



# Rapport

---

## Sammenhæng mellem vindmøllestøj og helbredseffekter

### Udført for Sundhedsstyrelsen

AV 1017/11

Sagsnr.: A520048

Side 1 af 53

9. marts 2011

#### DELTA

Venlighedsvej 4  
2970 Hørsholm  
Danmark

Tlf. +45 72 19 40 00

Fax +45 72 19 40 01

[www.delta.dk](http://www.delta.dk)

CVR nr. 12275110

**Titel**

Sammenhæng mellem vindmøllestøj og helbredseffekter

**Journal nr.**

AV 1017/11

**Sagsnr.**

A520048

**Vores ref.**

THP/JEL/BP/ilk

**Rekvirent**

Sundhedsstyrelsen  
Islands Brygge 67  
2300 København S

**Rekvirentens ref.**

Niss Skov Nielsen

**Resumé**

Formålet med denne rapport er ved et begrænset litteraturstudie, at belyse direkte og sandsynlige indirekte helbredseffekter som følge af vindmøllestøj/vibrationer/skyggekast.

Det er vist, at vindmøllestøjens karakter ikke adskiller sig væsentligt fra så mange andre støjkilder i vores dagligdag. Lydtrykniveauerne er i den lave ende, set i forhold til de lydpåvirkninger vi normalt udsættes for, og det gælder også lavfrekvent støj. Hørbar infralyd forekommer ikke.

Støjgene er den væsentligste effekt af støj fra vindmøller. Støjgenen fra vindmøller er større end for vejtrafikstøj ved samme støjniveau. Ved støjgrænsen på 39 dB for støjfølsom arealanvendelse, må man for vindmøller regne med, at ca. 10 % er stærkt generede. Til sammenligning kan det nævnes, at den vejledende grænse for vejstøj ved boliger,  $L_{den} = 58$  dB, svarer i gennemsnit til ca. 8 % stærkt generede.

Søvnforstyrrelser kan forekomme. Der er en brat stigning i procentdelen af søvnforstyrrelser lige over støjgrænserne.

Der er ikke fundet en direkte sammenhæng mellem stress og støjniveau. Derimod er der fundet signifikante sammenhænge mellem stresssymptomer og støjgene. I eksisterende undersøgelser er der ikke fundet signifikante sammenhænge med kroniske lidelser, diabetes, højt blodtryk og hjerte-kar sygdomme.

Der er i litteraturen rapporter om fænomener, som kaldes vibro-akustiske sygdomme og vindmølle-syndromet, uden at der dog er vist en kausal dosis-respons sammenhæng eller udført undersøgelser, hvor der er sammenlignet med kontrolgrupper. Disse fænomener anses ikke for reelle for møller.

På det foreliggende grundlag er der ikke vist direkte helbredseffekter pga. vindmøllestøj, dog er der konstateret sammenhæng imellem støjgener og stresssymptomer

Skygger fra de roterende vinger er generende når det forekommer, men kan ikke fremkalde epileptiske anfald.

DELTA, 9. marts 2011

*T. Holm Pedersen*

Torben Holm Pedersen  
SenseLab



## Indholdsfortegnelse

<b>1. Formål og afgrænsning</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Indledende betragtninger</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Opfattelse af lyd og vibrationer</b> .....	<b>6</b>
3.1 Lydopfattelse .....	6
3.2 Følsomhed af vibrationer .....	7
<b>4. Støj og vibrationer fra vindmøller</b> .....	<b>9</b>
4.1 Støj.....	9
4.2 Vibrationer .....	13
4.3 Skyggekast.....	13
<b>5. Effekter af støj</b> .....	<b>14</b>
<b>6. Støjgene</b> .....	<b>19</b>
<b>7. Søvnforstyrrelser</b> .....	<b>24</b>
<b>8. Gener fra infralyd og lavfrekvent støj</b> .....	<b>30</b>
<b>9. Taleforstyrrelser</b> .....	<b>31</b>
<b>10. Arbejdsforstyrrelser</b> .....	<b>31</b>
<b>11. Støjbetinget høretab</b> .....	<b>31</b>
<b>12. Vindmøllesyndromet</b> .....	<b>32</b>
<b>13. Vibro-akustisk sygdom, VAD</b> .....	<b>33</b>
<b>14. Nocebo-effekten</b> .....	<b>35</b>
<b>15. Somatoforme lidelser</b> .....	<b>36</b>
<b>16. Hjerte-kar sygdomme, diabetes m.m.</b> .....	<b>36</b>
<b>17. Stress symptomer</b> .....	<b>36</b>
<b>18. Effekter af skyggekast</b> .....	<b>37</b>
<b>19. Konklusioner</b> .....	<b>38</b>
<b>20. Referencer</b> .....	<b>40</b>
<b>21. Anden litteratur</b> .....	<b>44</b>

## 1. Formål og afgrænsning

Formålet med denne rapport er ved et litteraturstudie at belyse direkte og sandsynlige indirekte helbredsgener (herunder stress) som følge af vindmøllestøj/vibrationer/skyggekast samt evidensen af dette. Rapporten er tænkt som et oplæg til en vurdering af hvorvidt der på det nuværende videngrundlag kan konstateres helbredsmæssige effekter af vindmøller.

Andre indirekte effekter som f.eks. at personer i øget grad lukker vinduerne for støjen og derved får lavere ventilation og bliver mere syge af infektionssygdomme, og at folk bliver syge af ensomhed, fordi andre ikke vil besøge dem, hvis der står en vindmølle o.l. er ikke medtaget.

Rapporten skal ikke belyse risici for ulykker ved opstilling og drift af vindmøller samt isdannelse på møllevinger, skader på miljøet forårsaget af evt. farligt affald ved opstilling og skrotning, evt. øget fugledød osv.

Arbejdet er udført i perioden 10.-28. januar 2011. Det har ikke været muligt i dette korte tidsrum at foretage en dybdegående litteraturundersøgelse, så det er valgt at koncentrere arbejdet om de kilder, der syntes mest relevante og bedst underbyggede. Andre kilder er nævnt i et separat afsnit af litteraturfortegnelsen.

## 2. Indledende betragtninger

Der kendes en række effekter af støj og vibrationer. De optræder ved forskellige lydtrykniveauer (støjniveauer), og graden af effekterne er i de fleste tilfælde også afhængige af den tid, man er eksponeret.

Det er derfor relevant at beskæftige sig med menneskets opfattelse primært af lyd (se afsnit 3) og sammenholde de mulige effekter fra vindmøller med tærskler, som kendes fra andre områder.

Et andet forhold er, at støjen fra vindmøller ikke adskiller sig væsentligt hverken i frekvenssammensætning eller niveau fra lyden fra mange andre støjkilder, som vi er omgivet af (se afsnit 4). Det er derfor på sin plads at sammenligne støjeksposeringen fra vindmøller med påvirkningerne fra anden støj.

Det er dog kendt, at støj fra vindmøller opfattes som mere generende end støj ved samme niveau fra f.eks. vejtrafik (se afsnit 6). Dette kunne lede til den hypotese, at specielt de generelaterede effekter kunne optræde ved lavere niveauer af støj fra vindmøller end fra andre støjkilder.

Det er i rapporten valgt at beskrive de enkelte effekter, deres virkninger samt evt. kendte tærskler og niveuafhængigheder generelt og derefter, i den udstrækning det er muligt, at supplere med specifik viden relateret til vindmøller. Effekterne er i store træk rangordnet sådan, at de væsentligste effekter med de laveste tærskler er anført først.

Følgende kriterier er brugt til vurdering af relevansen af de anførte effekter:

- 1) Er niveauerne af lyd/vibrationer i rimelig nærhed af de niveauer, der i øvrigt vides at forårsage de formodede effekter?
- 2) Er de rapporterede helbredseffekter specifikt relateret til støj/vindmøller (dvs. er det usandsynligt, at der kan være andre årsager)?
- 3) Er der tale om enkeltstående eksempler, eller er det et mere udbredt fænomen?
- 4) Er der kontrolgrupper i analysen, eller er der demonstreret en signifikant dosis-respons sammenhæng?

Derudover er der lagt vægt på, om effekterne er beskrevet i videnskabelige artikler eller fra andre kilder af tilsvarende kvalitet.

Endeligt skal det bemærkes, at mange af de systematiske undersøgelser stammer fra Holland, Sverige og Danmark. De anses derfor for repræsentative for danske forhold.

Det er i rapporten ikke lagt vægt på at undersøge, om meget store vindmølleparker anbragt på en bjergryg i nærheden af beboelse, se Figur 1, giver særlige problemer.

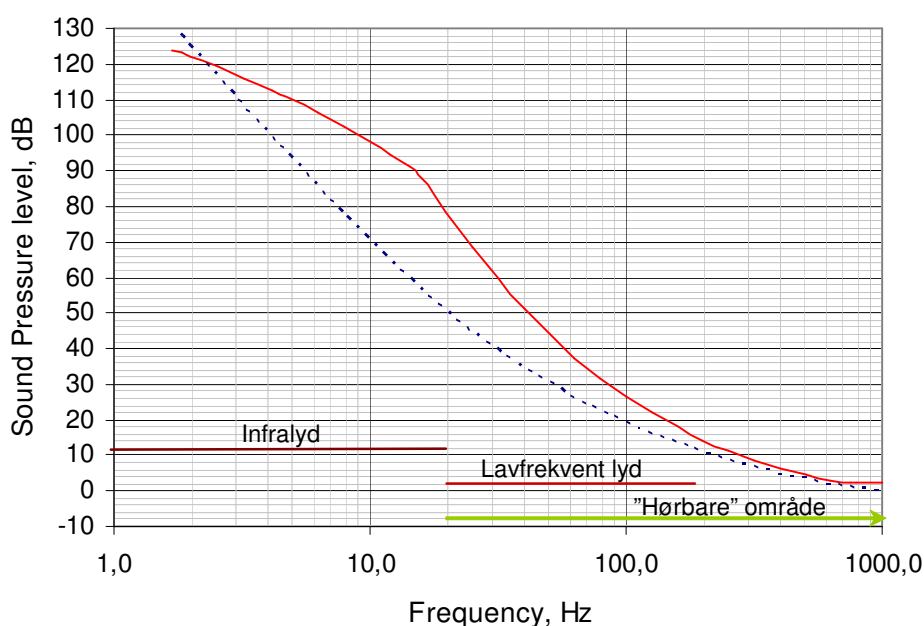


**Figur 1**  
*Turitea vindmøllepark, Palmerston North, New Zealand.*

### 3. Opfattelse af lyd og vibrationer

#### 3.1 Lydopfattelse

Øret er menneskets mest følsomme organ for lyd, dvs. for trykssvingninger i luften. Det gælder for alle frekvenser bortset fra de i denne sammenhæng irrelevante effekter af meget høje ultralydniveauer (ultralyd er lyd med frekvenser over 20.000 Hz). Det gælder både i det man normalt, men ikke helt korrekt, kalder det hørbare frekvensområde (20-20.000 Hz), det lavfrekvente område (ca. 20-200 Hz) og infralydområdet (0-20 Hz)<sup>1</sup> [30].



**Figur 2**

Den gennemsnitlige høretærskel for toner og smalbandsstøj (fuldt optrukket rød kurve). Kurven viser, hvilket lydtrykniveau der er nødvendigt ved en given frekvens, for at man med 50 % sandsynlighed netop kan høre lyden. Til sammenligning er med punkteret linie vist den inverse kurve af den frekvensvægtning (A-kurven), der bruges i måleudstyr til bestemmelse af det A-vægtede lydtrykniveau, ofte benævnt dB(A). De forskellige frekvensområder er navngivet som vist på figuren.

<sup>1</sup> Den frekvensmæssige opdeling af lyd i infralyd, lavfrekvent lyd og det øvrige hørbare frekvensområde er blot en nominel måde at beskrive lyd på, som er uden fysiske eller fysiologiske begrundelser og der er ingen bratte ændringer i overgangsområderne.

Ved bedømmelsen af mulige effekter af lyd og støj<sup>2</sup> er det derfor relevant at sammenligne med høretærsklen, som er vist i Figur 2.

Høretærsklen, som er vist i Figur 2 stammer fra reference [41] og er sammenstykket fra flere kilder [13], [30] og [48]. Den viser, at man kan høre lyd helt ned til nogle få Hz, men i så fald kræves der meget høje lydtrykniveauer (120 dB).

Ifølge reference [30] er spredningen på de individuelle høretærskler på omkring 5 dB både for det ”normale” hørbare frekvensområde og i infralydområdet. Afvigelser på flere gange denne spredning forekommer, men er sjældne.

Der er blandt forskere en generel enighed om, at lyde under den individuelle høretærskel ikke kan forårsage direkte negative effekter. Dette gælder også for lavfrekvens- og infralydområdet. (citater fra reference [41], som ikke giver yderligere referencer om dette).

### 3.2 Følsomhed af vibrationer

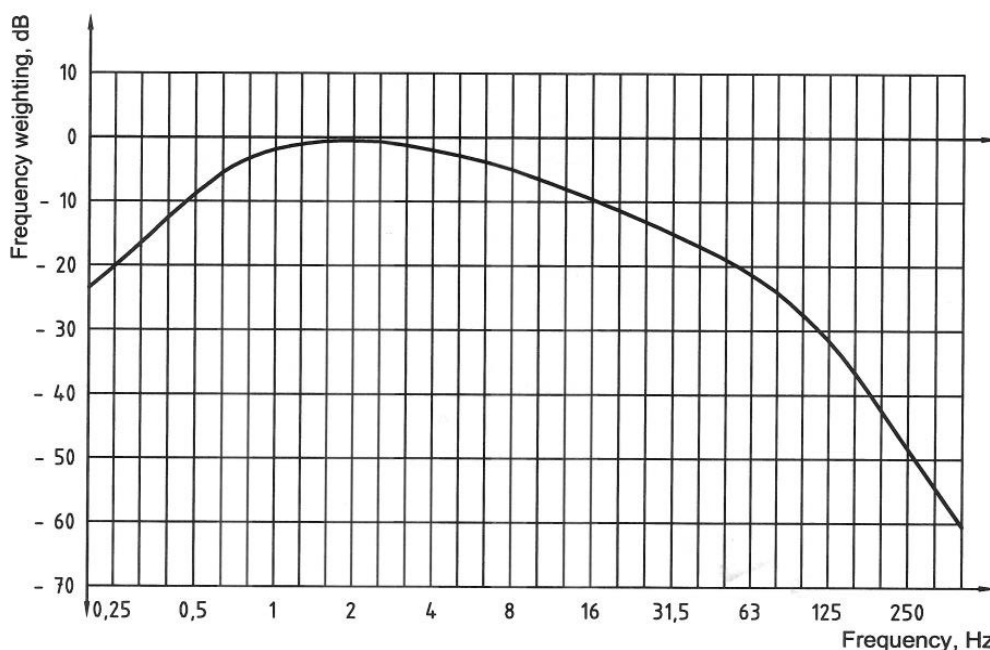
Når man rører ved eller er i berøring (stående, liggende eller siddende) med vibrerende flader, skal der et vist vibrationsniveau til, før man kan mærke vibrationerne. Føletærsklen afhænger af kroppens stilling og berøringsflade samt frekvensen af vibrationerne. Disse forhold er beskrevet i standarden ISO 2631, reference [14]. Da personer i deres hjem skal beskyttes både mod vibrationer stående, siddende og liggende, bruger man en vægtningskurve, der tager hensyn til den kombinerede følsomhed. Kurven betegnes  $W_m$  og er den samme, som tillige kaldtes  $W_{combined}$  eller KB-vægtet accelerationsniveau. Kurven er vist i Figur 3.

Det ses, at kurven tager hensyn til, at følsomheden for helkropsvibrationer er størst i området 1-8 Hz.

Vibrationer kendes f.eks. fra transportmidler, og svagere vibrationer kan optræde i huse f.eks. nær jernbaner og veje med tung trafik. Vibrationsniveauer måles i dB med en reference på  $10^{-6} \text{ m/s}^2$ . Ifølge reference [28] ligger føletærsklen omkring 72 dB, hvilket i det mest følsomme område svarer til en acceleration på  $0,004 \text{ m/s}^2$ .

Føletærsklen ligger noget under de vibrationsniveauer, der er skadelige for bygninger.

<sup>2</sup> Støj defineres som uønsket lyd, uanset lydets styrke og varighed. Fysisk set er lyd og støj det samme og de fysiske egenskaber kan også måles på samme måde.



**Figur 3**

Den frekvensvægtning der bruges til måling af helkropsvibrationer. ISO 2631, reference [14].

Kraftige helkropsvibrationer er klart forbundet med lændesmerter og kan bidrage til fordøjelses- og vandladningsbesvær. Derfor er der fastsat en grænse (ANSI standard) for en 8-timers dag på  $0,3 \text{ m/s}^2$  i det mest følsomme område, [8]. Det er 38 dB højere end føletærsklen.

Kraftig lyd i det lavfrekvente område kan sætte flader (f.eks. vinduer, vægge og gulve) i vibrationer, således at føletærsklen overskrides, men da tabene ved overgangen fra lyd i luften til vibrationer i faste stoffer er store, vil man i hvert fald i det normale frekvensområde tydeligt høre lyden også.

Meget kraftige (100 dB(lin), [8]) lavfrekvente lyde kan føles, men sætter ikke kroppens indre organer i svingninger. Dels er der store tab på grund af de store impedansforskelle mellem luft og kroppen, og dels er der tale om kompressionsbølger med stor bølgelængde, [8].

Balanceorganet (det vestibulære system, buegangene ved det indre øre), som spiller en væsentlig rolle i balancesansen og ved stabilisering af synsindtryk, er følsomt for vibrationer og trykændringer (f.eks. lydtryk) ved forskellige frekvenser. Ved høje lydtrykniveauer (140 dB<sup>3</sup>) ved lave frekvenser kan der optræde kvalme samt ændringer i blodtryk og hjerterytme, [8].

## 4. Støj og vibrationer fra vindmøller

### 4.1 Støj

Støjen fra vindmøller adskiller sig ikke væsentligt hverken i frekvenssammensætning eller niveau fra lyden fra mange andre støjkilder, som vi er omgivet af. Dette afsnit har til formål at oplyse om vindmøllestøj specifikt og i sammenligning med andre støjkilder,

Miljøministeriets grænseværdier for støj fra vindmøller er vist i Tabel 1. Ud over de afstandskrav mellem møller og naboer, som støjgrænserne stiller, må møllerne ikke opstilles nærmere end 4 gange totalhøjden af vindmøllen fra nærmeste nabo.

	6 m/s	8 m/s
I det åbne land	42	44
Støjfølsom arealanvendelse	37	39

#### **Tabel 1**

*Grænseværdier for støjbelastning, fra vindmøller ifølge reference [24]. Der er forskellige støjgrænser ved vindhastighederne 6 og 8 m/s målt i 10 m's højde, og grænseværdien afhænger af områdetyper. Støjbelastningen er det A-vægtede støjniveau ( $L_{Aeq}$ ) plus et evt. 5 dB tillæg for tydeligt hørbare toner(f.eks. fra gearet). Hvis der er toner skal de A-vægtede niveau altså være 5 dB lavere for at overholde støjgrænserne.*

Til sammenligning er i Tabel 2 anført grænseværdierne for virksomhedsstøj.

<sup>3</sup> Kilden oplyser ikke hvilken frekvensvægtning der er brugt. Sandsynligvis er det ikke vægtet (lin).

Områdetype (faktisk anvendelse)	Tidsrum	Mandag – fredag kl. 07.00–18.00 Lørdag kl. 07.00–14.00	Mandag–fredag kl. 18.00–22.00 Lørdag kl. 14.00–22.00 Søn- og helligdag Kl. 07.00–22.00	Alle dage kl. 22.00–07.00
1. Erhvervs- og industriområder		70	70	70
2. Erhvervs- og industriområder med forbud mod generende virksomheder		60	60	60
3. Områder for blandet bolig- og erhvervsbebyggelse, centerområder (bykerne)		55	45	40
4. Etageboligområder		50	45	40
5. Boligområder for åben og lav boligbebyggelse		45	40	35
6. Sommerhusområder og offentligt tilgængelige rekreative områder. Særlige naturområder		40	35	35

**Tabel 2**

Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier for støj fra virksomheder. Tallene angiver grænser for støjbelastningen, dvs. det ækvivalente A-vægtede lydtrykniveau,  $L_{Aeq}$  i dB i de angivne perioder med evt. 5 dB tillæg for tydeligt hørbare toner eller impulser. Der er forskellige støjgrænser på forskellige tidsrum af døgnet, og grænseværdierne afhænger af områdetypen. Fra reference [27].

Til yderligere sammenligning er de vejledende grænseværdier for veje anført i Tabel 3. De vejledende grænseværdier tilstræbes overholdt bl.a. ved nyanlæg af veje og boliger, men er i mange tilfælde ikke overholdt for eksisterende veje.

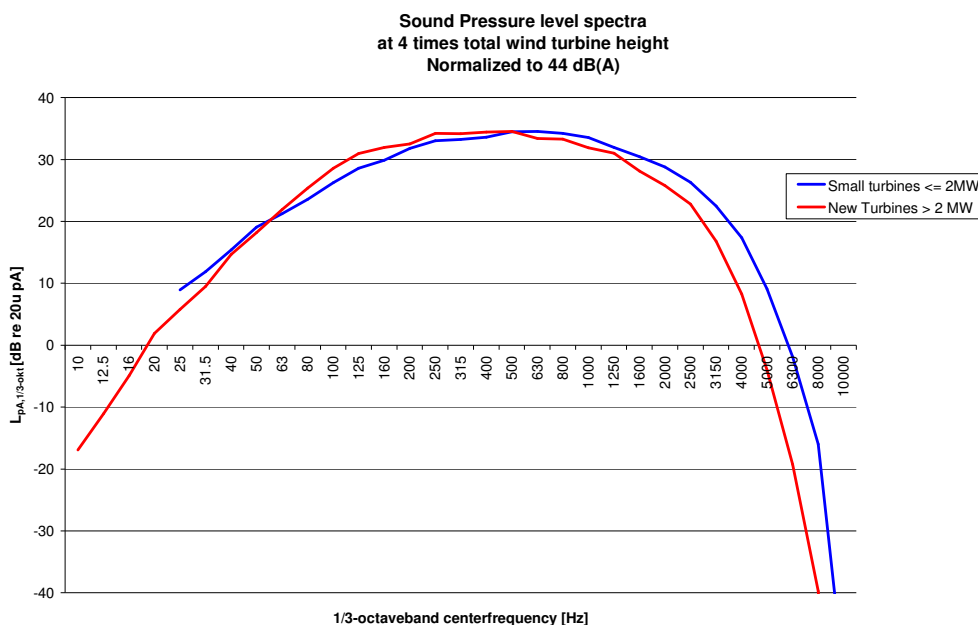
Område	$L_{den}$
Hoteller, kontorer m.v.	63 dB
Boligområder, børnehaver, vuggestuer, skoler og undervisningsbygninger, plejehjem, hospitaler o.l. Desuden kolonihaver, udendørs opholdsarealer og parker.	58 dB
Rekreative områder i det åbne land, sommerhuse, campingpladser o.l.	53 dB

**Tabel 3**

Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier for støj fra veje i henhold til reference [29]. Ved beregning af  $L_{den}$  tillægges 5 dB til støjen i aftenperioden og 10 dB til støjen i natperioden. Dette skulle afspejle den forøgede gene, som støj i disse tidsrum giver anledning til.  $L_{den}$ -værdierne er ca. 3 dB højere end det tidligere anvendte  $L_{Aeq, 24 \text{ timer}}$ , som er mere direkte sammenligneligt med  $L_{Aeq}$ -værdierne for vindmøllerne.

Uden at gå i detaljer på dette sted, ses det ved sammenligning af ovenstående 3 tabeller, at de tilladte niveauer for vindmøller er sammenlignelige med eller lavere end de tilladte niveauer fra andre støjklender.

Frekvenssammensætningen eller frekvensspektret af vindmøllestøj er vist på Figur 4.



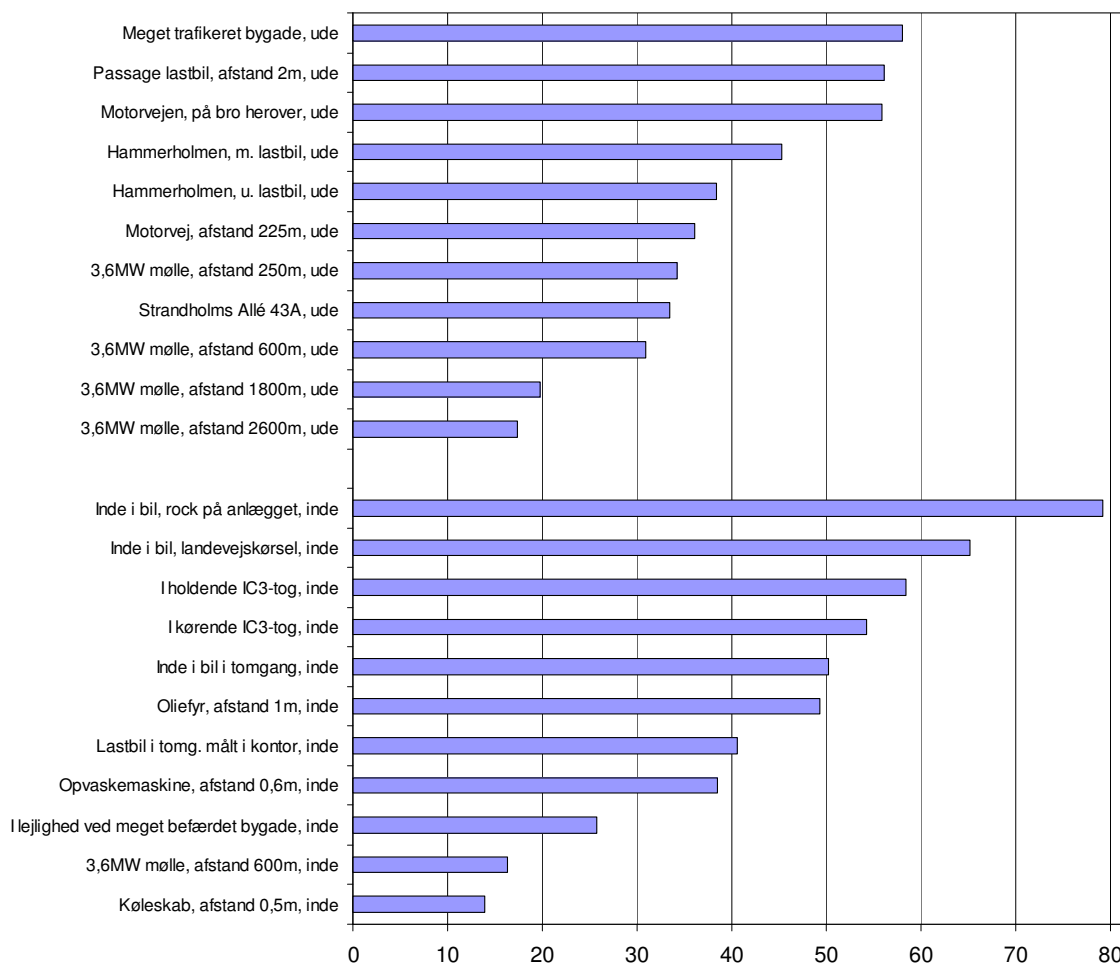
**Figur 4**

A-vægtede spektre af støj fra vindmøller i en afstand svarende til 4 totalhøjder af møllerne. Spektrene er et gennemsnit af støjen fra 33 møller med en nominel effekt på mindre end 2 MW og 14 møller med en nominel effekt større end 2 MW. Spektrene er normaliserede, så det A-vægtede lydtrykniveau for begge grupper netop er 44 dB. Fra reference [20][19].

Spektrene minder i store træk om støjen fra mange andre kilder.

Lavfrekvent støj fra vindmøller har været diskuteret meget, og dette emne har været intensivt belyst og er rapporteret i en række rapporter fra et nyligt afsluttet projekt, hvoraf reference [20] udgør den afsluttende oversigtsrapport.

Eksempler på lavfrekvente støjniveauer fra vindmøller er sat i relation til andre støjkilder, vi omgiver os med i Figur 5. Niveauerne, der er angivet på figuren, er de A-vægtede lavfrekvente støjniveauer, dvs. den del af den A-vægtede støj som ligger under 180 Hz.



**Figur 5**

Eksempler på lavfrekvent støjniveau udtrykt ved  $L_{pA, LF}$ . Tallene for vindmøllerne gælder for én mølle. Fra reference [4].

I denne sammenhæng kan nævnes, at Miljøstyrelsens vejledende grænseværdi, målt indendørs hos naboer, for lavfrekvent støj fra virksomheder,  $L_{pA, LF}$ , er 25 dB om dagen og 20 dB om aftenen og natten. Der er pt. ikke vejledende grænseværdier for lavfrekvent støj hverken for vejtrafik eller for vindmøller. Grænser for lavfrekvent vindmøllestøj er på vej, jævnfør afsnit 8.

Det har også været diskuteret, om infralyd fra vindmøller kunne være et problem. Som så mange andre kilder, udsender også vindmøller infralyd, men denne er så svag, at det selv tæt på møllerne med særligt måleudstyr er svært at skelne møllens infralyd fra den infralyd, der er i baggrundsstøjen (hovedsagelig vindstøj fra vegetation). Som det fremgår af Figur 5 kan infralyd høres, hvis den er kraftig nok, men der er generel enighed blandt forskerne (referencerne [16][18], [32] og [39][37]) om, at der ikke forekommer hørbar infralyd fra moderne vindmølle typer med vingerne foran tårnet (i forhold til vindretningen).

Vindmøllestøj er ikke helt konstant som støjen fra en fjern motorvej, men minder mere om støjen fra en landevej med lidt længere mellem bilerne. På grund af vingernes rotation forekommer der variationer i støjens styrke i mellemløbsområdet (200-1000 Hz), ofte benævnt modulation eller vingesus. Variationerne varierer i tydelighed og er til tider tydeligst om natten. Variationerne er dog langt mindre tydelige end støjen fra en landevej med spredt trafik, og er regelmæssige ca. 1 gang pr. sekund, når de forekommer.

Det må konkluderes, at vindmøllestøjens karakter ikke adskiller sig væsentligt fra så mange andre støj kilder i vores dagligdag. Lydtrykniveauerne er i den lave ende, set i forhold til de lyd påvirkninger vi normalt udsættes for, så det er derfor ikke sandsynligt, at lydens direkte fysiske virkning skulle kunne forårsage helbredseffekter.

## 4.2 Vibrationer

Ifølge [8] er der ingen videnskabelige beviser for, at moderne vindmøller kan forårsage følelige vibrationer i boliger, eller at der er en helbredsrisiko.

## 4.3 Skyggekast

Når solen står lavt kan skygger fra møllevingerne gå henover naboejendomme. Her opleves det, som om lyset bliver ”klippet i stykker” eller blinker med vingefrekvensen som er omkring 1 Hz, hvilket er generende. Hvor ofte det forekommer afhænger af møllernes placering i forhold til naboerne (retning og afstand), topografien og skydækket.

Både varigheden af de tidsrum skyggerne optræder i og variationerne i lysintensitet aftager med afstanden mellem en vindmølle og en potentiel skyggeudsat bolig. Ændringerne i lysintensitet er kraftigere tæt på møllen fordi en større del af solskiven periodisk er skjult. Ligeledes er flimmetet mere intenst jo nærmere man er ved skyggen af navet hvor vingerne er bredere. Ifølge [44] falder skyggeintensiteten ikke lineært med stigende afstand, den falder hurtigst i starten.



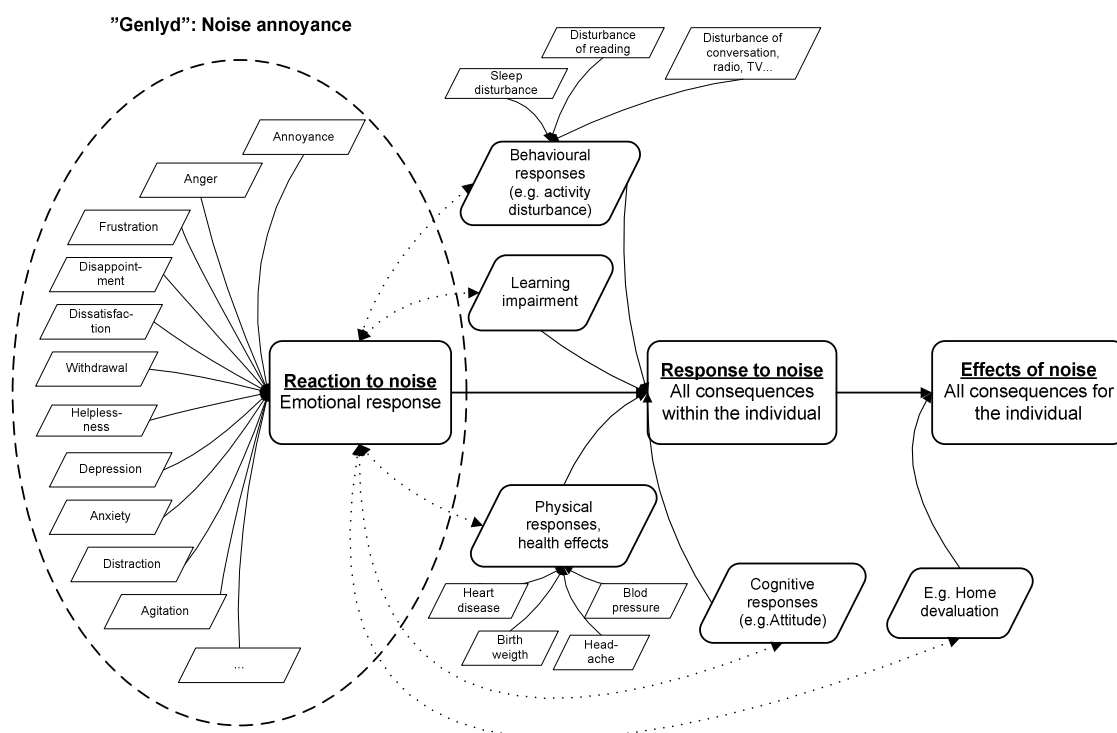
Hvis ændringerne i lysintensitet er store er skyggerne mest generende.

Antallet af timer med skyggekast kan beregnes, og det anbefales i [25], at man sikrer at nabobebyggelser ikke påføres skyggekast i mere end 10 timer om året.

Fænomenet forekommer ikke i overskyet vejr og vindmøllerne kan udstyres med en sensor, der kan registrere om solen skinner i de tidsrum hvor generende skygger kan forekomme. Indendørs kan effekten af skyggerne nedsættes ved at tænde kunstigt lys.

## 5. Effekter af støj

Inspireret af reference [9] er der i Figur 6 fra reference [40] givet en oversigt over støjens effekter.



**Figur 6**  
Oversigt og gruppering af støjens effekter. Fra reference [40]. Læg mærke til at der skelnes mellem Effekt, Respons og Reaktion. Denne terminologi er dog ikke brugt konsistent i nærværende rapport, da der citeres fra mange forskellige kilder.

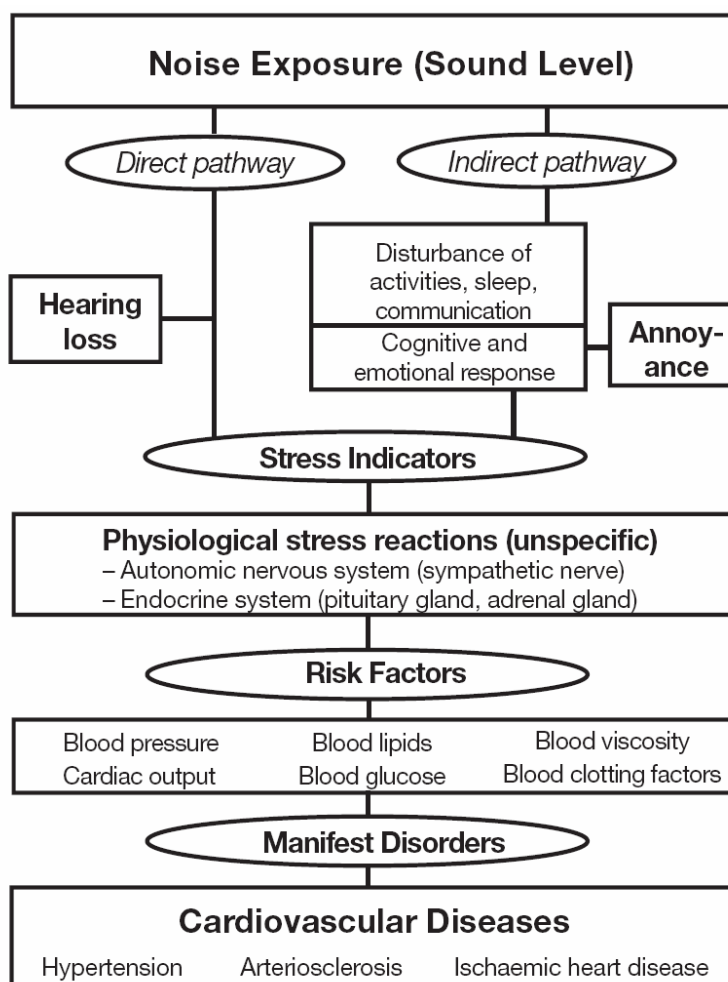
Det ses, at støjen har forskellige effekter, som vedrører individet både udenfor og i individet. Det er også antydnet, at effekterne ikke er uafhængige, men påvirker hinanden. Således har f.eks. en mulig (eller frygt for) devaluering af ens ejendom betydning for den oplevede støjgene, og der er også antydnet en forbindelse mellem støjgene og helbredseffekter.

Ikke alle de viste effekter optræder i alle tilfælde, og de afhænger desuden af en lang række faktorer som støjens niveau og karakter, eksponeringstid, tidspunkt på døgnet, støjkildens art, konteksten støjen optræder i, personlige holdninger og forventninger osv.

WHO Night Noise Guidelines for Europe, reference [49], bør tillægges særlig betydning. Det er et værk på 162 tætskrevne sider med mere end 500 referencer og med bidrag fra ca. 40 forskere, som beskriver virkningerne af støj om natten. Det er ikke muligt at gå i detaljer med denne rapport, men der henvises til denne for yderligere oplysninger om søvnforstyrrelses og helbredseffekters sammenhæng med støj (primært trafikstøj). Figur 7 stammer fra denne reference og angiver en generel årsagssammenhæng mellem støj og helbredseffekter.

**Fig. 4.3**  
**Noise effects**  
**reaction scheme**

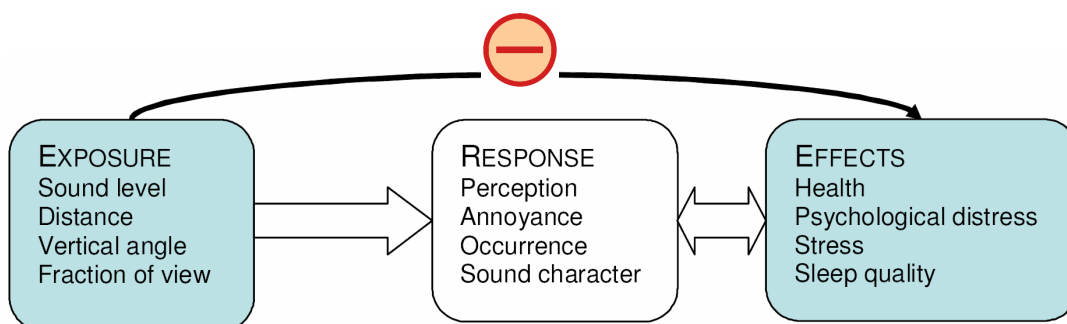
Source:  
Babisch, 2002.



**Figur 7**  
Illustration af den generelle årsagssammenhæng mellem støj og helbredseffekter.

Det ses af figuren, at bortset fra høreskader, som forekommer ved en langvarig udsættelse af støj med niveauer over 85 dB(A) 8 timer om dagen, er den indirekte vej over støjgene og forstyrrelse årsagen til evt. helbredsproblemer.

Specifikt for vindmøllestøj har man i referencerne [36] og [46] fundet en sammenhæng mellem støjgene og helbredseffekter, men ikke mellem støjniveau og helbredseffekter. Den indirekte rute til højre i Figur 7 ser således også ud til at gælde for vindmøller.



**Figur 8**

*Mulige sammenhænge mellem påvirkningen fra vindmøller (exposure) og respons og effekter (fra reference [46]). Der er i referencerne [36] og [46] vist en sammenhæng mellem støj og støjgene og en sammenhæng mellem støjgene og helbred, men en direkte sammenhæng mellem støj og helbred, som illustreret med den sorte pil øverst i figuren kunne ikke påvises (minustegn indsat af denne rapport forfatter).*

I Tabel 4 er der givet en oversigt over, ved hvilke niveauer forskellige effekter forekommer. Størstedelen af data stammer fra respondenter, der er udsat for trafikstøj. Der er i de gennemgåede kilder ikke præcist redegjort for betydningen af stjernerne i kolonnen "Bevis" men det antages være det samme som er omtalt ved Tabel 5 og Tabel 6. Ved sammenligning af udendørs og indendørs niveauer kan i meget grove træk regnes med, at det A-vægtede niveau indendørs med lukkede vinduer er 25-30 dB mindre end udendørs. Ved åbne vinduer (0,35 m<sup>2</sup> åbning) er forskellen ca. 10 dB.

Ved sammenstillingen er der regnet med en gennemsnitsværdi mellem støjniveauet inde og ude på 21 dB svarende til et gennemsnit mellem sommer (åbne vinduer) og vinter (lukkede vinduer).

Tabel 5 viser effekter, hvor der er en tilstrækkelig evidens. Hermed menes, at der er fundet årsagssammenhæng mellem støjen om natten og den omtalte effekt. Dvs. at effekten kan observeres i undersøgelser, hvor sammenhæng med andre forhold, bias o.l. kan udelukkes.

Respons	Bevis <sup>1</sup>	Observationstærskel i dB(A)
Gene	***	DNL = 42 <sup>2</sup> , udendørs
Kardiovaskulære virkninger		
- Forhøjet blodtryk	***	$L_{Aeq,6-22h} = 70$ , udendørs
- Iskæmisk hjertesygdom	***	$L_{Aeq,6-22h} = 70$ , udendørs
Søvnforstyrrelser		
- Søvnmønster	***	
- Vækning	***	SEL = 50, indendørs
- Søvnstadier	***	SEL = 35, indendørs
- Subjektiv søvnkvalitet	***	$L_{Aeq,nat} = 40$ , udendørs
- Hjerterytme (puls)	***	SEL = 40, indendørs
- Humør næste dag	***	$L_{Aeq,nat} < 60$ , udendørs
- Hormoner	**	
- Præstationer næste dag	**	
Immunforsvar	*	
Indlæring i skolen	***	$L_{Aeq} = 70$ , udendørs
Biokemiske virkninger	**	
Immunforsvar	**	
Fødselsvægt	**	
Psykiatriske sygdomme	**	
Medfødte virkninger	–	

**Tabel 4**

Overblik over negative effekter af støj. Efter [22], [31] og [38]. SEL er et mål for den samlede (A-vægtede) energi i støjen for den enkelte støjbegivenhed normeret til 1 sekund. For trafikstøj er støjens maksimalværdier typisk 0-10 dB lavere end dette tal.

1: \*\*\* = tilstrækkeligt bevis, \*\* = begrænset bevis, \* = utilstrækkeligt, ufyldestgørende bevis, – = mangel på bevis.

2: Alvorlig gene; observationstærsklen for impulsstøj og lavtflyvende jagerfly er omkring 12 dB lavere.

I Tabel 5 og Tabel 6 fra reference [49] er brugt følgende mål for støjen:

- $L_{Amax}$  er det maksimale A-vægtede støjniveau om natten
- $L_{night}$  er det A-vægtede udendørs ækvivalente konstante støjniveau om natten



Tabel 6 viser effekter med begrænset evidens. Det betyder, at der ikke direkte er observeret en sammenhæng mellem støj og de anførte effekter, men at der er beviser af god kvalitet, som støtter en sammenhæng. Der er ofte tale om indirekte evidens, der i stor stil viser en sammenhæng mellem støjdosis og en mellemeffekt af psykologisk art, som så igen leder til negative helbredseffekter.

Effect		Indicator	Threshold, dB
Biological effects	Change in cardiovascular activity	*	*
	EEG awakening	L <sub>Amax,inside</sub>	35
	Motility, onset of motility	L <sub>Amax,inside</sub>	32
	Changes in duration of various stages of sleep, in sleep structure and fragmentation of sleep	L <sub>Amax,inside</sub>	35
Sleep quality	Waking up in the night and/or too early in the morning	L <sub>Amax,inside</sub>	42
	Prolongation of the sleep inception period, difficulty getting to sleep	*	*
	Sleep fragmentation, reduced sleeping time	*	*
	Increased average motility when sleeping	L <sub>night,outside</sub>	42
Well-being	Self-reported sleep disturbance	L <sub>night,outside</sub>	42
	Use of somnifacient drugs and sedatives	L <sub>night,outside</sub>	40
Medical conditions	Environmental insomnia**	L <sub>night,outside</sub>	42

**Table 1  
Summary of effects and threshold levels for effects where sufficient evidence is available**

**Tabel 5**

Tabel fra WHO 2009, reference [49] med angivelse af effekter af støjen, hvor der er "tilstrækkeligt bevis (se teksten). \* Selv om effekten er kendt, har det ikke været muligt at fastlægge et tærskelniveau. \*\* "Environmental insomnia" er en medicinsk diagnose, mens "self reported sleep disturbance" (selvrapporterede søvnforstyrrelser) essentielt set er det samme, men som er opnået ved interviewundersøgelser.

	Effect	Indicator	Estimated threshold, dB	
<b>Table 2</b> <b>Summary of effects and threshold levels for effects where limited evidence is available**</b>	Biological effects	Changes in (stress) hormone levels	*	
	Well-being	Drowsiness/tiredness during the day and evening	*	*
		Increased daytime irritability	*	*
		Impaired social contacts	*	*
		Complaints	L <sub>night, outside</sub>	35
		Impaired cognitive performance	*	*
	Medical conditions	Insomnia	*	*
		Hypertension	L <sub>night, outside</sub>	50
		Obesity	*	*
		Depression (in women)	*	*
		Myocardial infarction	L <sub>night, outside</sub>	50
		Reduction in life expectancy (premature mortality)	*	*
		Psychic disorders	L <sub>night, outside</sub>	60
	(Occupational) accidents	*	*	

**Table 6**

Tabel fra WHO 2009, reference [49] med angivelse af effekter af støjen, hvor der er "begrænset evidens" (se teksten), ligesom tærskelværdierne har begrænset vægt, idet de generelt er baseret på ekspertvurderinger. \* Selv om effekten er kendt, har det ikke været muligt at fastlægge et tærskelniveau.

## 6. Støjgene

Støjgene anses for at være den primære indikator for, om støj er et problem, og støjgene i sig selv betyder, at livskvaliteten er negativt påvirket, reference [22][21]. Støjgene er den mest fremtrædende effekt fra vindmøller, hvorfor den vil få en forholdsvis grundig behandling. En anden grund til at interessere sig for støjgene er, at der er fundet korrelation mellem stresssymptomer og støjgene, reference [36]. En sammenhæng mellem støjgene og andre helbredseffekter støttes af reference [12].

Som det vil fremgå, har en række forhold vedrørende vindmøllerne indflydelse på den oplevede støjgene.

Som det fremgår af Figur 6, er støjgene et komplekst begreb, der inkluderer en række følelsesmæssige faktorer.

Ifølge reference [15] er støjgene defineret som:

En persons individuelle reaktion mod støj. Ved reaktion forstås her en følelsesmæssig respons mod støjen. (Se Figur 6 under "Noise annoyance").

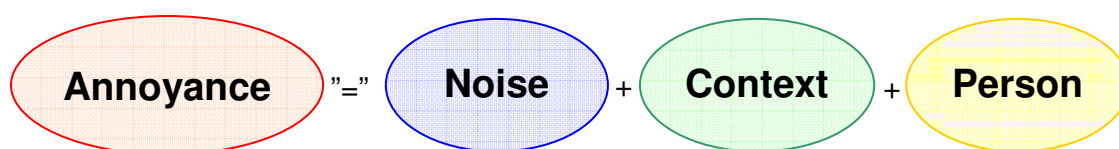
Man måler sædvanligvis støjgene som den selvrapporterede støjgene, hvor personerne angiver, i hvor høj grad de er generede på skalaer, som er angivet i reference [15] og [19]. Svarene fra en 11-punkts skala med "Slet ikke generet" ved 0 og Ekstremt generet ved 10 karakteriseres således [40]:

- 8-10: Stærkt generet (Highly Annoyed, HA)
- 5-10: Generet (Annoyed, A)
- 3-10: Lidt generet (Little Annoyed, LA)

Ofte bruges også en verbal skala med følgende fem trin: Slet ikke (Not at all), Lettere (Slightly), Moderat (Moderately), Kraftigt (Very) og Ekstremt (Ekstremely).

Klager over støj anses ikke for et pålideligt mål for støjgene, fordi det dels afhænger af personernes tilbøjelighed til at klage, dels af deres tro på nytten af det.

Der er ikke en simpel dosis-respons sammenhæng mellem støj og den oplevede støjgene, se Figur 9.



**Figur 9**

*Den oplevede støjgene (Annoyance) afhænger både af støjen (Noise), den kontekst den optræder i og personen. Fra reference[40].*

Støjen karakteriseres oftest ved forskellige mål for støjens styrke, støjniveauet, men også støjilden og støjens karakter har betydning.

Variationer i kontekst og personlige forhold virker som modifikatorer (individuel eller for specifikke befolkningsgrupper) for den gennemsnitlige støjgene for den aktuelle kilde. Der kan være tale om ganske væsentlige modifikationer (modsvarende op til 10-20 dB i støjniveau), reference [40].

Modifikatorer pga. kontekst omfatter forhold som, områdetypen, inde/ude, hvor tydeligt støjen høres pga. baggrundsstøj (f.eks. støj fra trafik eller vindens susen i vegetationen), arbejde/hjemme situation, tidspunktet på døgnet/ugen/året, boligens art, ejerskab af boligen, hvor tydeligt støjkilden ses, støjkildens påvirkning af landskab, udsigt og boligens værdi.

De modifikatorer, der vedrører personen, er f.eks. frygt for støjkilden (ulykker/helbredseffekter...), personens støjfølsomhed, alder, afhængighed/ejerskab/indtægter fra støjkilden, forventninger til området, holdning til støjkilden - både generelt og lokalt ("Fjendtlighed" overfor støjkilden specifikt nævnt som en årsag i [8]), deltagelse i planlægning, kontrol over kilden, tillid til myndigheder og kilde-ejere/operatører, visuelle gener osv.

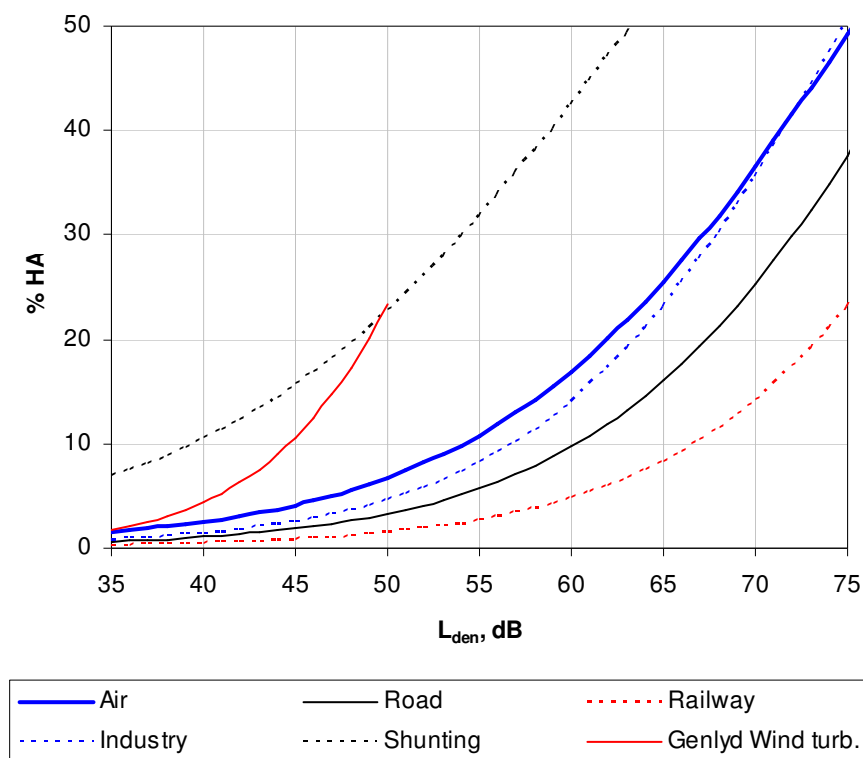
På Figur 10 er vist sammenhængen mellem støjniveauer den gennemsnitlige støjgene for forskellige støjkilder. En del baggrundsdata for disse kurver stammer fra reference [23], og disse bygger på svar fra mange tusinde respondenter (f.eks. for vejstøj: 19172 respondenter i 26 undersøgelser). Denne slags undersøgelser bygger på interviews af de støjbelastede personer i deres hjem kombineret med en måling eller beregning af de støjniveauer som de er udsat for.

Kurven for vindmøllestøj stammer fra reference [40] og er en sammenstilling af referencerne [37] (1994) og [33] (2004) bag disse to undersøgelser er der henholdsvis 200 og 351 respondenter. Den viser, at en større andel mennesker oplever gener af vindmøllestøj end for trafik- og virksomhedsstøj ved samme støjniveauer.

F.eks. er det niveau, der forårsager 10 % stærkt generede for vindmøllestøj, 10-15 dB lavere end for de fleste andre viste støjkilder.

De konkrete årsager til dette er så vidt vides ikke dokumenteret, men ud fra den generelle viden om støjgener er det klart, at hvis en person synes, at møllerne skæmmer naturen, giver skuffede forventninger om støjfrie omgivelser (bortset fra naturens lyde), forringer både udsigten og ejendomsværdien, så vil denne person også reelt opleve en højere støjgene. Dette kan forstærkes af frygt for sundhedsrisici (uanset om de er reelle eller ej) pga. forskellige fænomener, som omtales i medierne.

Vingesuset fra vindmøller høres periodevis tydeligt og er et af de karakteristika, der bemærkes [34], og som betyder, at møllestøjen skiller sig ud fra baggrundsstøjen (vindstøj i vegetationen og evt. fjern trafikstøj). Dette kan også betyde noget for den øgede gene, som ses på Figur 10.



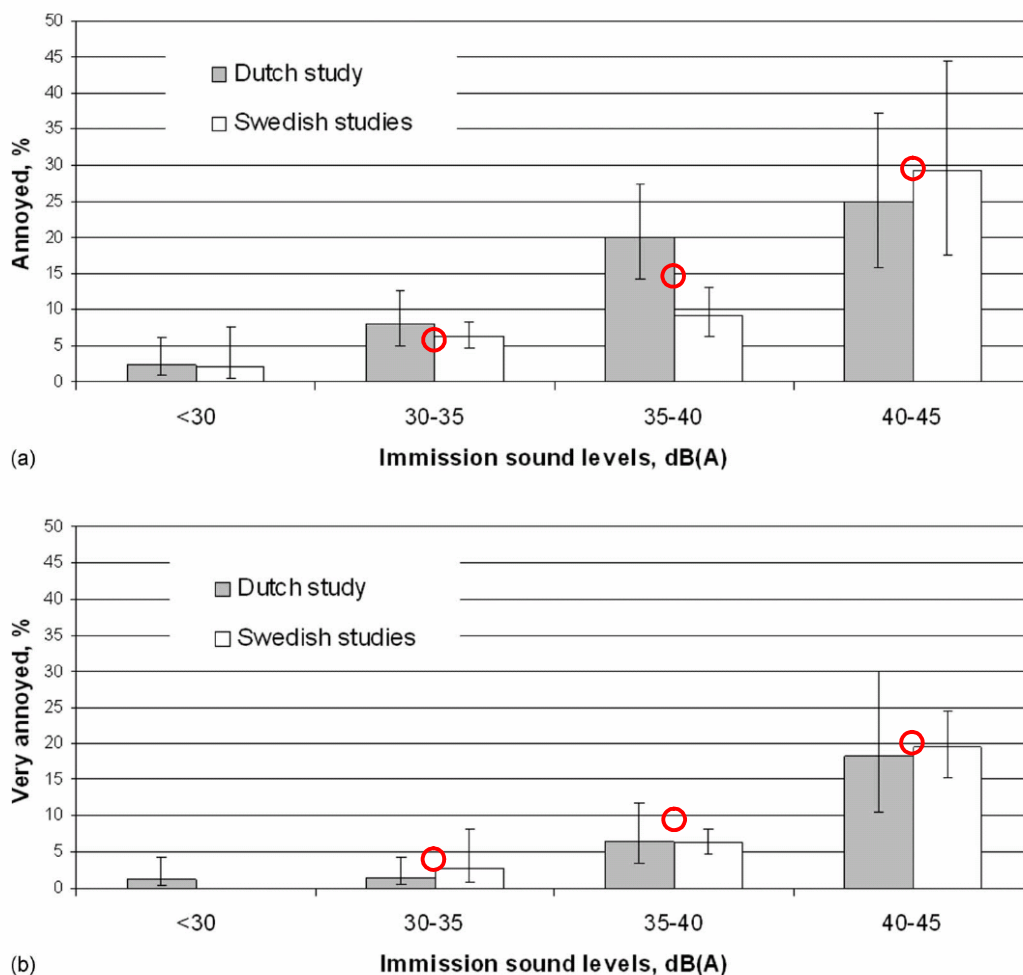
**Figur 10**

% stærkt generede ved forskellige støjniveauer for forskellige støjkluder<sup>4</sup>, reference [40]. Hvis det antages, at vindmøller støjer lige meget hele døgnet er  $L_{den}$  for vindmøller lig med  $L_{Aeq} + 6,4$  dB.

Figur 11 viser resultater af hollandske og svenske undersøgelser sammenlignet med resultater fra Figur 10. Det ses, at alle tre grupper af resultater kan rummes indenfor de angivne konfidensintervaller, hvilket tyder på, at der ikke er signifikante forskelle mellem dem.

I reference [36] er det desuden vist, at genen er mindre, hvis man ikke kan se møllerne fra boligen og større, hvis man kan. Tilsvarende gælder at genen er mindre, hvis man har økonomisk udbytte af møllerne.

<sup>4</sup> Medens kurverne for transportstøj stammer fra mange (8-26) forskellige undersøgelser hver med 8.000-27.000 respondenter, så stammer kurven for virksomhedsstøj fra en enkelt undersøgelse med 1242 respondenter omkring 6 virksomheder. Miljøstyrelsen udtrykker skepsis overfor denne kurve, fordi de danske erfaringer gennem mange år tyder på at virksomhedsstøj giver anledning til større gener end kurven udtrykker.



**Figur 11**

Procentdel af generede (a) og meget generede (b) ved forskellige støjniveauer,  $L_{Aeq}$ , ved deres boliger udendørs fra reference [46] for henholdsvis hollandske resultater (586 respondenter som ikke havde økonomiske fordele af møllerne) og svenske resultater (1095 respondenter) med 95 % konfidensintervaller.

Cirklerne angiver danske og svenske resultater (DK+S) % stærkt generede (%HA) og % generede (%A) fra reference [40] for i alt 551 respondenter.

De angivne  $L_{Aeq}$  værdier for alle de viste resultater er beregnet ud fra møllernes lydeffekt-data ved en vindhastighed på 8 m/s i 10 m's højde.

Som det fremgår af afsnit 4.1, er støjgrænsen for støjfølsom arealanvendelse<sup>5</sup> 39 dB(A) ved vindhastigheden 8 m/s. Ifølge Figur 10 og Figur 11 svarer dette til, at omkring 10 % er stærkt generede.

Til sammenligning kan det nævnes, at den vejledende danske grænse for vejstøj ved boliger,  $L_{den} = 58$  dB, svarer i gennemsnit til 8 % stærkt generede, medens grænsen for sommerhusområder,  $L_{den} = 55$  dB, skulle svare til ca. 5 % stærkt generede.

Som det fremgår, er støjgener fra vindmøller dokumenteret i en del undersøgelser med en tydelig dosis-respons sammenhæng, derfor må effekten siges at være væsentlig. Støjgene begynder at vise sig ved  $L_{Aeq} = 35$  dB (5 % stærkt generede, 10 % generede).

Det lydtrykkniveau, der forårsager 10 % stærkt generede, er 10-15 dB lavere for vindmøllestøj end for flystøj og vejstøj. Da det samtidig anses for usandsynligt, at lydets direkte fysiske virkning kan forårsage helbredseffekter, jævnfør afsnit 4.1, så kunne en hypotese være, at eventuelle helbredseffekter har sammenhæng med støjgenen, og at de af denne grund i værste fald kan forekomme ved 10-15 dB lavere niveauer end for de nævnte andre kilder for folk, der bor nær møllerne.

Det skal også nævnes, at der i reference [36] (1680 respondenter) er fundet signifikante sammenhænge mellem støjgene og andre symptomer som hovedpine, træthed, irritation, stress og anspændthed. Derimod er der ikke fundet en direkte sammenhæng mellem disse effekter og selve støjniveauet, dvs. at den oplevede støjgene har større betydning end det aktuelle støjniveau.

## 7. Søvnforstyrrelser

Hvis støjen er kraftig nok, kan der forekomme søvnforstyrrelser. Disse kan måles på forskellige måder, bl.a. (reference [40]):

- Vækning fulgt af en handling (f.eks. tryk på en knap)
- Søvnstadieforstyrrelser (målt med EEG)
- Forøgede kropsbevægelser (motility)
- Selvrapporterede søvnforstyrrelser

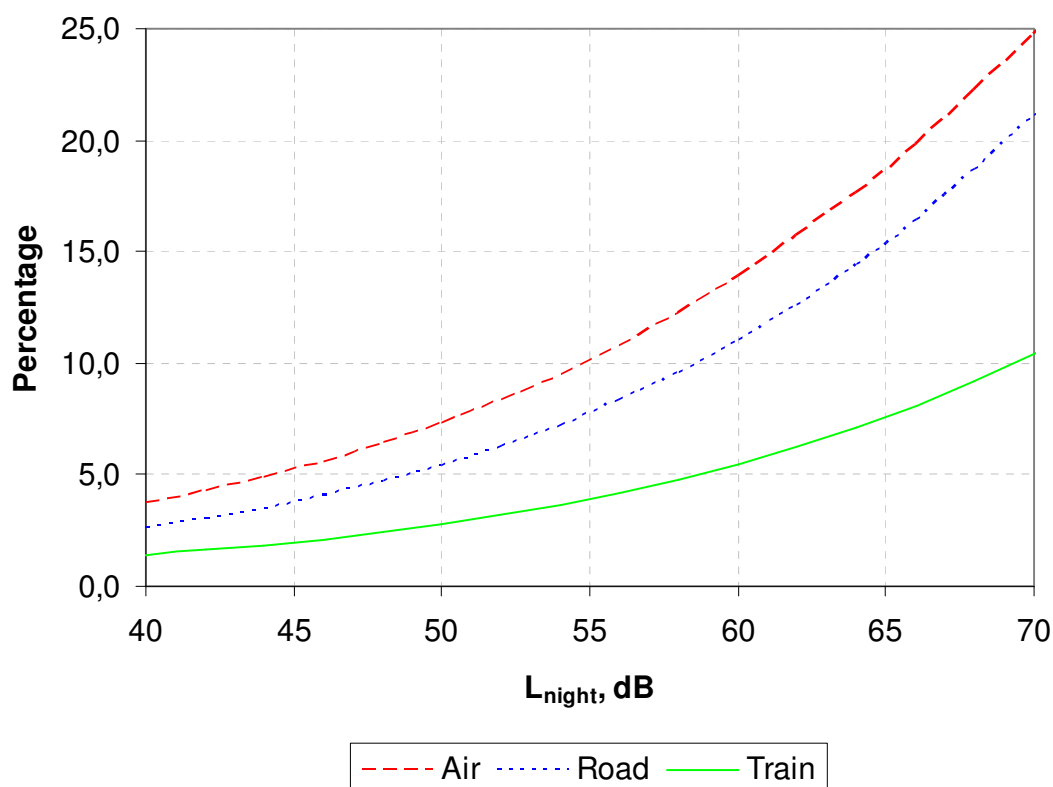
Da det her drejer sig om forholdene i folks hjem, vil vi holde os til sidstnævnte.

<sup>5</sup> Områder, der anvendes til eller i lokalplan eller byplanvedtægt er udlagt til bolig-, institutions-, sommerhus- eller kolonihaveformål eller som rekreative områder

Tilsvarende støjgene, se afsnit 6, taler man om stærkt søvnforstyrrede (% HSD, Highly sleep disturbed), søvnforstyrrede (% SD, Sleep disturbed) og lettere søvnforstyrrede (% LSD Lowly sleep disturbed), og der bruges tilsvarende skalaer for den selvrapporterede søvnforstyrrelse.

Støjniveauet karakteriseres ofte ved  $L_{\text{night}}$ , som er årsgennemsnittet af støjen om natten (kl. 23-07) udenfor boligen.

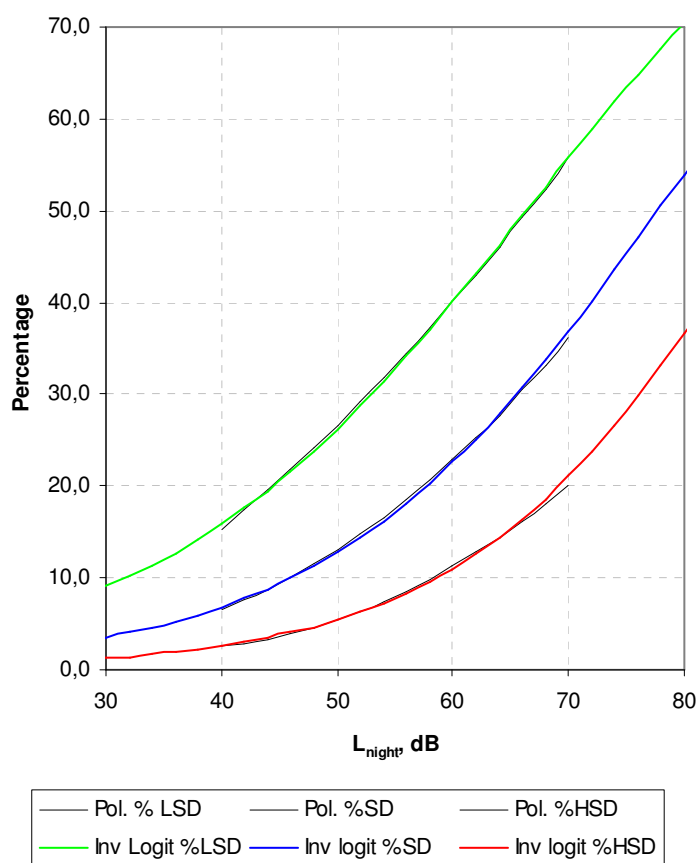
$L_{\text{night}}$  kendes ikke specifikt for vindmøllestøj. Den oftest brugte metrik er  $L_{\text{Aeq}}$  i dB(A) ved en vindhastighed på 8 m/s i 10 m højde. På den ene side er årsgennemsnittet af vindhastigheden lavere end 8 m/s i Danmark, og dels blæser det ofte mindre om natten end om dagen, når vinden måles i 10 m højde. På den anden side kan de stabile atmosfæriske forhold, der forekommer om natten (med temperaturinversion), betyde vinden i møllens højde er større om natten end om dagen, at møllerne derfor støjer mere end forventet om natten. Det er i det følgende valgt at antage, at  $L_{\text{night}}$  nogenlunde svarer til de beregnede værdier af  $L_{\text{Aeq}}$  for vindmøller.



**Figur 12**

Procentdel af stærkt søvnforstyrrede pga. støj fra fly, veje og jernbaner som funktion af det udendørs støjniveau om natten,  $L_{\text{night}}$  i dB(A).

Kurverne i Figur 9? beskriver kroniske gennemsnitlige søvnforstyrrelser, men kan ikke bruges til at forudbestemme søvnforstyrrelser for grupper eller individer, og de tager ikke højde for lokale forhold.



**Figur 13**

Procentdel af søvnforstyrrede pga. vejstøj som funktion af det udendørs støjniveau om natten,  $L_{night}$  i dB(A). HSD = Stærkt søvnforstyrrede, SD = søvnforstyrrede og LSD = lidt søvnforstyrrede. De to kurveskarer (sorte og kulørte) er forskellige tilnærmelser til data. Kurverne er ekstrapolerede under 40 dB. Fra reference [40].

Kurverne i Figur 13 er baseret på 8.459 observationer i 14 undersøgelser.

Det ses af Figur 12, at for transportstøj generelt er under 4 % stærkt søvnforstyrrede ved et udendørs niveau på 40 dB(A) om natten. Af Figur 13 ses, at ca. 15 % rapporterer lettere søvnforstyrrelser af vejtrafikstøj ved 40 dB(A). Det skal i den forbindelse bemærkes, at baggrundsstøjniveauet om natten i storbyer og deres forstæder ikke kommer meget under dette niveau.

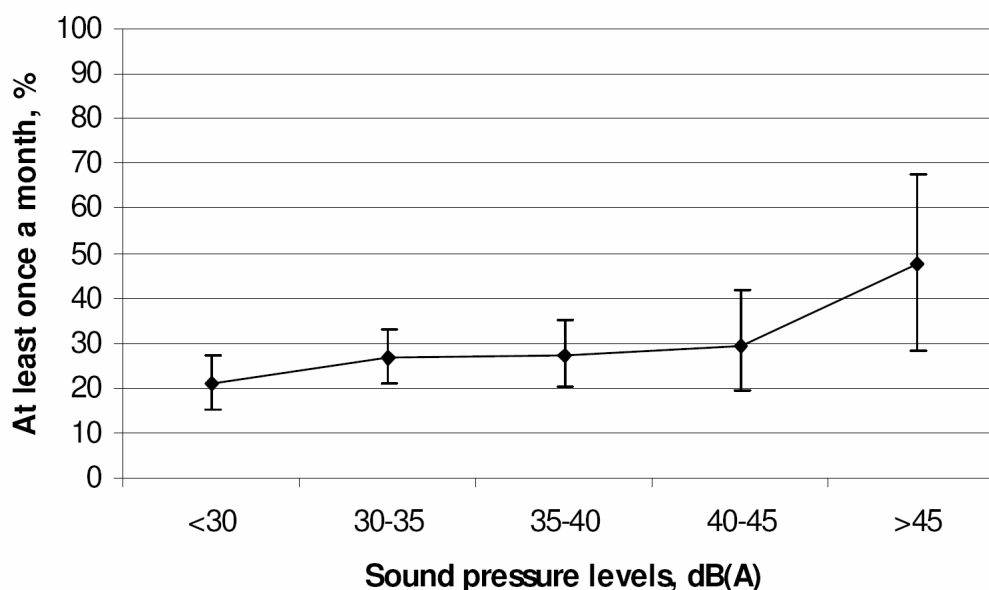
I reference [36], som bygger på 4 forskellige undersøgelser, er der i to af undersøgelserne fundet en signifikant sammenhæng mellem støjniveau og søvnforstyrrelser. Der var ikke en jævn stigning, men snarere tale om en brat stigning ved et udendørs støjniveau på 40 dB(A) i et svensk studie og ved 45 dB(A) i et hollandsk studie svarende til de støjgrænser, der var fastsat i de to lande. De områder, hvor der ikke blev konstateret en sammenhæng, var tættere bebygget (og dermed et højere baggrundsstøjniveau).

Ifølge reference [10] og [11] kan støj føre til vækninger (hvoraf man ikke husker kortere vækninger end 20-30 sekunder) og arousal<sup>6</sup> (årvågenhed/ophidselse), som er en kortvarig, ofte kun få sekunders tilstand, hvor man går fra et søvnstadium til et andet. Disse perioder er for korte til at kunne huskes, men det kan medføre uoplagthed, træthed og hovedpine. Det nævnes, at vækninger kan forekomme ved hændelser helt ned til 42 dB(A), og arousal kan forekomme ned til 32 dB(A) (hvilket er i overensstemmelse med Tabel 4).

Det er i [10] og [11] refereret fra [33], hvor det i en svensk undersøgelse er konstateret, at 16 % (95 % konfidensinterval: 11 %–20 %) af de 128 (ud af 520) respondenter, der er udsat for vindmøllestøj over 35dB(A) svarer, at de bliver forstyrret i deres søvn af vindmøller. Alle på nær to svarer, at de sover med åbne vinduer om sommeren. De 128 respondenter er fordelt som følger: 35-37,5 dB(A): 63 personer, 37,5-40 dB(A): 40 personer og over 40 dB(A):25 personer.

Der er også refereret til en hollandsk undersøgelse [46].

<sup>6</sup> Wikipedia definerer arousal således: Arousal/ophidselse er en fysiologisk og psykologisk tilstand af at være vågen eller reaktiv på stimuli. Det indebærer aktiveringen af retikulære aktiveringssystem i hjernestammen, det autonome nervesystem og det endokrine system, hvilket fører til øget hjerterefrekvens og blodtryk og en betingelse for sensorisk årvågenhed, mobilitet og parathed til at reagere.

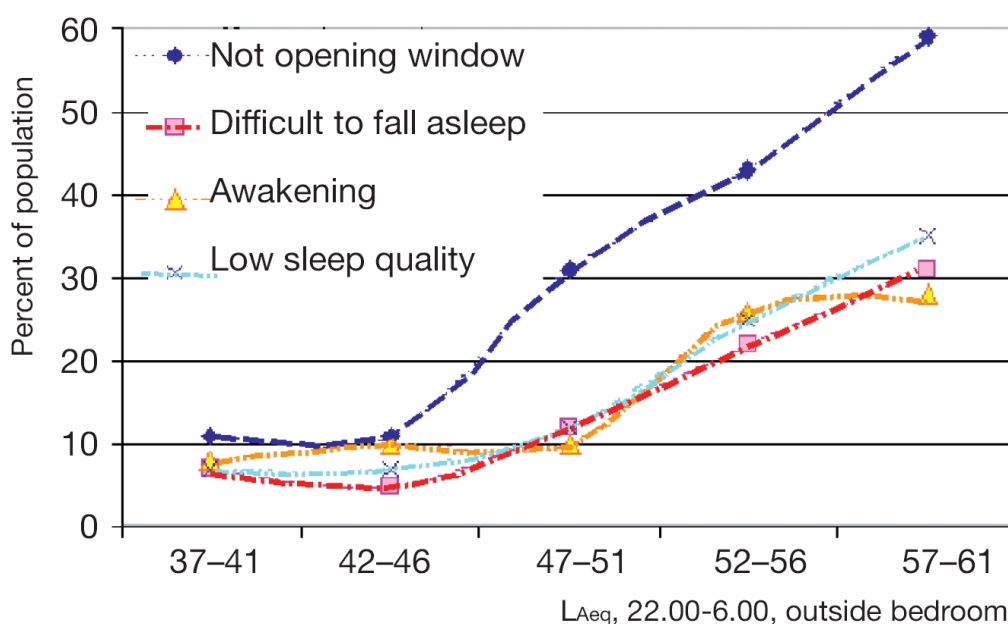


**Figur 14**

Relation mellem niveauer af udendørs vindmøllestøj og selvrapporterede søvnforstyrrelser for respondenter (586), der ikke havde økonomisk udbytte af vindmøllerne. De lodrette linjestykker markerer 95 % konfidensintervaller. Ved 45 dB er det stort pga. kun 21 svar i denne gruppe. Resultatet skal tages med det forbehold, at af de 244 respondenter, der angav mere end en kilde til søvnforstyrrelser, var vejtrafik nævnt 93 gange, medens vindmøller var nævnt 36 gange.

Af Figur 14 fremgår det, at ved et niveau på 40 dB(A) svarer omkring 28 % at være forstyrret i søvnen mere end en gang om måneden, uden at det er helt klart, om årsagen er vindmøller eller vejtrafik. Ved sammenligning med Figur 13 ses, at denne procentdel er ca. 1,8 gange så høj, som den procentdel der angiver at have lettere søvnforstyrrelser ved samme niveau pga. vejstøj. (Det skal bemærkes, at det er uvist, i hvilket omfang lettere søvnforstyrrelser er det samme som ”at blive vækket mere end en gang om måneden”). Resultaterne viser, at en andel på 28% af befolkningen angiver at have søvnforstyrrelser ved støjniveauer fra vejtrafikken, der er 12 dB højere end det støjniveau fra vindmøller, som giver samme andel af søvnforstyrrede.

Figur 15, som er gengivet i reference [49], viser sammenhængen mellem søvnkvalitet og vejstøj.



Source: Öhrström, in European Commission, 2002a.

### Figur 15

Resultater fra et svensk "soundscape" forskningsprogram om vejtrafikstøj. Efter reference [49].

Af Figur 15 fremgår, at der først synes at være en sammenhæng med støjniveauet og lav søvnkvalitet ved udendørs niveauer over niveauklassen 42-46 dB(A). Dette forløb svarer meget godt til forholdene for vindmøller, Figur 14, hvor kurven også flader ud under niveauklassen 40-45 dB(A). Den væsentligste forskel er dog, at her er værdien for en eller flere søvnforstyrrelser pr. måned ca. 28 %. Man kunne fristes til at slutte, at der først er en dosis-respons sammenhæng mellem søvnforstyrrelser og støjniveau over et tærskelniveau på 40-45 dB i begge tilfælde, og at forskellen hovedsageligt skyldes forskellige måder at registrere søvnforstyrrelser på. Det passer også nogenlunde med Tabel 5, hvor de første symptomer viser sig ved maksimalværdier på 35 dB(A) indendørs, hvis man antager 10 dB-dæmpning for åbne vinduer.

Ifølge [49] er de generelle konsekvenser af utilstrækkelig søvn: Træthed, humørændringer, irritabilitet, nervøsitet, som på lang sigt kan lede til depressioner. Der kan være tale om nedsatte (mentale?) funktioner, bl.a. indlæringsvanskeligheder og nedsat reaktionstid. Endvidere er utilstrækkelig søvn relateret til tilstedeværelse af diabetes og overvægt.

Af reference [45] fremgår, at der pga. specielle meteorologiske forhold om natten ved lave vindhastigheder (3-4 m/s i 10 m højde) kan forekomme lydtrykniveauer, der i afstande på 400 m og 1500 m er op til 15 dB højere end forventet. Årsagen er, at vindhastigheden i navhøjde om natten kan være højere, end man normalt regner med; der er artiklen angivet

op til 2,6 gange højere 1 times middelvind. Det skal bemærkes, at de 15 dB er ikke en typisk værdi, og at man ud fra den forøgede vindhastighed og lydudbredelsesforhold om natten ville forvente en væsentlig lavere værdi. Andre undersøgelser [43] rapporterer ifølge [10] værdier på 3-7 dB. Det synes klart, at højere støjniveauer om natten end forventet ud fra vindhastigheden målt i 10 m højde kan forekomme, men forholdene omkring dette fænomen er ikke afklarede. DELTA er for Miljøstyrelsen i gang med et projekt til belysning af problemet.

På basis af ovenstående må det konkluderes, at den selvrapporterede søvnforstyrrende virkning i forhold til de udendørs beregnede niveauer af vindmøllestøjen tilsyneladende er højere end for vejtrafikstøj. Effekten viser sig ved beregnede niveauer, der er ca. 10 dB lavere end for vejtrafikstøj. Det er uvist, om forklaringen er forskellige kriterier for den selvrapporterede gene eller om der periodevis forekommer højere faktiske støjniveauer end beregnet.

Hvis man antager, at folk sover for åbne vinduer om natten (dvs. kun ca. 10 dB lavere niveauer indendørs end udendørs), vil ændringer i søvnstadier kunne forekomme, hvis niveauerne periodevis er højere (omkring 45 dB udendørs) end beregnet. Det skal i den sammenhæng bemærkes, at for vejtrafikstøj ved niveauer omkring de vejledende grænseværdier, jævnfør Tabel 3, vil de tilsvarende niveauer for  $L_{\text{night}}$  være ca. 10 dB lavere end  $L_{\text{den}}$  dvs. hhv. 45 og 48 dB(A).

## 8. Gener fra infralyd og lavfrekvent støj

Som det er nævnt i afsnit 4.1, er der generel enighed blandt forskerne om, at der ikke forekommer hørbar infralyd fra de moderne vindmølle typer med vingerne foran tårnet. Selv tæt på vindmøllerne er niveauet langt under den normale høretærskel, [20].

Kraftig infralyd kan excitere kropsvibrationer, men selv udsættelse for 24 timers eksponering med niveauer på 120-130 dB under 20 Hz ((Apollo rumprogrammet) gav ikke skadelige virkninger. Det kan konkluderes, at infralydniveauer under høretærsklen ikke udgør en sundhedsrisiko, [8],[16].

Som nævnt i afsnit 4.1 forekommer der lavfrekvent støj fra vindmøller på linie med mange andre dagligdags støjkilder, jævnfør Figur 5. Der er altså ikke tale om specielle fænomener for vindmøller, men det kan ikke helt udelukkes, at indendørs niveauer lidt over de vejledende grænseværdier, der gælder for lavfrekvent virksomhedsstøj indendørs ( $L_{\text{pA, LF}} = 20$  dB), kan forekomme. Det gælder uanset møllernes størrelse, og afhænger mere af den specifikke type, driftsindstilling og placeringen i landskabet. Der er i [20] anvist en metode til beregning af, om dette er tilfældet. Som det fremgår af Figur 5, er niveauer af denne størrelsesorden og kraftigere ikke ualmindelige fra andre kilder.

Evt. forekomst af indendørs lavfrekvent støj bidrager til støjgenen, og effekten må derfor anses for at være indeholdt i de tidligere nævnte sammenhænge mellem støj og støjgener.

For at skabe klarere regler og mindske unødigt bekymring hos naboer til vindmøller har Miljøministeren netop (27. januar 2011) bebudet, at man vil lave ændrede regler med bl.a. en grænseværdi for lavfrekvent støj.

## 9. Taleforstyrrelser

Hvis der er kraftig baggrundsstøj, nedsættes taleforståeligheden. I sådanne tilfælde hæver taleren ubevidst stemmen, hvilket betegnes som nedsat talekomfort. Der kræves normalt, at baggrundsstøjen, hvis den forekommer i samme frekvensområde som talen, er mere end 10 dB under taleniveauet for en god taleforståelighed. Normal tale i 1 m afstand har et niveau på ca. 60 dB, dvs. for baggrundsstøjniveauer lavere end ca. 50 dB er problemet meget lille. Niveauer under 45 dB kan betragtes som irrelevante mht. taleforstyrrelser.

## 10. Arbejdsforstyrrelser

Uanset om arbejdet er erhvervsarbejde eller private gøremål, kan støj forstyrre arbejdet. Tale og talelignende lyde forstyrrer mere end mere konstant støj, [8], [50]. Det er i reference [8] angivet, at støj med niveauer under 70 dB(A) ikke forstyrrer. Det kan diskuteres, om denne værdi ligger lavere - omkring 60 dB(A), men i alle tilfælde er effekten ikke relevant for vindmøllestøj.

## 11. Støjbetinget høretab

Meget kraftige (over 130 dB) kortvarige impulser kan forårsage momentane høreskader. For andre typer af støj er det vist, at skaderisikoen er minimal for en vedvarende støjbelastning på under 85 dB(A) i 8 timer dagligt, [3], [6].

Den støjbetingede vej i Figur 7 er altså ikke relevant i forbindelse med støj fra vindmøller.

## 12. Vindmøllesyndromet

Vindmøllesyndromet er beskrevet i Nina Pierponts bog ”Wind turbine syndrome”, reference [42]. Symptomerne er: Søvnforstyrrelser, hovedpine, tinnitus, trykken for ørerne, svimmelhed, kvalme, uskarpt syn, høj puls (tachycardia), irritabilitet, problemer med hukommelse og koncentration og paniske episoder med en følelse af interne pulsationer i sovende eller vågen tilstand.

Bogen kunne ikke skaffes indenfor tidsrammen for dette projekt, men den er gennemgået i reference [8]. Forklaringen på fænomenet er baseret på følgende to hypoteser:

1. Lave niveauer af infralyd fra vindmøllerne ved 1-2 Hz påvirker balanceorganet (det vestibulære system)
2. Lave niveauer af infralyd fra møllerne ved 4-8 Hz trænger ned i lungerne via munden hvorved mellemgulvet sættes i vibrationer som transmitteres til kroppens indre organer.

Ifølge [8] er der ingen troværdige videnskabelige beviser for at lave niveauer af infralyd ved 1-2 Hz kan påvirke balanceorganet. Faktisk er det sandsynligt, at lyden vil drukne i den naturlige infralyds-baggrundstøj i kroppen. Den anden hypotese er heller ikke understøttet med videnskabelige undersøgelser, fordi kroppen i sig selv er et støjende system ved lave frekvenser.

Hertil kan lægges følgende forhold:

- at infralyden selv tæt ved møllerne er under høretærsklen, jævnfør afsnit 8
- at den del af møllens totale lydeffekt (2W) der rammer kroppen, er meget lille, mindre end 3 mikroWatt<sup>7</sup>
- at tabene ved transmissionen ind i kroppen er store, jævnfør afsnit 3.2
- at der i øvrigt ikke er vist helbredseffekter for infralyd under høretærsklen – ifølge afsnit 8 heller ikke ved niveauer på 120-130 dB

Det vurderes på det nuværende videngrundlag, at det er meget lidt sandsynligt, at der er en sammenhæng imellem infralyd fra vindmøller og målelige helbredseffekter.

Reference [8] kritiserer, at der bruges enkeltstående eksempler til at underbygge de påståede effekter, at sådanne eksempler kun fremføres af en enkelt forsker, og at der ikke er kontrolgrupper i undersøgelserne.

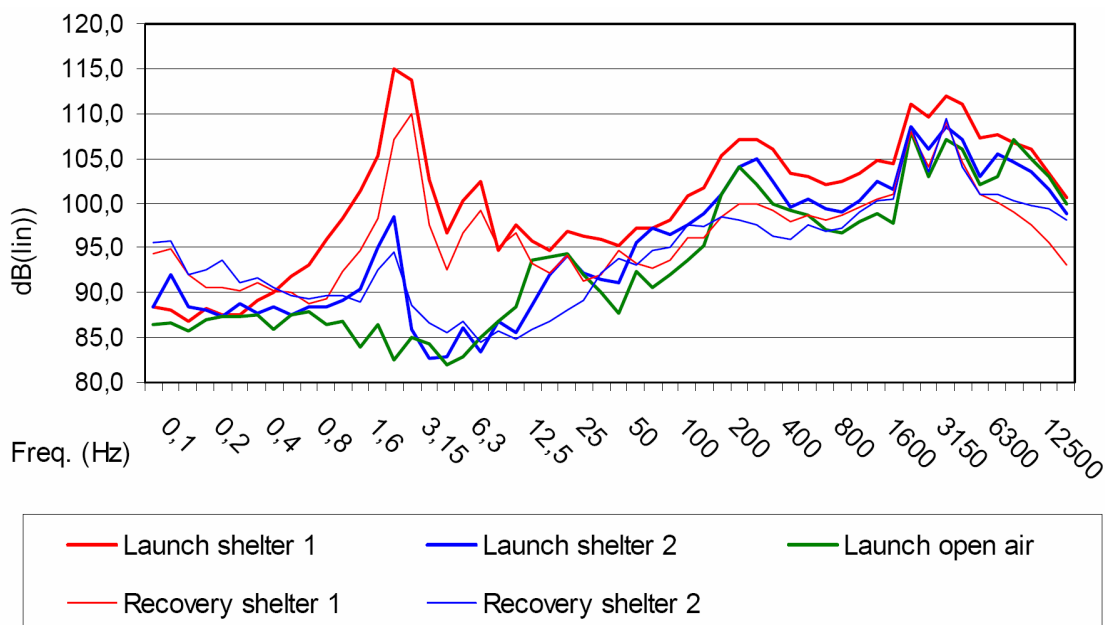
<sup>7</sup> Der er her regnet med at det udstrålede lydeffektniveau fra en vindmølle er 122 dB(lin) (105 dB(A)), at afstanden er 400m og at en person har et areal på 1.7m<sup>2</sup>

### 13. Vibro-akustisk sygdom, VAD

I reference [5] beskriver en portugisisk forskergruppe en vibro-akustisk sygdom(VAD) som en helkrops-systemisk lidelse, som karakteriseres ved fortykkelser af hjerte og arterier, ændringer i luftveje og maveregion, sen debut epilepsi og hormonforstyrrelser. Lidelsen skulle være forårsaget af høje niveauer af lavfrekvent støj. Ifølge [5] er lidelserne observerede hos flyteknikere, civile og militære piloter og kabinepersonale, maskinmestre på skibe og disc-jockeys.

Eksperimenter med mus indikerer at for at forårsage VAD kræves en 13 ugers eksponering med niveauer på 100 dB lavfrekvent lyd til, før der viser sig effekter.

I reference [17] er rapporteret en dansk undersøgelse hvor man har sammenlignet 42 personer der arbejdede ved start og landinger af F16 jagere (crew chiefs) og en kontrolgruppe på 42 flymekanikere. De pågældende personer havde været beskæftiget med det pågældende arbejde i omkring 20 år i gennemsnit. Det blev målt, at crew chiefs var udsat for lydtrykniveauer på  $L_{eq} = 108-121$  dB(lin) i frekvensområdet 0,1-500 Hz og  $L_{eq} = 107-120$  dB(lin) i frekvensområdet 0,1-200 Hz..



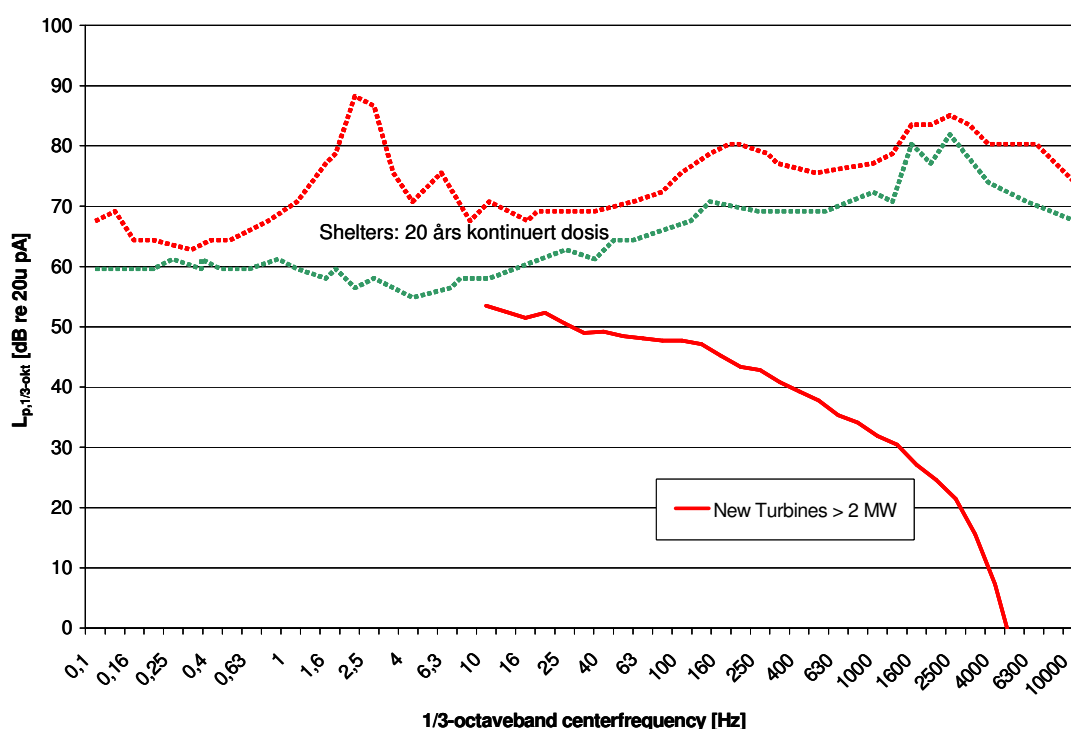
**Figur 16**

*Frekvensspektre af støjen under starter og landinger i sheltere som crew chiefs benytter.*

Det var beregnet, at crew chiefs havde været udsat for ca. 470 timer i disse niveauer i løbet af deres karriere. Der er ikke konstateret nogen overrisiko for sygdomme bortset fra høre-

tab, og undersøgelsen konkluderer, at den ikke kan bekræfte den portugisiske gruppes resultater.

Sædvanligvis er støjdosen et mål, der korrelerer højt med skaderisikoen. Det antages også være tilfældet for dette fænomen. Hvis de 470 timers støjdosis omregnes til en konstant støj i alle døgnets timer i 20 år, svarer det til et niveau, der er 26 dB lavere end de niveauer der er vist på Figur 16. Disse niveauer er indtegnet på Figur 17 sammen med et typisk vindmøllespektrum med et niveau svarende til støjgrænsen i det åbne land på 44 dB(A) ved 8 m/s.



**Figur 17**

*Linie: Frekvensspektrum for store vindmøller ved et niveau på 44 dB(A) beregnet i en afstand på 4 gange totalhøjden. Spektret er en middelværdi baseret på målinger af 14 nyere store vindmøller. Data er de samme som vist i Figur 4 omregnet til lineær frekvensvægtning. De punkterede kurver angiver de højeste og laveste værdier fra Figur 16 med et fradrag på 26 dB.*

Det ses at vindmøllespektret i hele frekvensområdet ligger mere end 10 dB under de niveauer (støjdosis) som det må antages crew chiefs i gennemsnit er udsat for i løbet af en 20 års karriere, og som ifølge [17] ikke giver helbredseffekter.

I [8] kritiseres [1] og [2] for at bruge enkeltstående eksempler uden nogen kausal sammenhæng mellem dosis og respons til at underbygge påstande om VAD forårsaget af vindmøllestøj.

Ingen af referencerne [8] og [21] har fundet sammenhænge mellem støj fra vindmøller og VAD.

## 14. Nocebo-effekten

Nocebo-effekten<sup>8</sup> betegner en forværring af psykisk eller fysisk tilstand, baseret på frygt for eller tro på negative påvirkninger. Dette er det modsatte af den velkendte placebo-effekt, hvor tro på positive effekter af en intervention, kan give positive resultater.

Reference [8] angiver, at flere faktorer synes at være forbundet med nocebo-fænomenet: forventninger om negative virkninger; konditionering pga. tidligere erfaringer, visse psykiske egenskaber såsom angst, depression og tendensen til at somatisere (udtrykke psykologiske faktorer som fysiske symptomer, se afsnit 15), og situationsfornemmelse og kontekstuelle faktorer. Reaktionen omfatter langsom hjerterytme (20 til 50 slag i minuttet), dødsighed, kvalme, træthed, søvnløshed, hovedpine, svaghed, svimmelhed, mavebesvær, klager og koncentrationsbesvær. Denne vifte af symptomer er svarende til de såkaldte "vindmølle syndrom", se afsnit 12.

Ifølge [8] kan mediedækning om påståede negative påvirkninger af sundheden pga. vindmøller skabe en forståelig frygt, som bevirker, at nogle vil opleve de nævnte effekter. Den resulterende stress, angst og overvagtssomhed kan forværre eller ligefrem skabe problemer, som ellers ikke ville eksistere. På denne måde kan anti-vindmøllepark aktivister med deres offentliggørelser være med til at skabe nogle af de problemer, som de beskriver.

<sup>8</sup> Fra Wikipedia: Nocebo-effekten. Angst er en væsentlig faktor i livet, som kan gøre os syge. For eksempel kan selve angsten for at blive syg, paradoksalt nok, være den faktor som gør, at vi faktisk bliver syge. Ligeledes med angsten for alle de farer, som vi får at vide lurer lige om hjørnet. Sådanne "trusler" påvirker også børn. Det kan betyde, at vi efterhånden stresser. Når vi stresser, nedbrydes immunforsvaret, og bliver det svækket, er vi også mere modtagelig for sygdomme.

Nocebo betyder "jeg vil skade". Hvis vi får at vide, at noget kan gøre os syge, og vi tror på det, kan vi rent faktisk blive syge af det. Det kaldes nocebo-effekten, der har været kendt i snart 40 år. Begrebet blev introduceret i 1961 af Walter P. Kennedy i tidsskriftet Medical World (Medical World, September 1961. Walter P. Kennedy: "The Nocebo Reaction").

## 15. Somatoforme lidelser

Somatoforme lidelser er fysiske symptomer, som afspejler psykologiske forhold uden påviselige fysiske årsager.

Ifølge [8] er en almindelig somatoform lidelse, (conversion disorder), et ubevidst udtryk for stress og angst som et eller flere fysiske symptomer: fornemmelser af snurren eller ubehag, træthed, ubestemmelige mavesmerter, hovedpine, ryg eller nakke smerter, svaghed, tab af balance, syns- og høreforstyrrelser.

Et karakteristisk træk ved somatoforme lidelser er somatosensorisk forstærkning, en proces, hvor en person lærer at føle kropsfornemmelser mere akut og misfortolker betydningen af disse fornemmelser ved at sidestille dem med sygdom.

Reference [8] skriver sammenfattende, at almindelige menneskelige stressreaktioner og "conversion disorder" er meget lig dem, der beskrives som "vindmølle syndromet".

## 16. Hjerte-kar sygdomme, diabetes m.m.

Det er i reference [36] undersøgt om der er en direkte sammenhæng mellem forskellige mulige effekter og det A-vægtede niveau af vindmøllestøjen. De undersøgte effekter er: Kroniske lidelser, diabetes, højt blodtryk, hjerte-kar sygdomme, tinnitus og nedsat hørelse.

Materialet omfatter svar fra i alt 1680 respondenter fra fire forskellige undersøgelser. Kun i en enkelt undersøgelse er der en svag sammenhæng med diabetes og i en enkelt anden undersøgelse en svag sammenhæng med tinnitus. Alle andre effekter var ikke signifikante.

## 17. Stress symptomer

Af reference [36] der omfatter svar fra 1680 respondenter fra Holland og Sverige er der ikke fundet sammenhænge mellem det A-vægtede lydtrykniveau og stresssymptomer som hovedpine, træthed, anspændthed og irritation.

Derimod er der fundet en tydelig sammenhæng mellem de nævnte symptomer og oplevede støjgener. Dog ses der kun signifikant sammenhæng i et af studierne mellem oplevede støjgener og angivet træthed..

## 18. Effekter af skyggekast

I alle udviklede lande rammer epilepsi mellem 0,7 og 1 procent af befolkningen, [47].

Fotosensitivitet i forbindelse med epilepsi dækker over, at nogle epileptiske anfald bliver fremprovokeret af blinkende lys eller særlige mønstre. Mennesker, der har disse anfald, har fotosensitiv epilepsi. I realiteten er det mindre end 5 pct. af alle med epilepsi, som har fotosensitiv epilepsi. Højkontrast mønstre, som f.eks. sorte og hvide striber, skak- og pepitatern, mønstret tøj og tapeter og sollys gennem persienner kan fremprovokere anfald hos mennesker med fotosensitiv epilepsi.

Forskellige anfaldstyper kan blive udløst af blinkende eller flimrende lys, men tonisk-kloniske krampeanfald er den mest hyppige anfaldstype, af og til begyndende med myoklone ryk.

Hvis der er tale om fotosensitiv epilepsi:

- Ved personen det ofte selv
- Kommer anfaldet under provokationen, ikke efter

Fotoprovokation kan fremkalde anfald hos den, der har epilepsi. Man får ikke epilepsi af provokation.

Såvel kunstigt som naturligt lys kan forårsage det blinkende eller flimrende lys, som kan være til gene for mennesker med fotosensitiv epilepsi. For eksempel solens spejling i vand eller is eller en lav sol mellem en række træer, fjernsynsskærme, videospil, computergrafik, defekte lysstofrør, når man ser ud af et kørende tog, pepitatern, skaktern og lignende mønstre.

De fleste mennesker med fotosensitiv epilepsi er følsomme overfor blinken ved en frekvens på 16-25 Hz. Enkelte er dog følsomme allerede ved 3 Hz eller helt oppe ved 60 Hz.

Den maksimale vingefrekvens for vindmøller er som regel er under 1 Hz. Da de 3 Hz ligger væsentlig over den maksimale vingefrekvens skulle vindmøller derfor ikke kunne fremkalde anfald, end ikke hos de få med fotosensitiv epilepsi, der måtte være følsomme helt ned til 3 Hz..

Det må konkluderes, at der ikke er direkte helbredseffekter pga. skyggekast, men at varierende lysintensitet i skyggerne fra møllevingerne er generende i de afstande og i de perioder det måtte forekomme. Gener fra skyggekast kan medvirke til at forøge støjgener og omvendt [37].

## 19. Konklusioner

Det skal indledningsvis nævnes, at der findes en meget righoldig litteratur om støj og vindmøller. Kun en del (mere end 150 titler) af denne er listet i afsnittene 20 og 21. Det har ikke været muligt at gennemgå det hele inden for den tid, der var til rådighed, men det er forsøgt at udvælge det væsentligste og så basere undersøgelsen på dette.

Vindmøllestøjens karakter adskiller sig ikke væsentligt fra så mange andre støjkilder i vores dagligdag. Lydtrykniveauerne er i den lave ende, set i forhold til de lydpåvirkninger vi normalt udsættes for, så det er derfor ikke sandsynligt, at lydets direkte fysiske virkning skulle kunne forårsage helbredseffekter. Hørbar infralyd forekommer ikke. Lavfrekvent støj kan forekomme men ikke i nogen ekstrem form og er svagere end fra flere andre dagligdags kilder. Miljøministeren har netop bebudet klarere regler for lavfrekvent støj fra vindmøller.

Vibrationer forekommer ikke i et omfang, som overskrider føletærsklen i nærliggende boliger.

Støj i almindelighed har en række virkninger for og på individet. Disse virkninger afhænger af støjniveauet, men for vindmøller er sammenhængen kun indirekte, idet sammenhængen ikke findes mellem støj og effekter, men kun mellem støjgene og effekter.

Støjgene er den væsentligste effekt af støj fra vindmøller. Støjgenen fra vindmøller er større end for vejtrafikstøj ved samme niveau.

Ved støjgrænsen for støjfølsom arealanvendelse, 39 dB(A) ved vindhastigheden 8 m/s. må man regne med, at 10 % er stærkt generede.

Til sammenligning kan det nævnes, at den vejledende grænse for vejstøj ved boliger,  $L_{den} = 58$  dB, svarer i gennemsnit til 8 % stærkt generede.

Vingesuset fra vindmøller høres periodevis tydeligt og er et af de karakteristika, der bemærkes, og som betyder, at møllestøjen skiller sig ud fra baggrundsstøjen. Dette kan også være en del af forklaringen på den øgede gene.

Graden af støjgene påvirkes også af en række faktorer, som ikke har med støjens karakter at gøre. Ud fra den generelle viden om støjgener er det klart, at hvis en person synes, at møllerne skæmmer naturen, giver skuffede forventninger om støjfrie omgivelser (bortset fra naturens lyde), forringer både udsigten og ejendomsværdien, så vil denne person også reelt opleve en højere støjgene. Dette kan forstærkes af frygt for sundhedsrisici (uanset om de er reelle eller ej) pga. forskellige fænomener, som omtales i medierne.

Søvnforstyrrelser (vækning, forstyrrelse af søvnstadier, og ændret bevægelsesmønster i søvne) kan forekomme. Der er en markant stigning i procentdelen af søvnforstyrrelser ved

40-45 dB(A) udendørs. For vejtrafikstøj observeres noget lignende ved et niveau omkring 50 dB uden for vinduerne. Det skal dog nævnes, at ”måleenheden” for søvnforstyrrelser ikke er den samme i de to tilfælde.

I svenske og hollandske undersøgelser med i alt 1680 respondenter, er der fundet signifikante sammenhænge mellem støjgene og stresssymptomer som hovedpine, træthed, irritation, stress og anspændthed. Derimod er der ikke fundet signifikante direkte sammenhænge mellem de nævnte symptomer og støjniveauet fra vindmøller. Der er ligeledes ikke vist signifikante sammenhænge imellem støjniveauet og diabetes, højt blodtryk og hjerte-kar sygdomme samt andre kroniske sygdomme.

Der er i litteraturen rapporter om fænomener som kaldes Vibro-akustisk sygdom og vindmøllesyndromet. Der er her i den forbindelse givet eksempler på, at personer der bor nær vindmøller lider af disse sygdomme, uden at der dog er givet en kausal dosis-respons sammenhæng eller udført undersøgelser hvor der er sammenlignet med kontrolgrupper. Nogen af de effekter, der omtales, kan forekomme ved eksponering med lyd, men det er i så tilfælde ved langt højere støjniveauer end de, der er aktuelle for vindmøller. Det er antydnet i litteraturen, at personer, der oplever kraftige støjgener i kombination med placebo effekt eller somatoforme lidelser, kan udvise symptomer, der kan minde om ovenstående påståede lidelser.

Det må også konkluderes, at der ikke er direkte helbredseffekter pga. skyggekast, men at den varierende lysintensitet i skyggerne fra møllevingerne er generende i de afstande, retninger og perioder det måtte forekomme.

## 20. Referencer

- [1] Alves-Pereira, Mariana  
*In-home wind turbine noise is conducive to vibroacoustic disease, 2007*  
Wind Turbine Noise, Lyon 2007
- [2] Alves-Pereira, Mariana  
*Public health and noise exposure - the importance of low frequency noise*  
2007
- [3] Arbejdstilsynet  
*Støj - At-vejledning D.6.1*  
Juli 2007
- [4] Backalarz, Claus  
*Målt og beregnet lavfrekvent støj ved Avedøre Holme* (In Danish. "Measurements of low frequency noise").  
Technical note AV 1099/08 from DELTA Acoustics 2008.
- [5] Branco, C. and Alves-Pereira, m.  
*Vibroacoustic disease*  
Noise & Health 2004, 6;23
- [6] Direktiv 2003/10/EF af 6/2 2003  
*Om minimumsforskrifter for sikkerhed og sundhed i forbindelse med arbejdstage-rens eksponering for risici på grund af fysiske agenser (støj).*
- [7] European Commission Working Group on Health and Socio-Economic Aspects:  
*Position paper on dose-effect relationships for night time noise.*  
Nov. 2004
- [8] Expert Panel: Colby, D., Dobie, R., Leventhall, G., Lipscomb, D.M., McCunney, R.J., Seilo, M.T and Søndergaard, B. (Medical doctors, audiological professor Phd's and M.Sc.)  
*Wind Turbine Sound and Health Effects – An Expert Panel Review*  
Prepared for the American and the Canadian Wind Energy Association, Dec. 2009
- [9] Hatfield, J.  
*What is reaction to noise and how should it be measured?*  
Proceedings Inter-Noise 2001, Haag, Holland.
- [10] Hanning, C.  
*Sleep disturbance and wind turbine noise*  
Report on behalf of "Stop Swinford Sind Farm Action Group" 2009



- [11] Hanning, C  
*Wind turbine noise, sleep and health*  
The Society For Wind Vigilance, April 2010
- [12] Ising, W. Babisch, W, Guski, R., Kruppa, B. and Maschke, C  
*Exposure and Effect Indicators of Environmental Noise*  
Berliner Zentrum Public Health - Ernst Reuter Platz 7 – 10587 Berlin - Germany
- [13] ISO 389-7:2005(E)  
*Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment*  
*Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening*  
conditions. Second edition 2005-11-01
- [14] ISO 2631-2  
*Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vi-*  
*bration – Part 2: Vibrations in buildings*  
2003
- [15] ISO/TS 15666.  
*Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys.*  
Technical Specification, Acoustics, 2003-02-01.
- [16] Jakobsen, Jørgen  
*Infrasound Emission from Wind Turbines*  
Journal of Low frequency noise, vibration and active control.  
Vol. 24. No. 2, 2005
- [17] Jensen, A., Lund, S.P. , Lücke. T  
*Health effects and noise exposure among flight-line maintainers*  
9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008
- [18] Klug, Helmut  
*Infrashall von Windenergieanlagen: Realitet oder Mythos*  
DEWI Magazin Nr. 20, February 2002  
[http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen\\_A-Z/Infraschall/dewi\\_infraschall\\_2002.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Infraschall/dewi_infraschall_2002.pdf)
- [19] Kvist, Preben. and Pedersen, Torben Holm  
*Translation into Danish of the questions and moderators for socio-acoustic surveys.*  
Euronoise 2006 proceedings.
- [20] Madsen, Kaj Dam og Pedersen, Torben Holm  
*Low Frequency Noise from Large Wind Turbines – Final report*  
DELTA AV 1272/10 November 2010
- [21] Hayes, M.  
*Low Frequency and infrasound noise immissions from wind farms and the Potential*  
*for VAD, Low Frequency Noise conference 2006*

- [22] Miedema, H.M.E.  
*Noise & Health: How does noise affect us?*  
Proceedings Inter-Noise 2001, Haag, Holland.
- [23] Miedema, Henk M.E. and Oudshoorn, Catharina G.M.  
*Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and their confidence intervals.*  
Environmental Health Perspectives. vol. 109. no. 4. April 2001.
- [24] Miljøministeriet.  
*Bekendtgørelse nr. 1518. Bekendtgørelse om støj fra vindmøller.*  
14. december 2006
- [25] Miljøministeriet  
*Vejledning om planlægning for og landzonetilladelse til opstilling af vindmøller*  
Vejledning nr. 9296 af 22-05-2009
- [26] Miljøministeriet  
*Nye regler for lavfrekvent støj fra vindmøller*  
[http://www.mim.dk/Nyheder/Pressemeddelelser/20110127\\_lavfrekvent\\_stoej.htm](http://www.mim.dk/Nyheder/Pressemeddelelser/20110127_lavfrekvent_stoej.htm)  
27. januar 2011
- [27] Miljøstyrelsen  
*Vejledning nr. 5 1984. Ekstern støj fra virksomheder.*
- [28] Miljøstyrelsen  
*Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksterne miljø*  
Orientering fra Miljøstyrelsen, nr. 9, 1997
- [29] Miljøstyrelsen  
*Vejledning nr. 4, 2007 "Støj fra veje"*
- [30] Møller, H. and Pedersen, C.S.  
*Hearing at Low and Infrasonic Frequencies*  
Noise & Health, Volume 6, issue 23, Apr-Jun 2004
- [31] Passchier-Vermeer, W., Miedema, H.M.E. & Vos, H.: *Aircraft noise exposure and public health*, TNO report PG/VGZ/2000.039, 2000.
- [32] Pedersen, C. S and Møller, Henrik  
*An analysis of low frequency noise from large wind turbines*  
14<sup>th</sup> international meeting on Low Frequency Noise and its control.  
Aalborg 2010
- [33] Pedersen, Eja. Waye. Kerstin Persson  
*Perception and annoyance due to wind turbine noise—a dose–response relationship.*  
JASA 116(6) dec. 2004. Pages: 3460–3470

- [34] Pedersen, Eja  
*Human response to wind turbine noise. Perception, annoyance and moderating factors.*  
Phd thesis, University of Gothenburg 2007
- [35] Pedersen, E., Van den Berg, F., Bakker, r., Bouma, j.  
*Response to modern windfarms in the Netherlands*  
JASA 126, pp 634-643. August 2009
- [36] Pedersen, Eja  
*Effects of wind turbine noise on humans*  
Third International Meeting on Wind Turbine Noise 2009
- [37] Pedersen. T. Holm  
*Genevirkning af støj fra vindmøller*  
DELTA Akustik & Vibration. Rapport nr. 150. 1994.
- [38] Pedersen, T. Holm  
*Genevirkning af ekstern støj fra virksomheder*  
DELTA AV 1470/01, 2001
- [39] Pedersen, Torben Holm  
*Is Low-Frequency Sound or Infrasound a Specific Cause for Annoyance from Wind Turbines? – A Literature Survey*  
DELTA AV 1296/05. 2005
- [40] Pedersen, Torben Holm  
*The “Genlyd” Annoyance Model*  
DELTA AV1102/07, 2007  
<http://www.delta.dk/dk/Forr-omr/TC/Akustik/Trafikstoj.page>
- [41] Pedersen, Torben Holm  
*Low Frequency Noise from Large Wind Turbines – A procedure for evaluation of the audibility for low frequency sound and a literature study.*  
DELTA AV 1098/08 April 2008
- [42] Pierpont, N.  
*Wind Turbine Syndrome - A Report on a Natural Experiment*  
Santa Fe, NM: K-Selected Books, 2009
- [43] Schneider, C.P.  
*Accuracy of Model Predictions and the Effects of Atmospheric Stability on Wind Turbine Noise at the Maple Ridge Wind Power Facility, Lowville NY.*  
2007
- [44] The Sustainable Development Commission (SDC)  
*Wind Power in the UK*

<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.berr.gov.uk/energy/sources/renewables/planning/onshore-wind/shadow-flicker/page18736.html>

- [45] Van den Berg, G.P.  
*Effects of the wind profile at night on wind turbine sound.*  
Journal of Sound and Vibration. Vol. 244 2004.
- [46] Van den Berg, F., Pedersen, E., Bouma, J., Bakker, R.  
*WINDFARMperception – Visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents.*  
FP&-2005-Science-and-Society-20, Specific Support Action, Project no. 044628.  
2008. [www.rug.nl/wewi/](http://www.rug.nl/wewi/)
- [47] Videnscenter om Epilepsi og Specialrådgivning om Epilepsi  
*Epilepsi.dk*  
<http://www.epilepsi.dk/Epilepsi--A---Z/F/Fotosensitiv-epilepsi.aspx>
- [48] Watanabe T. and Møller H.  
*Low frequency hearing thresholds in pressure field and in free field.*  
J. Low Freq. Noise Vib., Vol 9 (3), p. 106-115
- [49] WHO – Europe  
*Night Noise Guidelines for Europe*  
World Health Organisation 2009
- [50] Zimmer, K., Ghani, J. Wolfgang E.  
*The role of task interference and exposure duration in judging noise annoyance*  
Journal of Sound and Vibration Vol 311, 2008

## 21. Anden litteratur

Academie Nationale de Medecine  
*Human health repercussions of windmill operation.*

Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail, Afsett  
*Context and opinion related to health effects of noise generated by WT, 2006*

Alberts, Daniel J.  
*Addressing wind turbine noise, 2006*

Alves-Pereira, Mariana  
*Infrasound and low frequency noise dose responses, 2007*



Alves-Pereira, Mariana  
*Industrial wind turbines, infrasound and vibro-acoustic disease*, 2007

Andersen, Per Trøjgaard  
*Low Frequency Noise Emission from Wind Farms*, 2009

Babisch W.  
*Noise sensitivity in cardiovascular noise studies.*  
Internoise 2010

Babisch W.  
*The NaRoMI-Studie (Noise and Risk of Myocardial Infarction). Executive Summary.*  
Traffic Noise, 2004

Babisch, W.  
*Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise.*  
Noise Health 5, 1-11, 2003

Babisch, W.  
*Noise and health. Environmental Health Perspectives.*  
113, A14-A15., 2005

Babisch, W., Beule, B., Ising, H., Kersten, N., Schust, M. & Wende, H.  
*Noise burden and the risk of myocardial infarction: false interpretation of results due to inadequate treatment of data.*  
European Heart Journal 27, 623-624, 2006

Babisch, W., Ising, H. & Gallacher, J. E. J.  
*Health status as a potential effect modifier of the relation between noise annoyance and incidence of ischaemic heart disease.*  
Occupational and Environmental Medicine 60, 739-745, 2003

Babisch, W., Ising, H., Gallacher, J. E. J., Sweetnam, P. M. & Elwood, P. C.  
*Traffic noise and cardiovascular risk: The Caerphilly and Speedwell studies, 10 years follow-up.*  
Epidemiology 10, 415-420, 1999

Babisch, W., Keil, T., Stallman, M., Wegscheider, K., Schust, M., Stark, H. & Willich, S. N.  
*The Naromi Study: A new study on the relationship between noise and risk of myocardial infarction - First results.*  
Epidemiology 13, 049, 2002

Bellhouse, George

*Low Frequency Noise And Infrasound From Wind Turbine Generators: A Literature Review*, 2004

BERR

*Measurement of low frequency noise at three UK wind farms*, 2006

BERR,

*UK statement on reports 7 & 12*, 2007

Bistrup, M. L., Babisch, W., Stansfeld, S. & Sulkowski, W.

*PINCHE's policy recommendations on noise: How to prevent noise from adversely affecting children.*

*Acta Paediatrica* 95, 31-35, 2006

Bolton, R.H.

*Evaluation of Environmental Noise Analysis for "Dairy Hills Wind Farm"*, 2006

Bowdler, D.

*Amplitude Modulation of Wind Turbine Noise*,

*Institute of Acoustics Bulletin* Vol 33 no 4, 2007

BWEA

*BWEA Low Frequency Noise and Wind Turbines*, 2005

BWEA

*Low Frequency Noise and Wind Turbines*

BWEA Technical Annex, 2005

Canada Wind Energy Association

*Addressing concerns with wind turbines and human health*, 2009

Canada Wind Energy Association

*CanWEA best practices on sound*

Canada Wind Energy Association

*CanWEA Paper - Addressing concerns with sound from wind turbines*, 2009

Castelo Branco, Nuno A. A.

*Monitoring Vibroacoustic Disease*, 2002

Charalampidis, A., Katsouyanni, K., Cadum, E., Pershagen, G., Babisch, W. & Jarup, L. ,

*Can exposure to noise affect the 24 hour blood pressure profile?*

Results from the Hyena project. *Epidemiology* 19, ISEE-858., 2008

Clark, C., Martin, R., van Kempen, E., Alfred, T., Head, J., Davies, H. W., Haines, M. M., Lopez Barrio, I., Matheson, M. & Stansfeld, S. A.

*Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: the RANCH project.* Am J Epidemiol 163, 27-37, 2006

Davies, A.

*Acoustic trauma - bioeffects of sound,*

Davis, J.

*Noise pollution from wind turbines - living with amp mod, lower freq and sleep deprivation,* 2007

DEFRA

*Low frequency noise report for DEFRA,* 2001

ENVIRON International Corporation

*Potential Health Effects Associated with Wind Turbines : Identification and Evaluation of the Published Scientific Literature,* 2006

Epsilon

*Epsilon summary of findings on wind turbine low frequency noise and infrasound,* 2009

Evans, G. W., Bullinger, M. & Hygge, S.

*Chronic noise exposure and physiological response: A prospective study of children living under environmental stress.* Psychological Science 9, 75-77., 1998

Evans, G. W., Hygge, S. & Bullinger, M.

*Chronic noise and psychological stress.* Psychological Science 6, 333-338., 1995

Evans, G. W., Lercher, P., Meis, M., Ising, H. & Kofler, W. W. , Community noise exposure and stress in children. J Acoust Soc Am 109, 1023-7., 2001

Feldmann, J., F.A. Pitten

*Effects of low frequency noise on man - a case study,* 2004

Findels, H., Perry, E.

*Disturbing effects of low frequency sound immissions and vibrations in residential buildings,* 2004

Frey, B.

*Noise Radiation from Wind Turbines Installed Near Homes - Effects on Health,* 2007

Gastmeier, W. J., Howe B.

*Recent studies of infrasound from industrial sources,* 2008



GE Energy

*GE Energy rapport - Ice Shedding and Ice Throw*, 2006.

Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Brentnall, S., Head, J., Berry, B., Jiggins, M. & Hygge, S.  
*The West London Schools Study: the effects of chronic aircraft noise exposure on child health*. Psychol Med 31, 1385-96., 2001

Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Job, R. F., Berglund, B. & Head, J.  
*Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children*. Psychol Med 31, 265-77., 2001

Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Job, R. F., Berglund, B. & Head, J.  
*A follow-up study of effects of chronic aircraft noise exposure on child stress responses and cognition*. Int J Epidemiol 30, 839-45., 2001

Haralabidis, A. S., Dimakopoulou, K., Vigna-Taglianti, F., Giampaolo, M., Borgini, A., Dudley, M. L., Pershagen, G., Bluhm, G., Houthuijs, D., Babisch, W., Velonakis, M., Katsouyanni, K., Jarup, L. & Consortium, H.  
*Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports*. European Heart Journal 29, 658-664., 2008

Harrison, J.

*Its pure physics, Symposium paper*, oct 2010

Harry, A.

*Wind turbines, noise and health*, 2007

Hessler Associates

*Post Construction Noise Survey - Blue Sky & Green Field Wind Project*, 2008

Howe Gastmeier Chapnik Limited

*Wind turbines and sound - review and best practice guidelines*, 2007

Hygge, S., Boman, E. & Enmarker, I.

*The effects of road traffic noise and meaningful irrelevant speech on different memory systems*. Scand J Psychol 44, 13-21., 2003

Hygge, S., Evans, G. W. & Bullinger, M.

*A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in school-children*. Psychol Sci 13, 469-74., 2002

Ising, H., C Braun

*Acute and chronic endocrine effects of noise*, 2000

James, R.

*How we got here - paper, Symposium paper, oct 2010*

Jarup, L., Babisch, W., Houthuijs, D., Pershagen, G., Katsouyanni, K., Cadum, E., Dudley, M. L., Savigny, P., Seiffert, I., Swart, W., Breugelmans, O., Bluhm, G., Selander, J., Haralabidis, A., Dimakopoujou, K., Sourtzi, P., Velonakis, M., Vigna-Taglianti, F. & Team, H. S. *Hypertension and exposure to noise near airports: the HYENA study*. Environmental Health Perspectives 116, 329-333., 2008

Jarup, L., Dudley, M. L., Babisch, W., Houthuijs, D., Swart, W., Pershagen, G., Bluhm, G., Katsouyanni, K., Velonakis, M., Cadum, E., Vigna-Taglianti, F. & Consortium, H., *Hypertension and exposure to noise near airports (HYENA): Study design and noise exposure assessment*. Environmental Health Perspectives 113, 1473-1478., 2005

Kalinski, K. and Duncan E.

*Propagation Modeling Parameters for Wind Power Projects*, 2008

Kalinski, K., *Understanding Turbine Sound Impact Studies*, 2008

Kampermann, G.

*The How To Guide to Siting Wind Turbines to Prevent Health Risks from Sound*, 2008

Kenneth I. H.

*Sleep disturbance due to noise: Research over the last and next five years*, 2009

Kishikawa, H., Matsui, T., Uchiyama, I., Miyakawa, M., Hiramatsu, K. & Stansfeld, S. A., *The development of Weinstein's noise sensitivity scale*. Noise Health 8, 154-60., 2006

Klug, H.

*Paper on noise from wind turbines - standards and noise reduction procedures*, 2002

Legarth, S.V.

*Auralization and assessments of annoyance from wind turbines*, 2007

Lercher, P., Evans, G. W. & Meis, M.

*Ambient noise and cognitive processes among primary schoolchildren*. Environment and Behavior 35, 725-735., 2003

Lercher, P., Evans, G. W., Meis, M. & Kofler, W. W.

*Ambient neighbourhood noise and children's mental health*. Occup Environ Med 59, 380-6., 2002

Leventhall, G.

*Low frequency noise and annoyance*, 2004



Leventhall, G.

*A review of published research on low frequency noise and its effects*, 2003

Leventhall, G.

*How the "mythology" of infrasound and low frequency noise related to wind turbines might had developed*, 2005

Leventhall, G.

*Infrasound from wind turbines - fact, fiction or deception*, 2006

Leventhall, G., Notes on low frequency noise from wind turbines, 2004

Leventhall, G.

*Low frequency noise. What we know, what we do not know and what we would like to know*, 2009

McAngus Todd, Neil P., Sally M. Rosengren, James G. Colebatch

*Tuning and sensitivity of the human vestibular system to low-frequency vibration*, 2008

Michael Theriault

*Acoustics, Noise level testing for the Forward Wind Energy Center*, 2008

Michaud, D.S., Stephen E. Kelly, Stephen H:P:

*Bly, Proposal for evaluating potential health effects of WT noise for projects - Canadian EA Act*, 2007

Minnesota Department of Health

*Public Health Impacts of Wind Turbines*, 2009

Moorhouse, AT, Hayes, M, von Hünerbein, S, Piper, BJ and Adams

*Research into Aerodynamic Modulation of Wind Turbine Noise*, 2007

Nissenbaum, M. A. , Nissenbaum

*Presentation on health effects study in Mars Hill*, 2009

O'neal, R. D., & Lampeter R.M.

*Sound Defense for a Wind Turbine Farm*, 2007

Omlin S., Brink M., Bauer G.

*Sleep disturbance due to everyday noise: A review of the last 20 years*, 2010

Ontario, Public Health, Chatham-Kent

*Health Impacts Report*, 2008



- Pedersen, Eja  
*Human response to wind turbine noise - annoyance and moderating factors*, 2005
- Pedersen, Eja  
*Noise annoyance from wind turbines - a review*, 2003
- Pedersen, Eja  
*Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well being*, 2007
- Persson-Waye, K.  
*Effects of low frequency noise on sleep*, 2004
- Pierpont, N.  
*Defining A Syndrome - Symposium paper*, 2010
- Ramakrishnan, R.  
*Wind Turbine Facilities Noise Issues. Acoustic Consulting Report for Ontario Ministry*, 2007
- Rogers, A. L.  
*Infrasound and Psychoacoustics*, 2005
- Rogers, A. L.  
*Wind Turbine Acoustic Noise*, 2006
- Rogers, A. L.  
*Wind turbine noise, infrasound and noise perception*, 2006
- Salt, A.  
*Infrasound your ears hear it but...*, Symposium paper, 2010
- Schust, M.  
*Effects of low frequency noise up to 100Hz*, 2004
- Slaviero, D., Bigot, A.  
*Noise impact of wind farms - uncertainties due to wind data reference at 10m*, 2008
- Smith, A. R, Noise and health - why we need more research, Internoise 2010
- Stansfeld, S. A.  
*Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies. Psychol Med Monogr Suppl 22, 1-44.*, 1992
- Stansfeld, S. A., Berglund, B., Clark, C., Lopez-Barrio, I., Fischer, P., Ohrstrom, E., Haines, M. M., Head, J., Hygge, S., van Kamp, I. & Berry, B. F.

*Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study.* Lancet 365, 1942-9., 2005

Stansfeld, S. A., Clark, C., Cameron, R. M., Alfred, T., Head, J., Haines, M. M., van Kamp, I., van Kempen, E. & Lopez-Barrio, I.  
*Aircraft and road traffic noise exposure and children's mental health.* Journal of Environmental Psychology 29, 203-207., 2009

Stansfeld, S. A., Haines, M. M., Burr, M., Berry, B. & Lercher, P.  
*A Review of Environmental Noise and Mental Health.* Noise Health 2, 1-8., 2000

Stansfeld, S. A., Sharp, D. S., Gallacher, J. & Babisch, W.  
*Road traffic noise, noise sensitivity and psychological disorder.* Psychol Med 23, 977-85., 1993

Stewart, J.  
*Location - an investigation into wind farms and noise by the noise association,* 2006

Styles, P.  
*Microseismic and Infrasound Monitoring of Low Frequency Noise and Vibrations from Windfarms,* 2005

Symposium Program  
*Global wind industri and adverse health effects,* 2010

The Noise Association  
*Noise - unwanted sound - can ruin people's well being and environment,* 2002

Thorne, B.  
*Noise Impact Assessment Report, Waubra Wind Farm ,* 2010

van den Berg, Frits G.P.  
*Low Frequency Noise and phantom sounds,* 2009

van den Berg, Frits G.P.  
*The effect of atmospheric stability on low frequency modulated sound of wind turbines,* 2005

van den Berg, Frits G.P.  
*The sounds of high winds - the effect of atmospheric stability on WT sound,* 2004

van den Berg, Frits G.P.  
*Wind turbines at night - acoustical practice and sound research,* 2003

Van den Berg, Frits G.P.

*Do wind turbines produce significant low frequency sound levels*, 2004

van Kamp, I., Job, R. F., Hatfield, J., Haines, M., Stellato, R. K. & Stansfeld, S. A.

*The role of noise sensitivity in the noise-response relation: a comparison of three international airport studies*. J Acoust Soc Am 116, 3471-9, 2004

Van Kempen, E., Lopez Barrio, I., Haines, M. M., Nilsson, M. E., Clark, C., Houthuijs, D., Brunekreef, B., Berglund, B. & Stansfeld, S. A.

*Children's annoyance reactions to aircraft and road traffic noise*. Journal of the Acoustical Society of America 125 895-904., 2009

van Kempen, E., Van Kamp, I., Fischer, P., Davies, H., Houthuijs, D., Stellato, R., Clark, C. & Stansfeld, S.

*Noise exposure and children's blood pressure and heart rate: the RANCH project*. Occupational and Environmental Medicine 63, 632-639., 2006

Whitford, J.

*Health, safety and nuisance concerns associated with wind energy development*, 2006

WHO

*WHO - Energy, sustainable development and health*, 2004

Young-min, Park

*Effect of Noise and Low Frequency Noise generated by Wind Power Plant (Wind Farm)*, Internoise 2010,

Zuurbier, M., Salines, G., Moshammer, H., Stansfeld, S., Lundqvist, C., Hanke, W., Van den Hazel, P., Bistrup, M. L. & Babisch, W.

*Environmental health of European children: Priorities recommended by the PINCHE network*. Environnement Risques & Sante 6, 43-56., 2007