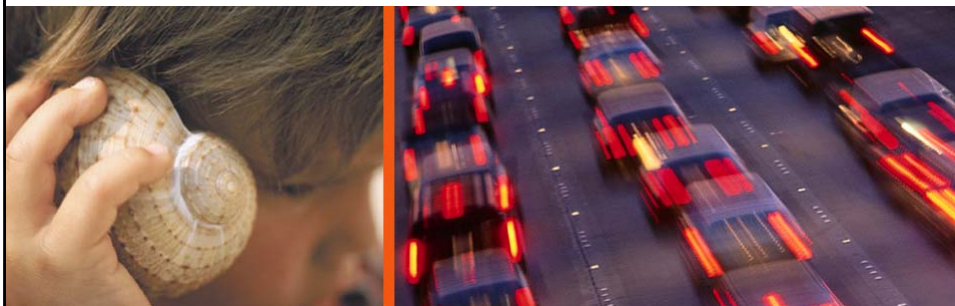


# Miljösamverkan Västra Götaland Ljud från vindkraft



1

Nytänkande med erfarenhet



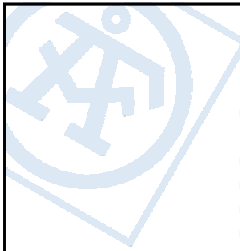
## Referenser för ÅF och Martin Almgren

- ÅF mer än 100 år. 4000 konsulter.
- Inom vindkraftområdet arbetar ÅF med det mesta
- ÅF-Ingemansson 52 års erfarenhet som ljud och vibrationskonsult. 120 konsulter
- Martin Almgren 31 års erfarenhet av arbete med ljud och vibrationer i industrin, på högskola och i konsultföretag
- Civilingenjör i teknisk fysik, CTH, 1977 med akustik som inriktning
- Teknisk doktor i teknisk akustik, CTH, 1986. Avhandlingens titel: "Scale modelling of outdoor sound propagation"

2

Nytänkande med erfarenhet





## Exempel på vad ÅF gör

- Identifiering av lämpliga platser baserat på totalekonomi och genomförbarhet
- Kommunala översiktsplaner för vindkraft
- Förutsättningsanalyser för etablering av vindkraft
- Analyser av förutsättningar för anslutning till kraftnätet
- Vindmätning / Vindverifiering
- Utformning av vindkraftsanläggningar
- Strategiska kontakter med myndigheter
- Tillståndsprocessen - unik erfarenhet
- Upprättande av detaljplaner och bygglovansökningar
- Miljökonsekvensbeskrivningar
- Landskapsanalyser
- Beräkningar av skuggor, visuell påverkan
- Kvalificerade ljudberäkningar
- Analys av samhällseffekter i brett perspektiv, industriell utveckling, sysselsättningseffekter och effekter för samhällsservice, effekter på regional utveckling
- Företagsekonomiska analyser
- Projektledning genom hela processen
- Drift och underhåll
- Utbildning
- Oförstörande provning
- Besiktning
- Bedömning av teknisk status

3

it



## Innehåll

- Grundläggande om ljudets uppkomst i vindkraftverk  
ljudutbredning
- Ljudets hörbarhet
- Riktvärden och risk för störning
- Åtgärder

4

Nytänkande med erfarenhet





## Ljudets uppkomst i vindkraftverk

- Ljud uppstår av krafter i rörelse
- I absolut stillhet finns inget ljud

5

Nytänkande med erfarenhet



## Ljudkällor i ett vindkraftverk

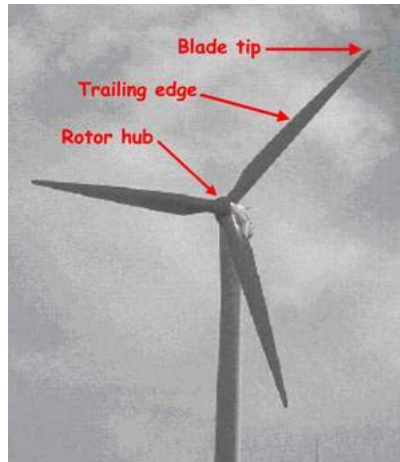
- I ett vindkraftverk finns krafter i rörelse på grund av
  - luften rörelse förbi bladen
  - den roterande lyftkraften på bladen
  - friktionskrafter som roterar i lagren
  - kuggingrepp i växellådan (om sådan finns)
  - elektrodynamiska krafter i transformatorer och annan elektrisk utrustning(om sådana finns)
- Moderna växlar har låg ljudnivå
- Hörselintrycket domineras av virvelavlösning vid bladens bakkant då luften sveper förbi bladen

6

Nytänkande med erfarenhet



## Ljudkällor på vindkraftverk



Bladspets  
Bladbakkant  
Rotornav

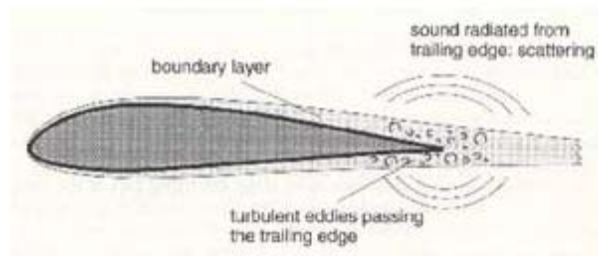
7

<http://www.ecn.nl/en/wind/additional/special-projects/sirocco/>

Nytänkande med erfarenhet



## Bakkantsvirvlar ger brus



Ett turbulent gränsskikt uppstår på bladen. Virvlar avlöses vid bakkanten. Dessa ger ett ljud vars styrka och frekvens beror av hastigheten och bakkantens tjocklek

8

<http://www.ecn.nl/en/wind/additional/special-projects/sirocco/>

Nytänkande med erfarenhet



## Ljudkällans rörelse ger ett svischande ljud



Figure 1: Picture of test set-up for acoustic measurements on the GAMESA baseline turbine. The distribution of noise sources in the rotor plane is projected onto the picture. The rotor rotates clockwise

Nya större vindkraftverk ger långsammare "svisch" än äldre mindre verk

9

Sirocco-project, Wind turbine noise conference Berlin 2006

Nytänkande med erfarenhet



## Källstyrka

- Ett vindkraftverks källstyrka eller ljudemission karakteriseras av sin ljudeffekt
- Den bestäms med hjälp av en internationell standard SS-EN 61400-11 (IEC 61400-11, ed 2.1 2006-11) Vindkraftverk – del 11: Mätning av buller.
- Ljudtrycksnivån mäts på ett avstånd lika med navhöjden plus halva rotordiametern och omräknas till ljudeffekt.

10

Nytänkande med erfarenhet





## Ljudeffekt för vindkraftverken exempel

- Ljudeffekten för ett vindkraftverk är 0,03 W
- Sammanlagda ljudeffekten för 28 vindkraftverk blir 0,89 W
- Ljudeffektnivån för ett verk blir 105 dBA re  $10^{-12}$  W
- Ljudeffektnivån från alla 28 verken blir 119 dBA re  $10^{-12}$  W
- Ljudnivån, som kan höras vid verket, blir aldrig högre än 67 dBA

11

Nytänkande med erfarenhet



## Jämför med andra ljudkällor

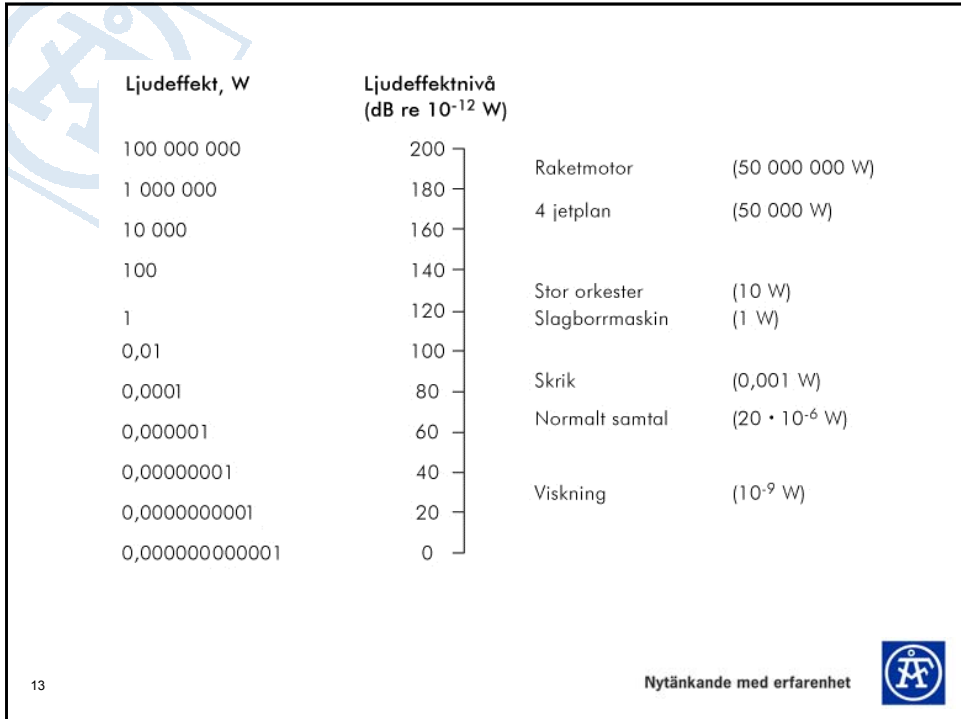
- Motorsåg Husqvarna 3120 XPTM. LWA 116 dB
- 338 XP Trädgård LWA 112 dB



12

Nytänkande med erfarenhet





## Flera ljudkällor

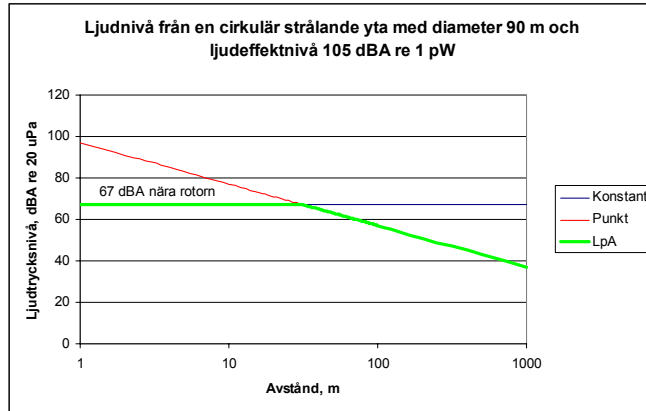
- Två lika ljudkällor på samma avstånd ger +3 dB
- Sex lika ljudkällor på samma avstånd ger +8 dB
- Tio lika ljudkällor på samma avstånd ger +10 dB
- Trettio lika ljudkällor på samma avstånd ger +15 dB
- Hundra lika ljudkällor på samma avstånd ger +20 dB

14

Nytänkande med erfarenhet



## Ljudeffektnivån är inte det man hör



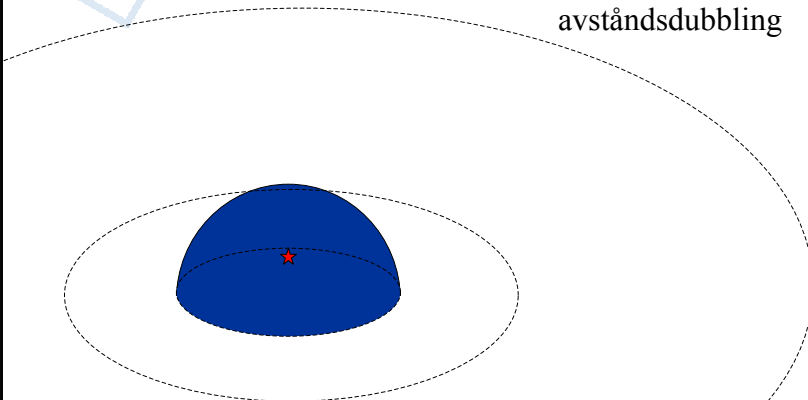
15

Nytänkande med erfarenhet



## Avstånd

Sfärisk utbredning  
- 6 dB per  
avståndsdubbling



I fritt fält sprids ljudeffekten på arean av en sfär

Nytänkande med erfarenhet

16



# Spridning av ljud

Geometrisk spridning-avstånd

Direktivitet      Böjning      Luftabsorption

*Emissionsnivå*      Skärmning      Reflektion      *Immissionsnivå*

Fasadisolering

Markdämpning

17

Nytänkande med erfarenhet

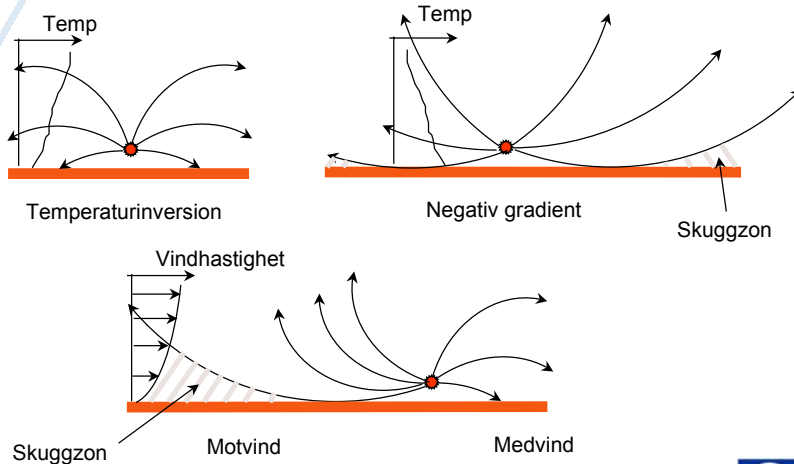
# Ljudutbredning över hav och vatten

Vattenytan är akustiskt hård och reflekterar ljudet

18

Nytänkande med erfarenhet

# Refraktion medvind - motvind



19

Nytänkande med erfarenhet



# Beräkning av ljudimmission

- Nordiska modellen för externt industribuller
- Nord 2000
- Naturvårdsverket rapport 6241, 2001  
landbaserad vindkraft  
havsbaserad vindkraft

20

Nytänkande med erfarenhet





## Rapport 6241 landbaserad vindkraft

- Ljudeffekt - vindhastighet och höjd
- Geometrisk dämpning och luftabsorption
- Ljudenergin antas spridas på arean av en halvsfär motsvarar 6 dB/avståndsdubbling
- Hård plan mark antas
- På avstånd större än 1000 m tas hänsyn till att luftabsorptionen ökar med frekvensen
- Metoder liknande denna används i de flesta länder

21

Nytänkande med erfarenhet



## Beräkning av ljudimmision med Nord2000

- Tar hänsyn till frekvensspektrum, såväl låga som höga frekvenser
- Topografi
- Markytans egenskaper (hav, sjö, skogsmark, hård mark)
- Möjligt att räkna för olika vindriktning. Våra beräkningar tar hänsyn till ett värsta fall med medvind
- Tar hänsyn till addition av ljud från flera vindkraftverk

22

Nytänkande med erfarenhet



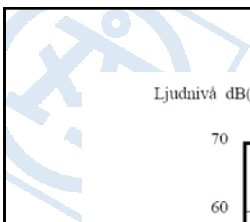


## Maskering av ljud från vindkraft

- Lövsus
- Vägtrafik, (tåg, industri)

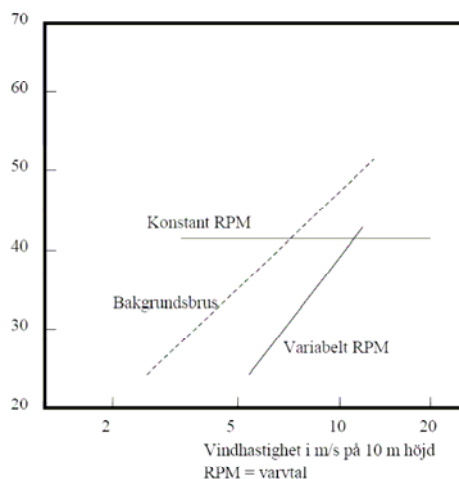
23

Nytänkande med erfarenhet



## Hörs vindkraft?

Ljudnivå dB(A) på 1.5 m



Från  
Naturvårds-  
verkets och  
Boverkets  
rapport  
6241, Ljud  
från  
vindkraft-  
verk

Figur 7. Ljudnivå från ett aggregat i megawattklassen med variabelt varvtal samt naturligt vindbrus som funktion av vindhastigheten.

24

Nytänkande med erfarenhet





# Hörs vindkraft?

- Examensarbete  
Paul Appelqvist, KTH och ÅF-Ingemansson  
Maskering av vindkraftsljud via naturligt bakgrundsljud  
– särskilt havsbrus  
KTH, Marcus Wallenberglaboratoriet, TRITA-AVE-2006:100, 2006
- Licavhandling  
Karl Bolin, KTH  
Masking of wind turbine sound by ambient noise  
KTH, Marcus Wallenberglaboratoriet, TRITA-AVE-2006:86, 2006



# Background

## Broadband sound

### Wind turbine sound



### Natural background sound



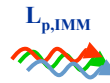
Vegetation



Waves



### Masking effect





# Background

## Broadband sound

### Wind turbine sound



### Natural background sound



Vegetation

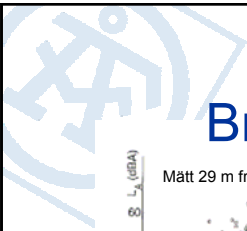


Waves

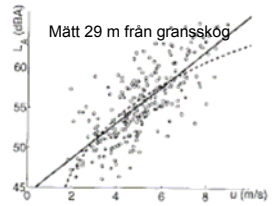


### Masking effect

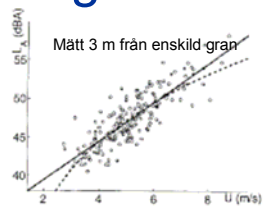
1. Psycho acoustic factors
2. S/N-ratio
3. Frequency dependent
4. International guidelines  
S/N-ratio +3 to +5 dB(A)



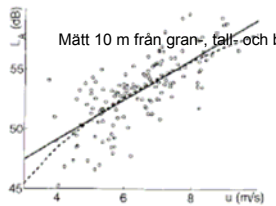
# Brus från vegetation



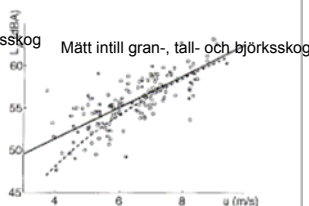
(a) Site 1, (—)  $L_A \propto 2.2U$ , (---)  $L_A \propto 2.3 \log(U)$



(b) Site 2, (—)  $L_A \propto 2.5U$ , (---)  $L_A \propto 2.3 \log(U)$



(c) Site 3 Microphone 1, (—)  $L_A \propto 1.7U$ , (---)  $L_A \propto 2.4 \log(U)$



(d) Site 3 Microphone 2, (—)  $L_A \propto 2.3U$ , (---)  $L_A \propto 3.5 \log(U)$





## Riktvärden för ljud från vindkraft i Sverige

- För externt industribuller gäller riktvärden enligt Externt industribuller – allmänna råd (SNV RR 1978:5 rev. 1983).
- Riktvärdet för buller utomhus från vindkraftverk som tillämpas vid tillståndsmyndigheternas bedömning är i de flesta fall 40 dBA (när det blåser 8 m/s på 10 m höjd)
- För i översiktsplan utpekade områden där en låg bullernivå utgör en särskild kvalitet, bör värdet vara lägre än 40 dBA.
- Rena toner: 5 dBA-enheter lägre

29

Nytänkande med erfarenhet



## Allmänna råd

- Blir förhoppningsvis klart i januari 2009

**Naturvårdsverkets allmänna råd om buller från vindkraftverk [till 2 kap. miljöbalken];**



30

Nytänkande med erfarenhet



## Ljudriktlinjer för andra verksamheter i Sverige

Ljudkälla	Ekvivalent ljudnivå	Maximal ljudnivå "Fast"
Industri	40 dBA natt 45 dBA kväll och helg 50 dBA dag arbetsdag	55 dBA natt
Vägtrafik	55 dBA dygnsekvivalent	70 dBA vid uteplats
Tågtrafik	60 dBA dygnsekvivalent 55 dBA vid uteplats	70 dBA vid uteplats
Byggplatser	45 dBA natt 45 dBA kväll helg 50 dBA dag helg 50 dBA kväll arbetsdag 60 dBA dag arbetsdag	70 dBA natt
Motorsportbana	-	Bör ej förekomma natt 55 dBA kväll och helg 60 dBA dag arbetsdag
Flygtrafik	55 dBA (FBN)	70 dBA
Vindkraft i NV förslag	40 dBA dygnet om	

31

Nytänkande med erfarenhet



## Andra riktvärden

- Lågfrekvent ljud utomhus – inga riktvärden finns
- Lågfrekvent ljud i arbetsmiljön (AFS 2005:16)
- Lågfrekvent ljud i bostad (SOSFS 2005:6)
- Infraljud – ljud som understiger perceptionströskeln plus 5 till 10 dB torde inte leda till några effekter (se AFS 2005:16)
- I många andra länder tar man hänsyn till bakgrundsljudet vid bestämning av riktvärde

32

Nytänkande med erfarenhet





## Syfte med riktvärden

- Svenska myndigheter sätter riktvärden så att 80 – 90 % inte störs.



## Blir man störd?

- Nya utredningar om störning av vindkraftljud har kommit. De visar på mindre störning än den tidigare Laholmsutredningen.
- Laholmsutredningen liksom den nya utredningen har gjorts av Eja Pedersen, Högskolan i Halmstad, och Kerstin Persson Waye, Göteborgs Universitet. Eja Pedersens höll föredrag vid SVIFs konferens i Falkenberg 21 april 2006. Resultaten har också presenterats i Eja Pedersens doktorsavhandling 2007 vid Göteborgs universitet





# Human response to wind turbine noise

Perception, annoyance and moderating factors



Eja Pedersen



GÖTEBORGS UNIVERSITET

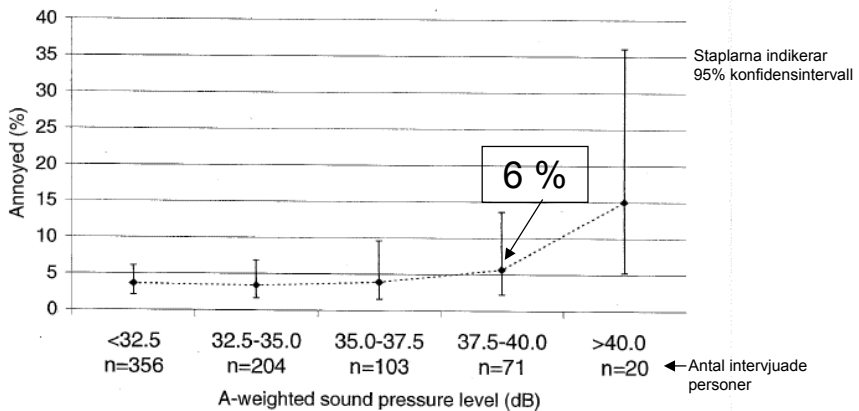
Occupational and Environmental Medicine  
Department of Public Health and Community Medicine  
The Sahlgrenska Academy  
Göteborg 2007

35

Nytänkande med erfarenhet



Andelen respondenter som stördes (ganska mycket, mycket) av vindkraftverk relaterat till A-vägd ljudtrycksnivå.



Från Eja Pedersen "Human response to wind noise. Perception, annoyance and moderating factors", doktorsavhandling, Göteborgs Universitet 2007

36

Nytänkande med erfarenhet



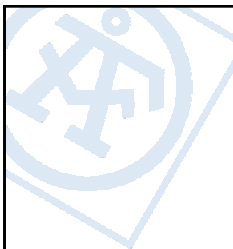


## Slutsatser från Eja Pedersen, 2006

- Andel respondenter som stördes (ganska mycket eller mycket) av vindkraftverk vid en ljudnivå av 37,5 – 40 dBA
- Flat terräng: 7 %
- Komplex terräng 25 %
- Villaområde 4 %
- Jordbruk 11 %

37

Nytänkande med erfarenhet



university of groningen / faculty of mathematics and natural sciences



UNIVERSITY OF GÖTEBORG



umcg Science Group for Medicine and Public Health Applied Health Research

### Project WINDFARMperception

Visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents



38

FP6-2005-Science-and-Society-20  
Specific Support Action, Project no. 044628  
Final report

med erfarenhet





## Windfarmstudien

With respect to hearing wind turbines:

- The probability to hear wind turbines increased with increasing levels of wind turbine sound, irrespective of the appreciation of the sound by respondents.
- Not having wind turbines visible from the dwelling and high levels of background (road traffic) sound decreased the probability of hearing wind turbine sound, though the influence of background sound is small.
- Wind turbines were perceived as louder when the wind was blowing from the wind turbine towards the dwelling, and less loud vice versa.
- Wind turbines were perceived as louder when the wind was strong and less loud with a weak or no wind. However, more respondents thought it was louder than less loud at night, even though at night wind speeds are on average lower.



## Windfarmstudien

With respect to annoyance from wind turbine sound

- Of the exposures from wind turbines, noise was the most annoying.
- The probability of being annoyed by wind turbine sound increased with increasing levels of wind turbine sound.
- The most common description of the wind turbine sound was swishing/lashing; a description that was associated with noise annoyance: annoyance is more probable for respondents that gave this description than for those who did not.
- Benefiting economically from wind turbines, not having wind turbines visible from the dwelling and living in a rural area with a main road (in comparison with a built-up area) decreased the probability of being annoyed by wind turbine sound.
- Although the presence of background sound from road traffic made wind turbine sound less noticeable, higher levels of background sound did not reduce the probability of being annoyed.
- Annoyance with wind turbine noise was associated with a negative attitude towards wind turbines in general and the impact of wind turbines on the landscape.

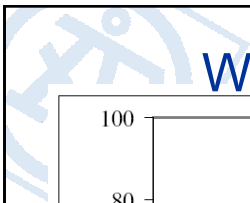




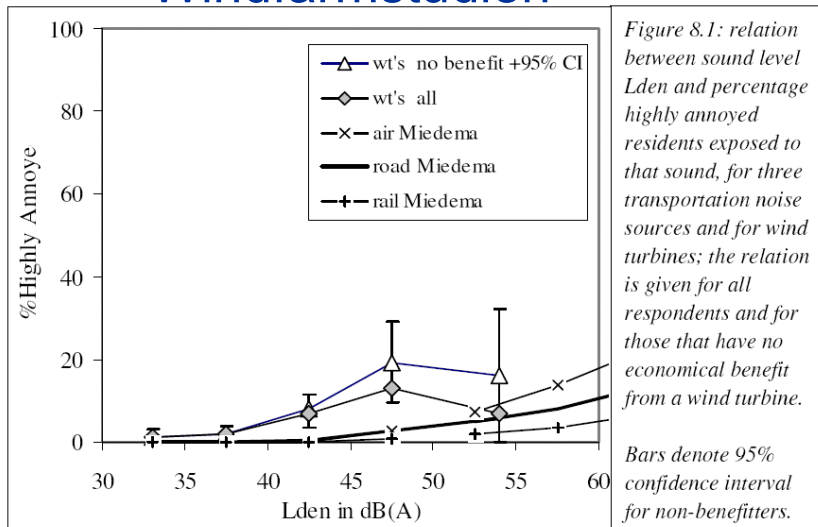
# Windfarmstudien

With respect to other health effects associated with wind turbines:

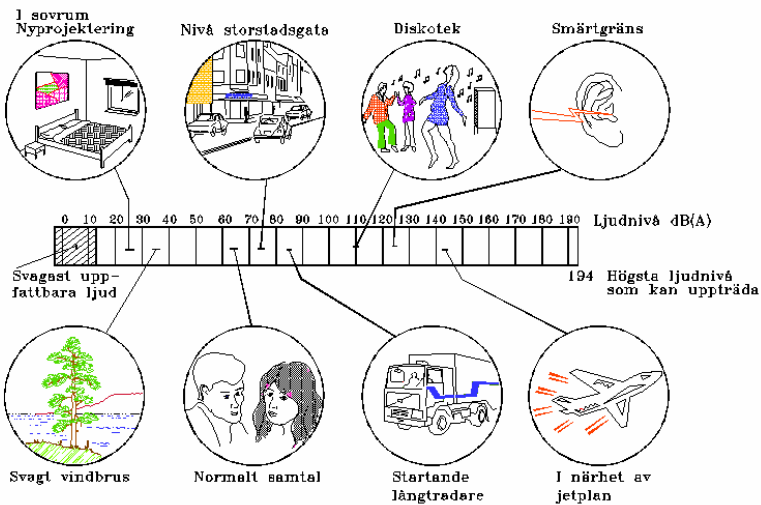
- The risk for sleep interruption by noise was higher at levels of wind turbine sound above 45 dBA than at levels below 30 dBA.
- Annoyance with wind turbine noise was associated with psychological distress, stress, difficulties to fall asleep and sleep interruption.



# Windfarmstudien



# Jämförelse ljudnivåer



43

Nytänkande med erfarenhet



# Åtgärder

- Specificera ljudemission vid upphandling
- Mät ljudimmission i kontrollprogram
- Inskränk vid behov driften vid olika tider eller olika väder
- Utnyttja vindkraftverkens ljudoptimerade inställningar

44

Nytänkande med erfarenhet





# ÅF Ljud & Vibrationer



**Vi stödjer företag, myndigheter och organisationer inom sektorerna Industri - Produkt och Bygg - Samhälle**

Kontakt vindkraft:

**Martin Almgren**

**ÅF-Ingemansson AB**

Besöksadress: Kvarnbergsgatan 2 | Post adress: Box 1551, 401 51 Göteborg

Direct: 010 505 84 54 | SMS: 070-184 75 54

e-post: [martin.almgren@afconsult.com](mailto:martin.almgren@afconsult.com) | <http://www.afconsult.com>

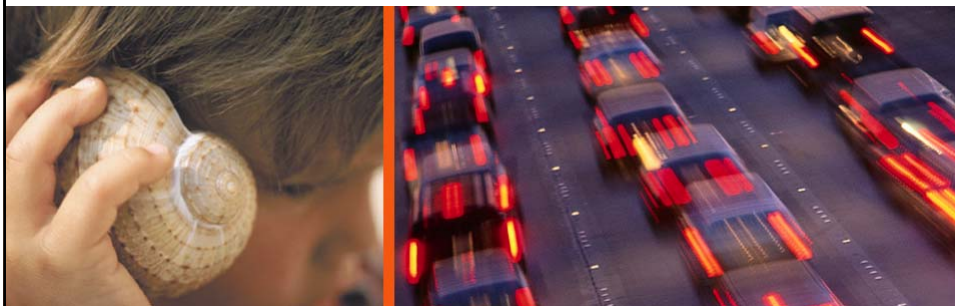
Nytänkande med erfarenhet



45



# ÅF Ljud & Vibrationer



46

Nytänkande med erfarenhet

