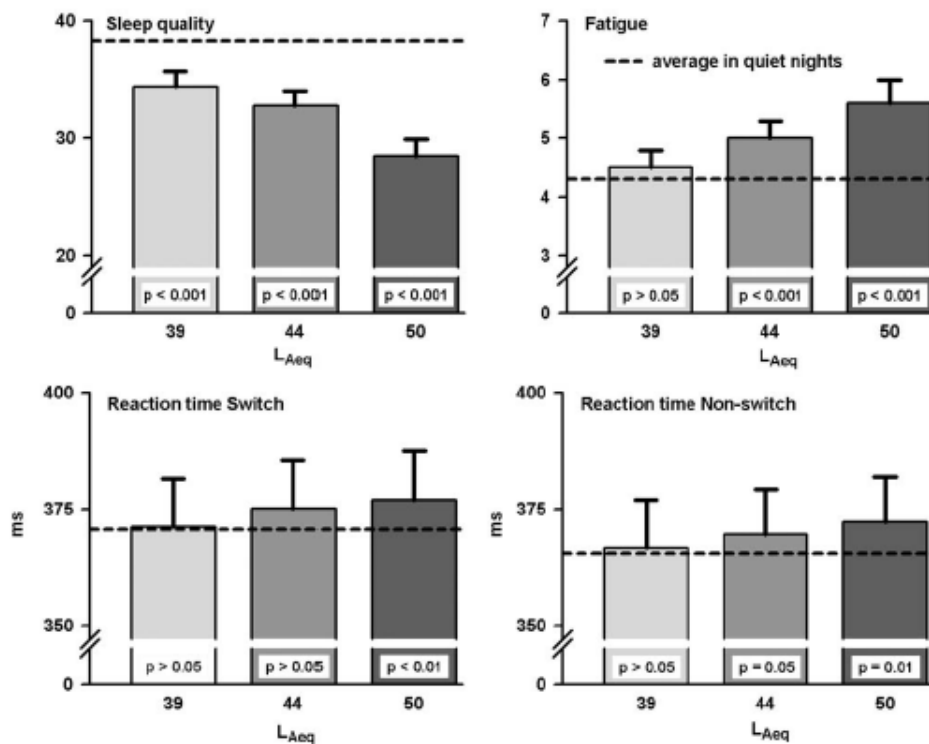


Figure 15 Effects of noise levels on subjective sleep quality, fatigue, and reaction time in the switch test after noisy nights. Means (boxes) and standard errors (bars) during noisy nights as compared to means ascertained after quiet nights (broken line). Twenty-four participants; 19-28 years; Wilcoxon-two-sample test; *p*: levels of significance. Reproduced from [33]

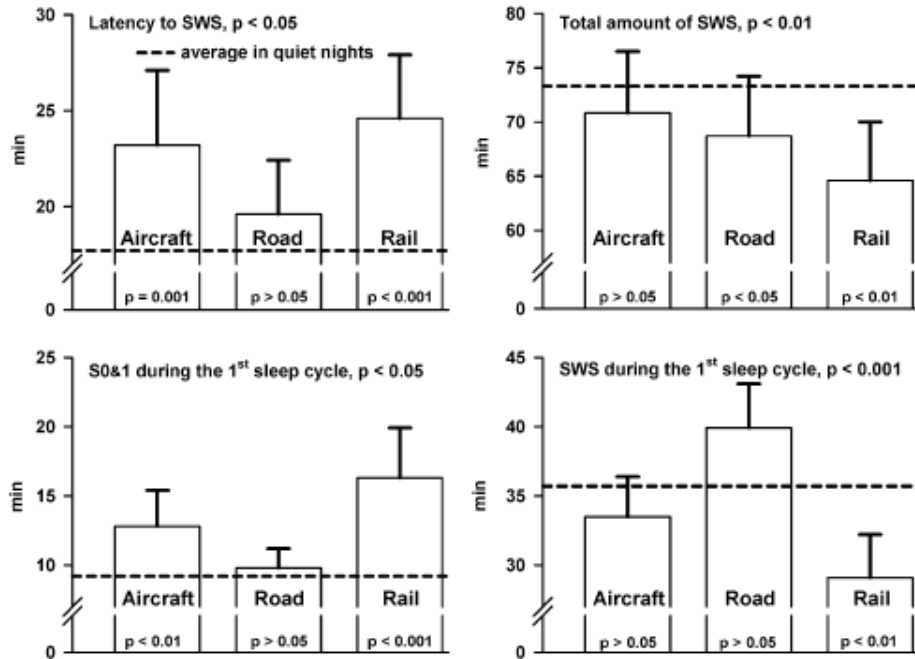


Figure 16 Effects of the type of noise on selected physiological sleep parameters. Means (boxes) and standard errors (bars) during noisy nights as compared to means ascertained after quiet nights (broken line). Twenty-four participants; 19-28 years; Wilcoxon-two-sample test; p : levels of significance. Reproduced from [33]

Tassi et al. 2010

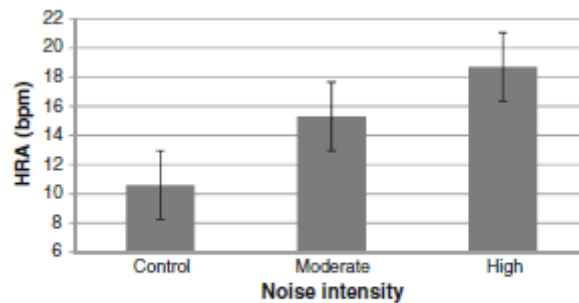


Figure 17 Mean heart rate amplitude (HRA, \pm standard error) during the control, moderate and high noise intensity conditions. Reproduced from [10]