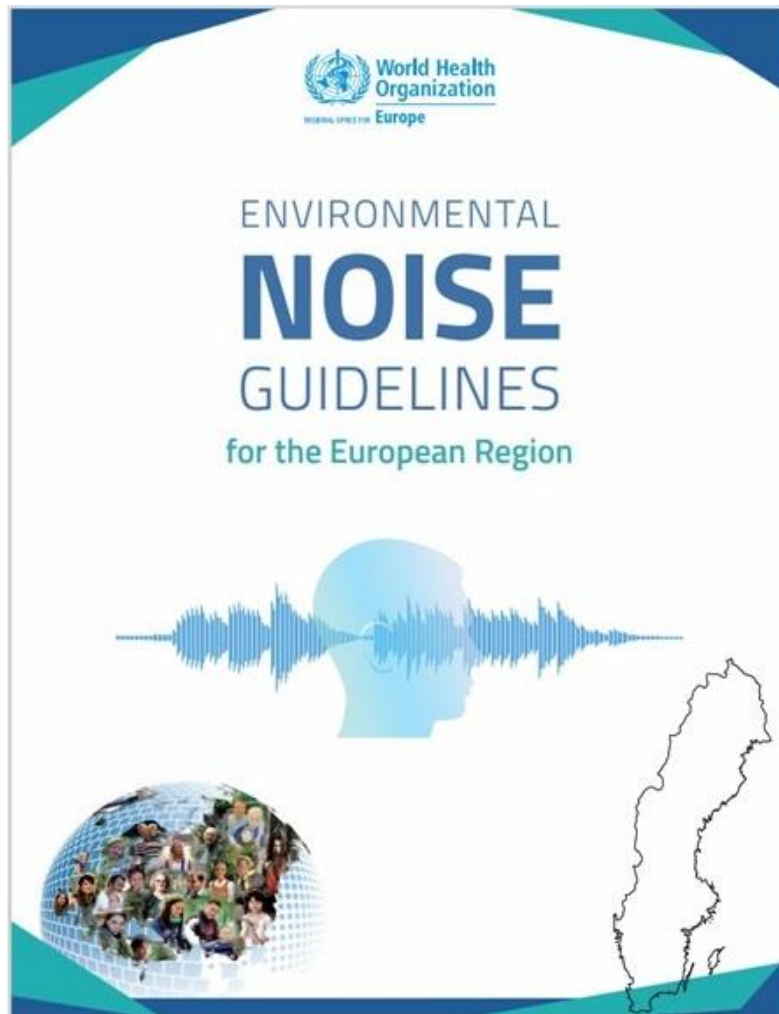


WHO Environmental Noise Guidelines i en svensk kontext

Institutet för Miljömedicin, 2021-10-29



Charlotta Eriksson
Jenny Selander
Lara Stucki
Göran Pershagen



**Karolinska
Institutet**



**Karolinska
Institutet**

Diarienummer: 43438/2020	Ärendenummer: TRV 2020/131648	Uppdragets startdatum: 2020-11-01	Leveransdatum: 2021-10-01
Beställare: Nationella bullersamordningen genom Trafikverket		Utförare: Karolinska Institutet	
Handläggs av avdelning/enhet: Enheten för Miljömedicinsk Epidemiologi		Huvudansvarig: Charlotta Eriksson, Med. Dr.	
Dokumenttyp: Uppdragsrapport			

Förkortningar

BMI	Body Mass Index. Ett mått på kroppsvikt i förhållande till längd, enhet kg/m^2 .
KI	Konfidensintervall. Skattning av den statistiska osäkerheten i ett estimat, ofta baserat på 95 % konfidensgrad.
dB	Decibel. Mått på ljudnivå.
dBA	A-viktad ljudnivå. Mått på ljudnivå, viktad utifrån det mänskliga örats känslighet vid olika frekvenser.
EEG	Elektroencefalogram. En metod för att registrera hjärnbarkens spontana elektriska aktivitet.
EMG	Elektromyografi. En metod för att mäta elektrisk aktivitet i olika muskler.
EOG	Elektrookulografi. En metod för att mäta ögonrörelser.
GRADE	“Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluations”. Ett system för evidensgradering, dvs. en bedömning av styrkan av ett samlat vetenskapligt underlag.
HR	Hazard Ratio/Hazardkvot. Ett mått på sambandet mellan exponering och sjukdom i epidemiologiska kohortstudier.
ICBEN	International Commission on Biological Effects of Noise
IHD	Ischemic Heart Disease. Ischemisk hjärtsjukdom, bl.a. hjärtinfarkt.
ISO	International Organization for Standardization.
$L_{Aeq,24h}$	A-viktad ljudnivå under ett dygn.
L_{den}	A-viktad ljudnivå under ett dygn där bullerhändelser under kvälls- (19:00-23:00) och nattetid (23:00-07:00) viktas upp med 5 respektive 10 dB.
L_{night}	A-viktad ljudnivå nattetid (23:00 to 07:00).
OR	Odds Ratio/Oddskvot. Ett mått på sambandet mellan exponering och sjukdom i en epidemiologisk fall-kontrollstudie.
RR	Relative Risk/Relativ Risk. Ett mått på sambandet mellan exponering och sjukdom i epidemiologiska undersökningar.
$R_{A,tr}$	Reduktionstal mot vägtrafikbuller i stadsmiljö ($R_{A,tr}$ är ett förkortat skrivsätt för summan $R_w + C_{tr}$ enligt SS-EN ISO 717-1).
R_A	Reduktionstal för vägtrafik i högre hastighet (däcksbuller) och persontåg (R_A är ett förkortat skrivsätt för summan $R_w + C$).
SCB	Statistiska Centralbyrån.
WHO	World Health Organization/Världshälsoorganisationen.

Innehållsförteckning

Sammanfattande slutsatser.....	1
Sammanfattning.....	3
Summary	8
Bakgrund och syfte	13
Metod.....	15
Ljudisolering i bostadsbeståndet	18
<i>Beskrivning av det svenska bostadsbeståndet</i>	<i>19</i>
<i>Beräknade medelvärden för bostäders ljudisolering i Sverige</i>	<i>22</i>
<i>Bedömning av ljudisolering i ett urval europeiska länder</i>	<i>26</i>
Trafiksituation.....	28
Vägtrafik i Sverige	28
Spårtrafik i Sverige	29
Jämförelse med övriga Europa.....	33
Analys av WHO:s underlag och nytillkomna studier	42
Allmän störning	42
Sömnstörning och sömnpåverkan	56
Hjärt-kärlsjukdom	66
Övriga sjukdomar	74
Slutsatser	77
Referenser	82

Sammanfattande slutsatser

- Föreliggande genomgång har inte påvisat avgörande skillnader avseende ljudstandard i bostadsbeståndet och trafiksituationen för väg- och spårbuller mellan Sverige och flertalet europeiska länder där de studier genomförts som WHO:s Guidelines baseras på. Underlaget är dock osäkert beroende på brist på relevanta data både i Sverige andra länder. För allmän störning och sömnstörning bygger WHO:s rekommendationer till viss del på studier från länder (bl.a. i Asien och Alpområdet) där det föreligger tveksamheter kring tillämpning i en svensk kontext.
- För allmän störning har en relativt stor andel av studierna genomförts i länder där förutsättningarna kan skilja sig avsevärt åt från svenska förhållanden. Baserat på ett totalt urval om 25 studier, även inkluderande studier från Asien och Alpområdet, beräknas WHO:s ”kritiska effekt” om 10 procent mycket störda av vägtrafikbuller nås vid 53 dB L_{den} . I ett delurval där störningsstudier från Asien och Alperna exkluderats nås 10 procent mycket störda i stället vid 59 dB L_{den} .
- Baserat på data från Miljöhälsoenkät 2015 för Stockholms län nås 10 procent mycket störda av vägtrafikbuller vid 52 dB L_{den} då andelen störda baseras på de två högsta alternativen på en femgradig verbal skala (cut-off vid 60 procent), vilket stämmer väl med WHO:s estimat för det totala urvalet.
- För spårbuller nås WHO:s kritiska effekt om 10 procent mycket störda vid 54 dB L_{den} baserat på ett urval om totalt nio studier. Detta inkluderar dock studier från Asien och Alpområdet. Vid jämförelse med data från Miljöhälsoenkät 2015 för Stockholms län förefaller andelen mycket störda vara betydligt lägre i Sverige.
- Nyttillkomna studier på allmän störning betonar vikten av att ta hänsyn till faktorer som påverkar störningsgraden, bl.a. tillgång till tyst sida, antal bullerhändelser och vibrationer (främst avseende spårbuller).
- För sömnstörning förefaller de exponering-responskurvor som beräknades i WHO:s Guidelines att vara relevanta för Sverige, både avseende uppvaknanden/sömnstadietförändringar mätt med polysomnografi och självrapporterad sömnstörning. Nyttillkomna studier bekräftar fynden gällande självrapporterad sömnstörning samt betonar betydelsen av att sovrummet placeras mot tyst sida för att uppnå en lägre andel sömnstörda.
- Ett flertal epidemiologiska studier har påvisat samband mellan exponering för vägtrafikbuller och ischemisk hjärtsjukdom/hjärtinfarkt. Riskökningen per exponeringsenhet är sammantaget lägre i nyttillkomna studier än i de som redovisas i WHO:s Guidelines. Det kan ha att göra med lägre exponeringsnivåer i nyare studier än i äldre och att sambanden inte är linjära.

- Sedan publiceringen av WHO:s Guidelines har underlaget stärkts rörande sambandet mellan exponering för vägtrafikbuller risken för stroke. Även om antalet publicerade studier är relativt litet förefaller det rimligt att inkludera stroke i riskbedömningar avseende vägtrafikbuller.
- Inget säkert stöd föreligger för samband mellan exponering för spårbuller och risk för ischemisk hjärtsjukdom/hjärtinfarkt eller stroke, varken i underlaget för WHO:s Guidelines eller i nyttillkomna studier. Antalet epidemiologiska studier av hjärt-kärleffekter knutna till exponering för spårbuller är dock litet vilket gör tolkningen osäker.
- Underlaget har stärkts sedan WHO:s Guidelines för samband mellan vägbuller och risken för typ 2 diabetes samt övervikt men det är ändå alltför begränsat för att möjliggöra säkra slutsatser om orsakssamband och riskens storlek. För spårbuller saknas stöd för påverkan på risken för typ 2 diabetes och övervikt men antalet studier är mycket litet.

Sammanfattning

Institutet för Miljömedicin vid Karolinska Institutet har på uppdrag av den nationella bullersamordningen genomfört projektet ”WHO Environmental Noise Guidelines i en svensk kontext”. Uppdraget syftade till att analysera det underlag som ligger till grund för slutsatser och rekommendationer om riktvärden för väg- och spårtrafik i rapporten *WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region 2018* samt till att bedöma resultatens tillämpbarhet utifrån en svensk kontext. För att slutsatserna av föreliggande uppdrag ska baseras på forskning av god vetenskaplig kvalitet har en begränsning gjorts så att granskningen i första hand fokuserar på de hälsoutfall där WHO bedömt evidensgraden som hög eller måttlig. För vägtrafik fokuseras därmed på allmän störning, sömnstörning, ischemisk hjärtsjukdom (IHD), stroke och typ 2 diabetes (T2D), samt för spårtrafik på allmän störning och sömnstörning. I förekommande fall har dokumenterad kritik gentemot WHO:s slutsatser vägts in i bedömningen. Vidare har det även gjorts en genomgång av nyttillkomna studier av relevans för uppdraget, dvs. huvudsakligen studier som publicerats efter 2015. Här inkluderas även studier på metabola markörer, såsom övervikt och fetma, då evidensen kring dessa utfall har ökat markant de senaste åren, till övervägande del grundad på nordiska populationer.

Två centrala faktorer som av uppdragsgivaren identifierats ha avgörande betydelse för hur WHO:s slutsatser ska kunna tolkas i en svensk kontext är ljudstandard i bostadsbeståndet och trafiksituation. Fokus i rapporten ligger därför på att jämföra svenska förhållanden avseende dessa båda faktorer med förutsättningar som rått i de epidemiologiska studier som ligger till grund för WHO:s rekommendationer. Även andra faktorer vägs dock in i den totala bedömningen, såsom studiedesign, populationsurval och exponeringsförhållanden. Som ett underuppdrag till det föreliggande projektet genomfördes en granskning av ljudisoleringen i svenska flerbostadshus samt en jämförelse med ett urval europeiska länder, där majoriteten av de epidemiologiska undersökningar som ligger till grund för WHO:s slutsatser har gjorts. Granskningen har utförts av Christian Simmons (Simmons akustikutveckling AB) och redovisas i sin helhet i en separat rapport (Simmons 2021). Vidare görs även en sammanställning av rådande trafikförhållanden på svenska väg- och järnvägar (statliga) samt jämförelser med övriga Europa avseende både trafiksituation (t.ex. längd på vägar och spår, total trafikintensitet och tung trafik/godstrafik) och andel exponerade i befolkningen. Slutligen görs för allmän störning, sömnstörning, ischemisk hjärtsjukdom och övriga sjukdomar en samlad hälsoriskbedömning baserat på de studier som bedömts relevanta utifrån en svensk kontext. I den presenteras även resultat från nya metaanalyser och andra jämförelser mellan WHO:s underlag och svenska data.

Ljudisolering i bostadsbeståndet

Analysen av ljudisolering i svenska flerbostadshus visade att detaljerade och omfattande inventeringar av ytterväggar, fönster och uteluftsintag saknas. Bedömningen grundas i stället på flera generella jämförelser, typiska byggmetoder för de år husen uppfördes, renoveringsprogram samt inventeringar och åtgärder som Trafikverket och en del kommuner låtit utföra i de mest bullerutsatta husen i Sverige. I genomsnitt skattades skillnaden i ljudnivå ute (frifält)-inne ($\Delta L_{A,tr}$) mot stadstrafikbuller (från vägtrafik i 50 km/h med 90

procent lätta fordon och 10 procent tunga fordon) i svenska flerfamiljshus till 27–28 dB. Bland bullerutsatta flerbostadshus (≥ 55 dB L_{den}) skattades, utifrån exponeringsdata från END-kartläggningen 2017, motsvarande skillnad till 30 dB. Ljudnivåskillnaden för väg- och spårtrafik vid högre hastigheter är vanligen upp till 4 dB högre.

Jämförelsen med ett urval andra europeiska länder visade på motsvarande brister i underlagsdata som för Sverige och det har därför inte gått att säkerställa värden om ljudisolering i europeiska bostadshus som kan användas för en direkt jämförelse med svenska förhållanden. Bedömningen baseras i stället på generella uppgifter om regelverk och policys inom EU, kostnader för åtgärdsprogram, ljudkrav på fasader och tekniska detaljer från olika länder. Den samlade bedömningen är att ingenting i den underliggande dokumentationen tyder på att ljudisoleringen i de studerade europeiska ländernas flerbostadshus skulle vara markant sämre än i de svenska, möjligtvis med undantag för Storbritannien och sydeuropeiska länder med varmare klimat, däribland Portugal. Ljudisolering i utomeuropeiska länder har inte kunnat bedömas inom ramen för det föreliggande uppdraget.

Trafiksituation

Trafiksituationen avseende vägtrafik i Sverige förefaller relativt representativ för Europa som helhet. Sverige är stort i förhållande till många andra EU-länder (femte största sett till yta) och ligger därmed naturligt högt i ranking avseende längd på motorvägar, Europavägar och övriga vägar. Även sett till antal trafikrörelser ligger Sverige förhållandevis högt i rankning, både totalt och för tung trafik. Dock ligger vi i absoluta tal betydligt lägre än de länder som toppar statistiken, däribland Frankrike, Storbritannien, Spanien och Nederländerna. Inte heller vad gäller spårtrafik sticker Sverige ut i förhållande till övriga Europa. Vi ligger relativt högt i ranking vad gäller total spårlängd och godstrafik, men lite lägre för totalt antal tågrörelser. Det bör påpekas att analyserna av trafiksituationen i Sverige jämfört med övriga Europa är översiktliga och ska tolkas med försiktighet.

En försiktig slutsats avseende antal exponerade för vägtrafikbuller, sett till den statistik som rapporterats in till EU, är att Sverige verkar ha något lägre andel i urbana områden som exponeras för höga eller mycket höga ljudnivåer (≥ 65 dB L_{den}) än i andra europeiska länder. Sett till mer måttliga ljudnivåer (55–64 dB L_{den}) ligger vi dock lika eller något över genomsnittet. Även för andel exponerade utanför urbana områden ligger Sverige nära genomsnittet för Europa. För spårtrafikbuller har Sverige i urbana områden en högre andel som exponeras för måttliga ljudnivåer (55–64 dB L_{den}) än genomsnittet i Europa, men relativt likvärdig andel högexponerade (≥ 65 dB L_{den}). Sett till andelen som exponeras utanför urbana områden ligger vi nära genomsnittet för Europa.

Allmän störning

Granskningen av WHO:s underlag avseende allmän störning (andel mycket störda, eng. "Highly Annoyed", %HA) visade att en relativt stor andel av studierna, både på väg- och spårtrafik, har genomförts i länder där det kan förekomma betydande skillnader i både ljudstandard och trafiksituation jämfört med i Sverige. I synnerhet gäller det studier från Asien (Vietnam, Japan och

Kina) och Alpområdet (företrädesvis Österrike). För vägtrafikbuller beräknades WHO:s kritiska effekt om 10 procent mycket störda till 53 dB L_{den} (ca 50 dB $L_{Aeq,24h}$) baserat på det totala urvalet studier (25 st). Baserat på ett delurval om 10 studier, där undersökningar från Asien och Alpområdet exkluderats, beräknades dock motsvarande andel till 59 dB L_{den} (ca 56 dB $L_{Aeq,24h}$). För spårtrafikbuller uppnåddes WHO:s kritiska effekt om 10 procent mycket störda vid ca 54 dB L_{den} (ca 48 dB $L_{Aeq,24h}$) baserat på nio undersökningar. Denna beräkning inkluderade dock studier från Asien (1) och Alpområdet (4) och överskattar sannolikt andelen mycket störda i en population sett utifrån ett svenskt perspektiv.

Kritik som framförts mot WHO:s sammanställning av allmän störning gör gällande att det finns en stor spridning i skattningarna av andelen mycket störda mellan de olika undersökningarna och att det till stor del beror på skillnader i underliggande icke-akustiska faktorer som man inte tagit hänsyn till. En generell slutsats av den föreliggande granskningen är därför att WHO:s skattningar ska ses som ett riktmärke för svenskt vidkommande, men att de bör kompletteras och jämföras med nationella skattningar där hänsyn kan tas till lokala förhållanden. En försvårande omständighet, som också rönt kritik, är att definitionen av andelen mycket störda inte harmoniserats fullt ut och varierar något mellan olika studier. Det vanligaste utfallsmåttet baseras på de tre högsta alternativen på en numerisk störningsskala från 0–10, vilket motsvarar en cut-off på 73 procent. Ett annat ofta använt utfallsmått inkluderar de två högsta kategorierna på en femgradig verbal skala, motsvarande en cut-off vid 60 procent.

Baserat på ett svenskt urval av data från Miljöhälsoenkät 2015 för Stockholms län nås 10 procent mycket störda av vägtrafikbuller vid 52 dB L_{den} då andelen störda baseras på de två högsta alternativen på en femgradig verbal skala (cut-off vid 60 procent), vilket stämmer väl med WHO:s estimat för det totala urvalet. För spårbuller förefaller dock andelen mycket störda vara betydligt lägre i det svenska urvalet än skattat med WHO:s funktion då 10 procent störda nås först vid 61 dB L_{den} .

En handfull nytilkomna studier på trafikbuller och allmän störning har bedömts vara av relevans för uppdraget. Bland annat pekar en undersökning från Malmö dels på vikten av att ta hänsyn till kombinerat buller från både väg- och spårtrafik, dels på att störningsgraden kan minskas avsevärt om det finns tillgång till en bullerskyddad/tyst sida. Vidare visar en studie från Schweiz att man kan förbättra precisionen i beräkningar av andel störda om man utöver den ekvivalenta ljudnivån även tar hänsyn till antal bullerhändelser.

Sömnstörning

I WHO:s sammanställning om trafikbuller och sömn lyfts främst två typer av studier fram. Fältstudier genomförda i studiepersonernas bostäder med kontinuerligt mätt trafikbuller i relation till polysomnografi (dvs. registrering av uppvaknanden och sömnstadietförändringar), och studier gällande självrapporterad sömnstörning inkluderande sömnstörning kopplad till trafikbuller samt generell sömnstörning. Dessa två studietyper visar på tydliga samband mellan väg- och spårtrafikbuller i boendemiljön och sömnstörning.

Dock har en osäkerhet kring hur resultaten från denna sammanställning skall tolkas i en svensk kontext uppkommit då slutsatserna för självrapporterad sömnstörning innehåller studier från länder, t.ex. i Asien, där klimat-, trafik-, och byggnadsförhållanden kan skilja sig markant från svenska förhållanden. En ny sammanvägning genomfördes därför, inkluderande studier som anses återspegla en svensk kontext, däribland studier från Sverige, Finland, Tyskland och Schweiz.

Gällande polysomnografi inkluderades samtliga studier från WHO:s sammanställning då dessa genomförts i Tyskland. WHO:s konklusioner om trafikbuller och uppvaknanden respektive sömnstadieförändringar kan därför sägas gälla även i en svensk kontext. För självrapporterad sömnstörning visade de nya meta-analyserna liknade samband som i WHO:s sammanställning för både väg- och spårbuller. Sammantaget ses för vägtrafikbuller en statistiskt säkerställd överrisk per 10 dB L_{night} både för generell sömnstörning (RR 1,07; 95 % KI 1,01–1,15) och då frågan om sömnstörning kopplades till buller (RR 2,49; 95 % KI 2,08–2,98). Även för spårtrafikbuller sågs en sammantagen överrisk, men den var inte statistiskt säkerställd gällande generell sömnstörning (RR 1,06; 95 % KI 0,97–1,17), utan endast för sömnstörning kopplad till buller (RR 3,42; 95 % KI 2,98–3,93).

Sammantaget ser WHO:s exponering-responskurvor för trafikbuller och sömnstörningar ut att fungera väl i en svensk kontext. Även om studier från andra världsdelar eller södra Europa tas bort från analyserna kvarstår den ökade risken i samtliga mått, trots eventuella skillnader i isolering, byggnadstyp eller trafikmönster. En ny studie som tillkommit efter WHO:s sammanställning visar på vikten av att ha sovrummet mot tyst sida, för att begränsa andelen sömnstörda i bullerutsatta områden.

Hjärt-kärlsjukdom

Ett flertal epidemiologiska studier har påvisat samband mellan exponering för vägtrafikbuller och ischemisk hjärtsjukdom (IHD)/hjärtinfarkt. Tolkningen av orsakssamband stöds av resultat i vissa studier avseende bullerexponering och effekter på blodkärlen som kan utgöra steg i processen bakom utvecklande av IHD/hjärtinfarkt. Både stressreaktioner och sömnstörningar orsakade av buller skulle kunna bidra till sambanden mellan bullerexponering och hjärt-kärlsjukdom. Riskökningen för IHD/hjärtinfarkt per exponeringsenhet är sammantaget lägre i nyttillkomna studier än i de som redovisas i WHO:s Guidelines. Det kan ha att göra med lägre exponeringsnivåer i nyare studier än i äldre och att sambanden inte är linjära, t.ex. har tröskeleffekter antytts i ett par studier. Ännu är dock antalet studier för få där tröskeleffekter studerats systematiskt för att möjliggöra säkra slutsatser.

Sedan publiceringen av WHO:s Guidelines har underlaget stärkts rörande sambandet mellan exponering för vägtrafikbuller risken för stroke, bl.a. av resultat från en omfattande skandinavisk studie. Tolkningen av orsakssamband stöds av fynd rörande vägtrafikbuller och förmaksflimmer som utgör en viktig riskfaktor för stroke. Även om antalet publicerade studier är relativt litet förefaller det rimligt att inkludera stroke i riskbedömningen avseende vägtrafikbuller.

I underlaget för WHO:s Guidelines saknades epidemiologiskt stöd för att exponering för spårtrafikbuller ökar risken för IHD/hjärtinfarkt eller stroke. Fynden i nyttillkomna studier tyder inte heller på sådana samband. En förhållandevis låg befolkningsexponering kan bidra till avsaknaden av samband i studierna. Antalet epidemiologiska studier av hjärt-kärleffekter knutna till exponering för spårtrafikbuller är litet vilket gör tolkningen av underlaget osäker.

Huvuddelen av de epidemiologiska studierna av hjärt-kärleffekter knutna till långtidsexponering för väg- och spårtrafikbuller har genomförts i Nord- och Västeuropa, varav flera i Sverige. Exponeringsbedömningen baserades på modellerade bullernivåer utomhus vid fasaden av deltagarnas bostäder och data saknas om inomhusnivåer samt eventuella bullerdämpande åtgärder i byggnaden eller bostaden. Det saknas hållpunkter för att fasadbullerdämpningen skulle vara sämre i de andra studerade länderna än i Sverige, med undantag för Storbritannien.

Övriga sjukdomar

Diabetes

Evidensen för ett samband mellan vägtrafikbuller och insjuknande i typ 2 diabetes har stärkts sedan WHO:s granskning genomfördes. Åtta studier har bedömts ha relevans i en svensk kontext. Alla dessa visar på samband i ojusterade modeller, vissa dock enbart i ett urval av populationen. Justering för levnadsvanor och luftföroreningar ledde i några av studierna till reducerade estimat, medan andra visade på kvarstående samband. Fler högkvalitativa studier behövs för att kunna dra säkra slutsatser om orsakssamband.

För spårtrafikbuller visade ingen av de tre kohortstudier som granskats inom ramen för detta uppdrag på samband med insjuknande i diabetes. Fortfarande finns dock mycket få studier på området och fortsatt forskning behövs för att bekräfta avsaknaden av samband.

Övervikt

Vad gäller överviktsmarkörer (exempelvis BMI och bukomfång) så har det tillkommit flera studier på vägtrafikbuller sedan WHO:s sammanställning som tyder på samband. Men även om evidensen för ett samband mellan vägtrafikbuller och överviktsmarkörer stärkts något så är underlaget fortfarande begränsat och studierna visar inte något helt konsistent mönster. Fler högkvalitativa longitudinella undersökningar krävs för att kunna dra säkra slutsatser om eventuella orsakssamband.

Endast ett fåtal studier har genomförts på spårtrafikbuller och överviktsmarkörer. Inga tydliga samband kan ses baserat på de totala populationerna. Dock finns vissa indikationer på samband vid högre ljudnivåer och i några specifika undergrupper, vilket motiverar fortsatt forskning.

Summary

On behalf of the national noise coordination group in Sweden (Nationella Bullersamordningen), the Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institutet, has conducted a project entitled “WHO Environmental Noise Guidelines in a Swedish Context”. The assignment aimed at analyzing the scientific evidence forming the basis for the conclusions and recommendations on guidelines for road and railway noise in the report *WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region 2018*, and to assess the applicability of the guidelines in a Swedish context. To ensure that the conclusions of the present report are based on evidence of high scientific quality, a restriction was made so that it primarily focuses on health outcomes where the level of evidence was graded by the WHO as “moderate” or “high”. For road traffic, this means general annoyance, sleep disturbances, ischemic heart disease (IHD), stroke and type 2 diabetes (T2D), and for railway general annoyance and sleep disturbances. Potential critique against the WHO conclusions has also been evaluated. Furthermore, an evaluation has been made of more recent publications which may be of relevance for the assignment, i.e. mainly studies published after 2015. Since the evidence on metabolic markers, such as overweight and obesity, has been strengthened in recent years, particularly based on Nordic populations, these outcomes have also been included in the evaluation.

Two key aspects identified as essential for the interpretation of the WHO recommendations in a Swedish context are sound insulation of buildings and the traffic situation. Thus, one focus of this report is a comparison, regarding both factors, between conditions in Sweden and in the epidemiological investigations underlying WHO’s conclusions. However, other aspects have also been considered, such as study design, population samples and exposure conditions. In a separate assignment for the present report, an assessment was made of the sound insulation properties of Swedish apartment buildings, as well as a comparison with a selected group of European countries in which most of the epidemiological investigations underlying WHO’s recommendations have been conducted. The assignment was led by Christian Simmons (Simmons akustikutveckling AB) and is presented in full in a separate report (Simmons 2021). Furthermore, an assessment was made of the prevailing traffic situation on Swedish roads and railways (state owned), as well as a comparison with the rest of Europe regarding both traffic situation (e.g. length of roads and railways, total traffic volume and amount of heavy traffic/freight trains) and noise exposure in the population. Finally, for general annoyance, sleep disturbance, ischemic heart disease and other diseases, an overall health risk assessment was made based on studies evaluated as relevant in a Swedish context. This part also includes some new results based on up-dated meta-analyses or other comparisons of WHO and Swedish data.

Sound insulation in buildings

The assessment of sound insulation in Swedish apartment buildings showed that detailed and extensive inventories of façades, windows and fresh air valves are lacking. The review is therefore based on multiple general comparisons, typical construction methods during different decades, renovation programs, and inventories or action programs conducted by the Swedish Transport Administration or the municipalities in some of the most exposed buildings. On

average, the difference in sound level outdoors (free field)-indoors ($\Delta L_{A,tr}$) for urban traffic (for road traffic with a speed of 50 km/h and with 90 percent light vehicles and 10 percent heavy vehicles) in Swedish apartment buildings was estimated to 27–28 dB. For noise exposed buildings (≥ 55 dB L_{den}), the corresponding difference was estimated to 30 dB, based on exposure data from the END noise mapping in 2017. For both road and railway traffic the sound level difference is generally about 4 dB higher at higher speeds.

The comparison with a selection of other European countries showed a similar lack of data as in Sweden and it has therefore not been possible to establish values of sound insulation in European apartment buildings which could be used for a direct evaluation against Swedish standards. Instead, the assessment is based on general information on policy and regulation of noise within the EU, costs for action programs, façade sound insulation criteria, and technical details from single countries. The overall conclusion is that there is no clear evidence that the sound insulation of European buildings should be markedly worse than in Sweden, possibly with the exception of Great Britain and some southern European countries with a warmer climate, e.g. Portugal.

Traffic situation

The traffic situation on Swedish roads appears relatively representative for Europe as a whole. Sweden is a large country in comparison to many other European countries (fifth largest in terms of surface) and is therefore highly ranked concerning overall road length. This holds true also regarding traffic volume, both for the total volume and for the amount of heavy traffic. However, in absolute numbers, we are far behind the countries which top the statistics, e.g. France, Great Britain, Spain and the Netherlands. The situation for railways is similar, with Sweden being relatively representative for Europe as a whole. We end up rather high in rank when it comes to total length of railways and for amount of freight train movements, but lower for the total amount of train movements. It should be noted that the analysis of differences in traffic situation between Sweden and Europe in general is crude and should be interpreted with caution.

One conclusion concerning the number of people exposed to road traffic noise, based on data reported to the EU, is that the percentage of highly exposed (≥ 65 dB L_{den}) in urban areas of Sweden is somewhat lower than in Europe in general. However, for more moderate sound levels (55–64 dB L_{den}), we are close to the average or slightly above. Sweden is also close to the European average concerning the percentage of people exposed to road traffic outside urban areas. For railway noise, Sweden has a higher proportion of people exposed to moderate sound levels (55–64 dB L_{den}) than the average in Europe, but a relatively similar proportion of highly exposed (≥ 65 dB L_{den}). Outside urban areas, the proportion of exposed is similar to the European average.

Annoyance

The assessment of the evidence underlying WHO's conclusions on annoyance (percentage highly annoyed, %HA) showed that a relatively large number of the studies, both on road traffic and railway noise, have been performed in countries where there may be significant differences in noise insulation as well as in the traffic situation, compared to Sweden. Particularly, this concerns studies from

Asia (Vietnam, Japan and Kina) and the Alpine region (predominantly Austria). For road traffic, the critical effect of 10 percent highly annoyed (as defined by the WHO), was estimated at 53 dB L_{den} (appr. 50 dB $L_{Aeq,24h}$) based on the full sample of 25 investigations. However, in a subsample of 10 studies, excluding studies from Asia and the Alpine region, the corresponding estimate was 59 dB L_{den} (approx. 56 dB $L_{Aeq,24h}$). For railway noise, the critical effect of 10 percent HA was reached at approximately 54 dB L_{den} (ca 48 dB $L_{Aeq,24h}$), based on a total of nine investigations. However, this included studies from Asia (1) and the Alpine region (4) and thus most likely overestimates the percentage of highly annoyed in the population seen from a Swedish perspective.

Critique that has been expressed against the WHO review on annoyance claims that there is a substantial spread in the estimates of %HA between the studies, and that this can be explained by underlying differences in non-acoustic factors which have not been considered. A general conclusion that can be drawn from the present investigation is therefore that the estimates made by the WHO shall be seen as a benchmark for Swedish conditions, but that they need to be complemented by national assessments where local conditions can be considered. Another aspect which also received critique, is that the definition of %HA has not been completely harmonized and varies somewhat between the studies. The most common definition is based on the three highest categories on a scale from 0-10, which corresponds to a cut-off at 73 percent. An alternative definition includes the two highest categories on a five-grade annoyance scale, corresponding to a cut-off at 60 percent.

Based on data from the Swedish National Environmental Health Survey 2015 in Stockholm County, it was estimated that 10 percent highly annoyed by road traffic noise was reached at 52 dB L_{den} using the two highest categories on a five-grade verbal scale to define %HA (cut-off at 60 percent), which corresponds well with the WHO estimate. For railway noise, however, it appears as if the percentage highly annoyed is markedly lower in the Swedish sample compared to the WHO estimate, with 10 %HA reached at 61 dB L_{den} .

A handful of new studies of relevance from a Swedish perspective have been published since the WHO review. For instance, one study from Malmö pointed both to the importance of taking noise from multiple sources into account, and to the benefits of access to a quiet side for reducing noise annoyance. Furthermore, an investigation from Switzerland has shown that the assessments of the percentage of annoyed can be improved by, in addition to the equivalent noise level, also including the number of noise events.

Sleep disturbance

In the WHO review on traffic noise and sleep disturbance, two different types of studies have been assessed. First, there are field investigations performed in the homes of the study participants with continuous measurements of traffic noise indoors in relation to polysomnography (i.e. registration of awakenings and sleep stage changes), and second, studies on self-reported sleep disturbances, including both sleep disturbance in relation to traffic noise and sleep disturbance in general. Both study types indicate clear exposure-response associations between residential exposure to road and rail noise, and sleep disturbances. However, there are uncertainties to which degree the results can be interpreted

in a Swedish context since the conclusions on self-reported sleep disturbance are partly based on studies from areas, e.g. Asia, where there may be significant differences in climate, traffic situation and sound insulation of buildings compared to Sweden. Therefore, a new assessment was made, including only studies relevant in a Swedish context, i.e. from Sweden, Finland, Germany and Switzerland.

For polysomnography, all studies included in the WHO review were conducted in Germany and thus relevant from a Swedish perspective. The conclusions drawn by the WHO on traffic noise and awakenings as well as on sleep stage changes can thus be considered applicable also in Sweden. Concerning self-reported sleep disturbance, the new meta-analyses indicated similar associations as estimated by the WHO, both for road and rail noise. Overall, there is a statistically significant increased risk of sleep disturbance per 10 dB L_{night} increase in road noise, both for general sleep disturbance (RR 1.07; 95 % CI 1.01–1.15) and for sleep disturbance related to noise (RR 2.49; 95 % CI 2.08–2.98). Rail noise was also associated with an increased risk of sleep disturbance, but not statistically significant for general sleep disturbance (RR 1.06; 95 % CI 0.97–1.17), only when the sleep question was related to noise (RR 3.42; 95 % CI 2.98–3.93).

Overall, the exposure-response curves for traffic noise and sleep disturbance in the WHO review can be considered valid in a Swedish context. The associations remained even after exclusion of studies from other continents and southern Europe, despite potential differences in sound insulation of buildings, building types and/or traffic patterns. One recent publication, published after the WHO review, highlights the importance of locating the bedroom towards a quiet side to reduce sleep disturbance in noise exposed populations.

Cardiovascular disease

Numerous epidemiological studies have demonstrated associations between road traffic noise and ischemic heart disease (IHD)/myocardial infarction. The interpretation of the association as causal is supported by results from studies on noise exposure and effects on vascular function, which may be important in the etiology of IHD/myocardial infarction. Both stress reactions and sleep disturbances caused by noise could contribute to the associations between noise exposure and cardiovascular disease. Overall, the risk increase for IHD/myocardial infarction per unit of exposure is lower in more recent investigations than what was presented in the WHO Guidelines. Potentially, this could be due to lower levels of exposure in the newer studies compared to the older ones and that the associations are not linear, for instance, threshold effects have been suggested in some studies. However, too few studies investigating threshold effects in a systematic way are available to allow any definite conclusions.

Since the publication of the WHO Guidelines, the evidence on road traffic noise and stroke has been strengthened, for instance by results from a large Scandinavian investigation. The casual interpretation is supported by evidence on road traffic noise and atrial fibrillation, which is an important risk factor for stroke. Although the number of published studies is relatively low, it seems reasonable to include stroke in health risk assessments of road traffic noise.

The WHO Guidelines lacked epidemiological evidence for an association between railway noise and IHD/myocardial infarction as well as stroke. Findings from more recent publications do not indicate any associations either. A relatively low exposure to noise in the investigated study populations may be a contributing factor to the lack of associations. Overall, the limited number of studies on cardiovascular effects of railway noise make risk assessments uncertain.

Most epidemiological studies on cardiovascular effects of long-term exposure to road traffic and railway noise have been performed in northern and western Europe, of which several in Sweden. The exposure assessment was based on modelled noise levels outdoors at the façade of the participants' buildings and information is lacking on indoor noise as well as on noise insulation measures in the homes. However, there is no clear evidence that the façade insulation in the other investigated countries should be markedly worse than in Sweden, with the exception of Great Britain.

Other diseases

Diabetes

The evidence on road traffic noise and incidence of type 2 diabetes has strengthened since the WHO review was published. In total, eight studies have been assessed as relevant in a Swedish context. All of these indicate associations in unadjusted models, however, some only in subsamples of the population. Adjustments for lifestyle factors and air pollution attenuated the associations in some of the studies, while in others the associations remained. More high-quality research is needed to draw firm conclusions on causality.

For railway noise, none of the three cohort studies which were assessed indicated an association with diabetes. However, there are only few studies available, and more evidence is needed to confirm the lack of association.

Obesity markers

For obesity markers (e.g. BMI and waist circumference), several new publications have emerged since the WHO review which point to an association with road traffic noise. However, although the evidence has increased, it is still limited and lack consistent patterns. Additional research of high quality is needed to be able to infer causality.

Very few studies are available on railway noise and markers of obesity. No clear associations have been found based on the total populations in the studies. However, there are indications of associations in the higher exposure range as well as in certain subgroups which motivate continuous research in the area.

Bakgrund och syfte

Institutet för Miljömedicin vid Karolinska Institutet har på uppdrag av den nationella bullersamordningen genomfört projektet ”WHO Environmental Noise Guidelines i en svensk kontext”. Uppdraget som löpt under perioden november 2020 till oktober 2021 finns beskrivet i dokumentet ”Projektanbud_WHO Environmental Noise Guidelines i en svensk kontext_201116”. I korthet syftade uppdraget till att analysera det underlag som ligger till grund för slutsatser och rekommendationer om riktvärden för väg- och spårtrafik i rapporten WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region 2018 och göra en bedömning av resultatens tillämpbarhet utifrån en svensk kontext. Uppdraget har avgränsats till att inkludera enbart buller från väg- och spårtrafik, ej övriga källor som bedömts av WHO (flygtrafik, vindkraft och buller från personburen lyssningsutrustning).

I uppdragsbeskrivningen preciseras att underlag om effektsamband ska analyseras med avseende på:

- Allmän störning
- Sömnstörning och sömnpåverkan
- Risk för hjärt- och kärlsjukdom, andra sjukdomar och hälsoeffekter.

Vidare specificeras att uppdraget bör besvara nedanstående frågeställningar med fokus på svenska trafikförhållanden, bostäder och befolkning:

- Vad i WHO:s underlag är framtaget i Sverige/Norden?
- Vad i WHO:s underlag och slutsatser är relevant för Sverige? Finns det delar som är mindre relevanta för Sverige?
- Hur relevant eller anpassningsbart är underlaget för svenska bostäder och bostäder som anpassats för hög bullerexponering utomhus genom byggnadstekniska lösningar?
- Hur relevant eller anpassningsbart är underlaget för olika trafiksituationer och de trafiksituationer som vanligen orsakar problem med trafikbuller i Sverige?
- Finns det nyare studier relevanta för Sverige som presenterats efter 2015?
- Har det i forskningsartiklar eller i diskussionsforum kopplat till forskningssammanhang framkommit kritik mot underlag och slutsatser i WHO-rapporten som kan vara relevanta för svenska förhållanden?

Uppdraget har genomförts i två steg:

1. En förstudie (rapporterad 31 januari 2021) som syftade till att sammanställa de befintliga forskningsstudier som ligger till grund för WHO:s slutsatser och rekommendationer om riktvärden för väg- och spårtrafik samt att söka fram nytillkomna studier av relevans för uppdraget. Förstudien syftade även till att samla in material och klargöra ingående förutsättningar vad gäller två centrala aspekter för bedömning av tillämpbarheten av WHO:s guidelines i en svensk kontext, nämligen ljudstandard i bostadsbeståndet och trafiksituation.
2. En huvudstudie som utifrån sammanställningen av forskningsstudier och insamlat material i steg 1 granskar det vetenskapliga underlaget om väg- respektive spårtrafikbuller och ovannämnda hälsoutfall utifrån en svensk

kontext avseende de frågeställningar som beskrivits i uppdragsförfrågan. Det görs även en sammanfattande hälsoriskbedömning utifrån de studier som bedömts ha relevans för svenskt vidkommande där även relevanta nytillkomna studier (efter 2015) inkluderas.

I föreliggande rapport summeras resultat både från förstudien (steg 1) och från huvudstudien (steg 2).

Metod

I syfte att avgöra hur relevant WHO:s slutsatser och rekommendationer om riktvärden för väg- och spårtrafikbuller är i en svensk kontext görs jämförelser mellan svenska förhållanden och de förutsättningar som rått i de epidemiologiska studier som ligger till grund för WHO:s rekommendationer. Två centrala faktorer som av uppdragsgivaren identifierats ha avgörande betydelse för hur WHO:s slutsatser ska kunna tolkas i en svensk kontext är ljudstandard i bostadsbeståndet och trafiksituation. I ett första steg sammanställs och granskas därför svenska förhållanden avseende dessa båda faktorer. I nästa steg görs analyser av internationella förhållanden, företräddelsevis med fokus på europeiska länder där majoriteten av de hälsostudier som ligger till grund för WHO:s slutsatser har genomförts. Bedömningen av ljudstandard i bostadsbeståndet har genomförts av Christian Simmons (Simmons akustikutveckling AB) som ett underuppdrag till det föreliggande uppdraget och redovisas i sin helhet i rapporten "Ljudisolering i ytterväggar – Jämförelse mellan svenska och internationella flerbostadshus" (Simmons 2021). Underlag för bedömning av trafiksituationen på svenska vägar och järnvägar har inhämtats från Trafikverket vad gäller svenska förhållanden och från Eurostat, EU:s officiella statistikmyndighet, vad gäller trafikdata för Europa. Underlaget har sammanställts och tolkats av Institutet för Miljömedicin, Karolinska Institutet.

Vidare görs en granskning av de hälsostudier som ligger till grund för WHO:s rekommendationer om riktvärden för väg- och spårtrafik. För att slutsatserna av föreliggande uppdrag ska baseras på forskning av god vetenskaplig kvalitet har det gjorts en begränsning så att granskningen i första hand inkluderar de hälsoutfall där WHO bedömt evidensgraden som hög ("High") eller måttlig ("Moderate"). För varje hälsoutfall har WHO bedömt kvaliteten på det vetenskapliga underlaget, dvs. evidensen, utifrån ett klassificeringssystem kallat GRADE (Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluations) (Morgan m.fl. 2016). Detta system består av fyra klasser: "High", "Moderate", "Low" och "Very low". I korthet kan man säga att ett starkt vetenskapligt underlag (GRADE "High") är så stabilt att det är liten risk för att ny forskning kommer att komma fram till nya slutsatser. Ett måttligt underlag ("Moderate") innebär att ny forskning troligtvis kommer att kunna förändra slutsatserna. Ett begränsat eller otillräckligt vetenskapligt underlag ("Low" och "Very Low") innebär att risken är hög för att nya studier kan förändra slutsatsen och att mer forskning behövs. Eftersom GRADE-systemet utvecklats för att bl a bedöma underlag baserat på randomiserade kliniska prövningar, vilka saknas då det gäller hälsorisker knutna till långtidsexponering för trafikbuller som uteslutande baseras på observationella epidemiologiska studier, användes en modifierad version av GRADE i WHO:s evidensbedömning.

I enlighet med detta fokuseras för vägtrafik på:

- Allmän störning (andel mycket störda)
- Sömnstörning (andel mycket sömnstörda samt uppvaknanden/sömnstadieförändringar)
- Ischemisk hjärtsjukdom (incidens och mortalitet)
- Stroke (incidens och mortalitet)
- Typ 2 diabetes (incidens)

Och för spårtrafik på:

- Allmän störning (andel mycket störda)
- Sömnstörning (andel mycket sömnstörda samt uppvaknanden/sömnstadieförändringar).

Som grund för WHO:s slutsatser finns tre centrala kunskapssammanställningar där det gjorts metaanalyser baserat på enskilda forskningsstudier inom respektive hälsoområde. Dessa är:

- 1) Allmän störning – Guski R m.fl. 2017,
- 2) Sömnstörning – Basner och McGuire, 2018 samt
- 3) Hjärtkärlsjukdom och metabol påverkan – van Kempen m.fl. 2017 (RIVM-rapport), van Kempen m.fl. 2018 (vetenskaplig publikation).

Kunskapssammanställningarna väger samman resultat från ett större antal enskilda forskningsstudier inom respektive område. I syfte att avgöra om slutsatserna i dessa kunskapssammanställningar är relevanta i en svensk kontext har information inhämtats från de enskilda forskningsstudierna. Vilken information som har extraherats varierar något beroende på utfallet men omfattar bland annat var studien genomförts (land och stad/område), studietyp (tvärsnitt, kohort, fall-kontroll osv), information om studiepopulationen (t.ex. kön, ålder, och rekryteringstid), samt uppgifter om exponeringen (t.ex. andel exponerade, variationsvidd eller medelxponering). Det görs även en översiktlig bedömning av om bostadsbeståndets ljudstandard och rådande trafiksituation är jämförbar med svenska förhållanden eller ej. Där det inte har varit möjligt att hitta information direkt i den vetenskapliga publikationen har kompletteringar gjorts utifrån andra källor (t.ex. C. Simmons rapport och insamlad trafikinformation). Analysen av forskningsstudierna har sammanställts i Bilaga 1 (Analys av forskningsstudier.xls). Resultaten från granskningen presenteras och tolkas under respektive hälsoområde i avsnittet “Analys av WHO:s underlag och nytillkomna studier” nedan.

Utöver granskningen av WHO:s underlag inkluderas även en sökning och analys av nyare forskningsstudier som tillkommit sedan 2015, samt av några svenska undersökningar som ej inkluderats i WHO:s granskning men som bedömts ha relevans för uppdraget. Utöver ovan nämnda utfall inkluderas även övervikt bland nytillkomna studier, detta då flera studier av relevans för svenskt vidkommande har publicerats efter WHO:s granskning. Dessa nytillkomna studier har identifierats genom sökning i den medicinska databasen PubMed utifrån utfallsspecifika söktermer. Vilka urvalskriterier som använts preciseras under respektive utfall i avsnittet “Analys av WHO:s underlag och nytillkomna studier” nedan. De nytillkomna studier som bedömts ha relevans för uppdraget redovisas enligt samma struktur som för WHO-underlaget i Bilaga 1.

För varje hälsoområde gjordes även en sökning efter och analys av dokumenterad kritik mot WHO:s rekommendationer och de studier som ligger till grund för bedömningen. Detta med syfte att bedöma om kritiken kan anses befogad och för att beskriva eventuella implikationer för tolkningen av riktvärdena för svenskt vidkommande. Relevant kritik hittades dock enbart för allmän störning.

Som avslutning görs en sammanfattande hälsoriskbedömning baserat på de studier som genom uppdraget bedömts ha relevans för svenskt vidkommande. Nya metaanalyser eller andra sammanvägningar och jämförelser mellan svenska data och WHO:s underlag presenteras för allmän störning, självrapporterad sömnstörning och ischemisk hjärtsjukdom.

Ljudisolering i bostadsbeståndet

I följande avsnitt sammanfattas resultaten från det underuppdrag som genomförts av Christian Simmons, Simmons akustik & utveckling AB, och som syftade till att samla in uppgifter, göra beräkningar och bedöma översiktligt vilken ljudisolering svenska bostadshus kan förväntas ha mot trafikbuller. I uppdraget låg också att jämföra de svenska ljudisoleringsvärdena med typiska värden i några länder där det genomförts epidemiologiska undersökningar om väg- respektive spårtrafikbuller och hälsa som ligger till grund för WHO:s rekommendationer om riktvärden för väg- och spårtrafikbuller. Resultaten i sin helhet presenteras i rapporten ”Ljudisolering i ytterväggar – Jämförelse mellan svenska och internationella flerbostadshus” (Simmons 2021).

Då detaljerade och omfattande inventeringar av ytterväggar, fönster och uteluftsintag i bostadshus nära större vägar och järnvägar saknas grundas bedömningen av ljudstandard i det svenska bostadsbeståndet i stället på flera generella jämförelser, typiska byggmetoder för de år husen uppfördes, renoveringsprogram samt inventeringar och åtgärder som Trafikverket och en del kommuner låtit utföra i de mest bullerutsatta husen i Sverige. En avgränsning till flerbostadshus har gjorts, främst motiverat av att flera undersökningar har visat att boende i flerbostadshus störs av trafikbuller i större utsträckning än boende i småhus samt att småhus har en större variation i fasadkonstruktioner än flerbostadshusen vilket försvårar en samlad bedömning av beståndet.

I korthet har uppdraget omfattat följande moment:

- En första bedömning av ljudisolering i det svenska bostadsbeståndet baseras på ett urval av huskonstruktioner som kan antas vara typiska för olika byggnadsepoker och publicerade ljudisoleringsvärden för dessa konstruktioner.
- Därefter justeras bedömningen av ljudisolering med hänsyn till allmänt underhåll och genomförda renoveringar i stora delar av bostadsbeståndet och tre olika ”*bebyggelseviktade medelvärden*” för Sveriges flerbostadshus skattas med hjälp av statistik över fördelningen av byggnadsår hämtad från undersökningarna BETSI, Miljöhälsoenkät 2015 samt Statistiska Centralbyrån (SCB).
- I nästa steg görs ett antagande att de mest exponerade bostäderna i landet har fått förbättringsåtgärder som medför att bostäderna klarar vissa inomhusnivåer, även i exponerade lägen. Antagandet baseras på information om de åtgärder som genomförts av Trafikverket och landets kommuner samt på upplysningar från några stora fönstertillverkare som bidragit med upplysningar om hur stor andel av deras leveranser som utgörs av bullerdämpande fönster.
- Två ”*exponeringsviktade medelvärden*” för bullerutsatta flerbostadshus beräknas där förväntad ljudisolering uppskattats utifrån hur exponerade husen är och hur stor andel av befolkningen som bor i dessa hus med hjälp av underlag över antal exponerade enligt END-kartläggningen från Trafikverket och Naturvårdsverket.
- De beräknade medelvärdena för ljudnivåskillnader ute-inne vid stadstrafikbuller (från vägtrafik i 50 km/h med 90 procent lätta fordon och 10 procent tunga fordon) i landets flerbostadshus jämförs med några

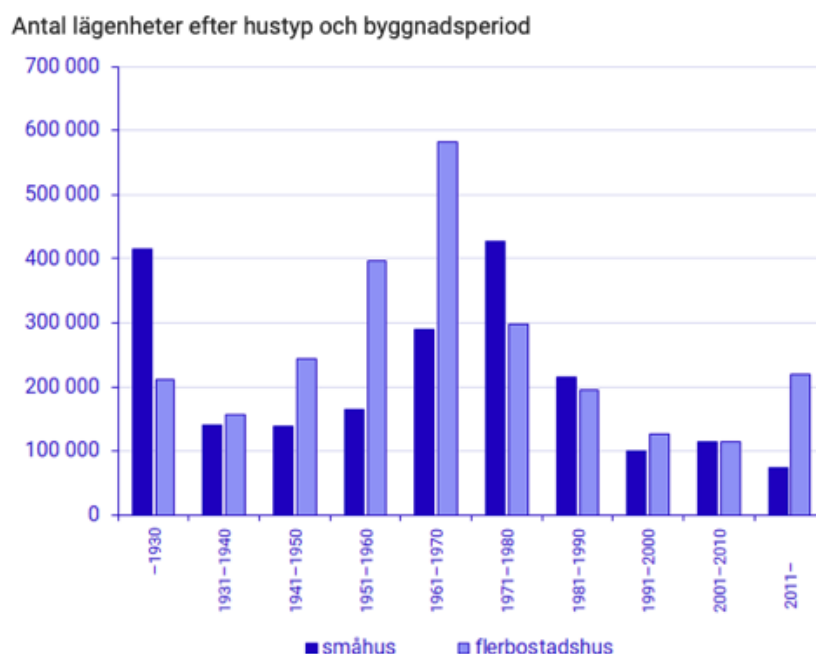
tidigare studier av fasaders ljudisolering och specifika fältmätningar före och efter genomförda åtgärder, exempelvis i hus nära Ådalsbanan som rapporterats av Trafikverket.

- Slutligen görs en bedömning av och jämförelse med ljudstandard i ett urval, företrädesvis europeiska, länder där det genomförts epidemiologiska undersökningar om väg- respektive spårtrafikbuller och allmän störning, sömnstörning och ischemisk hjärtsjukdom.

Beskrivning av det svenska bostadsbeståndet

Antalet bostadslägenheter i Sverige uppgick den 31 december 2020 till 4 978 239. De fördelas på 2 087 965 (42 procent) i småhus, 2 548 530 (51 procent) i flerbostadshus, 260 406 (fem procent) i specialbostäder samt 81 338 lägenheter (två procent) i övriga hus. Flerbostadshus definieras som bostadsbyggnader innehållande tre eller flera lägenheter inklusive loftgångshus. I det fortsatta arbetet läggs fokuset på flerfamiljshusen, av skäl som redovisas ovan.

Figur 1 visar att cirka 40 procent av bostadshusen i Sverige är byggda före 1960, cirka 30 procent under perioden 1961–1980 och cirka 30 procent efter år 1980 (SCB). Dessa uppgifter indikerar vilka årtionden som bör studeras när det gäller byggnadstypiska konstruktioner, framför allt fönster, för att bilda ett värde som är representativt för hela landet.



Figur 1. Fördelning av byggnadsår för småhus och flerbostadshus i hela Sverige (Källa: SCB, Statistikdatabasen).

Uppgifter om ljudisolering i fönster och ytterväggar från olika perioder beskrivs i en rapport från Sveriges Byggindustrier (Simmons C, 2004–05), baserade på arkitekturöversikten ”Så byggdes husen 1880–2000...” (Björk C m.fl., 2013) samt från SAU Nordic database (www.bastian.nu). I tabellerna 1 och 2 redovisas ett urval ur databaserna över ljudisolering i några vanligt förekommande fönster (byggda 1950–2005) och ytterväggar (byggda 1950–1980).

Tabell 1. Ljudisolering i några vanligt förekommande fönster byggda 1950–2005
(Källa: SAU Nordic database och Sveriges byggindustrier 2004).

Produktbeteckning fönster (1.5-2.0 m ²)	RA,tr ¹ (Ctr_ISO)	RA ² (C_ISO)
SBUF 01 Typ F1-0: Äldre KFI 1+1, kopplade bågar, utåtgående, 3 glas 40 luftspalt 3 glas	25	30
MTK typmodell fönster med kopplade bågar "KFI": 4 glas/42 luft/D4-12, normalt montage	28	34
MTK typmodell, större avstånd "KFI" (2+1) std, 4 glas/69 luft/D4-12 isolerruta, normalt montage	31	35
Vridfönster, treglas T4-12	28	31
KFI (6 - 20 Arg - 4/0,38/4)	36	40

¹R_{A,tr} anger reduktionstal mot vägtrafikbuller i stadsmiljö med tung trafik och godståg. ²R_A gäller för vägtrafik i högre hastighet (däcksbuller) och persontåg.

Tabell 2. Ljudisolering i några vanligt förekommande ytterväggar byggda 1950–1980
(Källa: SAU Nordic database och Sveriges byggindustrier 2004).

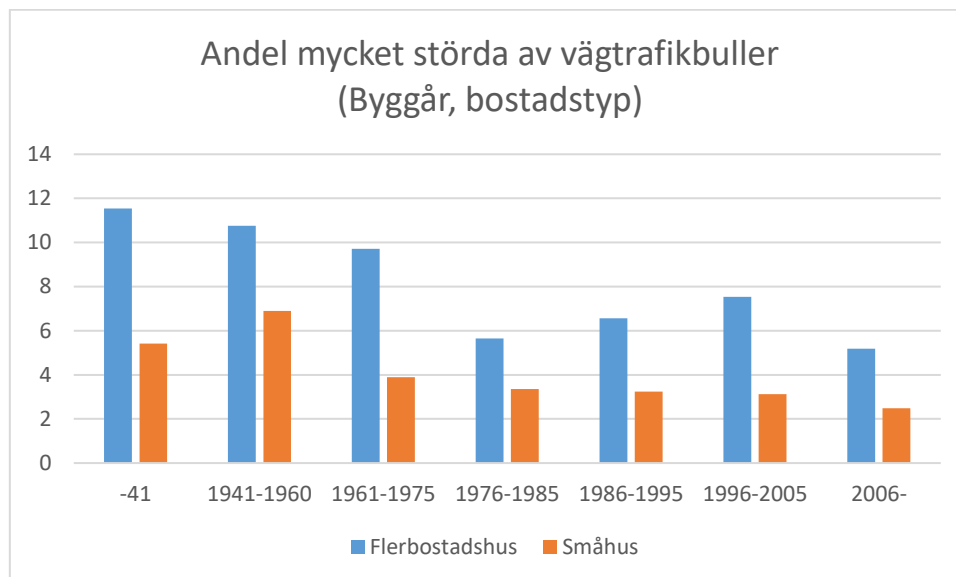
Yttervägg, konstruktion	RA,tr ¹ (Ctr_ISO)	RA ² (C_ISO)
SAU 03 V9-0 20 puts, 250 tegel, 25 luftspalt, 120 tegel	52	56
SBUF 05 YV-VII: 80 betong, 95 reglar/min,ull, 13 gips	53	55
SBUF 06 YV-VIII: 20 puts, 350 lättbetong, 20 puts	48	52
SBUF 09 YV-XI: 60 betongfasadskiva, 100 cellplast, 120 inv, betong	40	43
Knauf ny: Puts 5, Cement 12, reglar 25, gipsskiva 9,5 stålreglar/min.ull YR195/45 stål, 2x13 gips	52	58
Svensk Betong 271 ny Sandwich element BVI-2: 150 betong, 150 EPS, 75 betong	45	50
Schablonvärde- äldre hus	40	43
Schablonvärde-nyare hus	45	50

¹R_{A,tr} anger reduktionstal mot vägtrafikbuller i stadsmiljö med tung trafik och godståg. ²R_A gäller för vägtrafik i högre hastighet (däcksbuller) och persontåg.

Enligt en sammanställning från Boverket (Boverket 2010) som baseras på rikstäckande enkäter och inventeringar av inomhusmiljön i bostadshus (BETSI) kan man göra några bedömningar av statusen på flerbostadshusen i landet som helhet:

- Vid besiktningar noterades ljudläckage genom fönster eller annan byggdel (främst hörbart trafikbuller) i ca 20 procent av lägenheterna
 - Det har dock gått 13 år sedan dessa besiktningar gjordes och det kan antas att många hus har åtgärdats sedan dess, t.ex. av energiskäl
- Drygt hälften av ytterväggarna (54 procent) är tunga, dvs. gjorda av betong, tegel eller puts, och bör ha god ljudisolering
- Plankväggar eller utfackningsväggar med trästomme är också vanliga
 - Varav en del plankväggar är putsade vilket ger en god ljudisolering
 - Varav en mindre del utsätts för trafikbuller
 - Varav endast 4 procent bedömdes behöva åtgärder mot trafikbuller
- Ytterväggarna bedöms sammantaget ha väsentligt bättre ljudisolering än fönster och uteluftsintag.

De enkäter som genomfördes inom BETSI bland boende i olika delar av landet visar att ca 20 procent störs *till viss del* av trafikbuller. Resultaten visade också att störningarna förekommer i ungefär samma omfattning i flerbostadshus av samma ålder. Bland annat sågs en högre störningsgrad i bostäder byggda under miljonprogramsåren. Att andelen som störs av trafikbuller är kopplad till bostadens byggår sågs även i Miljöhälsoenkät 2015 (se Figur 2).



Figur 2. Andel mycket störda av vägtrafikbuller, uppdelat på byggår och bostadstyp (Källa: Miljöhälsoenkät 2015, Folkhälsomyndigheten 2017).

Det har gjorts omfattande renoveringar i form av allmänt underhåll i stora delar av det svenska bostadsbeståndet, däribland renovering av miljonprogrammets flerbostadshus. Åtgärder på ytterväggar har främst handlat om att förbättra värmeisoleringen och laga eller täcka över skadade ytskikt, något som även påverkat ljudisoleringen positivt. Enligt statistik från Trä- och Möbelföretagen för år 2019 uppskattades att cirka 2/3 av alla flerbostadshus i miljonprogrammets bostäder (byggda mellan 1960 och 1975) har åtgärdats i olika grad. Cirka hälften av förvaltarna har ställt krav på energibesparingar, här kan antas att åtgärder på fönster, lufttäthet och ventilation har ingått. Allmännyttan har satt en större prioritet på utvändiga åtgärder, de privata och kooperativa ägarna något mer fokus på invändiga åtgärder. Fönsteråtgärder var den enskilt mest omfattande åtgärden. Ett försiktigt antagande är att cirka 2/3 av fönstren har åtgärdats eller bytts ut, så att de har tre glasrutor i stället för två.

Vad gäller ventiler så ersattes självdrag (med stora ventiler i ytterväggen) efter 1960 med F-system (mekanisk fläkt driven från luft, passiv tilluft i springventiler). Från 1976 tillkom ungefär lika delar F- och FTX-system (till- och frånluft, inga ventiler i yttervägg). Efter 1996 ökade användningen av F-system igen, med tilluftsdon i yttervägg (här antaget med ljuddämpande hylsa i ljudexponerade lägen).

Beräknade medelvärden för bostäders ljudisolering i Sverige

I ett försök att uppskatta en genomsnittlig ljudisolering mot stadstrafikbuller (från vägtrafik i 50 km/h med 90 procent lätta fordon och 10 procent tunga fordon, som beskrivs av spektrum C_{tr} i SS-EN ISO 717-1) i svenska flerfamiljshus beräknades tre "bebyggelseviktade medelvärden" baserat på data över andel flerbostadshus i respektive ålderskategori från BETSI, Miljöhälsoenkät 2015 och SCB. Då de tre skattningarna gav liknande resultat presenteras som exempel nedan enbart det bebyggelseviktade medelvärdet baserat på SCB statistik (Tabell 3). Skillnaden i ljudnivå ute (frifält)-inne ($\Delta L_{A,Tr}$) för bostäder byggda under olika tidsperioder har skattats utifrån ovan nämnda datakällor, företrädesvis renoveringsuppgifter från Trä- och möbelföretagen (TMF).

Tabell 3. Beräknad ljudisolering mot stadstrafikbuller i svenska flerfamiljshus, viktad med andel flerbostadshus i respektive ålderskategori enligt statistik från SCB och renoveringsuppgifter från Trä- och möbelföretagen (2019).

	-1960	1961- 1975 Ej renov.	1961- 1975 Renov.	1976- 1985	1986- 1995	1996- 2005
Antal lgh	1 008 635	243 690	487 380	246 428	160 776	120 100
Andel %	44%	11%	22%	11%	7%	5%
Skillnad ute (frifält)- inne $\Delta L_{A,Tr}$	23	25	29	33	31	35
Andel * $\Delta L_{A,Tr}$	10,2	2,7	6,2	3,6	2,2	1,9
<i>Bebyggelsemedelvärde för Sveriges flerbostadshus, viktad enligt SCB och TMF-data, $\Delta L_{A,Tr}$:</i>						27 dB

För att möjliggöra jämförelse mellan de olika viktningarna inkluderas enbart bostäder fram till 2005. Om lägenheter i flerbostadshus byggda efter 2005 (n=1 382) tas med för Miljöhälsoenkätsdata i jämförelsen, med samma ljudnivåskillnad som hus byggda 1996–2005, skattas det vägda medelvärdet till 28 dB (se Simmons 2021 för samtliga beräkningar). Oavsett viktningssmetod skattas ett bebyggelseviktat medelvärde för ljudisoleringen mot stadstrafikbuller i det svenska bostadsbeståndet till 27–28 dB. Ljudnivåskillnaden för väg- och spårtrafik vid högre hastigheter är vanligen upp till 4 dB högre.

Som framgår av Tabell 3 ovan så bestäms de viktade medelvärdena till stor del av de äldre husen (-1960) där det är särskilt besvärligt att bedöma den verkliga ljudisoleringen. Variationen mellan olika hus är sannolikt ganska stor och effekten av olika renoveringsåtgärder är också osäker. Nedan görs därför en annan ansats, där utgångspunkten är bullerexponeringen och antalet boende som exponeras, där även effekten av olika åtgärdsprogram riktade mot särskilt utsatta hus beaktas.

Trafikverkets och de större kommunernas åtgärdsprogram är inriktade på att åtgärda de mest exponerade byggnaderna. Uppskattade ljudnivåer både utomhus och inomhus har legat till grund för vilka byggnader som valts ut för åtgärder.

Sedan 1998 har Trafikverket arbetat med riktade miljöåtgärder i befintlig miljö och närmare 100 000 personer (cirka 50 000 bostäder) beräknas ha fått bullerskyddsåtgärder till en kostnad av drygt 1 miljard kr.

En ansats har gjorts för att beräkna en “exponeringsviktad” ljudisolering i bullerutsatta flerbostadshus i det svenska bostadsbeståndet, där ett optimistiskt antagande görs om att målvärdena 30 dBA ekvivalentnivå och 45 dBA maximalnivå uppfylls i merparten av de studerade byggnaderna. Härvid inkluderas även de byggnader som har höga ljudnivåer på utsidan och de byggnader som ännu inte har åtgärdats. Med detta antagande som grund har motsvarande lägsta fasadisoleringar beräknats i olika exponeringsklasser. Antalet bostäder beräknas från antalet exponerade personer genom att dividera detta antal med schablonvärdet ”2.1” som Trafikverket använder i sina sammanställningar. Ett riksgenomsnitt kan sedan beräknas genom att vikta ljudisoleringen i de olika exponeringsklasserna med hur många som bor i hus i denna exponeringsklass.

I Tabell 4 och 5 presenteras två exponeringsviktade medelvärden för ljudisolering mot stadstrafikbuller i bullerutsatta flerbostadshus i det svenska bostadsbeståndet. Skillnaden i ljudnivå ute (frifält)-inne ($\Delta L_{A,tr}$) för bostäder i olika exponeringsklasser har skattats utifrån ovan nämnda datakällor. I Tabell 4 viktas den skattade ljudnivåskillnaden i olika exponeringsgrupper med andelen exponerade för väg- respektive spårtrafikbuller i respektive exponeringsgrupp utifrån Trafikverkets exponeringsberäkningar för statliga vägar och järnvägar (Trafikverket, 2018). I Tabell 5 görs motsvarande skattning men här används i stället exponeringsdata som rapporterats in till Naturvårdsverket i samband med END-kartläggningen 2017 (Naturvårdsverket, 2017). Ett schablon tillägg om 4 dB till ljudisoleringen görs vid $L_{den} > 65$ dBA, då rapportförfattaren bedömt att det har varit praxis bland annat i Stockholms län sedan 1998 att kräva ljudklass B (max $L_{pAeq,24h}$ 26 dB) i så utsatta lägen. Det görs däremot inte någon korrektion för ljuddämpad baksida på huset, eftersom denna skärmningseffekt kan beaktas i exponeringsvärdet.

Tabell 4. Beräknad ljudisolering mot stadstrafikbuller i bullerutsatta flerbostadshus, viktad med andel exponerade för väg- och spårtrafikbuller i respektive bullerkategori utifrån Trafikverkets exponeringsberäkningar för statliga vägar och järnvägar.

	Lden	55–59	60–64	65–69	70–74	≥75	Summa
Motsv. $L_{pAeq,24h,ff}$ vägtr.	52–56	57–61	62–66	67–71	≥72		
Antal pers., dygn, väg	284 500	166 100	81 600	23 600	5 200		561 000
Antal pers., dygn, järnväg	223 000	124 600	51 600	19 700	5 400		424 300
Antal lgh (s:a pers/2.1)	241 667	138 429	63 429	20 619	5 048		469 190
Andel (%)	51,5	29,5	13,5	4,4	1,1		100
$\Delta L_{A,tr}$, frifält - inne	26	31	40 ¹	45 ¹	50 ¹		
Vikt * $\Delta L_{A,tr}$	13,4	9,1	5,4	2,0	0,5		
Exponeringsviktad medelvärde för bullerutsatta flerbostadshus (Trafikverkets exponeringsdata), $\Delta L_{A,tr}$:							30

¹ Vid $L_{den} > 65$ dBA läggs 4 dB till $\Delta L_{A,tr}$ -värdet.

Tabell 5. Beräknad ljudisolering mot stadstrafikbuller i bullerutsatta flerbostadshus, viktad med andel exponerade för väg- och spårtrafikbuller i respektive bullerkategori utifrån exponeringsdata inrapporterade till Naturvårdsverket i samband med END-kartläggningen 2017.

Lden	55–59	60–64	65–69	70–74	≥75	Summa
Motsv. LpAeq,24h,ff vägtr.	52–56	57–61	62–66	67–71	≥72	
Antal pers, dygn, väg	785 000	486 500	230 500	51 100	4 500	1 557 600
Antal pers, dygn, järnväg	287 600	149 500	63 900	19 200	4 500	524 700
Antal lgh (s:a pers/2.1)	510 762	302 857	140 190	33 476	4 286	991 571
Andel (%)	51,5	30,5	14,1	3,4	0,4	100
$\Delta L_{A,tr}$, frifält - inne	26	31	40 ¹	45 ¹	50 ¹	
Vikt * $\Delta L_{A,tr}$	13,4	9,5	5,7	1,5	0,2	
Exponeringsviktad medelvärde för bullerutsatta flerbostadshus (Naturvårdsverkets exponeringsdata), $\Delta L_{A,tr}$:						30

¹ Vid $L_{den} > 65$ dBA läggs 4 dB till $\Delta L_{A,tr}$ -värdet.

Oberoende av vilken viktning som används beräknas ett medelvärde på ljudisolering mot stadstrafikbuller i bullerutsatta flerbostadshus i det svenska bostadsbeståndet till 30 dBA. Det bör noteras att dessa beräkningar inte inkluderar bostäder med ljudnivåer under 55 dB L_{den} och enbart avser den infrastruktur och de kommuner som omfattas av EU-direktivet.

I syfte att utvärdera de ovan beräknade medelvärdena för ljudisolering i bostadsbeståndet görs i underuppdraget även jämförelser med några tidigare studier av fasaders ljudisolering. Bland annat genomförde Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP, idag RISE) på 1990-talet dryga 20 fältmätningar på småhus med olika ytterväggar och fönster byggda på 60-, 70- och 80-talet. I Tabell 6 redovisas resultat för mätobjekten samt laboratoriemätningar av motsvarande produkter.

Tabell 6. Fasadisoleringar mätta av SP (numera RISE) i småhus med olika ytterväggar och fönster byggda på 60-, 70- och 80-talet.

Sammanställning av resultat för mätobjekten i bilaga 1.	Mätt i verkliga byggnader		Mätt i laboratorium	
	$R_{w,s}/R_{A,tr}$, (yttervägg + fönster)	$R_{w,s}$, (beräknat för fönstret)	Motsvarande $R_{w,s}$, för labmätning på enbart fönstret	$R_{w,s}/R_{A,tr}$, (end yttervägg, dvs fasad exkl fönster)
träbeklädnad				
medelvärde	36/32 dB	31 dB	34 dB	42/37 dB
standardavvikelse	2,5/3,0 dB	1,6 dB	1,0 dB	2,7/2,3 dB
antal mätningar	10 st	10 st	10 st	10 st
tyngre beklädnad				
medelvärde	34/30 dB	26 dB	33 dB	46/41 dB
standardavvikelse	2,6/1,9 dB	2,2 dB	0 dB	5,4/3,5 dB
antal mätningar	6 st	4 st	3 st	4 st

Tabell 3. Sammanställning av resultat för mätobjekten i bilaga 1 och några laboratorie-mätningar av motsvarande produkter.

SP sammanfattar att fasader med friskluftsventiler i öppet läge (eller andra otätheter av ungefär samma storlek) ofta har en ljudnivåskillnad på ca 25 dB eller något lägre men att fasader utan friskluftsventiler eller med ventiler som är utformade för att ge god ljudisolering i regel har en ljudnivåskillnad som är högre än 25 dB, ibland så hög som 35–40 dB.

En annan jämförelse görs med konsultföretaget Tyréns översiktliga bedömning av fasadisolering i bostadshus i Stockholm byggda under olika årtionden (Carlsson 2012). Resultaten presenteras i Figur 3.

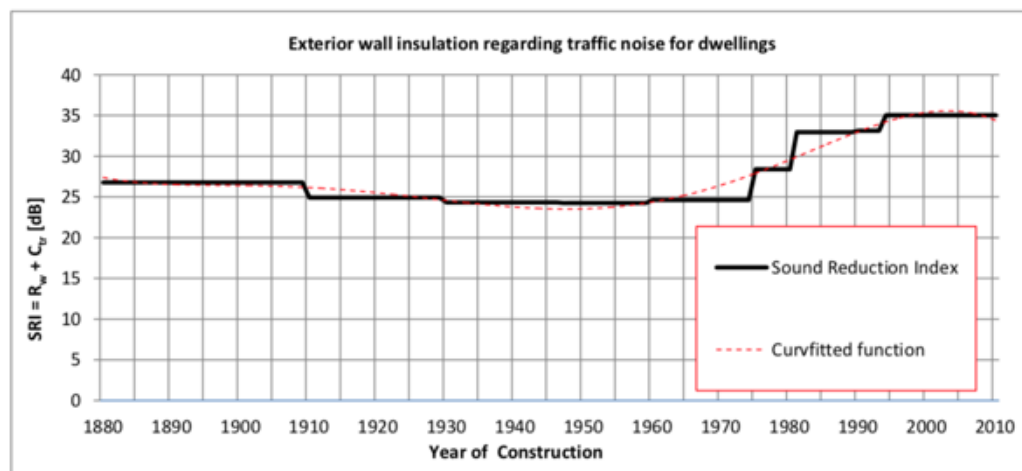


Figure 1. Exterior wall insulation regarding traffic noises as function of construction year. Also note the curvitted function $R_w + C_{tr} = -10^{-8}y^5 + 4 \cdot 10^{-6}y^4 - 0.0003y^3 + 0.0122y^2 - 0.1912y + 27.561$

Figur 3. Fasadisolering i flerbostadshus i Stockholms stad som funktion av byggnadsår i en undersökning av Tyréns.

Fasadisoleringen förefaller här avse hela fasaden inklusive yttervägg och fönster. Med ett $R_{A,tr}$ värde om 25–27 dB blir ljudnivåskillnaden $\Delta L_{A,tr}$ cirka 22–24 dB i ett normalstort sovrum (12 m²). I jämförelse med SP:s mätningar så förefaller Tyréns skattning vara omkring 5 dB lägre. Orsaken till detta är inte känd.

Slutligen görs en jämförelse med Trafikverkets mätningar före och efter åtgärd vid Ådalsbanan. Slutsatsen är att medelvärdet före åtgärd $\Delta L_{A,tr}$ 28 dB ligger mellan de värden som skattats i föregående avsnitt (27–28 dB respektive 30 dB).

Bedömning av ljudisolering i ett urval europeiska länder

I detta avsnitt sammanfattas i korthet resultaten från underuppdraget om ljudisolering i bostadsbeståndet (Simmons 2021) avseende den internationella utblicken och bedömning av ljudstandarden i ett urval europeiska länder, där en majoritet av de epidemiologiska undersökningar om väg- respektive spårtrafikbuller och allmän störning, sömnstörning samt ischemisk hjärtsjukdom har genomförts. Insnävningen mot europeiska länder gjordes i avsikt att enbart inkludera länder med liknande byggnadstekniska förutsättningar och trafikförhållanden som i Sverige. Att samla in relevant underlag från andra världsdelar (exempelvis Asien), har inte bedömts praktiskt möjligt eller tidsmässigt rimligt inom ramen för detta uppdrag. Fokus för bedömningen har varit de nordiska länderna (Danmark, Norge och Finland), Storbritannien, Tyskland och Nederländerna. Några ytterligare länder som bedömts mer översiktligt är Frankrike, Portugal, Belgien, Schweiz och Italien,

Sammanfattningsvis har det, med några få undantag, inte gått att säkerställa värden om ljudisolering i ytterväggar, fönster och uteluftsintag i europeiska bostadshus som kan användas för en direkt jämförelse med de beräknade värdena på ljudreduktion i det svenska bostadsbeståndet. Bedömningen av ljudisolering i bostadsbeståndet i de europeiska länderna baseras i stället på generella uppgifter om regelverk och policys inom EU, kostnader för åtgärdsprogram, ljudkrav på fasader och tekniska detaljer från olika länder. Uppgifterna har inhämtat från ett flertal källor, inklusive muntlig kommunikation med lokala experter.

Ingenting i dokumentationen tyder på att ljudisoleringen i de studerade europeiska ländernas flerbostadshus skulle vara markant sämre än i de svenska, möjligtvis med undantag för Storbritannien och sydeuropeiska länder med varmare klimat (t.ex. Portugal) (Tabell 7). I princip finns det någon form av regelverk mot buller i alla EU:s medlemsländer, även om ambitionsnivå vad gäller gräns-/riktvärden för trafikbuller varierar (EPA Network 2019). Som en följd av EU:s bullerdirektiv, END (EC 2002), har man också i många länder, liksom i Sverige, genomfört kartläggningar och åtgärdsprogram vart femte år sedan i juli 2008 i syfte att begränsa befolkningens exponering för trafikbuller. Regler om begränsning av trafikbuller inomhus, i praktiken ett krav på fasadernas isolering, har funnits i svenska byggregler sedan 1946. I de flesta av de studerade länderna har man sedan lång tid haft olika slags regler för ljudisolering i fasad som ligger ganska nära de svenska kraven.

Tabell 7. Sammanfattande bedömning av fasadisolering i ett urval europeiska länder i jämförelse med svenska förhållanden.

Land	Sammanfattande bedömning av fasadisolering
Danmark	Liknande nivå som i Sverige
Norge	Liknande nivå som i Sverige
Finland	Liknande nivå som i Sverige
Storbritannien	Lägre nivå än i Sverige (uppskattningsvis -5 dB eller mer)
Tyskland	Liknande nivå som i Sverige
Nederländerna	Liknande nivå som i Sverige
Frankrike	Liknande nivå som i Sverige
Portugal	Lägre nivå än i Sverige (uppskattningsvis -4 dB)
Belgien	Liknande nivå som i Sverige
Schweiz	Liknande nivå som i Sverige
Italien	Liknande nivå som i Sverige

För en detaljerad genomgång av dokumentationen för respektive land hänvisas till Simmons 2021.

Trafiksituation

I följande avsnitt sammanställs ett urval av den information som finns att tillgå om trafiksituationen på vägar och spår i Sverige och runt om i Europa. Detta görs i syfte att ge en generell överblick över hur vi i Sverige ligger till i förhållande till övriga Europa och för att underlätta bedömningen om hur relevanta och tillämpbara WHO:s riktvärden för spår och vägtrafikbuller är i en svensk kontext. Underlaget har i huvudsak inhämtats från Trafikverket vad gäller svenska förhållanden och från den europeiska statistikmyndigheten Eurostat (<https://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database>) vad gäller den internationella jämförelsen.

I dialog med uppdragsgivaren har följande parametrar identifierats som relevanta vid jämförelser mellan svenska och internationella förhållanden:

- Andel av olika vägtyper, t.ex. motorväg, vanlig väg
- Trafikintensitet på vägar (medelvärde per vägklass) och spår
- Dygnsfördelning, i synnerhet förekomst av nattrafik
- Andel tung trafik och godstransporter
- Andel exponerade (utomhus vid bostadens fasad)

Vägtrafik i Sverige

Baserat på Trafikverkets TNE databas, en tillhandahållande miljö som innehåller flera databaser med data från bland annat den nationella vägdaten (NVDB), har en grov statistisk skattning av trafiksituationen på alla statliga vägar i Sverige tagits fram. Vägarna har delats in i fyra grupper:

1. Motorväg (utformade med separata vägbanor för motriktad trafik)
2. Motortrafikled, vanlig och mötesfri (dubbelriktad körbana, ibland med mitträcke, barriär eller bred mittremsa)
3. 4-fältsväg (väg med två eller fler körfält i vardera riktningen, separerade med mittremsa med eller utan räcke)
4. Vanlig väg, vanlig och mötesfri (samlingsnamn för övriga vägar som inte är motorväg eller motortrafikled)

Totalt finns 98 486 km statliga vägar i Sverige, varav majoriteten (97,2 procent) är så kallade vanliga vägar (Tabell 8). Andelen motorvägar är 2,2 procent. Övriga vägklasser förekommer i liten utsträckning (<0,5 procent).

Vanliga vägar har en årsdygnstrafik (ÅDT) på i medeltal 1 928 fordon (Tabell 9). Andelen lastbilar på dessa är 10,6 procent. Motorvägar har en ÅDT på i genomsnitt 9 343, varav 12 procent är lastbilar. 4-fältsvägar är de vägar som i genomsnitt har högst ÅDT (10 289), men lägst andel lastbilar (9,5 procent). Motortrafikleder har å andra sidan lägst ÅDT (3 919) men högst andel lastbilar (13,4 procent).

Tabell 8. Väglängd i km samt andel (%) av den totala väglängden uppdelat på vägtyp för statliga vägar i Sverige (Källa: Trafikverket).

Vägtyp	Väglängd, km (%)
Motorväg	2 120 (2,2)
Motortrafikled (vanlig och mötesfri)	440 (0,4)
4-fältsväg	175 (0,2)
Vanlig väg (vanlig och mötesfri)	95 751 (97,2)
<i>Totalsumma</i>	<i>98 486 (100)</i>

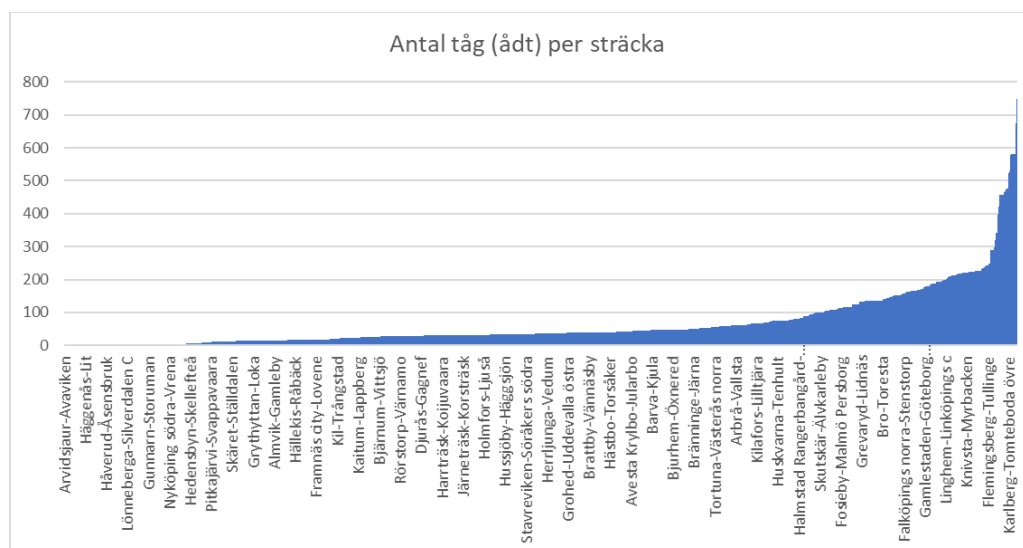
Tabell 9. Årsdygnstrafik, ÅDT (medelvärde), för alla fordon respektive för lastbil på statliga vägar i Sverige, uppdelat på vägtyp (Källa: Trafikverket).

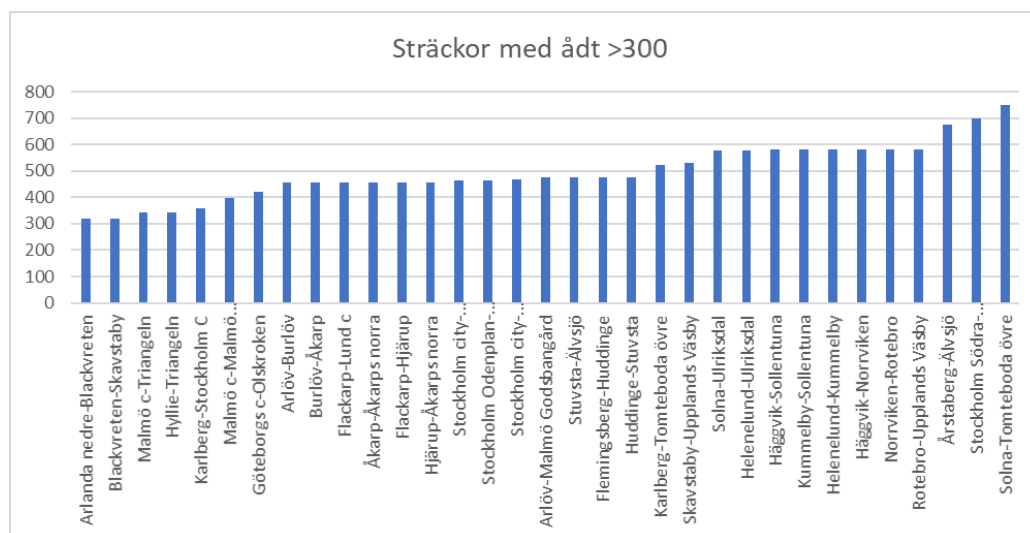
Vägtyp	ÅDT alla fordon	ÅDT lastbil (%)
Motorväg	9 343	1 123 (12,0)
Motortrafikled (vanlig och mötesfri)	3 919	525 (13,4)
4-fältsväg	10 289	974 (9,5)
Vanlig väg (vanlig och mötesfri)	1 928	204 (10,6)

Tyvärr har ingen statistik kunnat sammanställas vad gäller kommunala vägar då en nationell sammanställning av dessa vägar avseende trafikflöden etcetera inte finns att tillgå.

Spårtrafik i Sverige

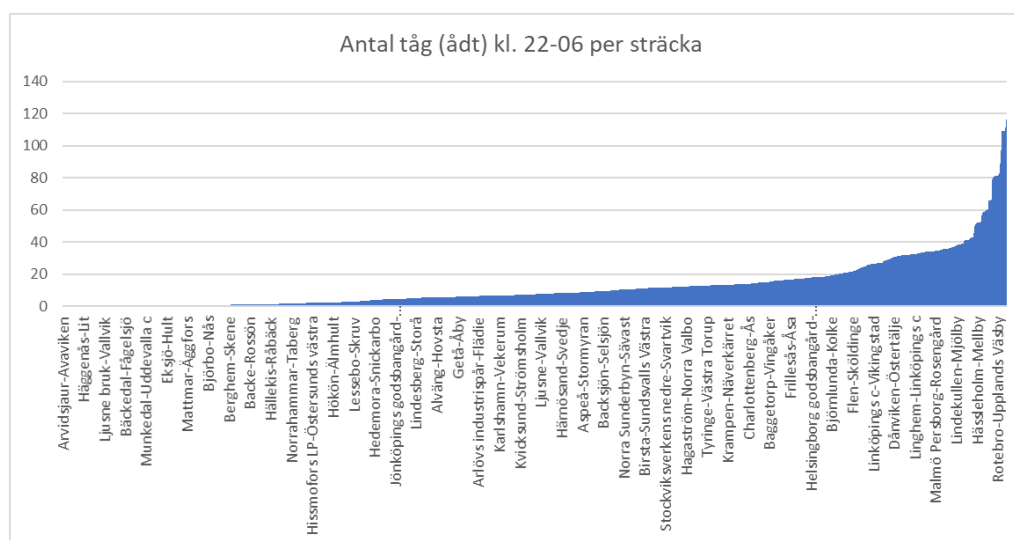
Trafikverkets sammanställning om trafikuppgifter på järnvägen i Sverige, tågplan 2020 per sträcka, visar att majoriteten (93 procent) av alla spårsträckor har en årsdygnstrafik (ådt) under 200 tåg per dygn (Figur 4), se filen trafikuppgifter_jarnvag_t20_och_bullerprognos_2040.xlsx. Ca 7 procent trafikeras av mer än 200 tåg per dygn, och endast ca 2 procent trafikeras av 300 tåg eller mer per dygn. De mest trafikerade sträckorna visas i Figur 5.

**Figur 4.** Antal tåg (ådt) totalt per sträcka i Sverige (totalt antal sträckor=1 363) (Källa: Trafikverket).

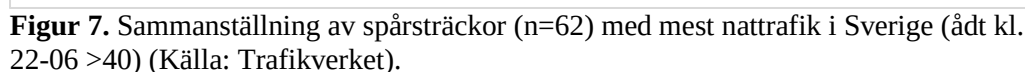


Figur 5. Sammanställning av de mest trafikerade spårsträckorna (n=33) i Sverige (ådt>300) (Källa: Trafikverket).

Vad gäller nattrafik så har majoriteten (82 procent) av alla sträckor i Sverige en ådt kl. 22-06 under 20 tåg per dygn (Figur 6). Ca 18 procent har mer än 20 tåg per dygn och ca 5 procent har mer än 40 tåg per dygn. Sträckor med mest nattrafik i Sverige presenteras i Figur 7.



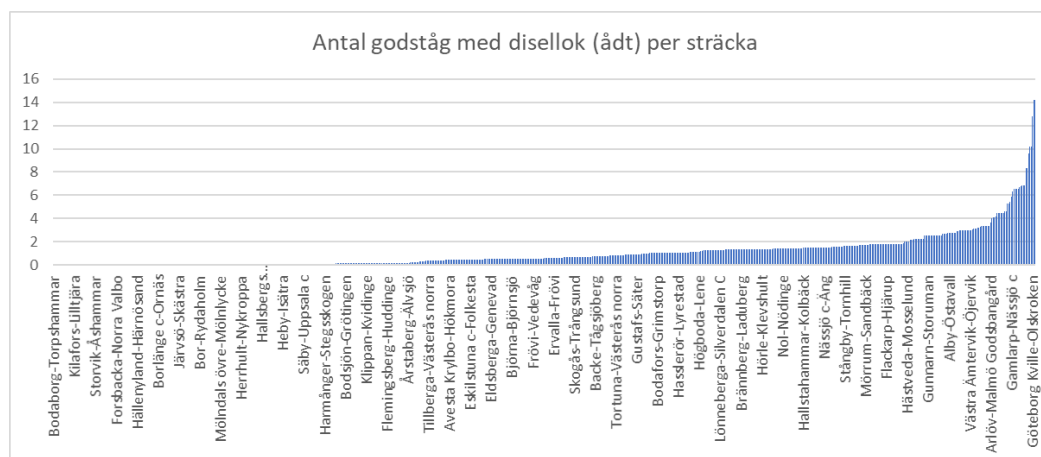
Figur 6. Antal tåg (ådt) kl. 22-06 per sträcka i Sverige (totalt antal sträckor=1 363) (Källa: Trafikverket).



Antal godståg med ellok (ådt) per sträcka

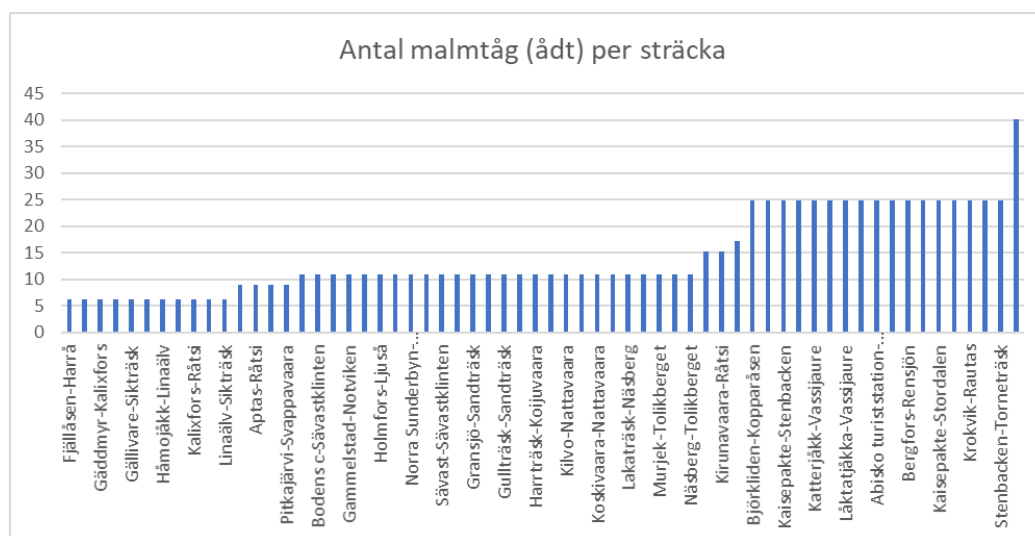
Sträcka	Antal godståg med ellok (ådt)
Gubbersjö-Göteborgs c	0
Höle-Järna	0
Järlövby-Veddige	0
Svarte-Vilhelmsborg	0
Hallsberg-Posten-Tälle	0
Kode-Ytterby	0
Isåtra-Sala	0
Bråckaberget-Morjärv	0
Tullinge-Utsikten	0
Annedal-Hasdarp	0
Segersång-Ösmo	0
Sillinge-Vrena	0
Könsa-Saluböle	0
Alvesta-Rydaholm	0
Eldsberga-Gennevad	0
Södertälje hamn-Södertälje syd	0
Umeå-Umeå godsbangård	0
Bräcke-Stavre	0
Kungälv-Valskog	0
Skärpan-Tobo	0
Harrå-Håmojåkk	0
Kopparberg-Ställdalen	0
Rotebro-Upplands Väsby	0
Boda-Iggesund	0
Kilvo-Nuortikon	0
Brogården-Habo	0
Avesta Centrum-Snickarbo	0
Björneborg-Strömtorp	0
Moradal-Ånge	0
Bodaborg-Viåkan	0
Klippan-Kvidinge	0
Nyckel sjön-Sparreholm	0
Kil-Stenåsen	0
Kungälv-Kungälv backa	0
Hede	0
Edane-Gunnarbyvägen	0
Arboga-Valskog	0
Simonstorp-Åby	0
Höglåbarna-Öreålv	0
Backåsen-Grönåsen	0
Hälsjö-Torsåker	0
Gräninge-Helgum	0
Arbrå-Vallsta	0
Moholm-Töreboda	0
Floby-Källeryd	0
Stenkumla-Åsbro	0
Höör-Stehag	0
Flackarp-Lund c	0
Bodafors-Grimstorp	0

Figur 8. Antal godståg med ellok (ådt) per sträcka i Sverige (n=1 089) (Källa: Trafikverket).



Figur 9. Antal godståg med diesellok (ådt) per sträcka i Sverige (n=755) (Källa: Trafikverket).

Malmtåg förekommer endast på 62 sträckor (5 procent). Av dessa har 21 (34 procent) fler än 15 tågpassager (Figur 10). Överlägset flest passager med malmtåg har sträckan Kiruna malmbangård-Peuravaara (40 passager). Exempel på sträckor med mycket godstrafik nattetid är t.ex. Mjölby-Alvesta-Malmö, Hallsberg-Falköping-Göteborg, Fagersta-Avesta Krylbo-Storvik och Bräcke-Ånge (se "Godstagnatt_AD_T16_20171012.pdf" från Trafikverket).



Figur 10. Antal malmtåg (ådt) per sträcka i Sverige (n=62) (Källa: Trafikverket).

Statistik över trafik på spårvägar och tunnelbana har inte kunnat presenteras då rikstäckande sammanställningar saknas.

Jämförelse med övriga Europa

Längd på motorvägar och Europavägar

Sverige hade år 2017 (valdes då data från detta år var mest komplett) 2 132 km motorvägar, vilket är på nionde plats av 32 länder med registrerade data (Figur 11). Spanien var det land som hade den längsta väglängden motorvägar eller Europavägar med 15 523 km, följt av Tyskland (13 009 km), Frankrike (11 618 km) och Italien (6 943 km).

Längd på övriga vägar

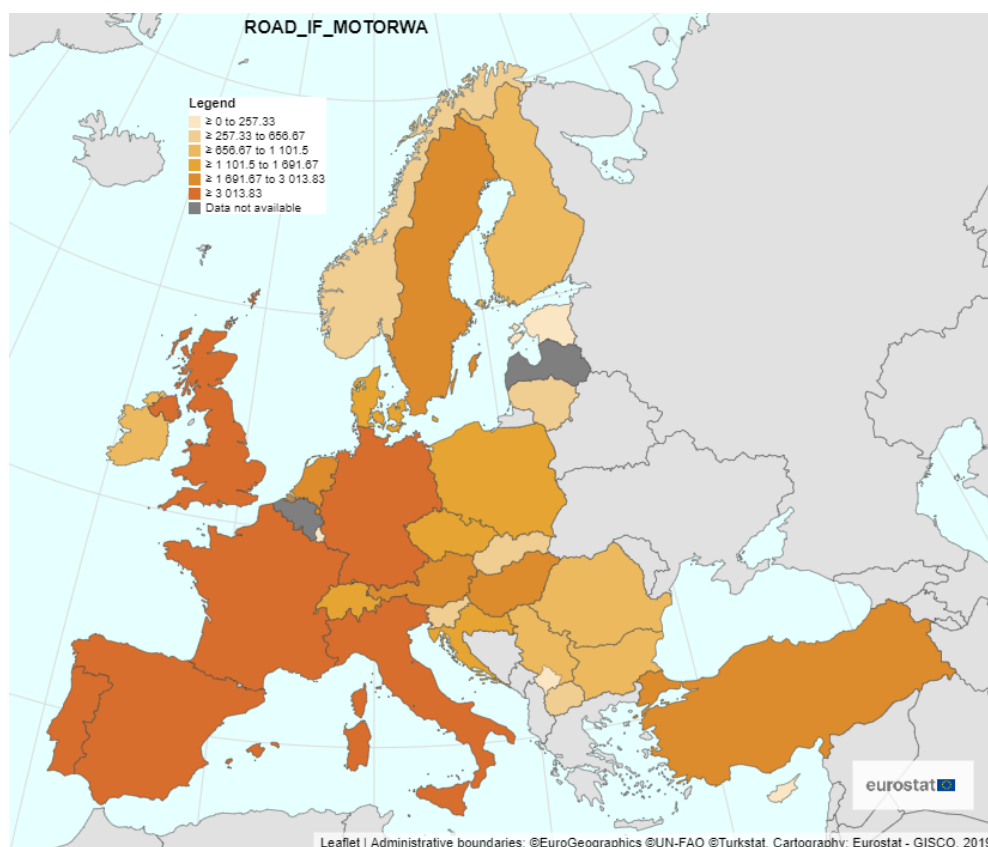
Vad gäller längd på övriga vägar hade Sverige år 2017 213 260 km övriga vägar (statliga, regionala, kommunala), vilket är på sjätte plats av 31 länder med registrerade data (Figur 12). Frankrike var det land som hade den längsta väglängden övriga vägar med 1 091 933 km, följt av Polen (422 303 km), Storbritannien (418 888 km) och Turkiet (244 857 km). För Tyskland saknas data.

Trafikrörelser - totalt

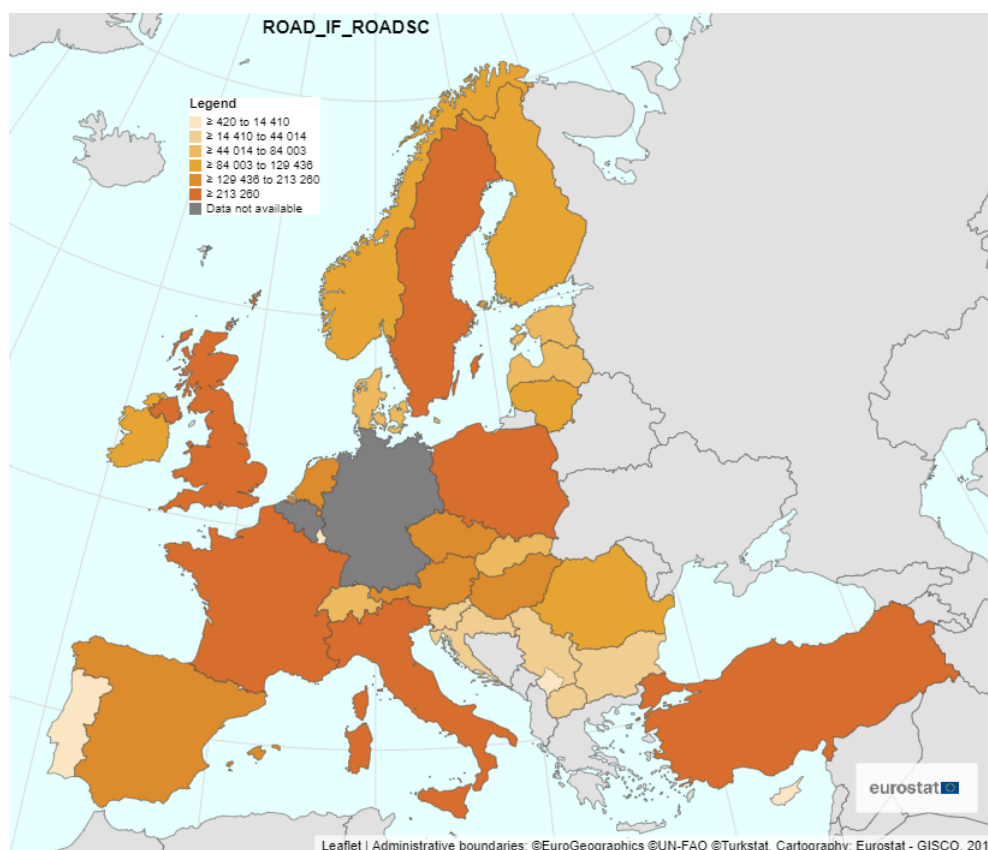
Sett till det totala antalet registrerade trafikrörelser blir jämförelserna mer osäkra då data saknas för många länder. Sverige hade år 2017 totalt 83 896 miljoner fordonskilometer (VKM) vilket är på sjunde plats av 21 länder med registrerade data (Figur 13). Det högsta totala antalet fordonskilometer hade Frankrike (606 042 miljoner VKM) följt av Storbritannien (526 423 miljoner VKM), Spanien (244 661 miljoner VKM) och Nederländerna (139 859 miljoner VKM).

Trafikrörelser - Tung trafik

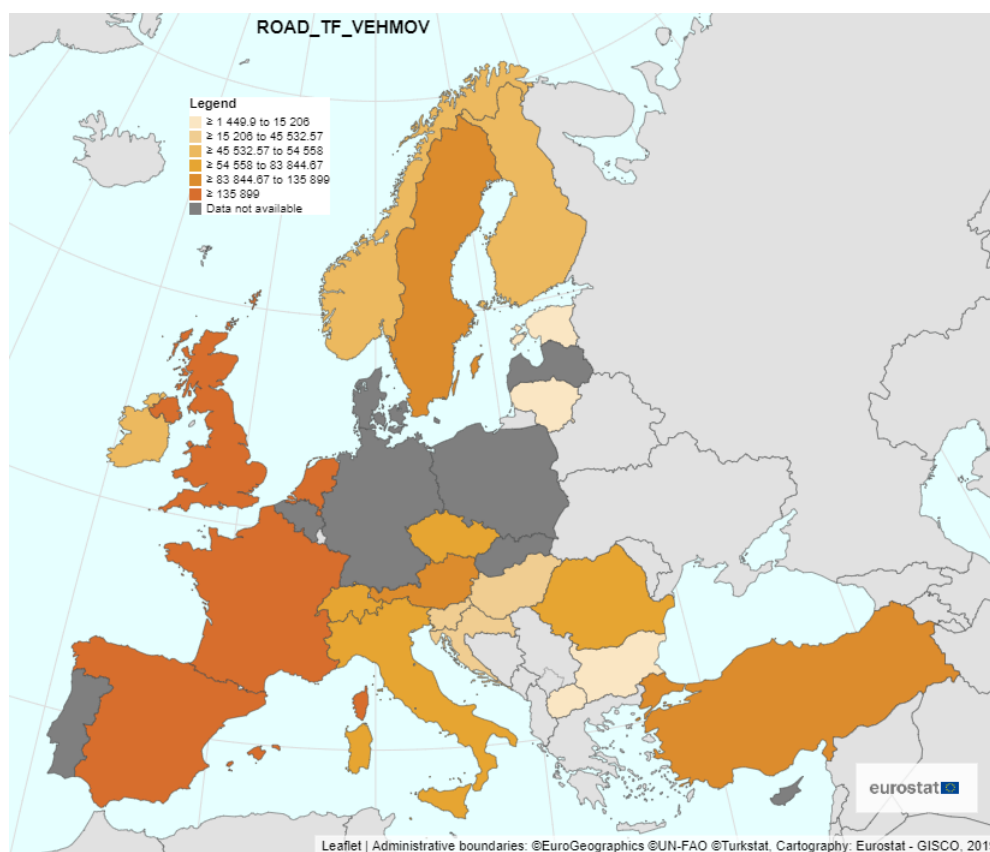
Även för antalet registrerade trafikrörelser av tung trafik ("lorries and road trains") blir jämförelser osäkra på grund av att flera länder inte rapporterat in data. Sverige hade år 2017 13 923 miljoner VKM tung trafik, vilket är på femte plats av 18 länder med registrerade data (Figur 14). Högst antal fordonskilometer tung trafik hade Storbritannien (108 686 miljoner VKM) följt av Frankrike (28 117 miljoner VKM), Nederländerna (25 569 miljoner VKM) och Spanien (25 299 miljoner VKM).



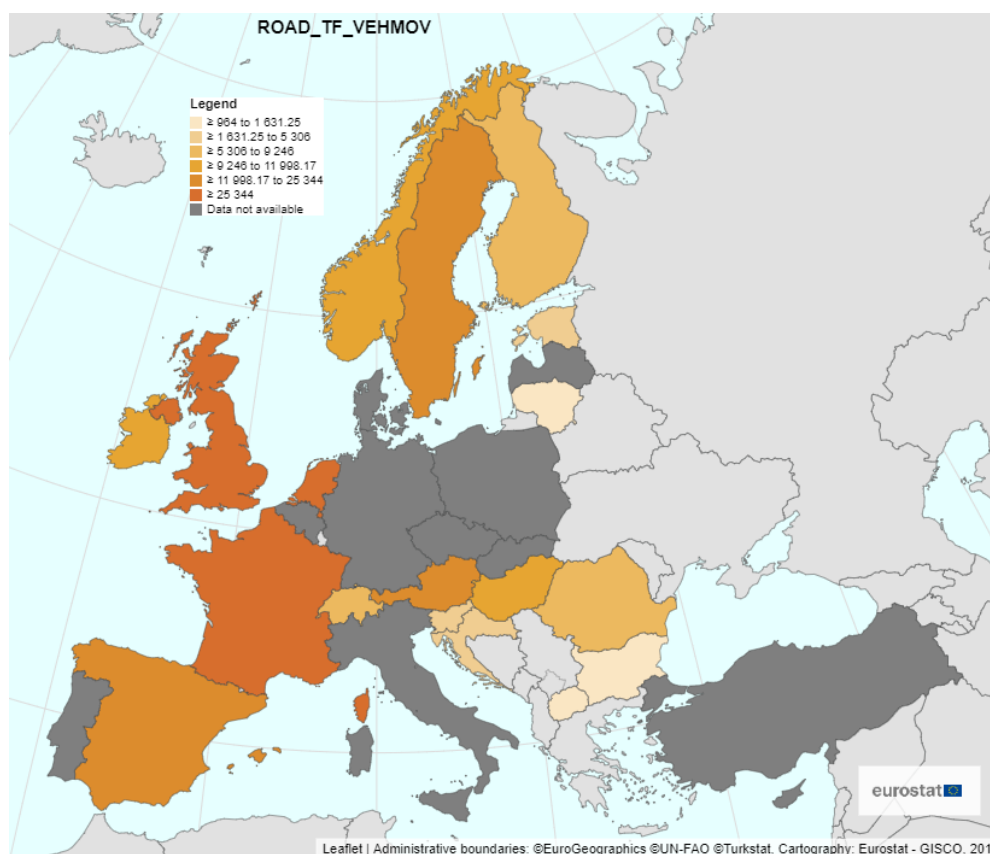
Figur 11. Längd (km) på motorvägar och europavägar inom Europa (Källa: EC Eurostat).



Figur 12. Längd (km) på övriga vägar inom Europa (Källa: EC Eurostat).



Figur 13. Totalt antal registrerade trafikrörelser (miljoner fordonskilometer, VKM) inom Europa (Källa: EC Eurostat).



Figur 14. Antal registrerade trafikrörelser (miljoner fordonskilometer, VKM) av tung trafik inom Europa (Källa: EC Eurostat).

Spårlängd

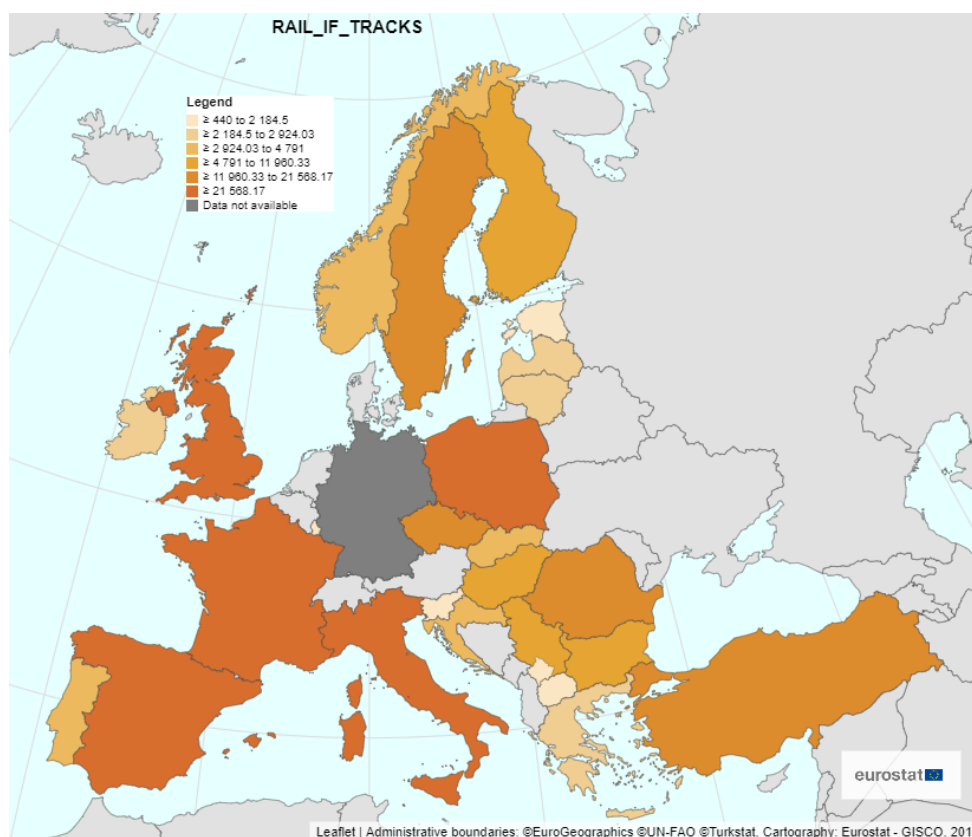
Sverige hade år 2017 (valdes då data från detta år var mest komplett) 15 568 km spår, vilket är på sjunde plats av 26 länder med registrerade data (Figur 15). Polen var det land som hade den längsta spårlängden med 37 195 km, följt av Storbritannien (31 735 km), Frankrike (28 120 km) och Italien (24 483 km).

Trafikvolym spår - Totalt

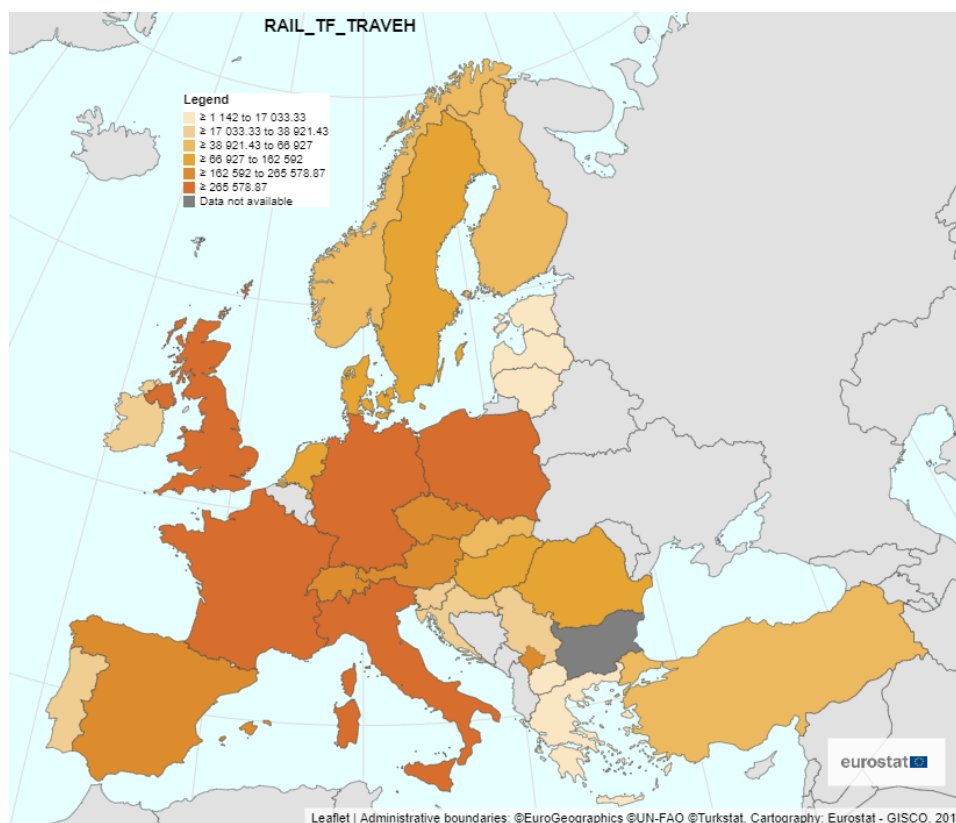
Sett till det totala antalet registrerade tågrörelser hade Sverige år 2017 totalt 160 384 tusen tågkilometer vilket är på elfte plats av 29 länder med registrerade data (Figur 16). Det högsta totala antalet tågkilometer hade Tyskland (1 078 764 tusen tågkilometer), följt av Storbritannien (566 687 tusen tågkilometer), Italien (377 637 tusen tågkilometer) och Polen (286 941 tusen tågkilometer). Tyskland sticker därmed ut och har dubbelt så mycket tågtrafik jämfört Storbritannien som har näst högst trafikvolym. Tågkilometer i Sverige är 15 procent av i Tyskland.

Trafikvolym spår – Godstrafik

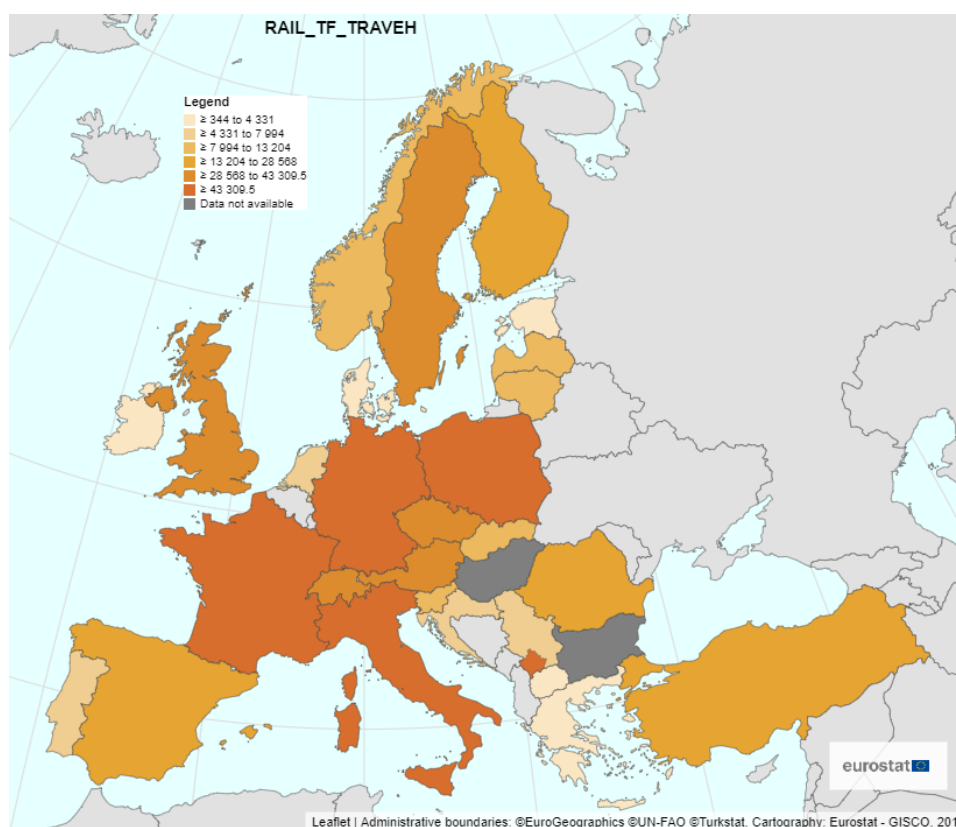
Vad gäller godstrafik låg Sverige år 2017 på sjunde plats av 28 länder, med 36 469 tusen tågkilometer (Figur 17). Det hösta antalet tågkilometer av godstrafik hade Tyskland (276 166 tusen tågkilometer), följt av Polen (70 795 tusen tågkilometer), Frankrike (67 277 tusen tågkilometer) och Kosovo (51 097 tusen tågkilometer).



Figur 15. Total spårlängd (km) inom Europa (Källa: EC Eurostat).



Figur 16. Antal registrerade tågrörelser (tusentals tågkilometer) totalt inom Europa (Källa: EC Eurostat).

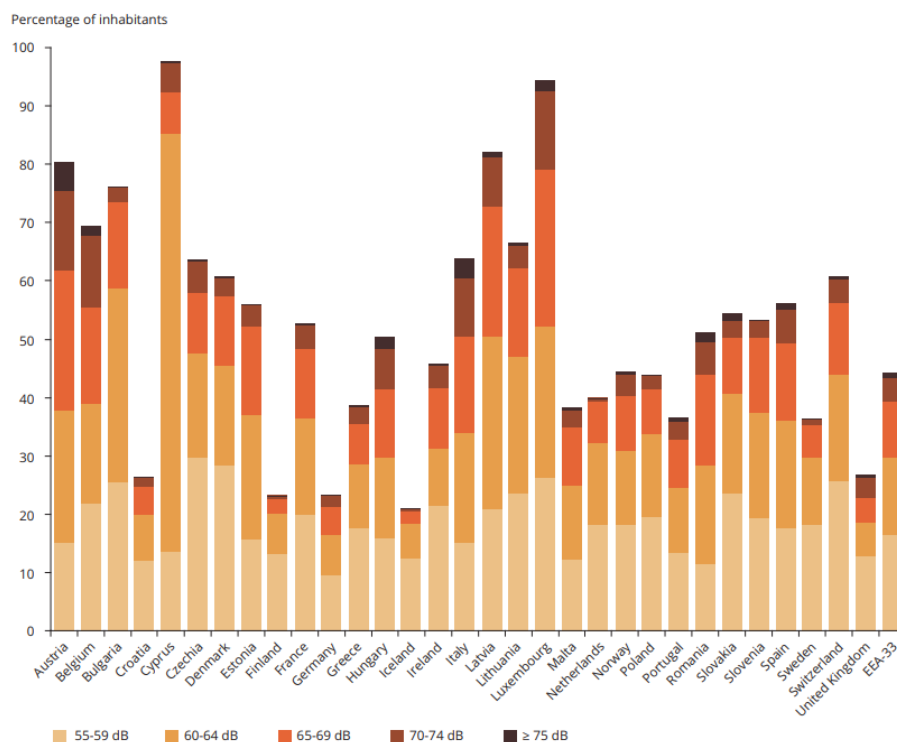


Figur 17. Antal registrerade tågrörelser (tusentals tågkilometer) av godståg inom Europa (Källa: EC Eurostat).

Andel exponerade

Statistik från den Europeiska miljöbyrån (EEA) över andel personer i befolkningen som exponeras för väg- och spårtrafikbuller kan till viss del ge en kompletterande bild över hur Sverige ligger till i förhållande till övriga Europa. Statistiken bygger på data som rapporterats in till EU enligt den senaste strategiska bullerkartläggningen enligt END (2017) och omfattar därmed enbart större vägar (>3 miljoner fordon/år), järnvägar (>30 000 tåg per år) och städer (>100 000 invånare). Det är således inte hela ländernas befolkning som omfattas av kartläggningarna vilket gör att tolkningar av och jämförelser mellan länder vad gäller andelen i befolkningen som exponeras ska göras med försiktighet.

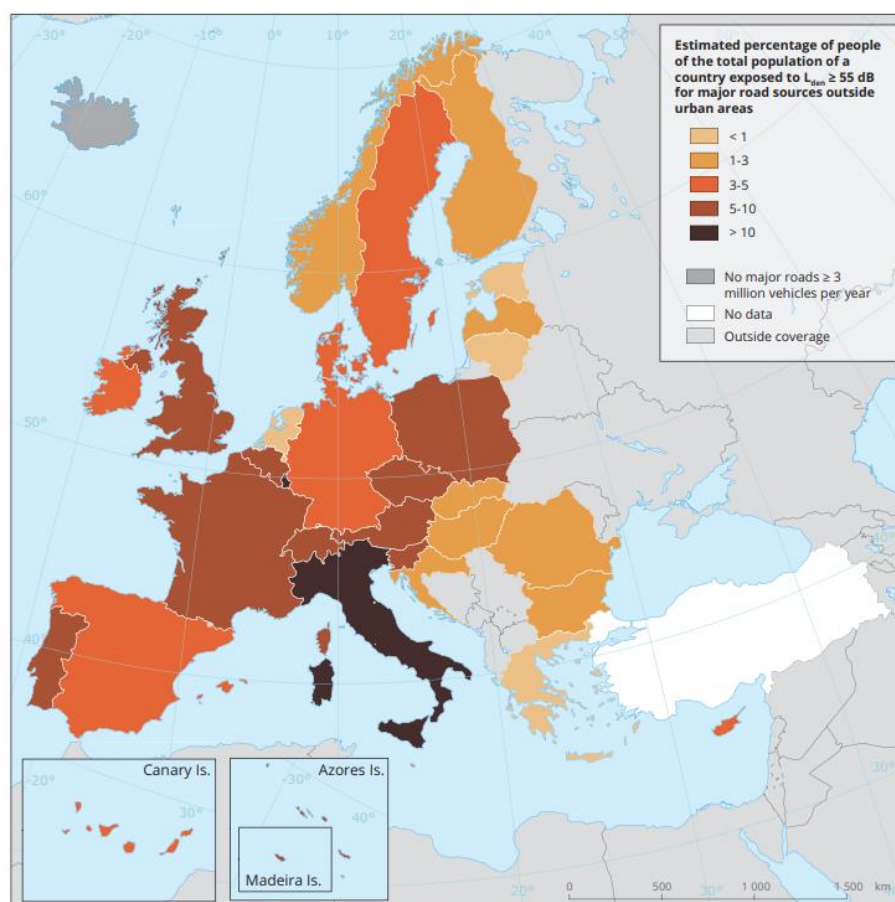
För vägtrafikbuller ligger Sverige totalt sett något under genomsnittet för alla EU-länder (EEA-33) vad gäller andel exponerade inom urbana områden (Figur 18) (EEA 2020). Andelen högexponerade (>70 dB) är lägre i Sverige än i många andra EU-länder. Sett till kategorin 55–59 dB L_{den} ligger Sverige dock lika eller något över genomsnittet. Sett till andel exponerade utanför urbana områden ligger Sverige nära medelsnittet för Europa (Figur 19). Det framgår dock inte hur stor andel av det totala vägnätet för respektive land som ingår i denna bedömning. För Sverige ingår en relativt begränsad andel vägar och järnvägar sett till det totala vägnätet (se s. 11 i Trafikverket 2018). Figurerna 20 och 21 visar motsvarande data för spårtrafik. Här ligger Sverige högre än genomsnittet för Europa vad gäller andel exponerade (i synnerhet vid ljudnivåer mellan 55 och 64 dB L_{den}) inom urbana områden, men nära genomsnittet sett till andel exponerade utanför urbana områden.



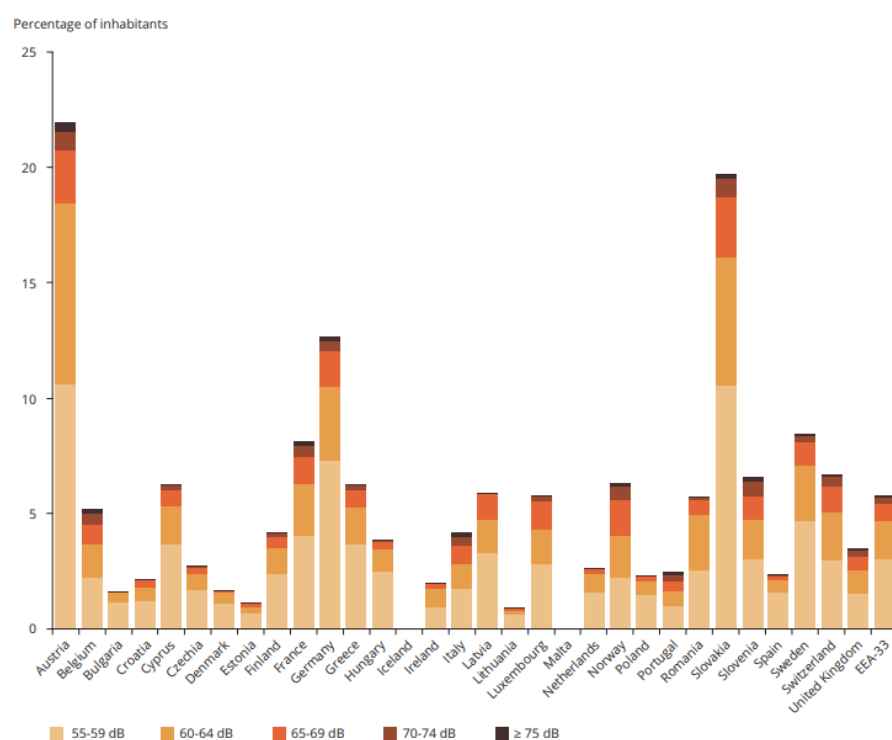
Notes: Liechtenstein does not have agglomerations under the terms of the END. EEA-33 average excludes Turkey.

Sources: EEA (2019d) and ETC/ATNI (2019b).

Figur 18. Beräknad andel invånare inom urbana områden i respektive land som exponeras för olika nivåer av vägtrafikbuller (L_{den}) år 2017 (Källa: EEA 2020).

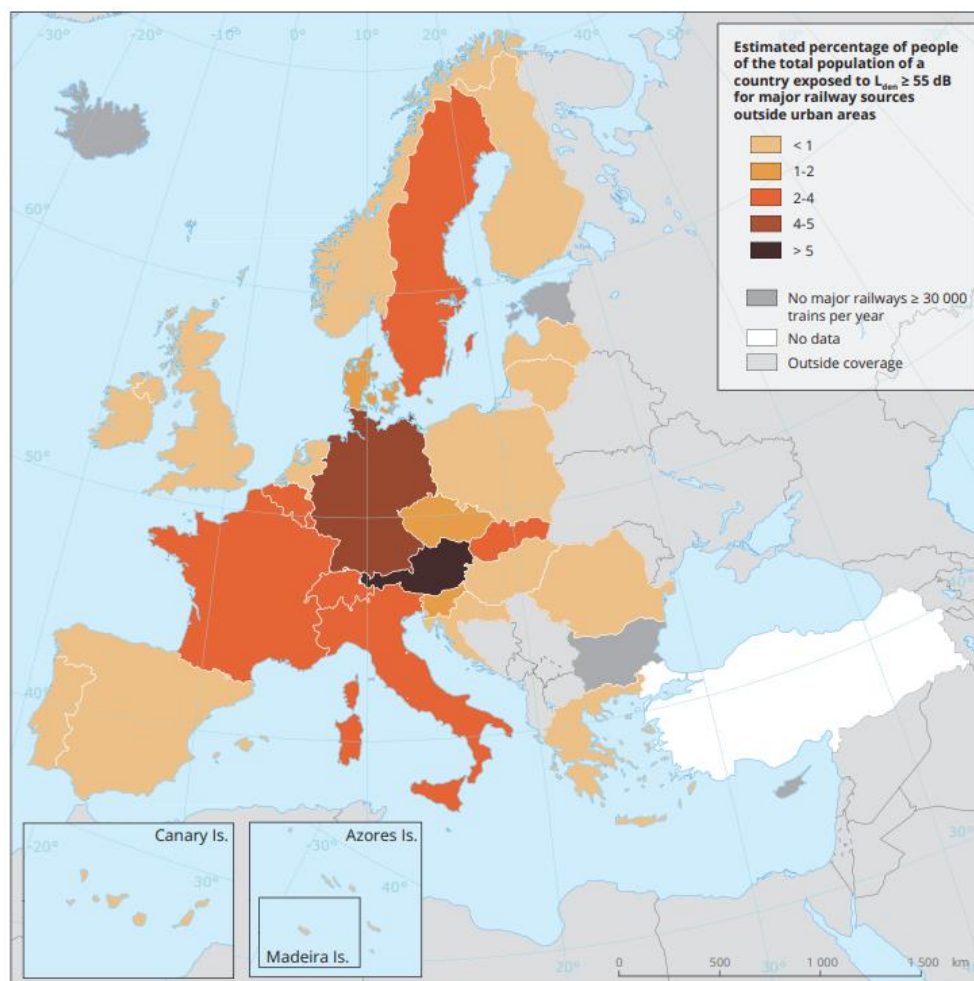


Figur 19. Beräknad andel invånare utanför urbana områden i respektive land som exponeras för vägtrafikbuller ≥ 55 dB år 2017, baserat på L_{den} (Källa: EEA 2020).



Notes: Liechtenstein does not have agglomerations under the terms of the END. EEA-33 average excludes Turkey.

Figur 20. Beräknad andel invånare inom urbana områden i respektive land som exponeras för olika nivåer av spårtrafikbuller (L_{den}) år 2017 (Källa: EEA 2020).



Figur 21. Beräknad andel invånare utanför urbana områden i respektive land som exponeras för spårtrafikbuller ≥ 55 dB år 2017, baserat på L_{den} (Källa: EEA 2020).

Slutsatser om jämförelse av trafiksituation och andel exponerade

Några generella slutsatser som kan dras av ovanstående statistik är att trafiksituationen avseende vägtrafik i Sverige är relativt representativt för Europa som helhet. Sverige är stort i förhållande till många andra EU-länder (femte största sett till yta) och ligger därmed naturligt högt i ranking avseende längd på motorvägar, Europavägar och övriga vägar. Även sett till antal trafikrörelser ligger Sverige förhållandevis högt i rankning, både totalt och för tung trafik. Dock ligger vi i absoluta tal betydligt lägre än de länder som toppar statistiken, däribland Frankrike, Storbritannien, Spanien och Nederländerna. Inte heller vad gäller spårtrafik sticker Sverige ut i förhållande till övriga Europa. Vi ligger relativt högt i ranking vad gäller total spårlängd och godstrafik, men lite lägre för totalt antal tågrörelser. Det bör noteras att analysen av trafiksituation inte är heltäckande och detaljerad nog för att dra säkra slutsatser avseende skillnader i trafiksituation mellan Sverige och övriga EU. Bland annat har det inte varit möjligt att få fram årsdygnstrafik för andra länder för en jämförelse.

En försiktig slutsats avseende antal exponerade för vägtrafik, sett till den statistik som rapporterats in till EU, är att vi i Sverige verkar ha något lägre

andel i urbana områden som exponeras för höga eller mycket höga ljudnivåer (≥ 65 dB L_{den}) än i andra europeiska länder. Sett till mer måttliga ljudnivåer (55–64 dB L_{den}) ligger vi dock lika eller något över genomsnittet. Även för andel exponerade utanför urbana områden ligger Sverige nära genomsnittet för Europa. För spårtrafik har Sverige i urbana områden en högre andel som exponeras för måttliga ljudnivåer (55–64 dB L_{den}) än genomsnittet i Europa, men relativt likvärdig andel högexponerade (≥ 65 dB L_{den}). Sett till andelen som exponeras utanför urbana områden ligger vi nära genomsnittet för Europa.

Analys av WHO:s underlag och nytillkomna studier

Allmän störning

WHO:s bedömning om samband mellan trafikbuller och allmän störning baseras på en systematisk kunskapssammanställning och meta-analys från 2017 (Guski m.fl. 2017). Syftet med kunskapssammanställningen var att ta fram uppdaterad kunskap om sambanden mellan olika bullerkällor och grad av störning i den allmänna befolkningen. Meta-analysen, där data från flera olika studier slås ihop och vägs samman, syftade till att kvantifiera sambanden och att generera exponering-responsfunktioner för respektive bullerkälla och andel mycket störda i befolkningen, uttryckt som procent ”Highly Annoyed” (%HA).

Undersökningen bygger vidare på tidigare kunskapssammanställningar som gjorts vad gäller trafikbuller och allmän störning, t.ex. Miedema och Vos 1998 samt Miedema och Oudshoorn 2001.

Utöver WHO:s kunskapssammanställning har en handfull studier tillkommit efter 2015 som bedömts vara av relevans i en svensk kontext. Dessa presenteras i avsnittet Nytillkomna studier och finns att tillgå i Bilaga 1.

Utfallsvariabeln %HA

Allmän bullerstörning är ett subjektivt mått där varje individ själv retrospektivt skattar sin upplevelse av buller över en specifik tidsperiod. Enligt Guski m.fl. innehåller skattningar av bullerstörning tre element:

- 1) En ofta upprepad störning till följd av buller (t.ex. störning av aktiviteter såsom att samtala, lyssna på musik, titta på TV, läsa, arbeta eller sova) kombinerat med olika beteenden eller åtgärder för att minska störningen
- 2) En känslomässig reaktion kombinerat med attitydförändring gentemot bullerkällan (t.ex. ilska över bullret och en negativ inställning till bullerkällan)
- 3) En kognitiv reaktion (t.ex. insikt att man inte kan förändra en oönskad situation).

Allmän störning ses av många forskare som en stressreaktion som involverar dels en långvarig negativ inverkan från omgivningsmiljön, här i form av buller, dels de individuella fysiologiska, känslomässiga, kognitiva och beteendemässiga reaktioner som detta ger upphov till. Vidare är själva upplevelsen av bullerstörning även något man kan komma ihåg och återrapportera, till exempel i form av skattning på en verbal eller numerisk skala.

Deltagarna i de studier som ingår i Guski m.fl. 2017 har svarat på minst en standardiserad fråga om bullerstörning. I dagsläget finns två olika standardiserade bullerfrågor som rekommenderad av International Committee for the Biological Effects of Noise (ICBEN) (Fields m.fl. 2001) och International Standards Association (ISO) (ISO 2003). Dels används en femgradig verbal skala, dels en numerisk skala med 11 skalsteg (se faktaruta för exempel). Båda frågorna avser en specifik plats (”here at home”) och en specifik tidsperiod (”12 months or so”). Värt att notera är att det inte görs någon distinktion mellan besvär av buller *inomhus* och *utomhus* i hemmiljön utan att den tolkningen lämnas till de svarande att bedöma.

Som regel används andelen ”mycket störda”, eng- ”highly annoyed” (%HA), som effektmått. Exakt gräns för denna andel kan variera något mellan olika studier och störningsskalor men som standard används antingen de tre högsta svarsalternativen (8, 9 och 10) på den numeriska skalan från 0 till 10, motsvarande en cut-off vid 73 procent (Schultz 1978), eller de två högsta kategorierna på den femgradiga verbala skalan (”Very” och ”Extremely”), motsvarande en cut-off vid 60 procent (Fields m.fl. 2001).

Faktabruta: Standardiserade frågor om bullerstörning från ISO 2003.

Fråga baserat på verbal skala:

” Thinking about the last (12 months or so), when you are here at home, how much dose noise from (noise source) bother, disturb or annoy you?

-Not at all?

-Slightly?

-Moderately?

-Very?

-Extremely?”

Fråga baserat på numerisk skala:

” This uses a 0-to-10 option scale for how much (source) noise bothers, disturbs or annoys you when you are here at home. If you are not at all annoyed choose 0; if you are extremely annoyed choose 10; if you are somewhere in between, choose a number between 0 and 10.

Thinking about the last (12 months or so), what number from 0 to 10 best shows how much you are bothered, disturbed or annoyed by (source) noise?”

Studier inkluderade i WHO:s bedömning av buller och störning

Den föreliggande kunskapssammanställningen inkluderar fältstudier publicerade mellan åren 2000 och 2014 och omfattar buller från flyg-, väg-, och spårtrafik samt vindkraft. Inom ramen för detta uppdrag analyseras dock enbart studier om störningseffekter från väg- och spårtrafikbuller.

De studier som inkluderats i granskningen selekterades utifrån ett antal fördefinierade kriterier vilka beskrivs i korthet nedan:

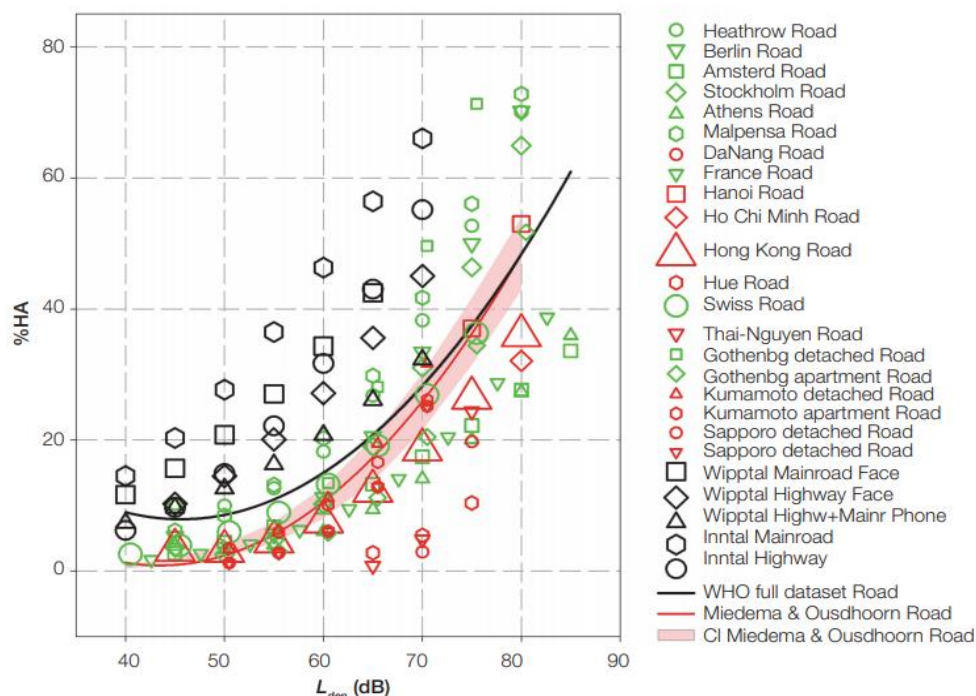
- 1) Studiedesign: Tvärsnitts- eller longitudinell studie.
- 2) Deltagare: Allmänna befolkningen.
- 3) Exponering: Långtidsexponering utomhus uttryckt som $L_{Aeq,24h}$, L_{dn} alternativt L_{den} (eller dess komponenter), och:
 - a. Modellerade ljudnivåer utifrån en vedertagen beräkningsmodell och faktiska trafikflöden, trafiksammansättning och hastighet, eller
 - b. Uppmätta ljudnivåer under minst en veckas tid justerade mot modellerade nivåer och meteorologiska förutsättningar om nödvändigt.
- 4) Utfallsmått: Individuell skattning av bullerstörning baserat på en standardiserad störningsfråga (ICBEN/ISO), eller en fråga mycket närliggande denna standard.

- 5) Störfaktorer: Inga krav på att studierna ska ha justerat för störfaktorer. Publikationer med andra riskfaktorer (t.ex. vibrationer) har inkluderats och markerats.
- 6) Språk: Engelska, franska, holländska och tyska.

För en detaljerad beskrivning av hur urvalet gjordes och hur data extraherats hänvisas till Guski m.fl. 2017 med bilagor.

Vägtrafik

För vägtrafikbuller inkluderades data från totalt 13 publikationer (Babisch m.fl. 2009, Brink 2013, Brink 2016, Brown m.fl. 2014, Brown m.fl. 2015, Champelovier m.fl. 2003, Heimann m.fl. 2007, Lercher m.fl. 2007, Medizinische Universitaet Innsbruck 2008, Nguyen m.fl. 2012, Pierette m.fl. 2012, Sato m.fl. 2002, Shimoyama m.fl. 2014) och 25 individuella studier genomförda mellan 1996 och 2013 i beräkningarna av exponering-responsfunktioner (WHO 2018, Guski m.fl. 2017 Tabell 3 och Figur 6). Totalt inkluderades 34 112 personer från en rad studiepopulationer från olika länder och städer. Majoriteten av undersökningarna har genomförts i Europa: Nederländerna/Amsterdam, Grekland/Aten, Tyskland/Berlin, Storbritannien/London, Italien/Milano, Sverige/Stockholm och Göteborg, Schweiz/Tysktalande delar, Frankrike/61 olika områden samt Österrike/Wippdalen och Inn-dalen, men även i Asien: Kina/Hong Kong, Japan/Kumamoto och Sapporo samt Vietnam/Hanoi, Ho Chi Ming och Da Nang. Figur 22 visar resultat från den meta-analys som gjordes baserat på ovanstående studier. Den lägsta bullernivå som används i studierna är 40 dB L_{den} . WHO:s kritiska effekt om 10 procent mycket störda nås här vid 53,3 dB L_{den} .



Figur 22. Samband mellan buller (L_{den}) från vägtrafik och andel mycket störda i befolkningen, baserat på studier inkluderade i Guski m.fl. 2017 (WHO 2018).

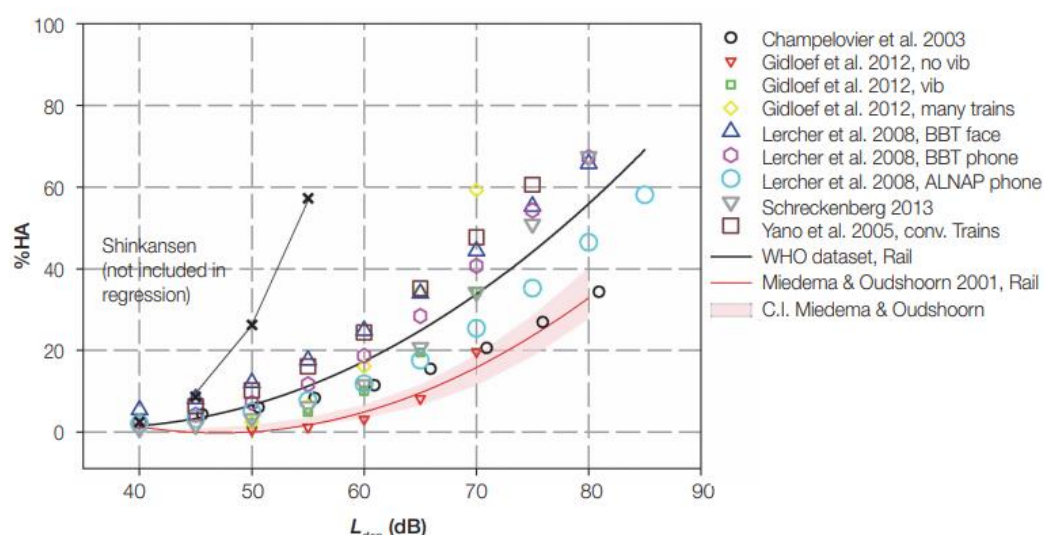
Ekvationen för beräkning av andel mycket störda (%HA) av vägtrafikbuller utifrån WHO:s fulla dataset är:

$$\text{Estimated \%HA} = 78.9270 - 3.1162 \times L_{\text{den}} + 0.0342 \times L_{\text{den}}^2.$$

Spårtrafik

För spårtrafikbuller inkluderades data från totalt fem olika publikationer (Champelovier m.fl. 2003, Gidlof-Gunnarsson m.fl. 2012, Lercher m.fl. 2008, Schreckenberg 2013, Yano m.fl. 2005) och 9 individuella studier i beräkningarna av exponering-responsfunktioner (WHO 2018, Guski m.fl. 2017, se Tabell 5 och Figur 10). Totalt inkluderades 10 970 personer från Frankrike/61 olika områden, Sverige/Töreboda, Falköping, Alingsås, Kungsbacka och Sollentuna, Österrike/Wipp-dalen och Inn-dalen, samt Tyskland/Rhen-dalen. En ytterligare studie från Japan/Fukuoka baserad på höghastighetståg (Shinkansen) fanns med från början men uteslöts då exponering-responskurvan avvek alltför mycket från övriga studier (Yano m.fl. 2005, Shinkansen-data).

I Figur 23 visas resultat från den meta-analys som gjordes baserat på ovanstående studier. Den lägsta bullernivå som används i studierna är 40 dB L_{den} . WHO:s kritiska effekt om 10 procent mycket störda nås här vid 53,7 dB L_{den} .



Figur 23. Samband mellan buller (L_{den}) från spårtrafik och andel mycket störda i befolkningen, baserat på studier inkluderade i Guski m.fl. 2017 (WHO 2018).

Ekvationen för beräkning av andel mycket störda (%HA) av spårtrafikbuller utifrån WHO:s fulla dataset är:

$$\text{Estimated \%HA} = 38.1596 - 2.05538 \times L_{\text{den}} + 0.0285 \times L_{\text{den}}^2.$$

Analys av relevans ur en svensk kontext

I ett försök att bedöma giltigheten av WHO:s slutsatser om exponering-responssamband mellan väg- respektive spårtrafikbuller och allmän störning i befolkningen genomfördes en granskning av ovan nämnda forskningsstudier (se Bilaga 1). En försvårande omständighet är att det inte varit möjligt att få tag i samtliga originalpublikationer, detta då flera av studierna bara publicerats som konferensbidrag eller i rapportformat som inte varit tillgängligt digitalt. I några

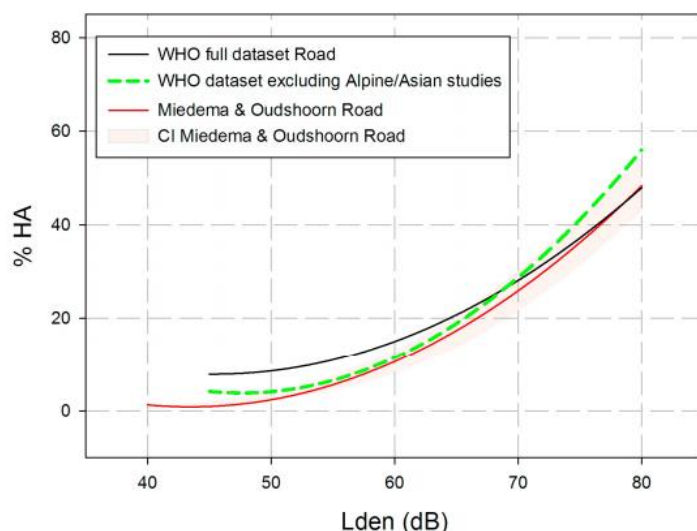
fall har det varit möjligt att via kontakt med författarna få en kopia av den aktuella publikationen men till stor del baseras granskningen och informationsinhämtningen på de uppgifter som presenteras i Guski m.fl.

En generell bedömning är att materialet i många avseenden är relativt heterogent, till exempel avseende exponeringsgrad, trafiksituation, ljudstandard i bostadsbeståndet och även utfallsmått. Att associationer mellan en exponering (här trafikbuller) och ett utfall (allmän störning) kan påvisas i olika sammanhang, vid olika tidpunkter och i olika populationer stärker evidensen för ett kausalt samband; det finns, tvivelsutan, ett samband mellan bullernivån från både vägtrafik och spårtrafik vid bostadens fasad och andelen mycket störda i populationen. För att kunna dra slutsatser om hur sambandet ser ut i en specifik population (svenska befolkningen), med sina specifika förutsättningar och vid en bestämd tidpunkt (i nuläget), är dock ett heterogent material en begränsning. En insnävning behöver göras mot studier som kan sägas ha liknande förutsättningar som i Sverige.

Vägtrafik

För vägtrafik visar granskningen att tio av studierna har genomförts i asiatiska länder (Kina, Japan och Vietnam). Tyvärr har det inte varit praktiskt möjligt eller tidsmässigt rimligt att försöka inhämta information om förhållanden i dessa länder utöver vad som funnits tillgängligt i Guski m.fl. alternativt i originalpublikationen. Den samlade bedömningen är dock att risken för skillnader i såväl ljudisolering i bostäder som trafiksituation är stor i dessa länder jämfört med förhållanden i Sverige. Det finns således tveksamheter kring att räkna med studier från Asien vid tolkningar av sambanden i en svensk kontext. Vidare har fem av studierna genomförts i Alpområden (Österrike/Wippdalen och Inn-dalen) där topografin kan ge upphov till fler ljudreflexer och därmed högre ljudnivåer. Störningsnivåerna har också, historiskt sett, visat sig högre i alpområden än i studier från områden med mer flack terräng. Även trafiksituationen har varit föremål för diskussion i dessa studier då de inkluderar vägar (och spårvägar) med mycket tung trafik genom alpregionen. I korthet finns således flera tveksamheter kring hur resultat från dessa studier ska översättas till svenska förhållanden. Slutligen visade granskningen av ljudisolering i bostäder i ett urval europeiska länder (Simmons 2021) risk för lägre fasadisolering i Storbritannien. Det finns därmed även tveksamheter kring resultaten från urvalet från Storbritannien/London i den så kallade HYENA-studien.

I Guski m.fl. presenteras en alternativ exponering-responsfunktion där de tio studierna från Asien och de fem studierna från alpområdet har exkluderats (Figur 24). De tio kvarvarande undersökningarna, inklusive tre ifrån Sverige/Stockholm och Göteborg (Babish m.fl. 2009, Sato m.fl. 2002), är alla genomförda i europeiska länder med flack terräng och har använt ICBEN:s standardiserade bullerstörningsfråga med cut-off vid 73 procent som definition på andel mycket störda. WHO:s kritiska effekt om 10 procent mycket störda av vägtrafikbuller nås med denna funktion vid ca 59 dB L_{den} .



Figur 24. Samband mellan buller (L_{den}) från vägtrafik och andel mycket störda i befolkningen, baserat på tio europeiska studier (grön streckad linje) inkluderade i Guski m.fl. 2017 i jämförelse med WHO:s fulla dataset (Guski m.fl. 2017).

Ekvationen för beräkning av andel mycket störda (%HA) av vägtrafikbuller utifrån detta urval är:

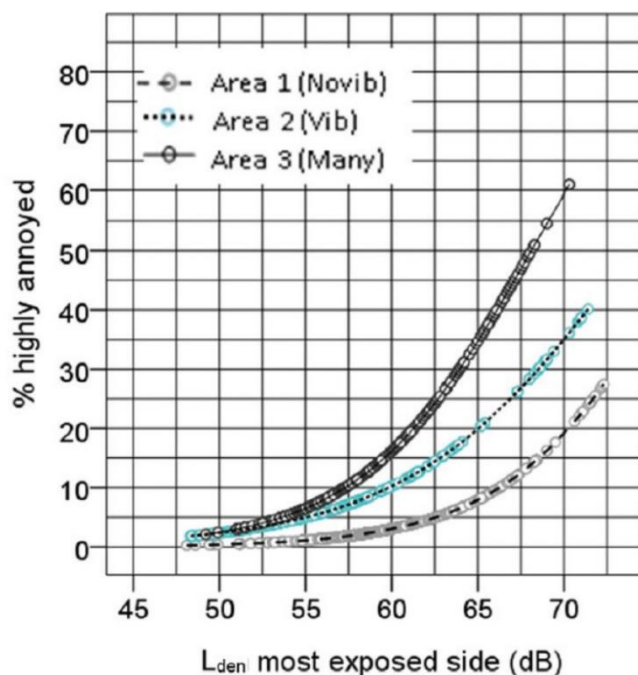
$$\text{Estimated \%HA} = 116.4304 - 4.7342 \times L_{den} + 0.0497 \times L_{den}^2.$$

Spårtrafik

För spårtrafikbuller visar granskningen att en studie genomförts i Asien (Japan) samt fyra i Alpområdet (Österrike/Wipp-dalen, Inn-dalen och Rehn-dalen) där topografin kan spela in. Man har dock valt att inte exkludera dessa studier från beräkningen av exponering-responskurvan då den kvarvarande populationen bedömdes ge ett alltför litet underlag. Värt att notera är att studierna som inkluderats använder olika definitioner av %HA; cut-off vid 60 procent respektive vid 73 procent.

Sammanvägningen inkluderar en svensk studie baserad på data från 2007/08 och populationer från tre olika områden (Gidlöf-Gunnarsson m.fl. 2012). De tre områden som studerats är Töreboda/Falköping ("Area 1") längs Västra Stambanan, Alingsås/Kungsbacka ("Area 2") längs Västkustbanan, och Sollentuna ("Area 3"), lokaliserad längs Ostkustbanan. Dessa tre områden valdes ut i syfte att kunna studera inverkan på störning kopplat till spårbullernivån av antal tågpassager, vibrationer samt bostadsfaktorer (ex. balkongens/uteplatsens och sovrummets läge). Area 1 karakteriseras av exponering för spårbuller enbart (124 tågpassager/24h; 48–72 dB L_{den}), Area 2 av spårbuller (206/179 tågpassager/24h; 48–71 dB L_{den}) i kombination med vibrationer och Area 3 av spårbuller från ett mycket högt antal tågpassager (högst i Sverige med 481 tågpassager; 49–70 dB L_{den}). Av Figur 25 framgår att störningsnivån var som högst i området där trafiken var som tätast (Area 3), följt av området där det förekom både spårbuller och vibrationer (Area 2) och som lägst i området med enbart spårbuller. Detta trots att Area 1 och 2 hade en högre förekomst av godstrafik än Area 3. I jämförelse med WHO:s sammanvägda exponering-responskurva är störningsfrekvensen i Area 3 någorlunda likvärdig

med medelvärdet för alla sammanvägda studier (med undantag för ljudnivåer runt 70 dB L_{den} där störningsgraden i det svenska urvalet är klart högre), medan störningarna ligger lägre i Area 2 och klart lägre i Area 1 (Figur 23). En slutsats som kan dras av detta är att andelen mycket störda till följd av spårbuller i Sverige generellt sett sannolikt är något lägre än vad som kan utläsas av WHO:s sammanvägning, med undantag för områden som utsätts för ett högt antal tågpassager och där det även förekommer vibrationer.



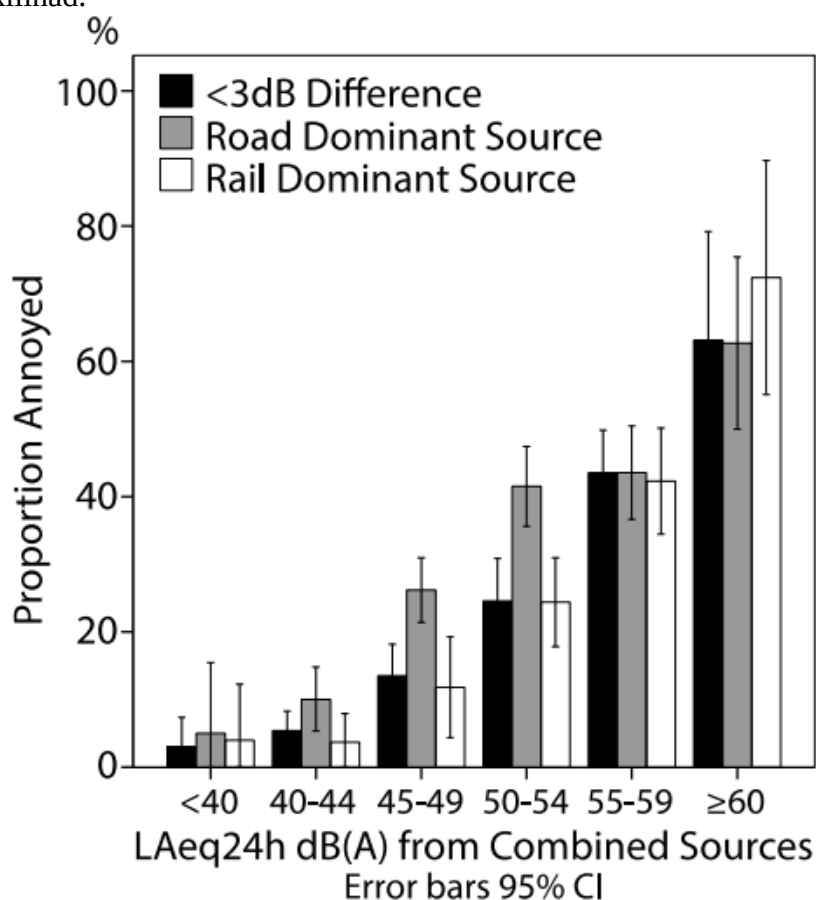
Figur 25. Samband mellan buller (L_{den}) från spårtrafik och andel mycket störda i befolkningen i tre svenska populationer (Gidlöf-Gunnarsson m.fl. 2012).

Nyttillkomna studier

För att identifiera nyttillkomna studier som undersökt exponering-respons samband mellan väg- respektive spårtrafikbuller och allmän störning gjordes en sökning i den medicinska databasen PubMed. Söktermer som användes var 'noise annoyance' och 'road traffic' alternativt 'railway' i kombination med årtal ('2015' till '2021'). Sökningarna renderade totalt 128 träffar för vägtrafik och 57 träffar för spårtrafik (delvis överlappande mellan väg- och spårtrafik samt över åren). I ett första steg, baserat på studiernas abstract, exkluderades studier som inte matchade söktermerna. Detta resulterade i 16 kvarvarande studier för vägtrafik och 8 studier på spårtrafik som granskats i fulltexten. I ett andra steg exkluderades sedan de studier som inte uppfyllde de fördefinierade urvalskriterier som använts i Guski m.fl. (se ovan) samt de studier som genomförts i ett land/stad som, inom ramen för det föreliggande uppdraget, bedömts ha risk för skillnad i bostäders ljudstandard och trafiksituation jämfört med svenska förhållanden. Totalt befanns 3 studier på vägtrafik och 5 studier på spårtrafik matcha kriterierna (Bilaga 1).

En av de tre studier som bedömts ha relevans för uppdraget har genomförts i Sverige (Bodin m.fl. 2015). Studien baseras på 2 612 män och kvinnor (18–79 år) boende i Malmö som år 2007 besvarade en enkät med frågor om bullerstörning, bullerkänslighet, sömnproblem, koncentrationssvårigheter och

bostaden/sovrummet tillgång till tyst sida. Buller från väg- och spårtrafik modellerades vid den mest utsatta fasaden och varierade från <40 dB till ≥ 60 dB $L_{Aeq,24}$. Syftet med studien var att studera effekten av att ha tillgång till en tyst sida, men även att undersöka hur exponering för kombinerat buller från väg- och spårtrafik inverkar på besvärssrapporteringen. Resultaten från studien visar ett tydligt exponering-responssamband mellan bullernivå (väg- och spårbuller kombinerat) vid bostadens fasad och andel störda (%A) i populationen; definierat som måttligt, mycket eller väldigt mycket störd (de tre högsta alternativen på en femgradig skala). Tillgång till tyst sida (fönster mot innergård, vatten eller grönska) var associerat med en statistiskt säkerställd lägre grad av störning, koncentrationsproblem och sömnstörning. En uppdelning i källspecifikt buller, baserat på dominerande källa, visade att vägbuller gav upphov till en högre grad av störning än spårbuller vid ljudnivåer mellan 45 och 54 dB (Figur 26). Över denna nivå sågs dock ingen statistiskt säkerställd skillnad.



Figur 26. Andel störda av buller från väg- och spårtrafik. Källa: Bodin m.fl. 2015.

En studie från åtta olika områden i Frankrike inkluderade exponering-responssamband mellan väg- och spårtrafikbuller och andel mycket störda (73 procent cut-off) bland 823 personer som svarade på en enkätundersökning år 2012 (Gille m.fl. 2016). Syftet var att utvärdera lokala exponering-responsfunktioner mellan trafikbuller (väg-, spår- och flyg) gentemot Miedema och Oudshoorns funktioner (Miedema och Oudshoorn 2001). För vägtrafikbuller fann man att funktionerna stämde relativt väl vad gäller %HA, men sämre vad gäller %A och %LA. För spårtrafikbuller var överensstämmelsen överlag dålig.

Genom att anpassa funktionerna efter lokala data uppnåddes dock en bättre prediktion av andelen störda i befolkningen.

I en studie från Schweiz, genomförd 2014/-15, undersöktes exponering-responssamband mellan trafikbuller (väg-, spår- och flyg) och andelen mycket störda (73 % cut-off) i ett populationsbaserat slumpmässigt urval om 5 592 män och kvinnor (Brink m.fl. 2019). Utöver samband med L_{den} undersöktes också associationer med ett så kallat "Intermittency Ratio" (IR), detta i syfte att se hur antalet bullerhändelser inverkar på störningsgraden. För samtliga trafikslag sågs signifikanta samband mellan exponeringsnivån (L_{den}) och andel mycket störda i befolkningen, även efter justering för olika störfaktorer. För vägtrafikbuller uppnåddes 10 procent mycket störda vid ca 58 dB L_{den} , och för spårtrafikbuller vid ca 56 dB L_{den} . I motsats till vad som förväntades sågs för vägbuller från motorvägar en högre grad av störning (motsvarande >6 dB) vid ett lågt IR, dvs. med få bullerhändelser, jämfört med ett högt IR. För spårbuller sågs dock det förväntade, dvs. att ett högt IR var associerat med en högre grad av störning. En slutsats från studien var därför att det går att öka precisionen vid beräkningar av andelen mycket störda i befolkningen genom att använda flera olika akustiska mått (här L_{den} och IR).

Två studier har fokuserat specifikt på spårtrafikbuller; Licitra m.fl. 2016 och Ögren m.fl. 2017. Studien av Licitra m.fl. genomfördes i Italien, Pisa, och bedömde samband mellan både modellerat och uppmätt spårbuller bland 119 män och kvinnor i åldrarna 35–70. Ett av studiens syften var att undersöka hur ljud som normalt inte tas med i beräkningar av spårbuller (så kallade "unconventional noises", beskrivet som "manoeuvring, loading and unloading, truck movements, braking, squeals and whistles") påverkar graden av störning. Man gjorde även jämförelser med redan etablerade exponering-responskurvor (Miedema och Oudshoorn 2001) samt med svenska data (Gidlöf-Gunnarsson m.fl. 2012). Överlag såg man en högre grad av störning än vad som kunde förväntas utifrån Miedemas funktion, men överensstämmelsen med svenska data var god. Exponering-responskurvan för modellerade ljudnivåer låg generellt 3 dB lägre jämfört med kurvan för uppmätta ljudnivåer, vilket av artikelförfattarna tolkas som att modellerat spårbuller riskerar att underskatta andelen mycket störda då "unconventional noises" inte tas med i bedömningen.

I Ögren m.fl. undersöktes effekter på störning av både buller och vibrationer i en population om 862 deltagare i åldrarna 18–79 år. Fyra olika områden studerades: Töreboda och Falköping (enbart buller) samt Alingsås och Kungsbacka (både buller och vibrationer). Genom att jämföra sambanden mellan buller och andelen mycket störda i områden med respektive utan vibrationer kunde man bestämma bullernivåer och vibrationshastigheter med samma sannolikhet att orsaka störning. Till exempel uppnåddes 20 procent mycket störda vid 59 dB $L_{Aeq,24h}$ eller vid vibrationshastighet 0,48 mm/s.

Ytterligare två studier av relevans för uppdraget, baserade på data från Sverige, är Eriksson m.fl. 2013 samt Eriksson m.fl. 2021. I Eriksson m.fl. 2013 jämförs andel mycket störda av buller från väg- respektive spårtrafik baserat på miljöhälsoenkätsdata från Stockholm, Göteborg och Malmö för år 2007 för totalt 2 496 män och kvinnor med internationella exponering-responsfunktioner (Miedema och Oudshoorn 2001). Syftet var att utvärdera om de strategiska

bullerkartor som tas fram i Sverige till följd av EU-direktivet för omgivningsbuller kan användas som underlag vid hälsoriskbedömningar samt att utvärdera betydelsen av val av beräkningspunkt; mest exponerad fasad, adresspunkt (oftast entré) eller bostadens fasad där hänsyn tagits till hur lägenheten vetter i förhållande till omgivningen (tyst/bullerutsatt sida). Bäst samstämmighet med Miedema's funktion sågs då en korrigering gjordes för lägenhetens orientering mot omgivningen, vilket pekar på att sådan information bör inkluderas vid beräkningar av andel mycket störda i befolkningen.

En nyligen genomförd undersökning av sambanden mellan väg- och spårtrafikbuller och andel mycket störda i befolkningen baserat på svenska data presenteras i Eriksson m.fl. 2021. Denna studie baseras på 12 360 män och kvinnor från Stockholms län som deltog i den nationella miljöhälsoenkäten år 2015. I avsnittet nedan presenteras detaljerade data från undersökningen samt jämförelser med WHO:s exponering-responsfunktion.

Övergripande riskbedömning

Som belysts ovan finns det för vägtrafikbuller två olika funktioner för beräkning av andel mycket störda (%HA) att tillgå utifrån WHO:s sammanställning. Den ena baserad på det totala urvalet (25 undersökningar), den andra på ett delurval om 10 undersökningar där studier från Asien och Alpområdet har exkluderats. De studier som inkluderats i WHO:s granskning har använt två olika definitioner på %HA; majoriteten har använt en cut-off vid 73 procent, men några har i stället använt en cut-off vid 60 procent (se avsnittet Utfallsvariabeln %HA ovan).

För att jämföra dessa båda funktioner med svenska data har vi beräknat %HA baserat på den nationella miljöhälsoenkäten för år 2015 (Folkhälsomyndigheten 2017). I ett tidigare uppdrag för Naturvårdsverket genomförde CAMM en exponeringsbedömning av alla svarande personer i Stockholms län, totalt 12 360 individer i åldrarna 18–84 år (Eriksson m.fl, 2020). Exponeringen beräknades utomhus vid den mest bullerutsatta sidan och baseras på trafikdata för år 2015. Effekten av befintliga bullerskärmar/vallar har tagits med i beräkningen, dock inte bostadens orientering mot omgivningen (tillgång till tyst sida eller ej). Andelen mycket störda har beräknats både med en cut-off vid 60 procent och vid 73 procent för att möjliggöra jämförelse med WHO:s funktioner. För vägtrafikbuller baseras analysen på 8 620 individer och för spårtrafikbuller på 3 366 individer med en exponering ≥ 40 dB L_{den} .

För vägtrafikbuller uppnåddes WHO:s kritiska effekt om 10 procent mycket störda i WHO:s totala urval vid ca 53 dB L_{den} (50 dB $L_{Aeq,24h}$) och i delurvalet vid ca 59 dB L_{den} (56 dB $L_{Aeq,24h}$) (Tabell 10). Baserat på data från MHE15 uppnåddes 10 procent mycket störda vid ca 52 dB L_{den} (49 dB $L_{Aeq,24h}$) baserat på en cut-off vid 60 procent, och vid ca 59 dB L_{den} (56 dB $L_{Aeq,24h}$) baserat på en cut-off vid 73 procent.

Tabell 10. Andel mycket störda (%HA) av vägtrafikbuller i befolkningen beräknat utifrån WHO:s totala urval respektive delurval samt baserat på Miljöhälsoenkät 2015, Stockholms län (MHE15).

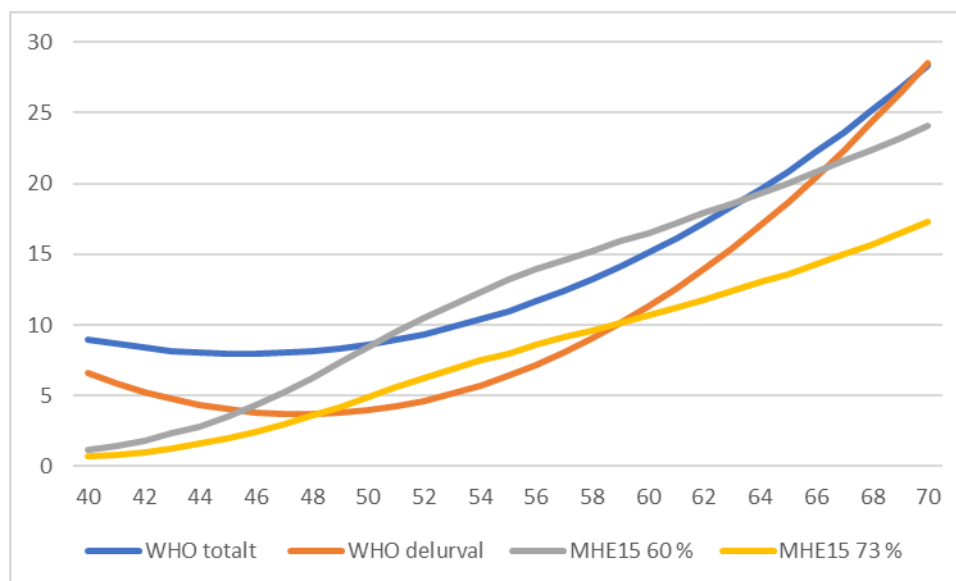
L_{den} (L_{Aeq,24h})¹	Andel mycket störda (%HA)			
	WHO Totalt urval²	WHO Delurval³	MHE15 60% cut-off	MHE15 73% cut-off
40 (37)	9,0	6,6	1,2	0,7
41 (38)	8,7	5,8	1,4	0,8
42 (39)	8,4	5,3	1,8	1,0
43 (40)	8,2	4,8	2,3	1,3
44 (41)	8,0	4,3	2,8	1,6
45 (42)	7,9	4,0	3,5	2,0
46 (43)	8,0	3,8	4,3	2,4
47 (44)	8,0	3,7	5,2	3,0
48 (45)	8,1	3,7	6,2	3,6
49 (46)	8,3	3,8	7,3	4,2
50 (47)	8,6	4,0	8,4	4,9
51 (48)	9,0	4,3	9,5	5,6
52 (49)	9,4	4,6	10,5	6,2
53 (50)	9,8	5,1	11,4	6,9
54 (51)	10,4	5,7	12,3	7,5
55 (52)	11,0	6,4	13,2	8,0
56 (53)	11,7	7,2	13,9	8,6
57 (54)	12,4	8,1	14,6	9,1
58 (55)	13,2	9,0	15,2	9,6
59 (56)	14,1	10,1	15,9	10,1
60 (57)	15,1	11,3	16,5	10,7
61 (58)	16,1	12,6	17,2	11,2
62 (59)	17,2	14,0	17,9	11,8
63 (60)	18,4	15,4	18,6	12,4
64 (61)	19,6	17,0	19,3	13,0
65 (62)	20,9	18,7	20,0	13,6
66 (63)	22,2	20,5	20,8	14,3
67 (64)	23,7	22,3	21,6	15,0
68 (65)	25,2	24,3	22,4	15,7
69 (66)	26,7	26,4	23,2	16,5
70 (67)	18,4	28,6	24,1	17,3

¹ Omräkningen från L_{den} till L_{Aeq,24h} har baserats på en schablon om -3dB (Jonasson 2005).

² Ingående studier använder olika definitioner av andel mycket störda används, dock har majoriteten av studierna en cut-off vid 73 procent.

³ Alla ingående studier har en cut-off vid 73 procent som definition på andel mycket störd.

Figur 27 visar en relativt god överensstämmelse i andelen mycket störda av vägtrafikbuller mellan WHO:s funktion för det totala urvalet och data från MHE15 baserat på en cut-off vid 60 procent. Vid ljudnivåer under 50 dB L_{den} är dock andelen lägre i det svenska urvalet än vad som skattas från WHO:s funktion. Används i stället en cut-off vid 73 procent för MHE15 är andelen mycket störda i befolkningen mer lik WHO:s funktion baserad på delurvalet. Vid ljudnivåer över 60 dB L_{den} är dock andelen lägre i det svenska urvalet än vad som skattas från WHO:s funktion.



Figur 27. Jämförelse av andel mycket störda (%HA) av vägtrafikbuller mellan WHO:s funktioner (totalt urval respektive delurval) och data från MHE15 (cut-off vid 60 respektive 73 procent).

För spårtrafikbuller uppnåddes WHO:s kritiska effekt om 10 procent mycket störda i WHO:s urval vid ca 54 dB L_{den} (50 dB L_{Aeq,24h}) (Tabell 11). Baserat på data från MHE15 uppnåddes 10 procent mycket störda vid ca 61 dB L_{den} (55 dB L_{Aeq,24h}) baserat på en cut-off vid 60 procent, och vid ca 65 dB L_{den} (59 dB L_{Aeq,24h}) baserat på en cut-off vid 73 procent. I jämförelse med WHO:s urval ligger störningsdata från det svenska urvalet således avsevärt lägre, både med en cut-off vid 60 procent och vid 73 procent (Figur 28).

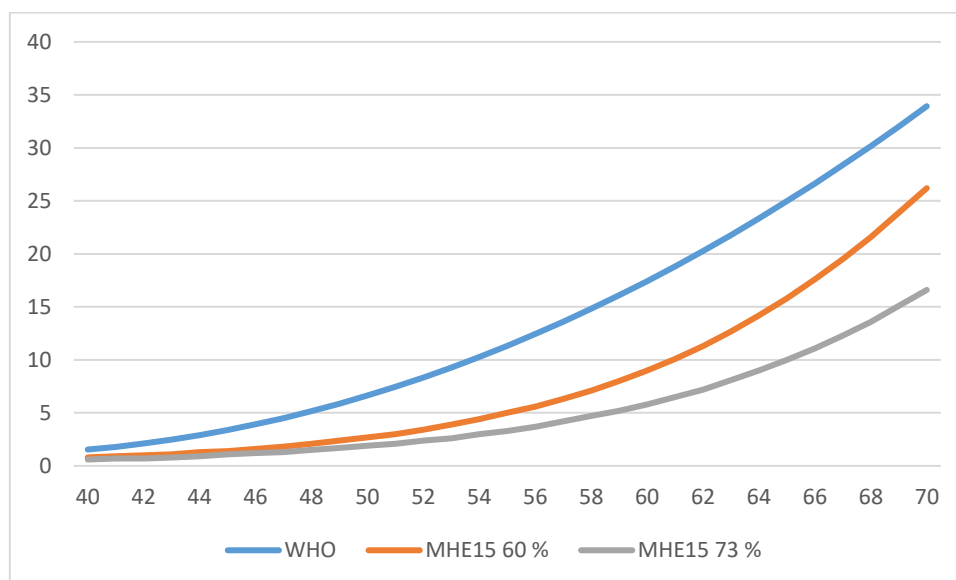
Tabell 11. Andel mycket störda (%HA) av spårtrafikbuller i befolkningen beräknat utifrån WHO:s urval samt baserat på Miljöhälsoenkät 2015, Stockholms län (MHE15).

L _{den} (L _{Aeq,24h}) ¹	Andel mycket störda (%HA)		
	WHO ²	MHE15 60% cut-off	MHE15 73% cut-off
40 (34)	1,5	0,8	0,6
41 (35)	1,8	0,9	0,7
42 (36)	2,1	1,0	0,7
43 (37)	2,5	1,1	0,8
44 (38)	2,9	1,3	0,9
45 (39)	3,4	1,4	1,1
46 (40)	3,9	1,6	1,2
47 (41)	4,5	1,8	1,3
48 (42)	5,2	2,1	1,5
49 (43)	5,9	2,4	1,7
50 (44)	6,6	2,7	1,9
51 (45)	7,5	3,0	2,1
52 (46)	8,3	3,4	2,4
53 (47)	9,3	3,9	2,6
54 (48)	10,3	4,4	3,0
55 (49)	11,3	5,0	3,3
56 (50)	12,4	5,6	3,7
57 (51)	13,6	6,3	4,2
58 (52)	14,8	7,1	4,7
59 (53)	16,1	8,0	5,2

60 (54)	17,4	9,0	5,8
61 (55)	18,8	10,1	6,5
62 (56)	20,3	11,3	7,2
63 (57)	21,8	12,7	8,1
64 (58)	23,4	14,2	9,0
65 (59)	25,0	15,8	10,0
66 (60)	26,7	17,6	11,1
67 (61)	28,4	19,5	12,3
68 (62)	30,2	21,6	13,6
69 (63)	32,0	23,9	15,1
70 (64)	33,9	26,2	16,6

¹ Omräkningen från L_{den} till $L_{Aeq,24h}$ har baserats på en schablon om -6dB (Jonasson 2005).

² Ingående studier använder olika definitioner av andel mycket störda används, dock har majoriteten av studierna en cut-off vid 73 procent.



Figur 28. Jämförelse av andel mycket störda (%HA) av spårtrafikbuller mellan WHO:s funktion och data från MHE15 (cut-off vid 60 respektive 73 procent).

Dokumenterad kritik mot WHO:s review av allmän störning

De slutsatser och rekommendationer om riktvärden som WHO presenterar i dokumentet Environmental Noise Guidelines for the European Region, 2018, bygger till stor del på resultaten från den systematiska kunskapssammanställningen om allmän störning, mer specifikt på de ljudnivåer där den kritiska effekten om 10 procent mycket störda uppnås (Guski m.fl. 2018). Kvaliteten på det arbete, de studier och de genomförda meta-analyser som ligger bakom slutsatserna spelar således en avgörande roll för de riktvärden som rekommenderas. Sedan WHO:s guidelines publicerades har det framförts kritik mot Guskis kunskapssammanställning, framför allt vad gäller slutsatser om flygbuller. Delar av kritiken gäller dock även väg- och spårtrafikbuller.

Huvuddragen av kritiken framförs i en artikel av T Gjestland (Gjestland 2018). I denna publikation menar Gjestland att valet av studier som ingår i meta-analysen samt metodiken för analysen har avgörande inverkan på de slutgiltiga rekommendationerna. Till att börja med kritiserar att rekommendationerna

enbart baserar sig på studier från perioden 2000–2015, något som begränsar urvalet. Gjestland menar också att författarna till kunskapssammanställningen ibland avviker från sina egna inklusionskriterier. Till exempel inkluderas resultat från HYENA-studien där åldersspannet för deltagarna (45–70 år) inte kan sägas vara representativa för hela befolkningen. Tidigare undersökningar, menar Gjestland, har indikerat att medelålders personer rapporterar en högre grad av störning än yngre, vilket i förekommande fall skulle leda till en överskattning av andelen mycket störda individer. Även utfallsmåttet, störningsfrågan om buller, kritiserar då det inte är standardiserat till fullo. Vid sammanvägningen av resultat från enskilda studier används till exempel något olika definition av andelen mycket störda (%HA); vanligast är en cut-off vid 73 procent, men några av studierna använder i stället 60 procent eller därkring. Tidpunkten för avsedd störning varierar också, i HYENA studien frågas t.ex. specifikt efter störning dagtid medan ISO-standarderna inte har någon rekommenderad tidsperiod. Vidare har flera studier genomförts kort efter en kraftigt förändrad trafiksituation (t.ex. en nyöppnad flygplats) vilket också riskerar att leda till en överskattning av andelen mycket störda. För väg- och spårtrafik sker troligtvis inte lika drastiska förändringar i exponeringssituationen, men eventuella förändringar som inträffat i anslutning till att en studie genomförts skulle kunna inverka på resultaten. Gjestland kritiserar även valet av metod i Guski m.fl. som han menar är förenklad och inte ger utrymme att undersöka inverkan av icke-akustiska faktorer. Han pekar på att spridningen i störningsgrad mellan studierna är stor och kan förklaras av andra skillnader än ljudnivån, något som han hävdar inte fångas eller diskuteras av Guski m.fl. Slutligen pekar han även på att den viktning som gjorts utifrån studiernas storlek kan leda till missvisande resultat, framför allt då de inte tar hänsyn till skillnader i icke-akustiska faktorer mellan undersökningarna.

I en kommentar publicerad i februari 2019 bemöter Guski m.fl. Gjestlands kritik och underbygger sina beslut om inkludering av studier samt val av metod (Guski m.fl. 2019). Majoriteten av Gjestlands kritik besvaras och rimliga förklaringar förs fram. Till exempel försvarar man beslutet att inkludera resultat från HYENA-studien och lyfter fram att nyare studier inte har kunnat se samma skillnad i störningsrapportering relaterat till ålder som i den studie Gjestland refererar till. Man poängterar också att Gjestland dragit fel och för långtgående slutsatser angående metodens brister i att undersöka inverkan av icke-akustiska faktorer samt att detta visst berörs i WHO:s guidelines. Slutligen visar Guski m.fl. också att den viktning som använts inte har inverkat nämnvärt på WHO:s slutsatser och rekommendationer om riktvärden. Sammantaget fastslår författarna att de är övertygade om att WHO inte dragit felaktiga slutsatser baserat på deras arbete och att det rekommenderade riktvärdet för flygbuller inte är oförsvarligt lågt.

Det har även förekommit kritik gentemot WHO:s slutsatser om samband mellan spårbuller och allmän störning, exempelvis från UIC (International Union of Railways). I en rapport från 2021 (UIC 2021) ifrågasätts bland annat varför WHO:s skattningar indikerar en högre grad av störning än tidigare beräkningar. Man pekar på att detta inte är tillräckligt utrett och kan bero på att beräkningarna är gjorda på få studier, skillnader i spårtyper (spårvägsbuller inkluderades i tidigare studier), olika störningsdefinition samt att WHO inkluderat studier från Alpområdet, där störningsgraden av flera orsaker är högre.

Sömnstörning och sömnpåverkan

De bedömningar om samband mellan väg- och spårtrafikbuller i relation till sömnpåverkan som ingår i WHO:s bedömning utgår från en systematisk kunskapssammanställning genomförd av Basner och McGuire (2018). Syftet med denna kunskapssammanställning var att ta fram ny kunskap om sambanden mellan olika bullerkällor i boendemiljön och sömnstörning. Människans auditiva system är ständigt aktivt och vi uppfattar och reagerar på ljud även under sömn. En bra sömnkvalité är av stor vikt för hälsan både på kort och lång sikt. Sömnstörning kommer därför alltid att vara ett viktigt mått att beakta vid utvärdering av hälsopåverkan från trafikbuller.

I Basners kunskapssammanställning kombinerades tre olika litteratursökningar för att identifiera alla lämpliga studier. I granskningen rensades dubletter bort och följande inklusionskriterier följdes:

- Publicerad 2000 eller senare (fram till 1 december 2015)
- Verkliga bullermiljöer (ej inspelat ljud)
- Adekvat och objektiv bullermodellering

Detaljerad beskrivning av den systematiska granskningen återfinns i Basner och McGuire 2018. Totalt inkluderades 41 studier i den kvalitativa delen och 33 studier i den kvantitativa delen av sammanställningen.

I Basners kunskapssammanställning delas sömnstörning in i två delar: objektiv och subjektivt bedömd sömnstörning.

I den objektiva delen mäts sömnstörning med bland annat Polysomnografi, vilken anses vara en gyllene standard inom området. Genom Polysomnografi mäts bland annat elektrisk aktivitet i hjärnan (EEG), ögonrörelser (EOG) och spänning(tonus) i skelettmuskulaturen (EMG). Det ger en komplett bild av sömnen och medför att man kan dela in den i olika stadier. Metoden är dock ganska invasiv, svår att applicera rätt och svår att tolka. Därför mäts även många objektiva sömnstudier med aktigrafer (sömnklockor). Sömn har även mätts via tryck på en knapp vid uppvaknande eller ett skriftligt protokoll bredvid sängen. Missklassificeringen med denna typ av självregistrering är dock betydande.

I den subjektiva delen mättes sömnstörning vanligen med validerade frågor kring nivå och frekvens av sömnstörning hos deltagarna under en specificerad tidsperiod. Efter granskning beslöts att fokus skulle läggas på de tre vanligaste utfallsgrupperna:

- Uppvaknanden, vilka sker under perioden mellan insomning och slutligt uppvaknande. Det inkluderar de händelser där personen vaknar upp under natten, får tillbaka medvetandet och kommer ihåg uppvaknandet dagen efter.
- Insomning, vilket specificerar perioden mellan vakenhet och sömn.
- Sömnstörning, vilket anger intern/extern påverkan på insomning och bibehållen sömn.

Både de undersökningar som innehöll generella frågor om sömn samt de studier som inkluderade specifika frågor om hur buller påverkar sömn inkluderades i kunskapssammanställningen.

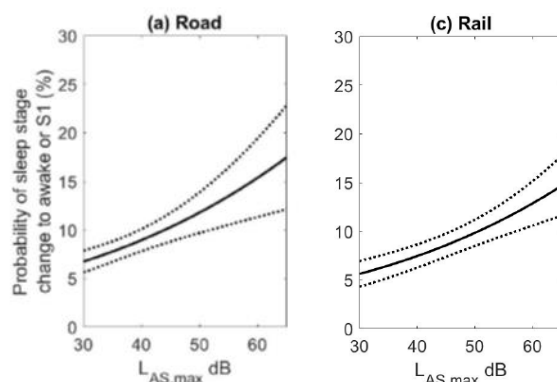
Skalorna som sömnstörning mättes med varierade mellan studierna som inkluderades i kunskapssammanställningen. För att kunna sammanfoga dessa till en gemensam modell översattes svarsalternativen för varje fråga till en skala från 0 till 100 genom att dela 100 med antalet svarsalternativ och multiplicera med svarsalternativets rankning. En kumulativ spridningsfunktion räknades ut och andelen av populationen som hade 72% eller högre definierades som mycket sömnstörda.

I den sammantagna analysen kunde inte individuella data användas. Dessutom kunde inte resultat inhämtas från alla svarskategorier och även frågor som baserades på frekvens eller gradering av sömnstörning inkluderades. I stället för att räkna ut en kontinuerlig funktion, så modellerades sannolikheten att vara sömnstörd. En binär variabel skapades för mycket sömnstörda, i enlighet med ICBEN:s skalor för störning (Fields m.fl. 2001). För frågor som använt en 5 eller 11 stegs skala och som relaterade till sömnstörningens svårighetsgrad, klassades de översta två eller översta tre stegen som mycket sömnstörda. För några frågor, som fokuserade på frekvens av sömnstörning, klassades symptom som förekom tre gånger eller mer per vecka som mycket sömnstörda. Detta motsvarar kriteriet för insomni som är sömnsvärigheter minst tre gånger per vecka under åtminstone en månad.

Studier inkluderade i WHO:s bedömning av buller och sömnstörning

Kunskapssammanställningen av Basner och McGuire inkluderar studier publicerade mellan åren 1 januari 2000 och 1 december 2015 och omfattar buller från flyg-, väg-, och spårtrafik samt vindkraft. Inom ramen för detta uppdrag analyseras dock enbart studier om sömnstörningseffekter från väg- och spårtrafikbuller.

Totalt identifierades fyra studier som mätt polysomnografi i kombination med objektivet mätt trafikbuller i boendemiljön, en norsk studie (Aasvang m.fl. 2011), en brittisk studie (Flindell m.fl. 2000) samt två tyska studier (Basner m.fl. 2006, Elmenhorst m.fl. 2012). Av dessa hade de två tyska studierna tillgängliga och detaljerade mätningar av enskilda bullerhändelser under natten. Endast dessa två valdes ut för vidare analyser: Deufrakostudien och Strainstudien (Basner m.fl. 2006, Elmenhorst m.fl. 2012). Båda studierna genomfördes på personer boende i närheten av Köln-Bonn flygplats men det är väg- och tågbuller som studeras. Defrakostudien genomfördes 2008–2009 och bestod av 33 personer. Flerdagsmätningarna på dessa genererade totalt 7 631 tåghändelser och 4 407 vägtrafikhändelser. Strainstudien genomfördes 2001–2002 och inkluderade 61 personer och genererade totalt 7 101 vägtrafikhändelser. Båda studierna mätte även flygbuller, vilket inte visas i denna genomgång. De två studierna slogs samman och de gemensamma analyserna visas i Figur 29.



Figur 29. Sannolikheten för övergång från djupa sömnstadier (S3-4) till ytlig sömn (S1) eller vaket tillstånd inom ett 90 sekundersintervall efter en bullerhändelse mätt med maximalnivå $L_{AS,max}$ med kombinerad data från studierna Deufrako och Strain. Resultaten presenteras i den svarta linjen, medan de streckade linjerna beskriver osäkerhetsintervallet (95 % KI). (Basner och McGuire 2018).

Sammanlagt identifierade Basner och McGuire 30 studier enligt ovan nämnda kriterier som inkluderade självrapporterad sömnstörning och som kunde ge uppgifter om antal studiepersoner som rapporterade uppvaknanden, problem med insomning eller allmän sömnstörning inom varje 5-dB intervall. Dessa data summerades och exponering-responsförhållanden analyserades för hela materialet. De flesta studierna bedömde bullernivån vid den mest exponerade sidan av byggnaden. Alla studier utom en använde L_{night} som bullerindikator, för den kvarvarande studien transformerades ljudnivån från $L_{Aeq,24h}$ till L_{night} innan den inkluderades i meta-analysen. Sannolikheten att vara mycket sömnstörd (HSD=highly sleep disturbed) beräknades sedan utifrån sammanslagna data. WHO har sedan räknat på 3 procent HSD som gräns för vilken L_{night} -nivå som kan accepteras nattetid.

För vägtrafikbuller inkluderades 10 212 studiepersoner (3 746 svenskar, 1 593 japaner, 4 873 vietnameser) i analysen gällande insomningsproblematik kopplad till vägtrafikbuller (Bodin m.fl. 2015, Sato m.fl. 2002, Phan m.fl. 2010, Shimoyama m.fl. 2014). I analyserna för uppvaknanden på grund av vägtrafikbuller ingick 10 177 studiepersoner (3 729 personer i Sverige, 1 598 i Japan och 4 850 i Vietnam) uppdelat på fyra studier (Bodin m.fl. 2015, Sato m.fl. 2002, Phan m.fl. 2010, Shimoyama m.fl. 2014). Sömnstörning på grund av vägtrafikbuller mättes för 9 901 personer (8 841 personer i Kina, 550 i Korea och 510 i Makedonien) fördelat på tre studier (Brown m.fl. 2015, Hong m.fl. 2010, Ristovska m.fl. 2009). Allmän insomningsfråga inte kopplad till buller, samlades in för totalt 10 545 studiepersoner (2 520 personer i Sverige, 6 793 i Finland och 1 232 i Schweiz) uppdelat på tre studier (Bodin m.fl. 2015, Halonen m.fl. 2012, Frei m.fl. 2014). Allmän uppvakningsfråga inte kopplad till buller samlades in för totalt 10 603 studiepersoner (2 519 personer i Sverige, 6 853 i Finland och 1 231 i Schweiz) uppdelat på tre studier (Bodin m.fl. 2015, Halonen m.fl. 2012, Frei m.fl. 2014). Frågor om sömnstörning som inte var kopplad till buller återfanns för 9 474 personer i Schweiz, uppdelat på två studier (Brink 2011 och Frei m.fl. 2014).

För spårtrafikbuller inkluderades 6 520 studiepersoner (2 342 personer i Sverige, 2 980 i Japan och 1 198 i Tyskland) gällande frågor om insomning i relation till

spårtrafikbuller från tre studier (Bodin m.fl. 2015, Sato m.fl. 2004 och Schreckenberg m.fl. 2013). Uppvaknanden i relation till spårtrafikbuller mättes för 5 311 personer (2 344 personer i Sverige och 2 967 i Japan) uppdelat på två studier (Bodin m.fl. 2015, Sato m.fl. 2004). Frågor om sömnstörning kopplat till spårtrafikbuller återfanns hos 1 809 studiepersoner (610 personer i Korea och 1 199 i Tyskland) fördelat på två studier (Hong m.fl. 2010 och Schreckenberg m.fl. 2013). Frågor om insomning utan koppling till buller insamlades för 3 808 personer (2 576 personer i Sverige och 1 232 i Schweiz) och uppvaknanden utan koppling till buller mättes för 3 806 personer (2 575 personer i Sverige och 1 231 i Schweiz) fördelat på två studier (Bodin m.fl. 2015, Frei m.fl. 2014). Sömnstörning utan koppling till buller mättes för 5 914 personer i Schweiz uppdelat på två studier (Brink 2011, Frei m.fl. 2014).

Generellt ses statistiskt säkerställda samband mellan både väg- och spårbuller och självrapporterad sömnstörning vid analyser av riskökning per 10 dBA då störningsfrågan är kopplad till buller (Tabell 12). Då frågorna om sömn inte kopplas till bullerkällan ses också samband, men de är inte statistiskt säkerställda. I Tabell 13 och 14 samt Figur 30 och 31 redovisas beräknad andel sömnstörda för olika sömnutfall utifrån WHO:s exponering-responssamband, för väg- respektive spårtrafikbuller.

Det är viktigt att beakta att om man frågar om sömnstörning generellt så får man in en mängd olika orsaker till sömnstörning, såsom hälsoproblem, ekonomisk oro eller oro för nära och kära. Detta framkom tydligt i beskrivningen av orsaker till sömnstörning i tidigare Miljöhälsoundersökningar, och kan försvaga sambandet mellan trafikbuller och sömnstörning orsakad av trafikbuller. Men specifika frågor om sömnstörning kopplad till trafikbuller kan också få en snedvridande effekt. Om sömnstörningsfrågor ställs i samband med självrapporterade exponeringsfrågor så kan en överrapportering uppstå, bl a beroende på attityd till bullerkällan. Detta motverkas om objektiva mått på exponering i stället används. Eftersom båda måtten allmän sömnstörning och sömnstörning på grund av trafikbuller har en viss problematik, brukar de presenteras tillsammans. Om exponering för trafikbuller har mätts objektivt och sömnstörning kopplad till trafikbuller mätts i en stor undersökning med en mängd blandade frågor om olika miljöexponeringar, så är detta ett bra mått att använda. Det är då även mer jämförbart med allmän störning som alltid är relaterad till källan, exempelvis trafikbuller.

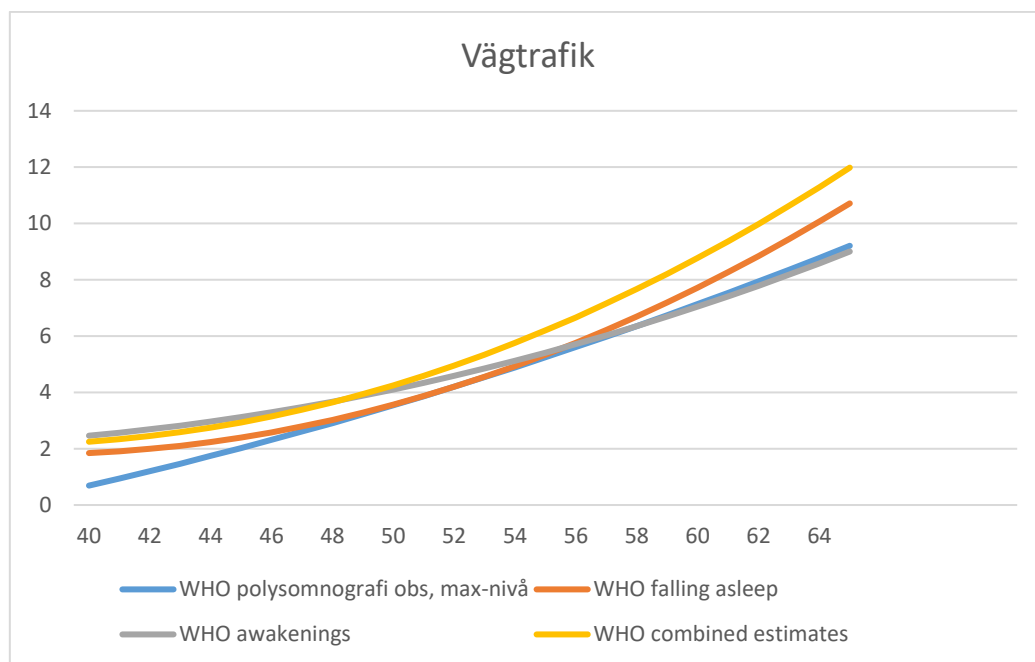
Tabell 12. Risk för självrapporterad sömnstörning i relation till beräknad bullernivå L_{night} vid mest exponerad fasad.

	Antal studier	OR¹ per 10 dBA	95 % KI²
Vägtrafikbuller kombinerat mått på sömnstörning i relation till buller	12	2,13	1,82–2,48
Vägtrafikbuller kombinerat mått på sömnstörning ej i relation till buller	4	1,09	0,94–1,27
Spårtrafikbuller kombinerat mått på sömnstörning i relation till buller	5	3,06	2,38–3,93
Spårtrafikbuller kombinerat mått på sömnstörning ej i relation till buller	3	1,27	0,89–1,81

¹ OR=Odds Ratio, på svenska Oddskvot; anger riskökning för sömnstörning per 10 decibels ökning. ² 95 % KI=95-procents konfidensintervall; anger det intervall inom vilket det sanna värdet, med 95 procents sannolikhet, ligger (Basner och McGuire 2018).

Tabell 13. L_{night} (och $L_{\text{Amax, inomhus}}$) för vägtrafik i relation till sömnstörning mätt med polysomnografi samt andel (%) med självrapporterad sömnstörning (Basner och McGuire, 2018).

L_{night} dBA	WHO, polysomnografi (Obs, L_{Amax})	WHO, svårt att somna	WHO, uppvaknanden	WHO, kombinerat (%HSD)
40	0,69	1,85	2,46	2,25
41	0,94	1,91	2,57	2,33
42	1,20	1,99	2,69	2,45
43	1,47	2,10	2,82	2,58
44	1,74	2,24	2,96	2,75
45	2,02	2,40	3,12	2,93
46	2,31	2,58	3,29	3,15
47	2,61	2,79	3,48	3,39
48	2,91	3,02	3,67	3,65
49	3,22	3,28	3,89	3,94
50	3,54	3,56	4,10	4,25
51	3,87	3,87	4,34	4,59
52	4,20	4,20	4,59	4,95
53	4,54	4,55	4,85	5,34
54	4,89	4,93	5,12	5,76
55	5,25	5,34	5,41	6,20
56	5,61	5,76	5,71	6,66
57	5,98	6,22	6,03	7,15
58	6,36	6,69	6,35	7,67
59	6,74	7,19	6,69	8,21
60	7,13	7,72	7,05	8,78
61	7,53	8,27	7,41	9,37
62	7,94	8,84	7,79	9,98
63	8,36	9,44	8,18	10,62
64	8,78	10,07	8,59	11,29
65	9,21	10,71	9,00	11,98

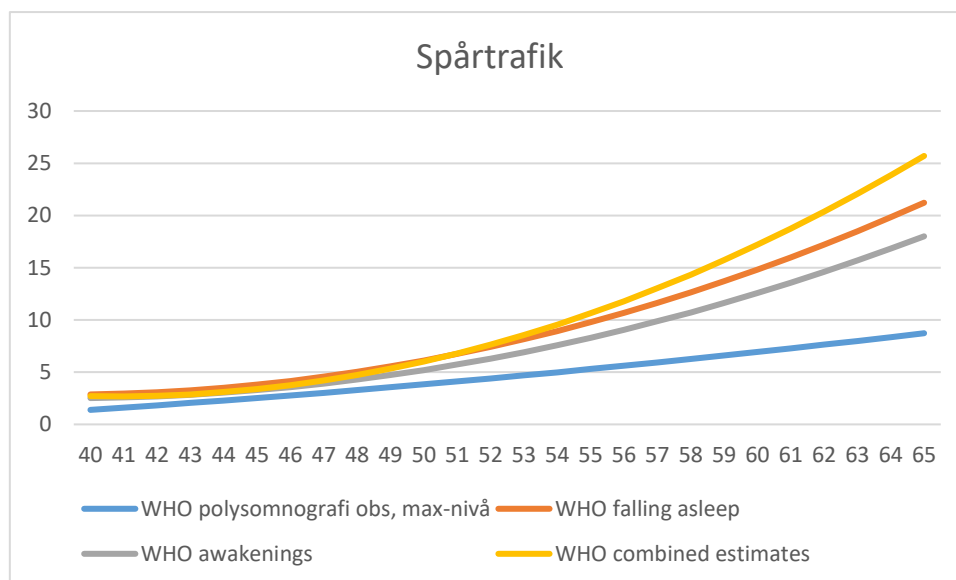


Figur 30. Andel (%) sömnstörda vid olika ljudnivåer av vägtrafikbuller ($L_{night}/L_{Amax, inomhus}$) utifrån WHO:s exponering-responsfunktioner (Basner och McGuire, 2018).

Tabell 14. L_{night} (och $L_{Amax, inomhus}$) för spårtrafik i relation till sömnstörning mätt med polysomnografi samt andel (%) med självrapporterad sömnstörning (Basner och McGuire, 2018).

L_{night} dBA	WHO, polysomnografi (Obs, L_{Amax})	WHO, svårt att somna	WHO, uppvaknanden	WHO, kombinerat (%HSD)
40	1,39	2,87	2,52	2,69
41	1,60	2,95	2,58	2,68
42	1,82	3,08	2,68	2,74
43	2,05	3,27	2,83	2,87
44	2,28	3,51	3,03	3,09
45	2,52	3,81	3,28	3,38
46	2,77	4,16	3,57	3,76
47	3,03	4,57	3,91	4,21
48	3,29	5,03	4,29	4,74
49	3,55	5,54	4,72	5,35
50	3,83	6,11	5,20	6,03
51	4,11	6,74	5,73	6,80
52	4,40	7,42	6,30	7,64
53	4,69	8,15	6,92	8,56
54	4,99	8,94	7,59	9,56
55	5,30	9,78	8,30	10,63
56	5,61	10,68	9,06	11,79
57	5,93	11,64	9,87	13,02
58	6,26	12,64	10,72	14,33
59	6,59	13,70	11,62	15,72
60	6,93	14,82	12,57	17,19
61	7,28	15,99	13,56	18,74

62	7,63	17,22	14,60	20,36
63	7,99	18,50	15,69	22,06
64	8,35	19,83	16,82	23,84
65	8,73	21,22	18,00	25,70



Figur 31. Andel (%) sömnstörda vid olika ljudnivåer av spårtrafikbuller ($L_{\text{night}}/L_{\text{Amax}}$, inomhus) utifrån WHO:s exponering-responsfunktioner (Basner och McGuire, 2018).

Analys av relevans ur en svensk kontext

Ur WHO:s sammanställning valdes studier ut från länder med motsvarande byggnadsstruktur och klimat som Sverige, därför inkluderades endast studier från Norra Europa. Sammanlagt valdes studier ut från Sverige, Finland, Tyskland och Schweiz. De studier som inkluderades från Schweiz täckte ett mer flackt urbant område (Frei m.fl. 2014) samt hela Schweiz (Brink m.fl. 2011), där alpregionens befolkning endast utgör en liten del. Schweiz är precis som norra Europa anpassat för kallare klimat med mer isolerade bostäder. Därför inkluderas Schweiz i denna sammanställning.

Gällande polysomnografi i kombination med objektivet mätt trafikbuller i boendemiljön, kan båda de tyska studierna (Deufrakostudien och Strainstudien), som ingick i WHO:s kunskapssammanställning kvarstå (Basner m.fl. 2006, Elmenhorst m.fl. 2012). Inga nya analyser behövde därför genomföras. Se Figur 29 samt Tabell 13 och 14 för resultat ur en svensk kontext.

Meta-analyser kördes om för självrapporterad sömnstörning i relation till väg- och spårtrafik, nu endast med studier från Sverige, Finland, Schweiz och Tyskland. Resultaten presenteras i Tabell 15. Sammantaget ses en signifikant överrisk per 10 dB L_{night} vägtrafikbuller för självrapporterad generell sömnstörning RR 1,07 (95 % KI 1,01–1,15) samt en överrisk för självrapporterad sömnstörning där frågan kopplats till buller RR 2,49 (95 % KI 2,08–2,98). För spårtrafikbuller sågs även en sammantagen överrisk, men denna var inte signifikant gällande generellt självrapporterad sömnstörning RR 1,06 (95 % KI 0,97–1,17) utan endast för sömnstörning kopplad till buller RR 3,42 (95 % KI 2,98–3,93).

Tabell 15. Väg- och spårtrafikbuller i boendemiljön i relation till självrapporterad sömnstörning. Urval av länder med svenska förhållanden eller motsvarande från WHO:s sammanställning.

Trafikbuller i boendemiljön				
Per 10dBA L_{night}¹				
Vägtrafikbuller	OR	95 % KI	Vikt	Land
<i>Generell sömnstörningsfråga</i>				
Bodin m.fl. 2015	1,12	1,00–1,25	0,35	Sverige
Halonen m.fl. 2012	0,99	0,88–1,11	0,32	Finland
Frei m.fl. 2014	1,19	1,01–1,42	0,14	Schweiz
Brink 2011	1,06	0,92–1,23	0,19	Schweiz
Total	1,07	1,01–1,15	1,00	WHO: 1,08; 1,00–1,16 ²
<i>Sömnstörning specifikt buller</i>				
Bodin m.fl. 2015	2,47	2,02–3,02	0,81	Sverige
Sato m.fl. 2002	2,55	1,70–3,84	0,19	Sverige
Total	2,49	2,08–2,98	1,00	WHO: 2,25; 1,71–3,00 ³

Spårtrafikbuller	OR	95% KI	Vikt	Land
<i>Generell sömnstörningsfråga</i>				
Bodin m.fl. 2015	1,07	0,98–1,18	0,94	Sverige
Frei m.fl. 2014	0,93	0,63–1,37	0,06	Schweiz
Brink 2011	1,43	0,22–9,22	0,00	Schweiz
Total	1,06	0,97–1,17	1,00	WHO: 1,07; 0,97–1,17 ²
<i>Sömnstörningsfråga specifikt buller</i>				
Bodin m.fl. 2015	5,12	3,83–6,86	0,23	Sverige
Schreckenbergs m.fl. 2013	3,04	2,59–3,56	0,77	Tyskland
Total	3,42	2,98–3,93	1,00	WHO: 3,04; 2,21–4,18 ³

¹Metaanalys gjord med Episheet, länk:

<https://www.colleaga.org/sites/default/files/attachments/Episheet%20%281%29.xls>

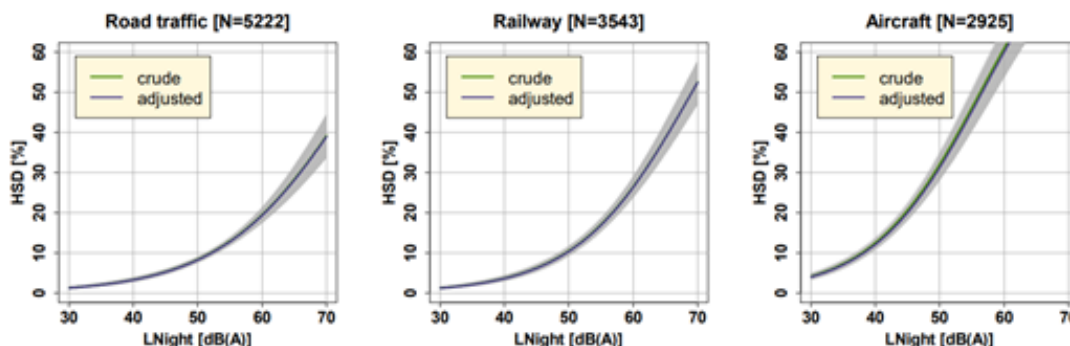
²Små skillnader i meta-beräkningar samt avrundningar medför att denna sammanvägning skiljer sig marginellt mot motsvarande sammanvägning i Basner och McGuires publikation 2018 trots att samma studier använts.

³Sömnfrågorna som specifikt relateras till buller jämförs med Basner och McGuires totala sammanvägning, som även inkluderade andra studier innehållande denna typ av sömnfråga, bl.a. från Asien.

Nyttillkomna studier

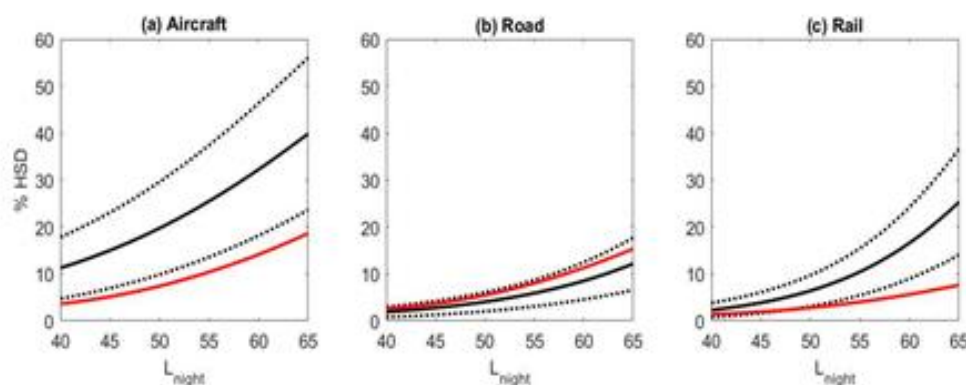
Ett antal nya studier har publicerats sedan WHO:s review. De går dock inte att väga samman med WHO:s huvudanalyser som presenterats ovan, eftersom de nya studierna presenterar data med andra mått och inkluderingskriterier än vad som ingick i WHO:s review. Till exempel har ytterligare en laboratoriestudie genomförts med sömnstörning mätt med polysomnografi. Endast fältstudier med verklig trafikbullerexponering inkluderades i WHO:s sammanställning av sömnstudier mätt med polysomnografi. Dessutom mäts sömnstörning via

användning av sömnmedel, vilket inte heller ingick i WHO:s sammanställning. En del nya studier har även fokuserat specifikt på känsliga grupper och dessa resultat kan inte heller vägas in direkt i WHO:s allmänna kurvor och samband, utan de nytillkomna studierna får mer ses som ett komplement. En del nya studier har genomförts i länder belägna på andra kontinenter eller i södra Europa och har därför strukits från denna sammanställning. Men i Brink m.fl. 2019 presenteras nya data över Schweiz befolkning som bekräftar fördelningen hos exponering-responskurvorna i WHO:s kunskapssammanställning, se Figur 32.



Figur 32. Andel studierpersoner som angett att de är mycket sömnstörda (HSD) i relation till trafikbuller L_{night} , uppdelat på trafikslag. Sömnstörning är mätt via sammanvägda frågor om uppvaknade, svårighet att somna samt sömnstörning. Kurvorna anger både ojusterade och justerade värden (Källa: Brink m.fl. 2019).

Kurvorna i Figur 32 är något brantare än i WHO:s sammanställning, som visas i Figur 33. Det är dock viktigt att beakta att Brink m.fl. är en enskild studie och att slutsatser oftast är bäst att dra från sammanvägda siffror från flera studier. Dessutom finns skillnader i grunddata och beräkningsmetod. Studien är välgjord, men har låg svarsfrekvens.



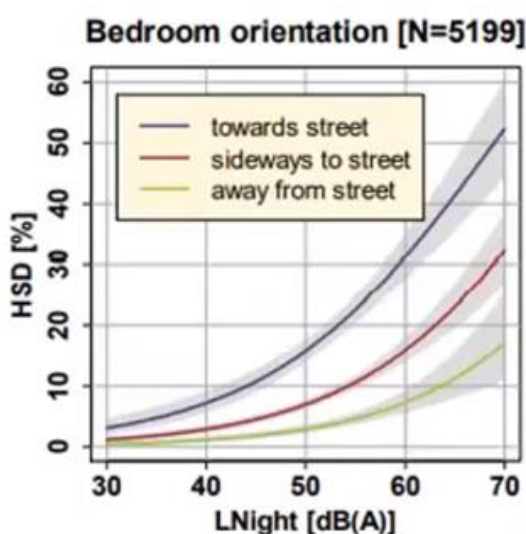
Figur 33. Andel mycket sömnstörda baserat på sammanvägda frågor om uppvaknade, svårighet att somna samt sömnstörning i relation till trafikbuller. Kurvorna är stratifierade på trafikslag. Röd linje anger de tidigare exponering-responskurvorna från Miedema och Vos 2017.

Sammantaget står sig exponering-responskurvorna väl även i länder med svenska förhållanden, så som Schweiz. Exponering-responskurvor är alltid svåra att jämföra över tid eftersom svarsfrekvensen har gått ner generellt med tiden och en låg svarsfrekvens kan påverka kurvornas form om upplevd sömnstörning

medför att man i större omfattning än andra svarar på undersökningen. Därför behövs objektiva mått som komplement, t.ex. polysomnografi.

Komplement till övergripande resultat

Brink m.fl. nya studie visar även på vikten av att sovrummet placeras rätt (Brink m.fl.2019). Studien visar tydliga skillnader i andel mycket sömnstörda gällande om sovrummet är riktat mot en väg, riktat mot sidan (delvis mot väg) eller vänt bort från gatan, se Figur 34. Detta visar att sovrum mot tyst sida är en viktig faktor att ta in i det förebyggande arbetet. Det är dock ofta inte möjligt att placera alla sovrum i en lägenhet eller fastighet mot den tysta sidan.



Figur 34. Exponering-responskurvor för trafikbuller vid den mest exponerade fasaden i boendemiljön i relation till sömnstörning uppdelat på vilken vinkel till gatan sovrummet är placerat (Brink m.fl. 2019).

Allt för få välgjorda studier finns tillgängliga om barns sömnstörning i relation till trafikbuller. I Weyde m.fl 2017 undersöktes vägtrafikbuller i boendemiljön i relation till sömnstörning hos norska 7-åringar. I studien framkom ett statistiskt signifikant samband endast hos flickor, ej hos pojkar. Orsaken till denna könsskillnad är oklar.

Andra mått på sömnstörning så som en ökad användning av sömnmedel ses även i nya studier, även om detta utfallsmått i dagsläget är svårt att värdera i en svensk kontext eftersom medicinanvändning skiljer sig markant mellan länder även vid samma nivå av sömnproblem (Roswall m.fl. 2020).

En samlad bedömning är att WHO:s exponering-responskurvor ser ut att fungera väl i en svensk kontext. Även om studier från andra världsdelar eller södra Europa tas bort från analyserna kvarstår den ökade risken i samtliga mått, trots skillnader i isolering, byggnadstyp eller trafikmönster. En trolig förklaring är att stora delar av studierna trots allt är genomförda i Norra Europa, men kanske även beroende på att många sover med öppet fönster.

Hjärt-kärlsjukdom

Flera mekanismer är tänkbara som förklaring till sambandet mellan bullerexponering och hjärt-kärlsjukdom. Det är väl känt att långvarig stress, t.ex. på arbetet, kan öka risken för hjärt-kärlsjukdom, liksom att sömnstörningar kan ha liknande effekter (van Kempen m.fl. 2017). Eftersom trafikbuller kan ge upphov till stressreaktioner och sömnstörningar ligger det nära till hands att misstänka att långvarig bullerexponering även kan öka risken för hjärt-kärlsjukdomar. Ett liknande resonemang är relevant för metabola sjukdomar såsom typ 2 diabetes och övervikt/fetma (se nästa avsnitt).

Riskbedömningen i WHO:s Guidelines baseras på en systematisk granskning av den vetenskapliga litteraturen rörande omgivningsbuller och kardiovaskulära respektive metabola effekter (van Kempen m.fl. 2018). En mer fullständig version av den systematiska litteraturgenomgången har publicerats på hemsidan för RIVM (National Institute for Public Health and the Environment of the Netherlands) (van Kempen m.fl. 2017). I litteraturgenomgången görs dels en beräkning av exponering-responssamband baserad på meta-analyser av publicerade studier för olika exponeringskällor och hälsoutfall samt en bedömning av kvalitén i det vetenskapliga underlaget. Kvalitetsbedömningen baserades på en modifiering av det internationellt vedertagna GRADE-systemet (Morgan m.fl. 2016).

Då det gäller hjärt-kärleffekter analyserades litteraturen rörande väg- och spårbuller för tre olika utfall: hypertoni, ischemisk hjärtsjukdom (IHD) och stroke. Även om den systematiska litteraturgenomgången baserades på studier publicerade fram till augusti 2015 inkluderades i vissa fall studier som publicerades under arbetets gång, dvs till och med mars 2017. I det följande sammanfattas det epidemiologiska underlaget rörande hypertoni, ischemisk hjärtsjukdom och stroke separat för väg- och spårtrafik med angivande av studietyp, riskuppskattning, antal individer samt kvalitetsbedömning. För att inte onödigt tynga beskrivningen görs en detaljerad presentation av undersökningsområden med litteraturreferenser endast för de samband där evidensen bedöms ha måttlig ("moderate") eller hög kvalitet.

Hypertoni

Mer än ett par dussin studier har undersökt sambandet mellan vägbullerexponering och högt blodtryck (Tabell 16). Flertalet av dessa hade en tvärsnittsdesign, som sammantagna uppvisade en statistiskt säkerställd riskökning på 6 procent per 10 dB L_{den} . Det är svårt att dra slutsatser om orsakssamband från tvärsnittsstudier, eftersom man inte med säkerhet vet om exponeringen föregått hälsoutfallet. Dessutom hade flertalet av studierna andra kvalitetsbrister, såsom höga bortfall och osäkra utfallsmått. Sammantaget bedömdes evidenskvalitén som mycket låg. Det gäller även för den handfull tvärsnittsstudier som belyst sambandet mellan spårbuller och hypertoni, även om det förelåg en tendens till riskökning av samma storleksordning som för vägbuller. I den enda kohortstudien rörande väg- och spårbuller i relation till hypertoni sågs inga samband. Här bedömdes evidensen ha en låg kvalitet.

Tabell 16. Relativ risk (RR) för hypertoni i relation till exponering för buller från väg- och spårtrafik i kombinerade analyser av olika studier.

Bullerkälla	Utfallsmått	Antal fall och design*	RR per 10 dB (95% konfidensintervall)	Deltagare (fall)	Kvalitet hos evidens
Vägtrafik	Prevalens	26 CS	1,06 (1,02 – 1,09)	156802 (18690)	Mycket låg
	Incidens	1 CO	0,97 (0,90 - 1,05)	45271 (3145)	Låg
Spårtrafik	Prevalens	5 CS	1,05 (0,88 – 1,26)	15850 (2059)	Mycket låg
	Incidens	1 CO	0,96 (0,88 – 1,04)	45271 (3145)	Låg

*CS=Tvärsnitt, CO=Kohort, CC=Fall-kontroll

Ischemisk hjärtsjukdom

För insjuknande i IHD förelåg sju longitudinella studier avseende vägbuller där evidensen sammantaget bedömdes ha hög kvalitet (Tabell 17). Här sågs en statistiskt säkerställd riskökning på 8 procent per 10 dB L_{den} . Dessa studier var baserade i Storbritannien/Bristol och Cardiff (Babisch m.fl. 1993), Tyskland/Berlin (Babisch m.fl. 1994, Babisch m.fl. 2005), Danmark/Köpenhamn och Århus (Sörensen m.fl. 2012) samt i Sverige/Stockholm (Selander m.fl. 2009). En närmare analys av exponeringsresponskurvans utseende talade för en nära linjär ökning av den relativa risken i förhållande till bullerexponeringen, med en riskökning från ca 50–55 dB L_{den} .

Sambanden mellan vägtrafikbuller och IHD stöddes av fynden från tre longitudinella studier avseende mortalitet som sammantaget antydde en riskökning på 5 procent per 10 dB L_{den} (Beelen m.fl. 2009, Selander m.fl. 2009, Gan m.fl. 2012). Dessa studier var baserade i Nederländerna/204 kommuner, Kanada/Vancouver respektive Sverige/Stockholm. Evidensvärderingen utmynnade i bedömningen måttlig kvalitet. Studier av mortalitet har lägre relevans än studier av sjuklighet, dels eftersom endast en mindre del av de som insjuknar i IHD dör i sjukdomen, och dels för att mortaliteteten både påverkas av exponeringens inverkan på risken att insjukna och på risken att dö hos de som insjuknat.

Det förelåg sju och fyra tvärsnittsstudier av sambandet mellan väg- respektive spårtrafik och IHD, och en överrisk antydde för båda exponeringarna. Evidensen bedömdes dock ha en låg respektive mycket låg kvalitet.

Tabell 17. Relativ risk (RR) för ischemisk hjärtsjukdom i relation till exponering för buller från väg- och spårtrafik i kombinerade analyser av olika studier.

Bullerkälla	Utfall	Antal studier och design*	RR per 10 dB (95% konfidensintervall)	Deltagare (fall)	Kvalitet hos evidens
Vägtrafik	Prevalens	7 CS	1,24 (1,08 – 1,42)	25682 (1614)	Låg
	Incidens	4 CC, 3 CO	1,08 (1,02 - 1,15)	330054 (7451)	Hög
	Mortalitet	1 CC, 2 CO	1,05 (0,97 – 1,13)	532268 (6884)	Måttlig
Spårtrafik	Prevalens	4 CS	1,18 (0,82 – 1,68)	13241 (283)	Mycket låg

*CS=Tvärsnitt, CO=Kohort, CC=Fall-kontroll

Sambandet mellan exponering för vägbuller och risken för insjuknande i IHD blev föremål för en kvantitativ riskuppskattning i WHO:s Guidelines som underlag för fastställande av riktvärde. På förhand hade Guideline Development

Group (GDG), som ansvarande för framtagande WHO:s riktvärden, bestämt att en relativ riskökning på 5 procent för IHD skulle vara acceptabel ("relevant"). Mot bakgrund av ovan nämnda riskökning (8 procent per 10 dB L_{den}) skulle en relativ riskökning på 5 procent nivå uppnås vid en exponeringsnivå av 59 dB L_{den} , utgående från att den sammanvägda lägsta exponeringsnivån i de sju epidemiologiska studierna var 53 dB L_{den} . Risken för IHD kom inte att användas för fastställande av riktvärde för vägbuller eftersom en oacceptabel riskökning uppnåddes redan vid lägre bullernivåer för allmän störning (se ovan). Det bör påpekas att den acceptabla riskökningen för IHD fastställdes av GDG efter omfattande diskussion, och kan tyckas vara i högsta laget, eftersom det rör sig om en så vanlig och allvarlig sjukdom.

Stroke

Endast ett fåtal epidemiologiska studier hade belyst samband mellan trafikbuller och stroke vid tidpunkten för analysen i underlaget för WHO:s Guidelines, och dessa sammanfattas i Tabell 18. Då det gäller insjuknande (incidens) ingick endast en kohortstudie (Sörensen m.fl. 2011), som var baserad i Köpenhamn och Århus. Den visade en statistiskt säkerställd riskökning på 14 procent per 10 dB L_{den} ökning av exponeringen för vägbuller. Även om studien i sig ansågs vara av hög kvalitet, bedömdes den samlade evidensen vara av måttlig kvalitet eftersom det endast förelåg en studie. Tre longitudinella studier belyste samband mellan vägbullerexponering och mortalitet och de visade sammantaget ingen riskökning (Halonen m.fl. 2015, Seidler m.fl. 2015, Héritier m.fl. 2017). Dessa studier baserades i Storbritannien/London, Tyskland/Frankfurt respektive Schweiz (nationell studie). Evidensbedömningen resulterade i måttlig kvalitet. Som ovan nämnts har mortalitetsstudier en lägre relevans för riskbedömningen rörande sjuklighet. Dessutom var de tre studierna av administrativ karaktär, med avsaknad av information om väsentliga livsstilsfaktorer, som kan påverka sambandsanalysen. Två tvärsnittsstudier bedömdes sammantagna ha mycket låg kvalitet.

För spårbuller förelåg endast en tvärsnittsstudie och evidensbedömningen angav mycket låg kvalitet.

Tabell 18. Relativ risk (RR) för stroke i relation till exponering för buller från väg- och spårtrafik i kombinerade analyser av olika studier.

Bullerkälla	Utfallsmått	Antal studier och design*	RR per 10 dB (95% konfidensintervall)	Deltagare (fall)	Kvalitet hos evidens
Vägtrafik	Prevalens	2 CS	1,00 (0,91 – 1,10)	14098 (151)	Mycket låg
	Incidens	1 CO	1,14 (1,03 – 1,25)	51485 (1881)	Måttlig
	Mortalitet	3 CO	0,87 (0,71 – 1,06)	581517 (2634)	Måttlig
Spårtrafik	Prevalens	1 CS	1,7 (0,92 – 1,25)	9365 (89)	Mycket låg

*CS=Tvärsnitt, CO=Kohort, CC=Fall-kontroll

Analys av relevans ur en svensk kontext

Det enda epidemiologiska underlag rörande hjärt-kärleffekter som av WHO bedömdes ha hög kvalitet gällde sambandet mellan vägtrafikbuller och incidens av IHD. Analysen av relevansen ur en svensk kontext fokuseras därför på detta samband. Totalt sju longitudinella studier från Europa ingick i underlaget, varav en från Sverige och resten från Danmark, Storbritannien och Tyskland.

Exponeringsbedömningen baserades på modellerade bullernivåer utomhus vid fasaden av deltagarnas bostäder och data saknas om inomhusnivåer samt eventuella bullerdämpande åtgärder i byggnaden eller bostaden. Som ovan beskrivits saknas hållpunkter för att fasadbullerdämpningen skulle vara sämre i de studerade länderna än i Sverige, med undantag för Storbritannien.

De sju studierna baserades i regel i storstäder som Berlin, Köpenhamn/Århus och Stockholm. Detta medförde att meta-analysen i WHO:s riskbedömning kom att inriktas på relativt höga exponeringsnivåer. Det vägda medelvärdet för vägtrafikbullernivån i referenskategori i studierna var 53 dB L_{den} och beräknade exponering-responssamband är således främst relevanta för exponeringar överstigande denna nivå. Eftersom en stor del av befolkningen är utsatt för vägbullernivåer understigande 53 dB L_{den} är det väsentligt att även studera exponering-responssamband vid lägre nivåer. De exponeringsnivåer där de flesta är exponerade har även stor betydelse för beräkningen av befolkningsrisker, dvs hur många fall av IHD som kan knytas till exponering för vägtrafikbuller.

En annan osäkerhet i underlaget gäller i vilken utsträckning vägtrafikbullerexponering kan knytas till olika typer av ischemisk hjärtsjukdom. Vanliga typer är bl a hjärtinfarkt och angina pectoris. Huvuddelen av studierna i WHO:s underlag baserades på hjärtinfarkt och det är osäkert i vilken utsträckning sambanden gäller även för andra typer av IHD. Det har stor betydelse för riskbedömningen eftersom hjärtinfarkt endast utgör en del av denna sjukdomsgrupp och risken att insjukna i de olika typerna varierar mellan olika populationer.

Nyttillkomna studier och övergripande riskbedömning

I Bilaga 1 sammanfattas väsentlig information om uppläggning av de epidemiologiska studier inom hjärt-kärlområdet som publicerats efter att den systematiska litteraturgenomgången för WHO:s Guidelines genomfördes. I bilagan inkluderas även ett mindre antal studier som publicerades under arbetet med Guidelines och omnämndes i dessa, dvs till och med mars 2017, men efter deadline för den systematiska granskningen (augusti 2015). Totalt ett trettiotal studier inriktade på vägbuller har publicerats och i ca en tredjedel av dessa ingick även information om spårbuller. Flertalet av studierna var longitudinella, huvudsakligen kohortstudier. Tyvärr var nära hälften av dessa av administrativ karaktär, där information om väsentliga livsstilsfaktorer saknas, vilket försvårar tolkningen av resultaten. Studierna har belyst IHD (eller hjärtinfarkt), stroke och hypertension, men även andra utfall som förmaksflimmer, kärlväggstjocklek och kärlstelhet. I denna genomgång fokuseras på IHD/hjärtinfarkt och stroke där det största antalet välgjorda studier föreligger och därigenom det starkaste underlaget för riskbedömningen.

Vägtrafikbuller

Ett flertal nypublicerade studier om IHD/hjärtinfarkt har kommit från Sverige, främst baserade i Stockholms län, Skåne och Göteborgsområdet. Dessutom har ett par studier från Danmark publicerats. Således finns ytterligare underlag av väsentlig betydelse för riskbedömningen avseende svenska förhållanden. De nordiska studierna är genomgående av hög kvalitet. Två ytterligare studier baserades i Storbritannien/Norge samt i Grekland. Vissa av de nyttillkomna

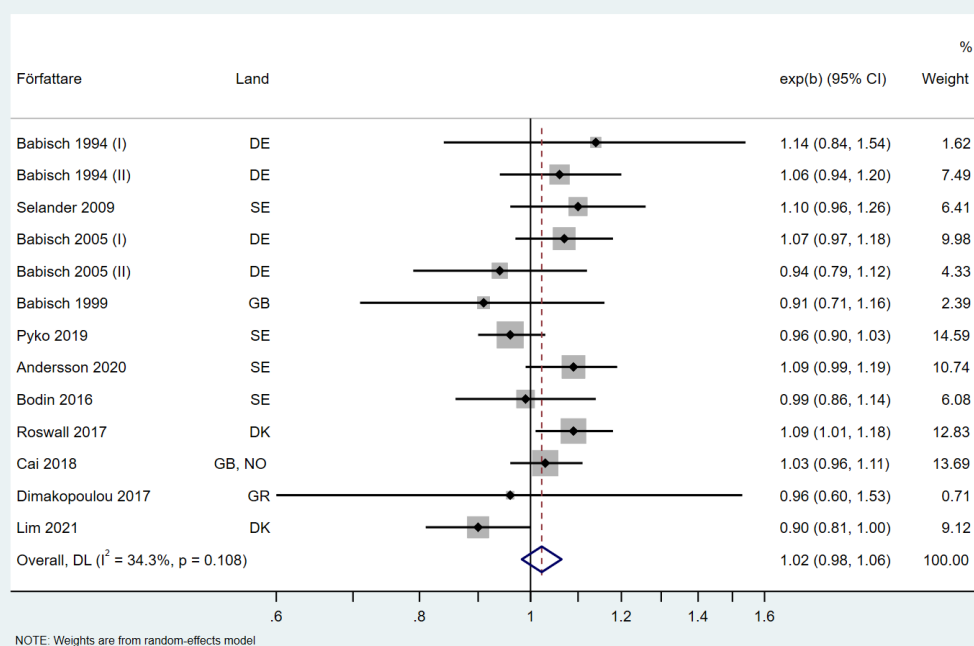
studierna visar på samband mellan beräknad exponering för vägtrafikbuller och risken för IHD/hjärtinfarkt men bilden är inte entydig.

I Figur 35 visas resultaten av en meta-analys rörande vägtrafikbuller och IHD/hjärtinfarkt där både studierna ingående i WHO:s riskbedömning och nytillkomna studier ingår. I denna analys ingår inte studier som enbart inriktas på mortalitet eller s.k. administrativa studier baserade på registerdata där information om livsstilsfaktorer saknas. Väsentlig information om studierna sammanfattas i Bilaga 1. I ett fall har en studie ingående i WHO:s Guidelines (Sørensen m.fl. 2012) ersatts av en senare uppföljning av samma kohort (Roswall m.fl. 2017). Den sammanvägda relativa risken för IHD/hjärtinfarkt knuten till vägbullerexponering var 1,02 (95 % KI 0,98–1,06) per 10 dB L_{den} . Även om riskestimaten varierade mellan de olika studierna förelåg ingen säker heterogenitet vid statistisk testning.

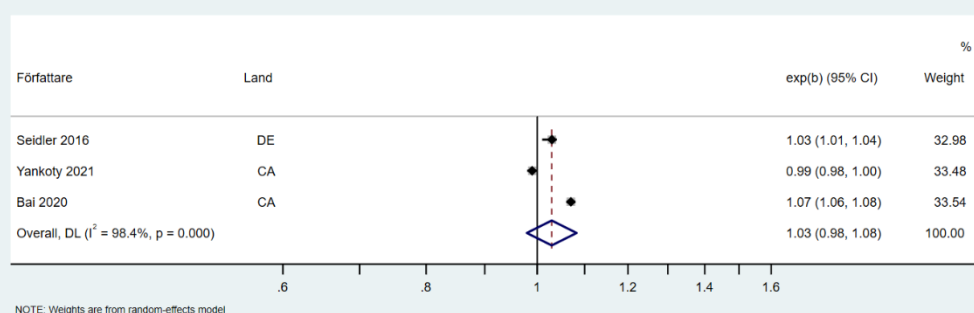
I de olika studierna angavs fördelningen av exponering för vägtrafikbuller i studiepopulationerna, men det gjordes tyvärr inte på ett enhetligt sätt. För att kunna jämföra exponeringsnivån i de undersökta populationerna gjordes en “omräkning” till andelen exponerade vid 60 dB L_{den} , under antagande om en likartad fördelning mellan olika bullernivåer i studiepopulationerna (Mikael Ögren, personlig kommunikation). Det framkom en viss korrelation (0,39) mellan andelen exponerade vid 60 dB L_{den} och RR per 10 dB och incidens av IHD/hjärtinfarkt i studierna. Således föreligger ett visst stöd för att riskökningen per exponeringsenhet beror av exponeringsfördelningen i studiebasen, dvs ju högre exponering desto större riskökning per exponeringsenhet. Det tyder på icke-linjära samband och skulle bl a kunna förklaras av tröskeleffekter.

Det riskestimat som beräknades med tillägg av de nytillkomna studierna förefaller lägre än det som redovisades i WHO:s Guidelines (Figur 35, Tabell 17). Orsakerna till det lägre riskestimatet är oklara men kan ha att göra med lägre exponeringsnivåer i de senare studierna. Ett par av de nytillkomna studierna antyder även en “tröskeleffekt” i sambandet mellan vägtrafikbuller och IHD (Andersson m.fl. 2020) respektive hjärtinfarkt (Lim m.fl. 2021), vilket skulle kunna medföra svårigheter att detektera överrisker i studiebaser med få högexponerade.

Resultaten från de tre administrativa studierna rörande vägtrafikbuller och hjärtinfarkt redovisas i Figur 36. Dessa studier var mycket stora med i storleksordningen 20 000 till 40 000 fall av hjärtinfarkt vardera, men å andra sidan saknades information om livsstilsfaktorer. Det sammanvägda riskestimatet var 1,03 (95 % KI 0,98–1,08). Riskestimaten i studierna var heterogena, trots små kvantitativa skillnader, beroende på en hög statistisk teststyrka på grund av de stora undersökningsstorlekarna.



Figur 35. Relativ risk för hjärtinfarkt eller ischemisk hjärtsjukdom per 10 dB L_{den} exponering för vägtrafikbuller i olika studier samt sammanvägd risk.



Figur 36. Relativ risk för hjärtinfarkt eller ischemisk hjärtsjukdom per 10 dB L_{den} exponering för vägtrafikbuller i olika administrativa studier samt sammanvägd risk.

Sammantaget ger det epidemiologiska underlaget stöd för ett samband mellan exponering för vägtrafikbuller och IHD/hjärtinfarkt. Ett orsakssamband stöds av resultat i vissa studier avseende bullerexponering och effekter på blodkärlen som kan utgöra steg i processen bakom utvecklande av IHD/hjärtinfarkt.

Riskökningen per exponeringsenhet är sammantaget lägre i nytillkomna studier än i de som redovisas i WHO:s Guidelines. Det kan ha att göra med lägre exponeringsnivåer i nyare studier än i äldre och att sambanden inte är linjära, t.ex. har tröskeffekter antytts i ett par studier. Ännu är dock antalet studier för få där tröskeffekter studerats systematiskt för att möjliggöra säkra slutsatser. Det bör påpekas att resultat från en ny stor skandinavisk studie om transportbuller, inklusive vägbuller, och IHD/hjärtinfarkt snart kommer att vara tillgängliga vilket kan få betydelse för riskbedömningen.

Efter WHO:s systematiska granskning har ytterligare några studier om incidens och/eller dödlighet i stroke publicerats från olika europeiska länder (Bilaga 1), varav en del av administrativ karaktär utan data om livsstilsfaktorer. Studier av strokeincidens rapporterade blandade resultat, med fyra studier som pekade på vissa samband med vägtrafikbuller (Halonen och al. 2015, Dimakopoulou m.fl. 2017, Seidler m.fl. 2018, Andersson m.fl. 2020), och två som inte gjorde det (Cai m.fl. 2018, Pyko m.fl. 2019). Inga samband sågs mellan exponering för vägtrafikbuller och stokedödlighet i en nationell administrativ studie från Schweiz (Héritier m.fl. 2017).

Nyligen har en stor och välgjord studie om trafikbuller och strokeincidens har nyligen publicerats (Roswall m.fl. 2021). Den baseras på en kombinerad analys av nio kohorter från Danmark och Sverige, omfattande drygt 11 000 strokefall under uppföljningstiden. Exponering för vägtrafikbuller var knuten till en riskökning för stroke, med en relativ risk (incidence rate ratio) på 1,06 (95 % KI 1,03–1,08) per 10 dB L_{den} under 5 år före insjuknandet. Sambandet följde en nära linjär exponering-responsrelation.

Sammanfattningsvis har underlaget stärkts rörande sambandet mellan exponering för vägtrafikbuller risken för stroke. En omfattande skandinavisk studie har påvisat riskökningar per exponeringsenhet av samma storleksordning som för IHD/hjärtinfarkt eller högre. Tolkningen av orsakssamband stöds av fynd rörande buller och förmaksflimmer som utgör en viktig riskfaktor för stroke. Även om antalet publicerade studier är relativt litet förefaller det rimligt att inkludera stroke i riskbedömningen avseende vägtrafikbuller.

Spårtrafikbuller

Fem av de nytillkomna studierna fokuserade på vägtrafikbuller och IHD/hjärtinfarkt innehöll även data rörande spårtrafikbuller (Bilaga 1). Endast tre studier inriktades på incidens, varav en vardera från Danmark, Sverige och Tyskland. De visade inga konsistenta samband med relativa risker (95 % KI) på 1,00 (0,97–1,02), 1,01 (0,93–1,09) respektive 1,02 (1,00–1,04) per 10 dB L_{den} . Befolkningsexponeringen var lägre för spårtrafikbuller än för vägtrafikbuller, både vad gäller andelen exponerade och exponeringsnivåerna.

Endast ett par nytillkomna studier rörande stroke innehöll information om spårtrafikbuller (Bilaga 1). Den ena från Tyskland påvisade ett samband medan den andra från Sverige inte bekräftade det. Ett väsentligt tillskott till underlaget

kommer från den ovan nämnda kombinerade analysen av nio kohorter från Danmark och Sverige (Roswall m.fl. 2021). Den sammanvägda relativa risken var 0,96 (95 % KI 0,91–1,01) utan tecken till riskökning i den högsta exponeringskategorin. Även här bör påpekas att befolkningsexponeringen för spårtrafikbuller var avsevärt lägre än för vägtrafikbuller, vilket ökar den statistiska osäkerheten i sambandsanalyserna.

Sammantaget ger det epidemiologiska underlaget inget stöd för att exponering för spårtrafikbuller ökar risken för IHD/hjärtinfarkt eller stroke. En förhållandevis låg befolkningsexponering kan bidra till avsaknaden av samband i studierna. Antalet epidemiologiska studier av hjärt-kärleffekter knutna till exponering för spårtrafikbuller är litet vilket gör tolkningen av underlaget osäker. Då det gäller IHD/hjärtinfarkt kommer resultat från en ny stor skandinavisk studie om transportbuller, inklusive spårbuller, att snart vara tillgängliga vilket kan påverka riskbedömningen.

Övriga sjukdomar

Vad gäller övriga sjukdomar som studerats i samband med bullerexponering inkluderas enbart diabetes i WHO Environmental Noise Guidelines 2018 då man bedömde evidensgraden som måttlig för buller från vägtrafik och incident diabetes. Bakom detta ligger en stor longitudinell undersökning från Danmark som visar ett statistiskt säkerställt samband mellan vägtrafikbuller och insjuknande i diabetes (RR 1,08; 95 % KI 1,02–1,14 per 10 dB L_{den} ökning i ljudnivån) (Sørensen m.fl. 2013).

För övriga metabola utfall, primärt markörer för övervikt (BMI, bukomfång, midje-höft-kvot m.fl.), gjordes en översikt i van Kempen m.fl. 2017. Slutsatsen från den granskningen var att underlaget bedömdes ha en låg eller mycket låg kvalitet. Dock rekommenderades fortsatt forskning då man ansåg att det finns trovärdiga biologiska mekanismer bakom sambanden, däribland långvarig stress och sömnstörningar.

Sedan WHO:s granskning gjordes har det tillkommit en rad studier på metabola utfall, både avseende diabetes och överviktsmarkörer. Många av dessa har utförts i de nordiska länderna, men även i Kanada, Holland, Tyskland och Schweiz. Nedan görs en översiktlig sammanställning av kunskapsläget om sambanden mellan väg- och spårtrafikbuller och diabetes respektive överviktsmarkörer utifrån de studier som bedömts av relevans för svenskt vidkommande

Diabetes

Vägtrafik

För vägtrafikbuller och diabetes befanns sju kohortstudier och en tvärsnittsstudie ha relevans i en svensk kontext (Bilaga 1). I en uppdaterad analys av den danska studie som ingick i WHO:s granskning (Sørensen m.fl. 2013) bekräftades sambanden mellan vägtrafikbuller och insjuknande i diabetes (nu med sex års längre uppföljningstid) med en riskökning på ca 8 procent per 10 dB stegring i ljudnivån (Roswall m.fl. 2018). Ytterligare en dansk studie baserad på nära 24 000 sjuksköterskor fann samband mellan vägtrafikbuller och incident diabetes enbart bland de kvinnor som bodde i urbana områden, inte bland kvinnor som bodde på landsbygden (Jørgensen m.fl. 2019). Generellt verkade sambanden försvagas när man tog hänsyn till levnadsvanor och luftföroreningar. I en studie av drygt 2 600 män och kvinnor från Schweiz sågs en tendens till samband mellan vägtrafikbuller och diabetes som dock inte var statistiskt säkerställd (RR 1,25; 95 % KI 0,97–1,62) (Eze m.fl. 2017). I multi-exponeringsmodeller där spårtrafikbuller, flygbuller och NO_2 inkluderades fann man dock statistiskt säkerställda samband med en riskökning på 35 procent per 10 dB L_{den} . Två stora kanadensiska undersökningar från Vancouver (Clark m.fl. 2017) och Ontario (Shin m.fl. 2020), baserad på 381 000 respektive 915 000 personer, visar också på riskökningar för diabetes kopplat till vägtrafikbuller, även efter justering för luftföroreningar. Resultaten från Ontario pekade på tydligast samband med buller nattetid. I båda dessa studier saknades dock information om individuella livsstilsfaktorer vilket inverkar negativt på möjligheterna att tolka sambanden. Viss ytterligare evidens för ett samband med diabetes kommer från en tysk studie av nära 3 400 individer från tre olika städer som indikerade riskökningar på mellan 9 och 11 procent per 10 dB L_{den} ökning av ljudnivån (Ohlwein m.fl. 2019), sambanden var dock inte statistiskt

säkerställda. Slutligen visade en tvärsnittsstudie från Holland med ca 387 000 deltagare på en svag positiv association mellan vägtrafikbuller och förekomst av diabetes men efter justering för grönska och luftföroreningar försvann sambandet (Klompaker m.fl. 2019).

Sammantaget kan sägas att evidensen för ett samband mellan vägtrafikbuller och diabetes har ökat sedan WHO:s kunskapssammanställning publicerades. De åtta studier som granskats här visar alla på någon form av samband mellan vägtrafikbuller och insjuknande eller förekomst av diabetes i ojusterade modeller, vissa dock enbart i ett urval av populationen. Justering för levnadsvanor och luftföroreningar ledde i några av studierna till reducerade estimat, medan andra visade på kvarstående samband. Fler högkvalitativa studier behövs för att kunna dra några säkra slutsatser om det föreligger ett orsakssamband och i så fall sambandets styrka.

Spårtrafik

Vad gäller spårtrafikbuller och diabetes identifierades tre kohortstudier av relevans för Sverige, två från Danmark (Sørensen m.fl. 2013, Roswall m.fl. 2018) och en från Schweiz (Eze m.fl. 2017). Ingen av dessa studier visar på samband mellan buller från spårtrafik och insjuknande i diabetes. Fortfarande finns dock mycket få studier på området och fortsatt forskning behövs för att bekräfta avsaknaden av samband.

Övervikt

Vägtrafik

Totalt åtta studier på vägtrafikbuller och olika markörer för övervikt har bedömts vara relevanta för svenskt vidkommande (Bilaga 1). Hälften av dessa baseras på longitudinella data. Två par av studierna är dock genomförda på samma populationer, men med varierande metodik. I en tvärsnittsstudie från Oslo, Norge, baserad på drygt 15 000 personer fann man inget samband mellan vägtrafikbuller och överviktsmarkörer (BMI, bukomfång och midje-höft-kvot) i den totala populationen. Däremot såg man vissa samband bland kvinnor som uppgav sig som mer bullerkänsliga än andra samt tendenser till samband för män som hade sitt sovrumsfönster mot en bullerutsatt sida och för personer (både män och kvinnor) som varit utsatta för buller under en längre tid (>10 år). Två studier på samma population (ca 5 000 män och kvinnor) från Stockholms län analyserade samband mellan vägtrafikbuller och överviktsmarkörer (BMI, bukomfång och midje-höft-kvot) både i tvärsnittsanalyser (Pyko m.fl. 2015) och longitudinellt (Pyko m.fl. 2017). Undersökningarna visar på statistiskt säkerställda samband mellan vägtrafikbuller och ökningar av bukomfång och bukfetma vid bullernivåer över 45 dB L_{den}. Studien visade dock inga samband vad gäller generell övervikt och fetma (baserat på BMI) eller viktutveckling. I en dansk tvärsnittsstudie baserad på drygt 57 000 individer fann man ett svagt samband mellan vägtrafikbuller och BMI samt bukomfång (Christensen m.fl. 2016). I en annan undersökning baserad på samma population men med en longitudinell design sågs små men statistiskt säkerställda ökningar av vikt och bukomfång relaterat till exponering för vägtrafikbuller. Sambanden var särskilt framträdande bland personer som redan hade en överviktsproblematik (t.ex. hos personer med ett BMI_≥30). År 2018 rapporterade Foraster m.fl. samband mellan vägtrafikbuller och BMI, bukomfång samt ökad risk att utveckla fetma (Foraster m.fl. 2018). Ytterligare evidens för en metabol inverkan av vägtrafikbuller

kommer från den hittills största undersökningen på området, en tvärsnittsstudie baserad på tre europeiska kohorter från Storbritannien, Nederländerna och Norge med nära 500 000 deltagare (Cai m.fl. 2020). Resultaten från denna undersökning är dock inte helt konsistenta då statistiskt säkerställda samband påvisades primärt i urvalet från Storbritannien, och till viss del i den norska populationen (dock enbart över 55 dB L_{den}), medan inga eller till och med negativa samband påvisades i den holländska populationen. Slutligen visade en tvärsnittsstudie från Danmark baserad på 15 000 kvinnliga sjuksköterskor inga samband mellan vägtrafikbuller och BMI eller bukomfång i den totala populationen (Cramer m.fl.). Dock framträdde en tydlig effektmodifiering av yrkesstress ("job strain"), där de kvinnor som rapporterade en hög stressnivå på jobbet uppvisade samband mellan vägtrafikbuller och både BMI och bukomfång, till skillnad från kvinnor som inte rapporterade yrkesstress. Man såg även samband för kvinnor som bodde i urbana områden, men ej i förorter eller på landsbygden.

Sammanfattningsvis har evidensen för ett samband mellan vägtrafikbuller och överviktsmarkörer stärkts sedan WHO:s kunskapssammanställning. Antalet tillgängliga studier är dock fortfarande begränsat och visar inte något helt konsistent mönster. Fler högkvalitativa longitudinella undersökningar krävs för att några säkra slutsatser ska kunna dras.

Spårtrafik

Fem studier av relevans för Sverige har genomförts på spårtrafik och överviktsmarkörer. Två av dessa är kohorter och tre är tvärsnittsstudier. Två par av studierna analyserar samma population men med olika metodik. I de två svenska undersökningarna, baserade på drygt 5 000 personer från Stockholms län, sågs en tendens till samband mellan spårtrafikbuller över 45 dB L_{den} och bukfetma, men inte vad gäller generell övervikt (baserat på BMI), viktökning eller ökning i bukomfång (Pyko m.fl. 2015, Pyko m.fl. 2017). I den danska tvärsnittsstudien (Christensen m.fl. 2016) fann man inga samband mellan spårtrafikbuller och överviktsmarkörer i den totala populationen, men vid kategorisering av exponeringen sågs högre BMI och bukomfång bland personer som exponerades för ljudnivåer >60 dB L_{den} jämfört med oexponerade (<20 dB L_{den}). I longitudinella analyser sågs samband mellan spårtrafikbuller >55 dB L_{den} och viktökning, men inte med bukomfång (Christensen m.fl. 2015). I tvärsnittsundersökningen från Schweiz (Foraster m.fl. 2018) sågs inga samband mellan spårtrafikbuller och överviktsmarkörer i den totala populationen, men ett svagt samband med BMI bland personer som rapporterade sömnproblem.

Sammantaget är evidensen för ett samband mellan spårtrafikbuller och övervikt begränsad. Endast ett fåtal studier har genomförts och inga tydliga samband kan ses baserat på de totala populationerna. Vissa indikationer på samband finns dock vid högre ljudnivåer och i några specifika undergrupper, vilket motiverar fortsatt forskning.

Slutsatser

Ljudstandard i bostadsbeståndet

Analysen av ljudisolering i svenska flerbostadshus visade att detaljerade och omfattande inventeringar av ytterväggar, fönster och uteluftsintag saknas. Bedömningen grundas i stället på flera generella jämförelser, typiska byggmetoder för de år husen uppfördes, renoveringsprogram samt inventeringar och åtgärder som Trafikverket och en del kommuner låtit utföra i de mest bullerutsatta husen i Sverige. I genomsnitt skattades skillnaden i ljudnivå ute (frifält)-inne ($\Delta L_{A,tr}$) mot stadstrafikbuller (från vägtrafik i 50 km/h med 90 procent lätta fordon och 10 procent tunga fordon) i svenska flerfamiljshus till 27–28 dB. Bland bullerutsatta flerbostadshus (≥ 55 dB L_{den}) skattades, utifrån exponeringsdata från END-kartläggningen 2017, motsvarande skillnad till 30 dB. Ljudnivåskillnaden för väg- och spårtrafik vid högre hastigheter är vanligen upp till 4 dB högre.

Jämförelsen med ett urval andra europeiska länder visade på motsvarande brister i underlagsdata som för Sverige och det har därför inte gått att säkerställa värden om ljudisolering i europeiska bostadshus som kan användas för en direkt jämförelse med svenska förhållanden. Bedömningen baseras i stället på generella uppgifter om regelverk och policys inom EU, kostnader för åtgärdsprogram, ljudkrav på fasader och tekniska detaljer från olika länder. Den samlade bedömningen är att ingenting i den underliggande dokumentationen tyder på att ljudisoleringen i de studerade europeiska ländernas flerbostadshus skulle vara markant sämre än i de svenska, möjligtvis med undantag för Storbritannien och sydeuropeiska länder med varmare klimat, däribland Portugal.

Trafiksituation

Trafiksituationen avseende vägtrafik i Sverige förefaller relativt representativ för Europa som helhet. Sverige är stort i förhållande till många andra EU-länder (femte största sett till yta) och ligger därmed högt i ranking avseende längd på motorvägar, Europavägar och övriga vägar. Även sett till antal trafikrörelser ligger Sverige förhållandevis högt i rankning, både totalt och för tung trafik. Dock ligger vi i absoluta tal betydligt lägre än de länder som toppar statistiken, däribland Frankrike, Storbritannien, Spanien och Nederländerna. Inte heller vad gäller spårtrafik sticker Sverige ut i förhållande till övriga Europa. Vi ligger relativt högt i ranking vad gäller total spårlängd och godstrafik, men lite lägre för totalt antal tågrörelser. Analysen av trafiksituationen är dock översiktlig och ska tolkas med försiktighet.

En försiktig slutsats avseende antal exponerade för vägtrafik, sett till den statistik som rapporterats in till EU, är att Sverige verkar ha något lägre andel i urbana områden som exponeras för höga eller mycket höga ljudnivåer (≥ 65 dB L_{den}) än andra europeiska länder. Sett till mer måttliga ljudnivåer (55–64 dB L_{den}) ligger vi dock lika eller något över genomsnittet. Även för andel exponerade utanför urbana områden ligger Sverige nära genomsnittet för Europa. För spårtrafik har Sverige i urbana områden en högre andel som exponeras för måttliga ljudnivåer (55–64 dB L_{den}) än genomsnittet i Europa, men relativt likvärdig andel högexponerade (≥ 65 dB L_{den}). Sett till andelen som exponeras utanför urbana områden ligger vi nära genomsnittet för Europa.

Allmän störning

Granskningen av WHO:s underlag avseende allmän störning (andel mycket störda, %HA) visade att mer än hälften av studierna på vägtrafik (15 av 25) har genomförts i länder där det kan förekomma betydande skillnader i både ljudstandard och trafiksituation jämfört med i Sverige. I synnerhet gäller det studier från Asien (Vietnam, Japan och Kina) och Alpområdet (företrädesvis Österrike). Att dessa studier sannolikt inte är helt representativa för europeiska förhållanden uppmärksammades i WHO:s kunskapssammanställning och man valde därför att beräkna två olika exponering-responsfunktioner, en baserad på det totala urvalet och en på ett delurval där de asiatiska studierna (tio stycken) och de från Alpområdet (fem stycken) exkluderats. WHO:s kritiska effekt om 10 procent mycket störda uppnåddes i det totala urvalet vid 53 dB L_{den} (ca 50 dB $L_{Aeq,24h}$) och i delurvalet vid 59 dB L_{den} (ca 56 dB $L_{Aeq,24h}$).

Även för spårtrafik baseras WHO:s exponering-responskurva på underlag som inte är helt representativt för svenskt vidkommande; en studie från Japan och fyra från Alpområdet med mycket intensiv trafik och en med hög andel godståg. Här har man dock valt att inte exkludera dessa studier (med undantag för en studie av höghastighetståg, Shinkansen, i Japan) då det kvarvarande underlaget blev alltför litet. Baserat på ett urval om totalt 9 studier uppnåddes WHO:s kritiska effekt om 10 procent mycket störda vid ca 54 dB L_{den} (ca 48 dB $L_{Aeq,24h}$).

Att skatta ett representativt medelvärde för andel mycket störda av trafikbuller i befolkningen som en funktion av ljudnivån vid bostadens fasad för alla Europas länder är naturligtvis inte helt enkelt. Den kritik som framförts mot WHO:s sammanställning gör också gällande att det finns en stor spridning i skattningarna av andelen mycket störda mellan de olika undersökningarna och att det till stor del beror på skillnader mellan studierna avseende underliggande icke-akustiska faktorer. En generell slutsats av den föreliggande granskningen är därför att WHO:s skattningar av andelen mycket störda för svenskt vidkommande kan ses som ett riktmärke, men att de bör kompletteras och jämföras med nationella skattningar där hänsyn kan tas till lokala förhållanden. Vidare behövs också en harmonisering av utfallsmåttet; %HA. I WHO:s granskning slås resultat samman från studier med något olika definitioner av andelen mycket störda av buller. Det vanligaste utfallsmåttet baseras på de tre högsta alternativen på en 10-gradig störningsskala, vilket motsvarar en cut-off på 73 procent. Ett annat ofta använt utfallsmått inkluderar de två högsta kategorierna på en fem-gradig skala, motsvarande en cut-off vid 60 procent.

I ett försök att jämföra WHO:s exponering-responsfunktioner med svenska data beräknades andel mycket störda, både med 73 och 60 procent cut-off, baserat på svar från Miljöhälsoenkät 2015 (Stockholms län). Med en cut-off vid 60 procent nåddes 10 procent mycket störda av vägtrafikbuller i det svenska urvalet vid ca 52 dB L_{den} (ca 49 dB $L_{Aeq,24h}$), vilket stämmer väl överens med data från WHO:s totala urval (53 dB L_{den}). Med den mer strikta definitionen, 73 procent cut-off, uppnåddes 10 procent störda i det svenska urvalet vid ca 59 dB L_{den} (ca 56 dB $L_{Aeq,24h}$), vilket är identiskt med WHO:s skattning för delurvalet. För spårtrafik nåddes 10 procent mycket störda vid 61 dB L_{den} (55 dB $L_{Aeq,24h}$) med cut-off vid 60 procent, och vid 65 dB L_{den} (59 dB $L_{Aeq,24h}$) med cut-off vid 73 procent.

Oavsett definition på %HA så ligger störningsgraden avseende spårbuller i det svenska urvalet således betydligt lägre än vad som kan beräknas utifrån WHO:s funktion (54 dB L_{den} /48 dB $L_{Aeq,24h}$).

En handfull nytillkomna studier på trafikbuller och allmän störning som bedömts vara av relevans för uppdraget har genomförts sedan WHO:s granskning, och därtill ytterligare studier på svenska data som inte tagits med av WHO. Några intressanta observationer från dessa är att man även i Frankrike (Gille m.fl. 2016) har bedömt att det finns behov av att utveckla nationella exponering-responskurvor då man sett avvikelser i lokala observationer av störningsgrad jämfört med etablerade exponering-responsfunktioner (de sk. Miedema-kurvorna); såväl för väg- som för spårtrafik. En undersökning från Malmö (Bodin m.fl. 2015) pekade dels på vikten av att ta hänsyn till kombinerat buller från både väg- och spårtrafik, dels på att störningsgraden kan minskas avsevärt om det finns tillgång till en bullerskyddad/tyst sida. En studie från Schweiz visade att man kan förbättra precisionen i beräkningar av andel störda om man utöver den ekvivalenta ljudnivån även tar hänsyn till antal bullerhändelser (Brink m.fl. 2019). Baserat på data från Miljöhälsoenkät 2007 sågs en god överensstämmelse mellan svenska störningssamband och de så kallade Miedema-kurvorna, i synnerhet då korrigeringar gjordes för bostadens orientering mot tyst- eller bullerutsatt sida (Eriksson m.fl. 2013). I en mindre undersökning från Italien rapporterades att man riskerar att underskatta störningar från spårbuller om man inte tar hänsyn till så kallade okonventionella ljud, dvs. gnissel, spårskrik, slammer från lastning, tågvissslor osv. (Licitra m.fl. 2016). Slutligen visade TVANE-studien på vikten av att ta hänsyn till vibrationer vid beräkningar av störning från spårtrafik (Ögren m.fl. 2017).

Sömnstörning

I WHO:s sammanställning ses tydliga samband mellan väg- och spårtrafikbuller i boendemiljön och sömnstörning, både gällande självrapporterad sömnstörning och mer objektiva mått via polysomnografi.

Sammanställningen gällande självrapporterad sömnstörning inkluderar även studier från t.ex. Asien, där trafik-, väder- och byggnadsförhållanden skiljer sig markant från svenska förhållanden. En ny sammanvägning genomfördes därför i denna rapport där endast studier som anses återspegla en svensk kontext inkluderades. Studier från Sverige, Finland, Tyskland och Schweiz valdes ut. De nya analyserna visar en överrisk för självrapporterad sömnstörning både i relation till väg- och spårtrafik. Samtliga studier inkluderade i WHO:s review gällande polysomnografi utfördes i Tyskland, som anses återspegla svenska förhållanden, och kunde därav inkluderas i slutsatserna i denna rapport.

Sammantaget ser WHO:s exponering-responskurvor ut att fungera väl mot en svensk kontext. Även om studier från andra världsdelar eller södra Europa tas bort från analyserna kvarstår den ökade risken i samtliga mått, trots skillnader i isolering, byggnadstyp och/eller trafikmönster.

Nyttillkomna studier bekräftar fynden gällande självrapporterad sömnstörning (Brink m.fl. 2019) samt vikten av att sovrummet placeras mot tyst sida för att uppnå en lägre andel sömnstörda. Ytterligare mått på sömnstörning såsom en

ökad användning av sömnmedel används även i nya studier, men detta utfallsmått är i dagsläget är svårt att värdera i en svensk kontext.

Hjärt-kärlsjukdomar

Ett flertal epidemiologiska studier har påvisat samband mellan exponering för vägtrafikbuller och IHD/hjärtinfarkt. Tolkningen av orsakssamband stöds av resultat i vissa studier avseende bullerexponering och effekter på blodkärlen som kan utgöra steg i processen bakom utvecklande av IHD/hjärtinfarkt.

Riskökningen per exponeringsenhet är sammantaget lägre i nytillkomna studier än i de som redovisas i WHO:s Guidelines. Det kan ha att göra med lägre exponeringsnivåer i nyare studier än i äldre och att sambanden inte är linjära, t. ex. har tröskeffekter antytts i ett par studier. Ännu är dock antalet studier för få där tröskeffekter studerats systematiskt för att möjliggöra säkra slutsatser.

Sedan publiceringen av WHO:s Guidelines har underlaget stärkts rörande sambandet mellan exponering för vägtrafikbuller risken för stroke, bl.a. av resultat från en omfattande skandinavisk studie. Tolkningen av orsakssamband stöds av fynd rörande vägtrafikbuller och förmaksflimmer som utgör en viktig riskfaktor för stroke. Även om antalet publicerade studier är relativt litet förefaller det rimligt att inkludera stroke i riskbedömningen avseende vägtrafikbuller.

I underlaget för WHO:s Guidelines saknades epidemiologiskt stöd för att exponering för spårtrafikbuller ökar risken för IHD/hjärtinfarkt eller stroke. Fynden i nytillkomna studier tyder inte heller på sådana samband. En förhållandevis låg befolkningsexponering kan bidra till avsaknaden av samband i studierna. Antalet epidemiologiska studier av hjärt-kärleffekter knutna till exponering för spårtrafikbuller är litet vilket gör tolkningen av underlaget osäker.

Huvuddelen av de epidemiologiska studierna av hjärt-kärleffekter knutna till långtidsexponering för väg- och spårtrafikbuller har genomförts i Nord- och Västeuropa, varav flera i Sverige. Exponeringsbedömningen baserades på modellerade bullernivåer utomhus vid fasaden av deltagarnas bostäder och data saknas om inomhusnivåer samt eventuella bullerdämpande åtgärder i byggnaden eller bostaden. Det saknas hållpunkter för att fasadbullerdämpningen skulle vara sämre i de andra studerade länderna än i Sverige, med undantag för Storbritannien.

Diabetes

För diabetes inkluderades enbart en kohortstudie på vägtrafikbuller i WHO:s granskning. Sedan dess har det tillkommit ett tiotal studier, varav åtta har bedömts ha relevans i en svensk kontext. Sammantaget kan sägas att evidensen för ett samband mellan vägtrafikbuller och insjuknande i diabetes har stärkts. De åtta studier som granskats här visar alla på samband i ojusterade modeller, vissa dock enbart i ett urval av populationen. Justering för levnadsvanor och luftföroreningar ledde i några av studierna till reducerade estimat, medan andra visade på kvarstående samband. Fler högkvalitativa studier behövs för att kunna dra säkra slutsatser om ett eventuellt orsakssamband. Vad gäller spårtrafikbuller och diabetes identifierades tre kohortstudier av relevans för Sverige. Ingen av dessa studier visade på samband mellan buller från spårtrafik och insjuknande i

diabetes. Fortfarande finns dock mycket få studier på området och fortsatt forskning behövs för att bekräfta avsaknaden av samband.

Övervikt

Sammanfattningsvis har evidensen för ett samband mellan vägtrafikbuller och överviktsmarkörer stärkts sedan WHO:s kunskapssammanställning. Antalet tillgängliga studier är dock fortfarande begränsat och visar inte något helt konsistent mönster. Fler högkvalitativa longitudinella undersökningar krävs för att säkra slutsatser ska kunna dras. Evidensen för ett samband mellan spårtrafikbuller och övervikt begränsad. Endast ett fåtal studier har genomförts och inga tydliga samband kan ses baserat på de totala populationerna. Vissa indikationer på samband finns dock vid högre ljudnivåer och i specifika undergrupper, vilket motiverar fortsatt forskning.

Referenser

Aasvang GM, Overland B, Ursin R, Moum T. A field study of effects of road traffic and railway noise on polysomnographic sleep parameters. *J. Acoust. Soc. Am.* 2011, 129:3716-3726.

Andersson EM, Ögren M, Molnár P, Segersson D, Rosengren A, Stockfelt L. Road traffic noise, air pollution and cardiovascular events in a Swedish cohort. *Environ Res.* 2020, 185:109446.

Babisch W, Ising H, Elwood PC, Sharp DS, Bainton D, Traffic noise and cardiovascular risk: the Caerphilly and Speedwell studies, second phase. Risk estimation, prevalence, and incidence of ischemic heart disease *Arch. Environ. Health.* 1993, 48:406-413.

Babisch W, Ising H, Kruppa B, Wiens D, The incidence of myocardial infarction and its relation to road traffic noise - the Berlin case-control studies. *Environ. Int.* 1994, 20(4):469-474.

Babisch W, Ising H, Gallacher JEJ, Sweetnam PM, Elwood PC. Traffic Noise and Cardiovascular Risk: The Caerphilly and Speedwell Studies, Third Phase 10 Year Follow Up. *Arch Environ Health.* 1999, 54(3):210-216.

Babisch W, Beule B, Schust M, Kersten N, Ising H, Traffic noise and risk of myocardial infarction. *Epidemiology.* 2005, 16(1):33-40.

Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Cadum E, Katsouyanni K, Velonakis M, . . . for the HYENA-team. Annoyance due to aircraft noise has increased over the years - results of the HYENA study. *Environment International.* 2009, 35:1169-1176. (road data only)

Bai L, Shin S, Oiamo TH et al. Exposure to Road Traffic Noise and Incidence of Acute Myocardial Infarction and Congestive Heart Failure: A Population-Based Cohort Study in Toronto, Canada. *Environ Health Perspect.* 2020, 128(8):87001.

Basner M, Isermann U, Samel A. Aircraft noise effects on sleep: Application of the results of a large polysomnographic field study. *J. Acoust. Soc. Am.* 2006, 119, 2772–2784.

Basner M, McGuire S. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. *Int J Environ Res Public Health.* 2018, 15 (3), s519.

Beelen R, Hoek G, Houthuijs D, Brandt PA van den, Goldbohm RA, Fischer P, Schouten LJ, Armstrong B, Brunekreef B, The joint association of air pollution and noise from road traffic with cardiovascular mortality in a cohort study. *Occup. Environ. Med.* 2009, 66(4), 243-250.

Björk C, Kallstenius P, Reppen L. Så byggdes husen 1880–2000. Arkitektur, konstruktion och material i våra flerbostadshus under 120 år. Svensk Byggtjänst. 2013. ISBN: 9789173336185

Bodin T, Björk J, Ardö J, Albin M. Annoyance, sleep and concentration problems due to combined traffic noise and the benefit of quiet side. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2015, 12, 1612–1628.

Bodin T, Björk J, Mattisson K et al. Road traffic noise, air pollution and myocardial infarction: a prospective cohort study. *Int Arch Occup Environ Health*. 2016, 89(5):793–802.

Boverket, 2010. God bebyggd miljö – förslag till nytt delmål för buller inomhus – Resultat från projektet BETSI. ISBN pdf: 978-91-86342-57-9.

Brink M. Parameters of well-being and subjective health and their relationship with residential traffic noise exposure – a representative evaluation in Switzerland. *Environ. Int.* 2011, 37, 723–733.

Brink M. Annoyance Assessment in Postal Surveys Using the 5-point and 11-point ICBEN Scales: Effects of Scale and Question Arrangement. Paper presented at the Inter-Noise 2013, Innsbruck (A).

Brink M, Schreckenberg D, Vienneau D, Cajochen C, Wunderli JM, Probst-Hensch N, Röösli M. Effects of scale, question location, order of response alternatives, and season on self-reported noise annoyance using ICBEN scales: A field experiment. *Int J Environ Res Public Health*. 2016, 13(11):1163.

Brink M, Schäffer B, Vienneau D, Foraster M, Pieren R, Eze IC, Cajochen C, Probst-Hensch N, Röösli M, Wunderli JM. A survey on exposure-response relationships for road, rail, and aircraft noise annoyance: Differences between continuous and intermittent noise. *Environ Int.* 2019, 125, 277–290.

Brown AL, Lam KC, van Kamp I, Yeung MKL. Urban road traffic noise: exposure and human response in a dense, high-rise city in Asia. In: *Proceedings. 11th International Congress on Noise as a Public Health Problem 2014 (ICBEN 2014)*, Nara, Japan, 1–5 June 2014. Tokyo: Institute of Noise Control Engineering of Japan.

Brown AL, Lam, KC, Van Kamp I. Quantification of the exposure and effects of road traffic noise in a dense Asian city: a comparison with western cities. *Environmental Health*, 2015, 14:22.

Cai Y, Hodgson S, Blangiardo M, et al. Road traffic noise, air pollution and incident cardiovascular disease: A joint analysis of the HUNT, EPIC-Oxford and UK Biobank cohorts. *Environ Int.* 2018, 114:191–201.

Cai Y, Zijlema WL, Sørgerd EP, Doiron D, de Hoogh K, Hodgson S, Wolffenbuttel B, Gulliver J, Hansell AL, Nieuwenhuijsen M, Rahimi K, Kvaløy

K. Impact of road traffic noise on obesity measures: Observational study of three European cohorts. *Environ Res.* 2020, 191:110013.

Champelovier P, Cremezi-Charlet C, Lambert J. (2003). Evaluation de la gêne due à l'exposition combinée aux bruits routier et ferroviaire (Vol. Report 242). Lyon: INRETS. (väg- respective spårdata)

Christensen JS, Raaschou-Nielsen O, Tj Tjønneland A, Norsbort RB, Jensen SS, Sørensen TI, Sørensen M. Long-term exposure to residential traffic noise and changes in body weight and waist circumference: A cohort study. *Environ Res.* 2015, 143(Pt A):154-61.

Christensen JS, Raaschou-Nielsen O, Tjønneland A, Overvad K, Nordsborg RB, Ketzel M, Sørensen TI, Sørensen M. Road traffic and railway noise exposures and adiposity in adults: A cross-sectional analysis of the Danish Diet, Cancer, and Health Cohort. *Environ Health Perspect.* 2016, 124(3):329-35.

Clark C, Sbihi H, Tamburic L, Brauer M, Frank LD, Davies HW. Association of long-term exposure to transportation noise and traffic-related air pollution with the incidence of diabetes: A prospective cohort study. *Environ Health Perspect.* 2017, 125(8):087025.

Cramer J, Therning Jørgensen J, Sørensen M, Backalarz C, Laursen JE, Ketzel M, Hertel O, Jensen Steen Solvang, Simonsen MK, Vaclavik Bräuner E, Andersen ZJ. Road traffic noise and markers of adiposity in the Danish Nurse Cohort: A cross-sectional study. *Environ Res.* 2019, 172:502-510.

Dimakopoulou K, Koutentakis K, Papageorgiou I et al. Is aircraft noise exposure associated with cardiovascular disease and hypertension? Results from a cohort study in Athens, Greece. *Occup Environ Med.* 2017, 74(11):830–7.

EC Eurostat. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database>

EC 2002. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise – Declaration by the Commission in the Conciliation Committee on the Directive relating to the assessment and management of environmental noise. *Official Journal L* 189, 18(07/2002 P. 0012-0026.

EEA 2020. Environmental noise in Europe – 2020. EEA Report No 22/2019. European Environment Agency. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020.

Elmenhorst EM, Pennig S, Rolny V, Quehl J, Mueller U, Maass H, Basner M. Examining nocturnal railway noise and aircraft noise in the field: Sleep, psychomotor performance, and annoyance. *Sci. Total Environ.* 2012, 424:48–56.

EPA Network. Overview of critical noise values in the European Region. EPA Network Interest Group on Noise Abatement (IGNA). Report No. M+P.BAFU.18.01.1. 9 October 2019.

Eriksson C, Nilsson ME, Stenkivist D, Bellander T, Pershagen G. Residential traffic noise exposure assessment: application and evaluation of European Environmental Noise Directive maps. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2013, 23:531-538.

Eriksson C, Pyko A, Lind T, Ögren M, Pershagen G, Georgelis A. Traffic noise and annoyance in a Swedish context. In: *Proceedings. 13th International Congress on Noise as a Public Health Problem 2021 (ICBEN 2021)*, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden, 14-17 June 2021.

Eze IC, Foraster M, Schaffner E, Vienneau D, Héritier H, Rudzik F, Thiesse L, Pieren R, Imboden M, von Eckardstein A, Schindler C, Brink M, Cajochen C, Wunderli JM, Röösli M, Probst-Hensch N. Long-term exposure to transportation noise and air pollution in relation to incident diabetes in the SAPALDIA study. *Int J Epidemiol*, 2017, 46(4):1115-1125.

Fields JM, De Jong RG, Gjestland T, Flindell IH, Job RFS, Kurra S, Lercher PVM, Yano T, Guski R, Felscher-Suhr U et al. Standardized noise reaction questions for community noise surveys: Research and a recommendation. *J. Sound Vib*. 2001, 242:641–679.

Flindell IH, Bullmore AJ, Robertson KA, Wright NA, Turner C, Birch CL, Jiggins M, Berry BF, Davison M, Dix N. Aircraft Noise and Sleep, 1999 UK Trial Methodology Study; ISVR Consultancy Services; Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton: Southampton, UK, 2000.

Folkhälsomyndigheten 2017. Miljöhälsorapport 2017. [Miljöhälsorapport 2017 — Folkhälsomyndigheten \(folkhalsomyndigheten.se\)](https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/rapporter-och-utredningar/miljo-halsa-och-sjukdomar/miljo-halsa-och-sjukdomar-2017)

Foraster M, Eze IC, Vienneau D, Schaffner E, Jeong A, Héritier H, Rudzik F, Thiesse L, Pieren R, Brink M, Cahochen C, Wunderli JM, Röösli M, Probst-Hench N. Long-term exposure to transportation noise and its association with adiposity markers and development of obesity. *Environ Int*. 2018, 121(Pt 1):879-889.

Frei P, Mohler E, Röösli M. Effect of nocturnal road traffic noise exposure and annoyance on objective and subjective sleep quality. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2014. 217:188-195.

Gan WQ, Davies HW, Koehoorn M, Brauer M. Association of long-term exposure to community noise and traffic-related air pollution with coronary heart disease mortality. *Am. J. Epidemiology*. 2012, 175(9):898-906

Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M., Jerson, T. & Öhrström, E. (2012). Railway noise annoyance and the importance of number of trains, ground vibration, and building situational factors. *Noise & Health*. 14(59):190-201.

Gille LA, Marquis-Favre C, Morel J. Testing of the European Union exposure-response relationships and annoyance equivalents models for annoyance due to transportation noises: The need of revised exposure-response relationships and annoyance equivalents model. *Environ In*. 2016, 94:83-94.

Gjestland T. A Systematic Review of the Basis for WHO's New Recommendation for Limiting Aircraft Noise Annoyance. *Int J Environ Res Public Health*. 2018, 15:2717.

Guski R, Schreckenberg D, Schuemer R. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *Int J Environ Res Public Health* 2017, 14:1539.

Guski R, Schreckenberg D, Schuemer R, Brink M, Stansfeld S. Comment on Gjestland, T. A Systematic Review of the Basis for WHO's New Recommendation for Limiting Aircraft Noise Annoyance. *Int. J. Env. Res. Pub. Health* 2018, 15,2717. *Int J Environ Res Public Health*. 2019, 16:1088.

Halonen JI, Vahtera J, Stansfeld S, Yli-Tuomi T, Salo P, Pentti J, Kivimäki M, Lanki T. Associations between Nighttime Traffic Noise and Sleep: The Finnish Public Sector Study. *Environ. Health Perspect*. 2012, 120:1391–1396.

Halonen JI, Hansell A, Gulliver J, Morley D, Blangiardo M, Fecht D, Toledano MB, Beevers S, Anderson HR, Kelly FJ et al. Road traffic noise is associated with increased cardiovascular morbidity and mortality and all-cause mortality in London. *Eur. Heart J*. 2015, 36:2653–2661.

Heimann D, de Franceschi M, Emeis S, Lercher P, Seibert P. (Eds. 2007). *Air Pollution, Traffic Noise and Related Health Effects in the Alpine Space - A Guide for Authorities and Consultants. ALPNAP comprehensive report*. Trento (I): Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale. [road traffic data only]

Héritier H, Vienneau D, Foraster M, Eze CI, Schaffner E, Thiesse L, Rudzik F, Habermacher M, Köpfli M, Pieren R et al. Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: A nationwide cohort study from Switzerland. *Eur. J. Epidemiol*. 2017, 32:307–315.

Hong J, Kim J, Lim C, Kim K, Lee S. The effects of long-term exposure to railway and road traffic noise on subjective sleep disturbance. *J. Acoust. Soc. Am*, 2010. 128:2829-2835.

International Standards Organization. ISO TS 15666: Acoustics—Assessment of Noise Annoyance by Means of Social and Socio-Acoustic Surveys; ISO: Geneva, Switzerland, 2003.

Jonasson H. Svenska riktvärden och L_{den} . Rapport ETaP404604 ver. 3. SP Akustik. Borås 2005.

Jørgensen JT, Bräuner EV, Backalarz C, Laursen JE, Pedersen TH, Jensen SS, Kettel M, Hertel O, Nyman Lophaven S, Simonsen MK, Andersen ZJ. Long-Term Exposure to Road Traffic Noise and Incidence of Diabetes in the Danish Nurse Cohort. *Environ Health Perspect*. 2019, 127(5):57006.

Klomp maker JO, Janssen NAH, Bloemsma LD, Gehring U, Wijga AH, van den Brink C, Lebret E, Brunekreef B, Hoek G. Associations of combined exposures to surrounding green, air pollution, and road traffic noise with cardiometabolic disease. *Environ Health Perspect.* 2019, 127(8):087003.

Lercher P, Botteldooren D, de Greve B, Dekoninck L, Ruedisser J (2007). The effects of noise from combined traffic sources on annoyance: the case of interactions between rail and road noise. In: *Proceedings. 36th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering 2007 (INTER-NOISE 2007)*, Istanbul, Turkey, 28–31 August 2007. Istanbul: Turkish Acoustical Society.

Lercher P, Greve B de, Botteldooren D, Dekoninck L, Oetl D, Uhrner U et al. (2008). Health effects and major co-determinants associated with rail and road noise exposure along transalpine traffic corridors. In: *Proceedings. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem 2008 (ICBEN 2008)*, Foxwoods, USA, 21–25 July 2008. Zurich: International Commission on Biological Effects of Noise.

Licitra G, Fredianelli L, Petri D, Vigotti MA. Annoyance evaluation due to overall railway noise and vibration in Pisa urban areas. *Sci Total Environ.* 2016, 15(568):1315-1325.

Lim YH, Jørgensen JT, So R et al. Long-term exposure to road traffic noise and incident myocardial infarction. *Environ Epidemiol.* 2021, 5(3):e148.

Medizinische Universitaet Innsbruck (2008). Galleria di Base del Brennero – Brenner Baistunnel – Sozioökonomie (public health) – Zusammenfassender Bericht [Social economics (public health) – final report]. Innsbruck: Medizinische Universität Innsbruck.

Miedema HME, Vos H. Exposure-response relationships for transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 1998, 104:3432–3445.

Miedema HME, Oudshoorn CG. Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure Metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environ. Health Perspect.* 2001, 109:409–416.

Morgan RL, Thayer KA, Bero L, Bruce N, Falck-Ytter Y, Ghersi D, Guyatt G, Hooijmans C, Langendam M, Mandrioli D et al. GRADE: Assessing the quality of evidence in environmental and occupational health. *Environ. Int.* 2016, 92–93, 611–616.

Naturvårdsverket, 2017. Resultat från bullerkartläggning enligt förordningen för omgivningsbuller. Hämtad 2021-04-05 från <http://www.naturvardsverket.se/Samar-miljon/Manniska/Buller/Resultat-fran-bullerkartlaggning-enligt-forordningen-for-omgivningsbuller/>.

Oftedal B, Hjertager Krog N, Pyko A, Eriksson C, Graff-Iversen S, Haugen M, Schwarze PE, Pershagen G, Aasvang GM. Road traffic noise and markers of obesity – a population-based study. *Environ Res.* 2015, 138:144-53.

Ohlwein S, Henning F, Lucht S, Matthiessen C, Pundt N, Moebus S, Jöckel KH, Hoffmann B. Indoor and outdoor road traffic noise and incident diabetes mellitus: Results from a longitudinal German cohort study. *Environ Epidemiol.* 2019, 3(1):e037.

Phan HYT, Yano T, Phan HAT, Nishimura T, Sato T, Hashimoto Y. Community responses to road traffic noise in Hanoi and Ho Chi Minh City. *Appl. Acoust.* 2010, 71:107-114.

Pierrette M, Marquis-Favre C, Morel J, Rioux L, Vallet M, Viollon S, Moch A. Noise annoyance from industrial and road traffic combined noises: A survey and a total annoyance model comparison. *Journal of Environmental Psychology.* 2012, 32(2):178-186. (road data only)

Pyko A, Eriksson C, Oftedal B, Hilding A, Östenson CG, Hjertager Krog N, Julin B, Aasvang GM, Pershagen G. Exposure to traffic noise and markers of obesity. *Occup Environ Med.* 2015, 72(8):594-601.

Pyko A, Eriksson C, Lind T, Mitkovskaya N, Wallas A, Ögren M, Östenson CG, Pershagen G. Long-term exposure to transportation noise in relation to development of obesity – a cohort study. *Environ Health Perspect.* 2017, 125(11):117005.

Pyko A, Andersson N, Eriksson C et al. Long-term transportation noise exposure and incidence of ischemic heart disease and stroke – a cohort study. *Occup Environ Med.* 2019, 76(4):201-7.

Ristovska G, Gjorgjev D, Stikova E, Petrova V, Cakar MD. Noise induced sleep disturbance in adult population: Cross sectional study in Skopje urban centre. *Maced. J. Med. Sci.* 2009. 2, 255-260.

Roswall N, Raaschou-Nielsen O, Ketzel M et al. Long-term residential road traffic noise and NO₂ exposure in relation to risk of incident myocardial infarction - A Danish cohort study. *Environ Res.* 2017, 156:80-86.

Roswall N, Raaschou-Nielsen O, Jensen SS, Tjønneland A, Sørensen M. Long-term exposure to residential railway and road traffic noise and risk for diabetes in a Danish cohort. *Environ Res.* 2018, 160:292-297.

Roswall N, Poulsen AH, Thacher JD, Hvidtfeldt UA, Raaschou-Nielsen O, Jensen SS, Overvad K, Tjønneland A, Sørensen M. Nighttime road traffic noise exposure at the least and most exposed facades and sleep medication prescription redemption-a Danish cohort study. *Sleep.* 2020, 48 (8). PMID: 32083664 DOI: 10.1093/sleep/zsaa029

Roswall N, Pyko A, Ögren M et al. Long-term exposure to transportation noise and risk of incident stroke: a pooled study of nine Scandinavian cohorts. *Environ Health Perspect.* 2021, 129(10), 107002.

Sato T, Yano T, Björkman M, Rylander R. Comparison of community response to road traffic noise in Japan and Sweden - Part I: Outline of surveys and dose response relationships. *Journal of Sound and Vibration*. 2002, 250, 161-167.

Sato T, Yano T, Morihara T (2004). Community response to noise from Shinkansen in comparison with ordinary railways: a survey in Kyushu, Japan. In: *Proceedings. 18th International Congress on Acoustics (ICA 2004)*, Kyoto, Japan, 4–9 April. Kyoto: Acoustical Society of Japan.

SAU Nordic database för programvarorna BASTIAN och SONarchitect.
www.bastian.nu.

Schreckenber D. (2013). Exposure-response relationship for railway noise annoyance in the middle Rhine Valley. Paper presented at the Inter-Noise 2013, Innsbruck (A).

Schultz T. Synthesis of social surveys on noise annoyance. *J Acoust Soc Am*. 1978, 64, 377-405.

Seidler A, Wagner M, Schubert M, Droge P, Hegewald J. NORAH: Noise Related-Annoyance, Cognition and Health. *Verkehrslärmwirkungen im Flughabenumfeld. Enbericht, Band 6: Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung; Technische Universität Dresden, Medizinische Fakultät, Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin: Dresden, Germany, 2015.*

Siedler A, Wagner M, Schubert et al. Myocardial Infarction Risk Due to Aircraft, Road, and Rail Traffic Noise: Results of a Case–Control Study Based on Secondary Data. *Dtsch Arztebl Int*. 2016, 113(24), 407-414.

Selander J, Nilsson ME, Bluhm G, Rosenlund M, Lindqvist M, Nise G, Pershagen G. Long-term exposure to road traffic noise and myocardial infarction. *Epidemiology* 2009, 20(2), 272-279.

Shimoyama K, Nguyen T L, Yano T, Morihara T. (2014). Social surveys on community response to road traffic in five cities in Vietnam. Paper presented at the Inter-Noise 2014, Melbourne (AUS).

Shin S, Bai Li, Oiamo TH, Burnett R, Weichentahl S, Jerrett M, Kwong JC, Goldberg MS, Copes R, Kopp A, Chen H. Association between road traffic noise and incidence of diabetes mellitus and hypertension in Toronto, Canada: A population-based cohort study. *J Am Heart Assoc*. 2020, 9(6):e013021.

Simmons C. Ljudisolering i ytterväggar – Jämförelse mellan svenska och internationella flerbostadshus. Simmons akustik och utveckling AB. Uppdragsrapport 1511 för Karolinska Institutet, 2021.

Sveriges byggindustrier/Simmons, C. 2004. Ljudisolering i bostadshus byggda 1880–2000: Praktiska erfarenheter och indata för beräkningar enligt SS-EN 12354. FoU-Väst Rapport 0405. ISSN 1402-7410. Göteborg, 2004-05. Rapport: [SBUF11254_BI-FoUV-Rapport-0405_Byggakustik_CRS_v20040818](#)

(simmons.se) Databasbilaga: [SBUF11254 BI-FoUV-DATABAS-Rapport-0405 Byggakustik CRS v20040810 \(simmons.se\)](#)

Sørensen M, Hvidberg M, Andersen ZJ, Nordsborg RB, Lillelund KG, Jakobsen J, Tjønneland A, Overvad K, Raaschou-Nielsen O. Road traffic noise and stroke: a prospective cohort study. *Eur. Heart J.* 2011, 32(6), 737-744.

Sørensen M, Andersen ZJ, Nordsborg RB, Jensen SS, Lillelund KG, Beelen R, Schmidt EB, Tjønneland A, Overvad K, Raaschou-Nielsen O. Road traffic noise and incident myocardial infarction: a prospective cohort study. *PLoS One* 2012, 7(6), e39283.

Sørensen M, Andersen Z, Nordsborg RB, Becker T, Tjønneland A., Overvad K, Raaschou-Nielsen O. Long-term exposure to road traffic noise and incident diabetes: A cohort study. *Environmental Health Perspectives*, 2013. 121: p. 217-222.

Trafikverket 2018. Trafikverkets åtgärdsprogram enligt förordningen om omgivningsbuller 2019–2021. Rapport 2018:196.

UIC. Railway Noise in Europe State of the art report. International Union of Railways, Sustainable Development Unit. Paris, 2021.

van Kempen EEMM, Casas C, Pershagen G, Foraster M. Cardiovascular and metabolic effects of environmental noise. Systematic evidence review in the framework of the development of the WHO environmental noise guidelines for the European Region. RIVM Report 2017-0078. The Netherlands, 2017.

van Kempen EEMM, Casas C, Pershagen G, Foraster M. WHO Environmental noise guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and cardiovascular and metabolic effects: A summary. *Int J Environ Res Public Health*, 2018. 15(2):379.

Yano T, Morihara T, Sato T. (2005). Community response to Shinkansen noise and vibration: a survey in areas along the Sanyo Shinkansen Line. Paper presented at the Forum Acusticum, Budapest (H).

Ögren M, Gidlöf-Gunnarsson A, Smith M, Gustavsson S, Persson Waye K. Comparison of Annoyance from Railway Noise and Railway Vibration. *Int J Environ Res Public Health*. 2017, 14(7):805.