



# **Ljud från vindkraft**

**Utredning inför Naturvårdsverkets allmänna råd**

**Elforsk rapport 06:02**



# **Ljud från vindkraft**

**Utredning inför Naturvårdsverkets allmänna råd**

**Elforsk rapport 06:02**

Martin Almgren





## Förord

Ljud från vindkraftverk behandlas idag enligt Naturvårdsverkets allmänna råd för externt industribuller RR 1978:5 tillsammans med praxis att sätta riktvärdet till 40 dBA dygnet runt. Naturvårdsverket håller på att ta fram specifika allmänna råd för ljud från vindkraft. Ett utkast redovisades på ett informationsmöte på Naturvårdsverket 13 maj 2005. Detta visade att speciella krav, som i vissa fall kan vara långtgående, skulle ställas på vindkraft. Föreliggande utredning avser att belysa rimligheten i detta

Projektet har genomförts av Martin Almgren, Ingemansson Technology AB med finansiering från Elforsks vindkraftprogram 2005 (projekt 2356). Vindkraftprogrammet finansieras av EBL-Kompetanse, E.ON (Sydkraft), Falkenberg Energi, Göteborg Energi, Jämtkraft, Karlstad Energi, Skellefteå Kraft, Statens Energimyndighet via Vindforsk, Svenska Kraftnät, Vattenfall och Öresundskraft.

Programmets styrgrupp består av Jan Ahlbäck, Skellefteå Kraft, Per Carlson, Göteborg Energi, Jan Frisk, Svensk Energi, Terje Gjengedal, Statkraft, Sara Hallert, Energimyndigheten, Jan-Åke Jacobson, Falkenberg Energi, Lene Mostue, EBL-Kompetanse, Elisabeth Norgren, Svenska Kraftnät, Susann Persson, Jämtkraft, Mattias Törnkvist, Vattenfall Utveckling och Stefan Skarp, Skellefteå Kraft.

Stockholm i mars 2006

Ulf Arvidsson  
Elforsk AB  
Programområde El- och värmeproduktion



## Sammanfattning

Ljud från vindkraftverk behandlas idag enligt Naturvårdsverkets allmänna råd för externt industribuller RR 1978:5 tillsammans med praxis att sätta riktvärdet till 40 dBA dygnet runt. Naturvårdsverket håller på att ta fram specifika allmänna råd för ljud från vindkraft. Ett utkast redovisades på ett informationsmöte på Naturvårdsverket 13 maj 2005. Detta visade att speciella krav, som i vissa fall kan vara långtgående, skulle ställas på vindkraft. Föreliggande utredning avser att belysa rimligheten i detta

Tillämpning av den rekommenderade beräkningsmodellen för ljud från vindkraft med ljudutbredning över vatten i Naturvårdsverkets utkast kan ge allvarliga konsekvenser för planering av kustnära vindkraftparker. Undersökningar av ljudutbredning över vatten görs för närvarande av KTH i Kalmarsund. Resultaten av dessa studier, som troligen slutförs under våren 2006, bör inväntas innan man förordar en beräkningsmetod för ljudutbredning. Om beräkningsmodellen vore generellt giltig för ljudutbredning över vatten, borde rapporter om klagomål från havsbaserad vindkraft förekomma. Några sådana har vi inte kunnat få fram vare sig från Sverige (Bockstigen), Danmark (Middelgrunden, Nysteds havmöllepark och Horns rev) eller Nederländerna. Vid Middelgrunden och Nysted blir ljudnivån beräknad med Naturvårdsverkets modell för havsbaserad vindkraft kring 48 dBA vid landområden på 4,5 respektive 7 km avstånd. Enligt störningsstudierna från Miljömedicin på Göteborgs Universitet uppfattas sådana nivåer som störande av många.

Två metoder att sätta riktvärden för ljud från vindkraft förekommer internationellt. I den ena anges riktvärde för en ekvivalent ljudnivå. I den andra relateras ljudnivån till bakgrundsljudet. Naturvårdsverket planerar att ange ett riktvärde för ekvivalent ljudnivå i kombination med ett strängare riktvärde för platser med topografiskt ogynnsamma omständigheter. Anledningen är att det kan finnas platser med sådan topografi att vindalstrat bakgrundsljud blir lågt medan vindkraftverket hörs. Då bör man också tillåta högre ljud från vindkraft i de fall ljudet maskeras av ex havsbrus. Det alternativ som bedöms ge minst problem med klagomål i efterhand är riktvärde baserat på uppmätt bakgrundsljud i kombination med en övre nivågräns.

I många länder ställs samma krav på ljud från vindkraft som på ljud från industrier.

Vindkraftverk är den utomhus-ljudkälla som det i Sverige ställs strängast krav på i praxis.

Det finns inga dolda eller direkta hälsoeffekter av ljudet från vindkraftverk. Eventuella effekter beror på lyssnarnas reaktioner på det de hör. Infraljudnivån från moderna vindkraftverk med rotn placerad uppströms är så låga att de ligger under känseltröskeln, även för människor som är extra känsliga och även i området nära verken



## Summary

Noise from wind turbines are today treated as industrial noise sources according to the guidelines for external industry noise set by Naturvårdsverket, i.e. the Swedish Environmental Protection Agency in RR 1978:5. A praxis has been established with recommended limit 40 dBA equivalent continuous sound pressure level outside dwellings day, evening and night. Naturvårdsverket is planning new guidelines specific for wind turbine noise. A draft was presented at an information meeting 13th May 2005. Special requirements, which in some cases may be far-reaching, are planned for wind turbines. The purpose of this investigation is to illustrate the fairness of the planned requirements.

Application of the recommended prediction model for sound propagation above a sea surface in the draft of Naturvårdsverket may lead to serious consequences for the planning of wind power plants near the coast. Research with measurements on sound propagation above water is at present made by the Royal Institute of Technology in Kalmar-sund in Sweden. The results of these measurements, which probably are completed during the spring 2006, should be waited for before a prediction model is recommended. If the model would be valid for sound propagation from wind turbines at sea, there should be some reports on complaint on noise from offshore based wind power plants. We have not been able to locate such complaints in Sweden (Bockstigen), in Denmark (Middelgrunden, Nysteds havmøllepark and Horns rev) or in the Netherlands. For Middelgrund and Nysted, the sound level calculated with Naturvårdsverkets model at 4,5 km and 7 km respectively is around 48 dBA. According to Swedish studies, such a level is annoying to many people.

Two methods to set out limits for wind turbine noise are used internationally. In the first an absolute limit for the equivalent continuous sound pressure level is set. In the other, the sound pressure level is related to the background noise level. Naturvårdsverket is planning to set an absolute limit in combination with a stronger requirement in locations with topographical unfavourable circumstances. The reason is that at such locations, the background may be very low, while the wind turbine radiates clearly audible sound. The opposite phenomenon should also be considered. At some places the wind turbine noise may be masked by unusually high background noise, for instance near the shores of the sea or in the vicinity of a waterfall. Of the two methods for formulation of limits, the method based on background noise seems to lead to fewer complaints.

In many countries, wind turbines are regarded and treated the same as industrial noise sources. A wind power plant is in Sweden the outdoor sound source with the strongest requirements in praxis.

There are no concealed or direct health effects of wind turbine sound. Any effects depend on the reactions of the listeners to what they hear. Infrasound levels from today's wind turbines, with the rotor upwind of the tower, are so low that they are below the threshold of sensitivity. This is true also for extra sensitive persons and even in the plant area.



## Innehållsförteckning

|          |                                                                                                              |                                           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>INLEDNING .....</b>                                                                                       | <b>1</b>                                  |
| 1.1      | BAKGRUND .....                                                                                               | 1                                         |
| 1.2      | MÅL.....                                                                                                     | 1                                         |
| 1.3      | TILLKÄNNAGIVANDE .....                                                                                       | 1                                         |
| <b>2</b> | <b>FÖRESKRIFTER OCH RIKTVÄRDEN I ANDRA LÄNDER.....</b>                                                       | <b>2</b>                                  |
| <b>3</b> | <b>SAMMANSTÄLLNING AV SVENSKA RIKTLINJER FÖR LJUD FRÅN OLIKA KÄLLOR I SAMHÄLLET .....</b>                    | <b>4</b>                                  |
| 3.1      | VINDKRAFT ENLIGT NATURVÅRDSVERKETS UTKAST PÅ ALLMÄNNA RÅD .....                                              | 4                                         |
| 3.2      | INDUSTRI .....                                                                                               | 5                                         |
| 3.3      | VÄGTRAFIK .....                                                                                              | 7                                         |
| 3.4      | SPÅRBUREN TRAFIK.....                                                                                        | 8                                         |
| 3.5      | SJÖFART .....                                                                                                | 8                                         |
| 3.6      | BYGGPLATSER.....                                                                                             | 9                                         |
| 3.7      | MOTORSPORTBANOR .....                                                                                        | 10                                        |
| 3.8      | SKJUTBANOR .....                                                                                             | 11                                        |
| 3.9      | FLYGTRAFIK .....                                                                                             | 11                                        |
| 3.10     | BULLER INOMHUS I BEFINTLIGA BOSTÄDER .....                                                                   | 12                                        |
| <b>4</b> | <b>BESKRIVNING AV KONSEKVENSER AV NATURVÅRDSVERKETS FÖRSLAG .....</b>                                        | <b>13</b>                                 |
| 4.1      | DRIFTSMEDELVÄRDE.....                                                                                        | 13                                        |
| 4.2      | IMMISSIONSBERÄKNING KONTRA IMMISSIONSMÄTNING .....                                                           | 21                                        |
| 4.3      | FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR LJUDUTBREDNINGSMODELL MED CYLINDRISK SPRIDNING .....                                     | 22                                        |
| 4.4      | ANDRA KONSEKVENSER, T EX MED LÅGA FREKVENSER OCH OLIKA VINDFÖRDELNINGAR.....                                 | 36                                        |
| 4.5      | SYNPUNKTER PÅ "BERÄKNING AV LJUD FRÅN VINDKRAFTVERK" UTKAST MAJ 2005 .....                                   | 37                                        |
| <b>5</b> | <b>UPPFÖLJNING AV SENARE TIDS OCH PÅGÅENDE FORSKNING OCH STANDARDISERING KRING LJUD FRÅN VINDKRAFT .....</b> | <b>38</b>                                 |
| 5.1      | FORSKNING.....                                                                                               | 38                                        |
| 5.2      | STANDARDISERING .....                                                                                        | 39                                        |
| <b>6</b> | <b>TERMINOLOGI .....</b>                                                                                     | <b>FEL! BOKMÄRKET ÄR INTE DEFINIERAT.</b> |
| <b>7</b> | <b>SLUTSATSER.....</b>                                                                                       | <b>40</b>                                 |
| <b>8</b> | <b>REFERENSER .....</b>                                                                                      | <b>42</b>                                 |

## Bilagor

**A REGLER FÖR LJUD FRÅN VINDKRAFT I OLIKA LÄNDER**

**B SKOTTAREVET BRYTER MOT BULLERGRÄNSEN - OM MAN RÄKNAR ENLIGT NATURVÅRDSVERKET**

**C RESERAPPORT MED SAMMANFATTNING AV KONFERENSEN WIND TURBINE NOISE I BERLIN 17 – 18 OKTOBER 2005**

**D TERMINOLOGI FÖR LJUD I VINDKRAFTSAMMANHANG**



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Naturvårdsverket håller på att ta fram allmänna råd för ljud från vindkraft. Ett utkast redovisades på ett informationsmöte på Naturvårdsverket 13 maj 2005, se [1].

Det finns en oro i vindkraftbranschen att de kommande allmänna råden blir onödigt stränga och att de kommer att försvåra utbyggnaden av vindkraft i Sverige. Elforsk vill ta fram en handlingslinje, baserad på logiska argument, för hur riktlinjer för ljud från vindkraft bör utformas.

## 1.2 Mål

Följande punkter ska behandlas

- Sammanställning av riktlinjer för ljud från vindkraft i andra länder
- Sammanställning av riktlinjer för ljud från olika källor i samhället
- Beskrivning av konsekvenser av Naturvårdsverkets förslag
- Driftsmedelvärde
- Immissionsberäkning kontra immissionsmätning
- Förutsättningar för ljudutbredningsmodell med cylindrisk spridning
- Andra konsekvenser, t ex med låga frekvenser och olika vindfördelningar
- Uppföljning av senare tids och pågående forskning och standardisering kring ljud från vindkraft
- Terminologi
- Slutrapport

## 1.3 Tillkännagivande

Författaren vill tacka Mathieu Boué på KTH MWL, Sten Ljunggren på KTH Byggnadsteknik och Sven-Erik Thor på Vattenfall AB för att de tillhandhållit underlagsmaterial och diskuterat resultat med författaren. Tack också till Elforsk för att vi fått möjlighet att genomföra denna studie. Rapporten har granskats av bl a Inger Wangson-Nyquist på Ingemansson Technology AB och Mattias Törnkvist på Vattenfall AB vilket gjort rapporten tydligare än vad den annars skulle ha varit. Tack.

## 2 Föreskrifter och riktvärden i andra länder

Två metoder att sätta riktvärden för ljud från vindkraft förekommer internationellt. I den ena anges riktvärde för en ekvivalent ljudnivå. I den andra relateras ljudnivån till bakgrundsljudet. I några fall är det en kombination. Naturvårdsverket planerar att ange ett riktvärde för ekvivalent ljudnivå i kombination med ett strängare riktvärde för platser med topografiskt ogynnsamma omständigheter. Anledningen är att det kan finnas platser med sådan topografi att vindalstrat bakgrundsljud blir lågt medan vindkraftverket hörs. Då bör man också tillåta högre ljud från vindkraft i de fall ljudet maskeras av ex havsbrus. I många länder ställs samma krav på ljud från vindkraft som på ljud från industrier.

I nedanstående tabell visas exempel på hur vilken princip man använt sig av i några länder. I bilaga 1 finns en utförligare beskrivning. I flera länder, t ex USA, finns inte nationella regler. Det är i stället upp till delstater eller "counties" att sätta regler.

**Tabell 1 Typ av riktvärde i olika länder**

| <i>Riktvärde för ekvivalent ljudnivå</i> | <i>Riktvärde för ljudnivå i relation till bakgrundsljud</i> |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Sverige                                  | Frankrike                                                   |
| Norge ( $L_{den}$ )                      | Nederländerna (nivå kopplad till vindhastighet)             |
| Danmark                                  | Storbritannien                                              |
| Schweiz                                  | Nya Zeeland                                                 |
| Grekland                                 | Australien                                                  |
| Tyskland                                 |                                                             |
| Finland                                  |                                                             |

I Sverige används formellt sett Naturvårdsverkets allmänna råd för externt industribul-  
ler, se [2]. I praktiken tillämpas dock riktvärdet 40 dBA ekvivalent ljudnivå dygnet runt  
och med 5 dB skärpning om ljudet innehåller toner, se [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se). I Sve-  
rige tillämpas således den första metoden, dvs. ett riktvärde för den ekvivalenta ljudni-  
vån anges. Riktvärdet gäller normalt för den vindstyrka som råder vid vindkraftsverkets  
rotor när det blåser 8 m/s på 10 m höjd. En anledning till att man valt detta värde är att  
vindkraftverkets ljudalstring väntas vara mest hörbar vid denna vindstyrka. Vid högre  
vindstyrkor ökar normalt ljudnivån från vindbrus i omgivningen mer än ljudet från  
vindkraftverket.

I många länder behandlas vindkraftanläggningar som andra industrianläggningar när  
ljudimmissionen ska bedömas. Det verkar bli mer och mer vanligt att nationella regler  
för ljud från vindkraft görs. Exempel på sådana länder är

Norge  
Danmark  
Frankrike

Nederländerna  
Storbritannien  
Nya Zeeland  
Australien (vissa delstater)  
USA (vissa delstater eller counties)

Anvisning om beräkningsmetod för ljud från vindkraft finns i Danmark och Sverige, se [6]. I Sverige finns en särskild beräkningsmodell för havsbaserad vindkraft med ljudutbredning över hav. I Danmark tillämpas en och samma modell för både land- och havsbaserad vindkraft. I Norge anges i anvisningarna från Statens Forurensningstilsyn, SFT, se [3], att den gemensamma nordiska beräkningsmodellen för industribuller (1982) eller ISO 9613-2 användas för beräkning av ljudimmission från vindkraft, se . I Norge ska en årsekvivalent  $L_{den}$ -nivå beräknas med hänsyn till vindstatistik och drifttid. Man räknar schablonmässigt med 290 driftsdagar om året. De norska anvisningarna är från 2005, dvs. de är relativt nya.

I South Australia anges att en lämplig beräkningsmodell ska väljas så att det värsta fallet beräknas för alla relevanta mottagarpositioner. Beräkning ska ske för medvindsfallet. Alla förutsättningar ska anges liksom modellens uppskattade noggrannhet. Beräkningarna ska göras av en akustikingenjör som är medlem både av Australian Acoustical Society och av Institution of Engineers Australia.

I Nya Zeeland anvisas i standarden NZS 6808:1998 "Acoustics – The Assessment and Measurement of Sound from Wind Turbine Generators" en enkel beräkningsmodell utan inverkan av vind, mark eller topografi. Den väntas ge ljudnivåer som är högre än i de fall då mark och topografi inverkar.

Vi har inte kunnat hitta någon nationell föreskrift, förutom i Sverige, där det föreskrivs en särskild beräkningsmodell för ljudutbredning över hav som innebär att ljudenergin sprids på arean av en cylinder över ett visst avstånd. Mer om beräkningsmodeller i avsnitt 4.3.

### 3 Sammanställning av svenska riktlinjer för ljud från olika källor i samhället

Följande tabell visar en sammanställning av exempel på riktvärden för utomhusnivåer vid bostäder från olika ljudkällor.

**Tabell 2 Exempel på riktvärden för utomhusnivåer vid bostäder från olika ljudkällor**

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

För flera av ovanstående riktvärden finns förbehåll och förtydliganden i kommentarer som framgår av avsnitten nedan.

#### 3.1 Vindkraft enligt Naturvårdsverkets utkast på allmänna råd

Allmänna råden är under utarbetande och ett utkast, se [1], presenterades i samband med ett informationsmöte på Naturvårdsverket 13 maj 2005.

**Tabell 3 Naturvårdsverkets utkast på riktvärden för ljud från vindkraft**

| <i>Områdesanvändning</i>                           | <i>Ekvivalent ljudnivå i dB(A)<br/>räknat som driftsmedelvärde<sup>1)</sup></i> |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Bostäder och rekreationsytor i bostadens grannskap | 40 dB(A)                                                                        |
| Område som planlagts för fritidsbebyggelse         | 35 dB(A)                                                                        |
| Friluftsområden <sup>3)</sup>                      | 35 dB(A)                                                                        |
| Topografiskt ogynnsamma områden <sup>4)</sup>      | 35 dB(A)                                                                        |

- 1) Med **driftsmedelvärde** menas... (se avsnitt 4.1 i rapporten)
- 2) **Tydliga toner** bestäms genom att:
  - tonens ljudtrycksnivå bestäms,
  - ljudtrycksnivån hos det maskerande bredbandiga ljudet i det kritiska bandet omkring tonen bestäms,
  - skillnaden  $\Delta L_{tn}$  mellan tonens ljudtrycksnivå och ljudtrycksnivån i det kritiska bandet bestäms.

För bestämning av "tydliga toner" hänvisas till Rapport xxx "Mätning av ljud från vindkraftverk" avsnitt 7.7 "Bestämning av tonnivåer".
- 3) Med **friluftsområde** avses område i översiktsplan för det rörliga friluftslivet eller andra områden som nyttjas mer frekvent för friluftsliv där naturupplevelsen är en viktig faktor och där en låg bullernivå utgör en särskild kvalitet. Bakgrunds-nivån är låg och inga andra störande aktiviteter förekommer som t.ex. skjutbanor, fritidsbåtstrafik eller skoterleder.
- 4) Med **topografiskt ogynnsamma områden** avses områden där vindhastigheten vid bebyggelse är i storleksordningen 50 % lägre än vid vindkraftverket (vindkraftsanläggningen). I båda fallen avses vindhastigheten på 10 m höjd. Exempel är de fall där ett vindkraftverk (vindkraftsanläggning) står på en höjd och intilliggande bebyggelse i en dalsänka.

I tillämpningsanvisningarna i utkastet på allmänna råd står:

"Riktvärdena bör ses som utgångspunkt och vägledning för den individuella bedömning, som bör kunna göras i varje enskilt fall. Särskilda skäl kan medföra att avsteg kan behöva göras, såväl uppåt som nedåt, från de angivna riktvärdena.

Riktvärdena bör avse de högsta ljudnivåer som uppkommer vid hela anläggningen inklusive närliggande anläggningar."

### 3.2 Industri

Allmänna råden för externt industribuller, se [2], är under omarbetande. Nedan angivna riktvärden är från RR 1978:5 såsom de redovisas på Naturvårdsverkets webbplats i skrivande stund.

Värden avser frifältsvärden eller till frifältsvärden korrigerade värden, angivna som ekvivalent ljudnivå utomhus.

Om ljudet innehåller ofta återkommande impulser såsom vid nitningsarbete, slag i transportörer, lossning av järnskrot etc. eller innehåller hörbara tonkomponenter eller bådadåder skall för den ekvivalenta ljudnivån ett värde 5 dBA-enheter lägre än vad som anges i tabellen tillämpas.

**Tabell 4** Utomhusriktvärden för externt industribuller angivna som ekvivalent ljudnivå i dBA.

| <i>Områdesanvändning<sup>1)</sup></i>                                                                         | <i>Ekvivalent ljudnivå i dBA</i> |                                                                    |                          | <i>Högsta ljudnivå i dBA läge "FAST"</i>        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                                                                               | <i>Dag<br/>kl 07-18</i>          | <i>Kväll kl 18-22<br/>samt söndag och<br/>helgdag<br/>kl 07-18</i> | <i>Natt<br/>kl 22-07</i> | <i>Momentana ljud<br/>nattetid<br/>kl 22-07</i> |
| Arbetslokaler för ej bullrande verksamhet                                                                     | 60                               | 55                                                                 | 50                       | -                                               |
| Bostäder och rekreationsytor i bostäders grannskap samt utbildningslokaler och vårdbyggnader                  | 50                               | 45                                                                 | 40 <sup>2)</sup>         | 55                                              |
| Områden för fritidsbebyggelse och rörligt friluftsliv där naturupplevelsen är en viktig faktor. <sup>3)</sup> | 40                               | 35                                                                 | 35                       | 50                                              |

- 1) Vid de fall kringliggande område ej utgörs av angivna områdestyper bör bullervillkoren anges på annat sätt, t.ex. ljudnivå vid stadsplanegräns eller på ett visst avstånd från anläggningen.
- 2) Värdet för natt behöver ej tillämpas för utbildningslokaler.
- 3) Avser områden som planlagts för fritidsbebyggelse och rörligt friluftsliv.

Riktlinjerna avser verksamhet för hela dag-, kvälls- respektive nattperioder. I de fall verksamhet pågår endast del av en period bör den ekvivalenta ljudnivån beräknas för den tid under vilken verksamheten pågår. Till verksamhet räknas även utrustning som alstrar buller då annan industriverksamhet ej bedrivs, exempelvis fläktar.

Vid utbyggnad av befintlig industri bör utbyggnaden ej medföra att den totala ljudnivån från hela anläggningen höjs.

### 3.3 Vägtrafik

Målsättningen vid nybyggnad och väsentlig ombyggnad anges ”Bullerskyddsåtgärder - allmänna råd<sup>1)</sup> för Vägverket”, Vägverket Publikation 2001:88.

Riktvärdena för bostadsbebyggelse är antagna av riksdagen och således bindande när åtgärder vidtas. Övriga riktvärden är inte bindande. Allmänt gäller för samtliga riktvärden nedan att hänsyn skall tas till vad som är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt. I de fall utomhusnivån inte kan reduceras till nivåer enligt ovan bör inriktningen vara att inomhusvärdena inte överskrids.

Riktvärdena för utomhusmiljöer avser frifältsvärden utanför fönster/fasad eller till frifältsförhållanden korrigerade värden. Riktvärdena förutsätter vidare beräknade bullernivåer enligt den s.k. nordiska beräkningsmodellen. Vid bestämning av bullernivåer är beräkning normalt sett mer tillförlitliga än mätningar.

#### *Bostadsbebyggelse (permanent- och fritidshus)<sup>2)</sup>*

30 dBA ekvivalentnivå inomhus

45 dBA maximalnivå inomhus nattetid<sup>3)</sup>

55 dBA ekvivalentnivå utomhus (vid fasad)

70 dBA maximalnivå vid uteplats i anslutning till bostad<sup>4)</sup>

#### *Vårdlokaler och undervisningslokaler samt rekreationsytor i tätbebyggelse*

Utomhus: Riktvärde 55 dBA ekvivalentnivå (vid fasad för lokaler).

Inomhus vårdlokaler: Riktvärde 30 dBA ekvivalentnivå samt 45 dBA maxnivå (får överskridas högst fem gånger per natt (22-06)).

Inomhus undervisningslokaler: Riktvärde 30 dBA ekvivalentnivå.

#### *Arbetslokaler*

Utomhus: Riktvärde 65 dBA ekvivalentnivå vid fasad.

Inomhus: Riktvärde 40 dBA ekvivalentnivå.

#### *Friluftsområden*

Riktvärde: 40 dBA ekvivalentnivå.

#### *Bostadsområden med låg bakgrundsnivå*

Riktvärde: 45 dBA ekvivalentnivå.

- 1) Allmänna råd är regler som skiljer sig från föreskrifter genom att de inte är bindande. Som allmänna råd räknas t ex sådana regler som skall bidra till att praxis utvecklas i en viss riktning men som inte formellt binder den som råden är riktade till.
- 2) Med bostadsbebyggelse avses även vårdlokaler där vårdtagare vistas under bostadsliknande förhållanden.

- 3) Inget mer detaljerat uttalande från statsmakterna. Får enligt överenskommelse mellan trafikverken överskridas högst fem gånger per natt (22-06).
- 4) Inget mer detaljerat uttalande från statsmakterna. Vägverkets interna rekommendation (efter samråd med Boverket) är tillsvidare att riktvärdet får överskridas högst fem gånger per timme.

### 3.4 Spårburen trafik

Riktvärdena finns i följande skrift utgiven av Banverket: BULLER och VIBRATIONER från spårburen linjetrafik. Riktlinjer och tillämpning 2002-12-03 Dnr. S02- 4235/SA60. I skriften anges riktvärden för miljö kvalitet och åtgärdsnivåer för nybyggnad av bana vid bebyggelse, väsentlig ombyggnad av bana vid bebyggelse och befintlig miljö kring bana vid bebyggelse. Riktvärden anges för både buller och vibrationer. Här återges riktvärden för miljö kvalitet avseende ljud.

Tabell 5 Riktvärden för miljö kvalitet för spårbunden trafik

| Lokaltyp eller Områdestyp                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Ekvivalent ljudnivå i dB(A) för vardagsmedeldygn | Maximal ljudnivå dB(A) "fast" |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Permanentbostäder, fritidsbostäder och vårdlokaler</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                  |                               |
| Utomhus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 60 <sup>1)</sup> 55 <sup>2)</sup>                | 70 <sup>2)</sup>              |
| Inomhus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 30 <sup>6)</sup>                                 | 45 <sup>3)</sup>              |
| <b>Undervisningslokaler</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                  |                               |
| Inomhus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                  | 45 <sup>7)</sup>              |
| <b>Arbetslokaler</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                  |                               |
| Inomhus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                  | 60 <sup>5)</sup>              |
| <b>Områden med låg bakgrundsnivå</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                  |                               |
| Rekreationsytor i tätort                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 55 <sup>1)4)</sup>                               |                               |
| Friluftsområden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 40 <sup>1)4)</sup>                               |                               |
| <sup>1)</sup> Riktvärdena avser frifältsvärden eller till frifältsvärden korrekterade värden.<br><sup>2)</sup> Avser uteplats, särskilt avgränsat område.<br><sup>3)</sup> Avser utrymme för sömn och vila (sovrum) under tidsperioden 22.00–06.00 samt övriga bostadsrum (ej hall, förråd, WC etc).<br><sup>4)</sup> Avser områden med låg bakgrundsnivå.<br><sup>5)</sup> Avser arbetslokaler för tyst verksamhet.<br><sup>6)</sup> Avser boningsrum (ej hall, förråd och WC etc).<br><sup>7)</sup> Avser nivå under lektionstid. |                                                  |                               |

### 3.5 Sjöfart

Inga riktlinjer finns i Sverige för sjöfart i farleder.

Hamnar brukar bedömas som industriverksamhet. Då inkluderas fartygen när de ligger i hamn.

### 3.6 Byggplatser

Naturvårdsverket publicerade 2004 nya allmänna råd för buller från byggplatser, se Naturvårdsverkets allmänna råd om buller från byggplatser NFS 2004:15. Nytt är bland annat att riktvärden för ljud inomhus anges. När vindkraftverk byggs eller rivs ska allmänna råden för buller från byggplatser tillämpas.

**Tabell 6 Riktvärden för buller från byggplatser. Följande riktvärden bör tillämpas vid bedömning av bullerbegränsning vid byggplatser. Värdena för ekvivalent ljudnivå ( $L_{Aeq}$ ) är angivna som fri-fältsvärden under dag, kväll respektive natt. För permanentbostäder, fritidshus och vårdlokaler anges även ett värde för maximal ljudnivå (tidsvägning; Fast) ( $L_{AFmax}$ ) nattetid under tiden 22-07.**

| Område                                                | Helgfri måndag-fredag |           | Lördag, söndag och helgdag |           | Samtliga dagar |             |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|----------------------------|-----------|----------------|-------------|
|                                                       | Dag                   | Kväll     | Dag                        | Kväll     | Natt           |             |
|                                                       | 07-19                 | 19-22     | 07-19                      | 19-22     | 22-07          |             |
|                                                       | $L_{Aeq}$             | $L_{Aeq}$ | $L_{Aeq}$                  | $L_{Aeq}$ | $L_{Aeq}$      | $L_{AFmax}$ |
| <b>Bostäder för permanent boende och fritidshus</b>   |                       |           |                            |           |                |             |
| <i>Utomhus (vid fasad)</i>                            | 60 dBA                | 50 dBA    | 50 dBA                     | 45 dBA    | 45 dBA         | 70 dBA      |
| <i>Inomhus (bostadsrum)</i>                           | 45 dBA                | 35 dBA    | 35 dBA                     | 30 dBA    | 30 dBA         | 45 dBA      |
| <b>Vårdlokaler</b>                                    |                       |           |                            |           |                |             |
| <i>Utomhus (vid fasad)</i>                            | 60 dBA                | 50 dBA    | 50 dBA                     | 45 dBA    | 45 dBA         | -           |
| <i>Inomhus</i>                                        | 45 dBA                | 35 dBA    | 35 dBA                     | 30 dBA    | 30 dBA         | 45 dBA      |
| <b>Undervisningslokaler</b>                           |                       |           |                            |           |                |             |
| <i>Utomhus (vid fasad)</i>                            | 60 dBA                | -         | -                          | -         | -              | -           |
| <i>Inomhus</i>                                        | 40 dBA                | -         | -                          | -         | -              | -           |
| <b>Arbetslokaler för tyst verksamhet<sup>1)</sup></b> |                       |           |                            |           |                |             |
| <i>Utomhus (vid fasad)</i>                            | 70 dBA                | -         | -                          | -         | -              | -           |
| <i>Inomhus</i>                                        | 45 dBA                | -         | -                          | -         | -              | -           |

1) Med arbetslokaler menas lokaler för ej bullrande verksamhet med krav på stadigvarande koncentration eller behov att kunna föra samtal obesvärat, exempelvis kontor.

I de fall verksamhet pågår endast del av period bör den ekvivalenta ljudnivån beräknas för den tid under vilken verksamheten pågår - t.ex. under en sekvens/cykel för byggaktiviteter med intermittent buller (pålning, spontning, borrning etc.). För verksamhet med begränsad varaktighet, högst två månader, t ex spontning och pålning, bör 5 dBA högre värden kunna tillåtas. Vid enstaka kortvariga händelser, högst 5 minuter per timme, bör upp till 10 dBA högre nivåer kunna accepteras. Detta bör dock inte gälla kvälls- och nattetid. I de fall verksamheten är av begränsad art och även innehåller kortvariga händelser bör höjningen av riktvärdet få uppgå till sammanlagt högst 10 dBA.

### 3.7 Motorsportbanor

Allmänna råden för motorsportbanor och liknande reviderades nyligen. De redovisas i följande publikation från Naturvårdsverket: "Naturvårdsverkets allmänna råd om buller från motorsportbanor, halkövningsbanor och banor för provning av motordrivna fordon", NFS 2004:16.

**Tabell 7 Riktvärden för buller från motorsportbanor. Följande riktvärden angivna som maximala ljudnivåer i dBA frifältsvärden (tidsvägning; Fast) bör tillämpas vid bedömning om lämplig bullerbegränsning vid motorbanor**

| Område                                                             | Maximal ljudnivå i dBA "Fast"         |                                                            |                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                                                                    | Helgfri<br>måndag-lördag<br>kl. 07-19 | Kväll kl. 19-22<br>samt sön- och<br>helgdagar<br>kl. 07-19 | Natt kl. 22-07                                                  |
| <b>Bostäder för permanent boende och fritidshus</b><br>(vid fasad) | 60                                    | 55                                                         | Nattetid bör bullrande verksamhet inte förekomma vid motorbanor |
| <b>Vårdlokaler</b><br>(vid fasad)                                  | 55                                    | 50                                                         |                                                                 |
| <b>Undervisningslokaler</b><br>(vid fasad)                         | 55                                    | 50                                                         |                                                                 |
| <b>Friluftsområden<sup>1)</sup></b>                                | 55                                    | 50                                                         |                                                                 |

1) Med friluftsområde avses område i översiktsplan för det rörliga friluftslivet eller andra områden som nyttjas mer frekvent för friluftsliv där naturupplevelsen är en viktig faktor och där en låg bullernivå utgör en särskild kvalitet. Bakgrundsnivån är låg och inga andra störande aktiviteter förekommer som t.ex. skjutbanor, fritidsbåtstrafik eller skoterleder.

Värdena bör gälla utomhus vid de i tabellen angivna byggnaderna respektive inom friluftsområden. Värdena beräknas som frifältsvärden (ej påverkade av reflexer).

### 3.8 Skjutbanor

Riktvärden för buller från skjutbanor anges i Buller från skjutbanor - allmänna råd, SNV RR 1981:2. Råden är under omarbetning. Riktvärdena för impulsljuden anges i dBAI för finkalibriga vapen och i dBLCx för grovkalibriga vapen. Värdena anges ej här. De är ej jämförbara med det mer eller mindre stationära ljudet från vindkraftverk.

### 3.9 Flygtrafik

Luftfartsverket, Naturvårdsverket och Försvarsmakten har i regeringsuppdrag 1995-06-30 angett följande riktvärden för buller från flygtrafik enligt Naturvårdsverkets hemsi-  
da.

Tabell 8 Riktvärden för flygbuller

| Områdestyp                                             | Ekvivalent ljudnivå i dBA för dygn (FBN) | Maximal ljudnivå i dBA |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|
| Utomhus                                                |                                          |                        |
| Permanentbostäder, fritidsbostäder                     | 55 <sup>1)</sup>                         | 70 <sup>1)</sup>       |
| Inomhus                                                |                                          |                        |
| Permanentbostäder, fritidsbostäder                     | 30                                       | 45                     |
| Undervisningslokaler                                   | 30                                       | 45                     |
| Utomhus där tystnad är en väsentlig del av upplevelsen |                                          |                        |
| Friluftsområde avsatt i kommunal översiktsplanering    | 40 <sup>2)</sup>                         | -                      |

- 1) Riktvärdena avser frifältsvärde utanför fönster/fasad eller till frifältsförhållanden korrigerade värden
- 2) Luftfartsverket och Försvarsmakten har motsatt sig angivande av detta riktvärde. Riktvärdena stämmer med riktvärdena antagna av Sveriges Riksdag.

### 3.10 Buller inomhus i befintliga bostäder

Socialstyrelsen har nyligen reviderat allmänna råden om buller inomhus, se Socialstyrelsens allmänna råd SOSFS 2005:6 (M) för "Buller inomhus".

Dessa riktvärden bör tillämpas vid bedömningen av om olägenhet för människors hälsa föreligger. Såväl värdena i Tabell 9 som Tabell 10 bör beaktas vid bedömningen.

**Tabell 9 Socialstyrelsens riktvärden för buller inomhus**

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| Maximalt ljud $L_{AFmax}^{1)}$             | 45 dB |
| Ekvivalent ljud $L_{AeqT}^{2)}$            | 30 dB |
| Ljud med hörbara tonkomponenter $L_{AeqT}$ | 25 dB |
| Ljud från musikanläggningar $L_{AeqT}$     | 25 dB |

1) Den högsta A-vägda ljudnivån.

2) Den A-vägda ekvivalenta ljudnivån under en viss tidsperiod (T).

**Tabell 10 Socialstyrelsens riktvärden för lågfrekvent buller**

| <i>Tersband (Hz)</i> | <i>Ljudtrycksnivå (dB)</i> |
|----------------------|----------------------------|
| 31,5                 | 56                         |
| 40                   | 49                         |
| 50                   | 43                         |
| 63                   | 41,5                       |
| 80                   | 40                         |
| 100                  | 38                         |
| 125                  | 36                         |
| 160                  | 34                         |
| 200                  | 32                         |

## 4 Beskrivning av konsekvenser av Naturvårdsverkets förslag

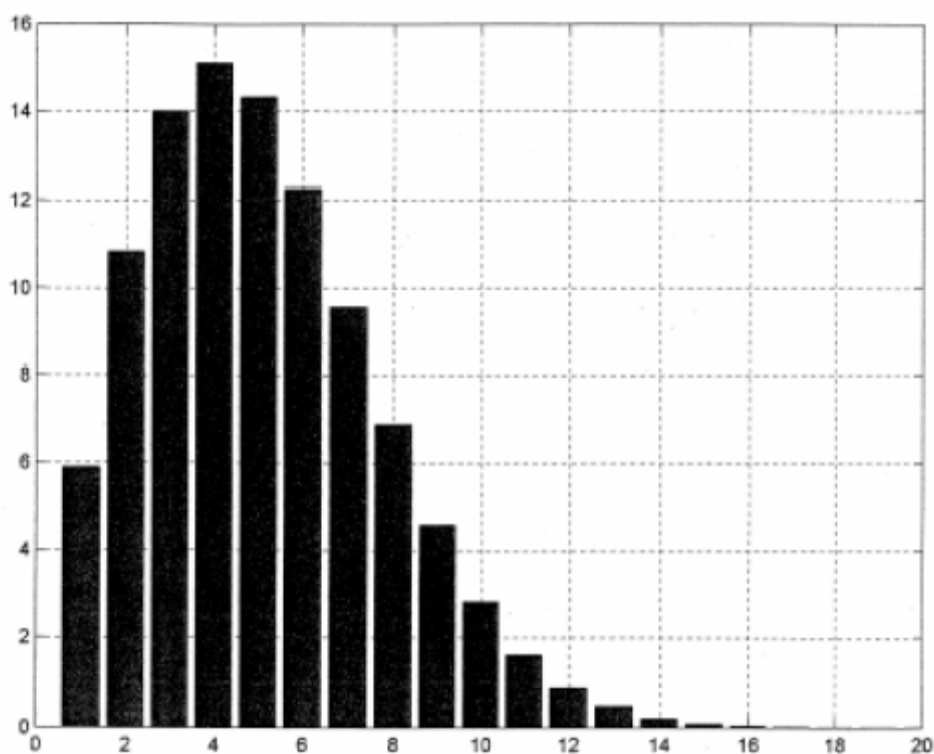
### 4.1 Driftsmedelvärde

Driftsmedelvärde förklaras så här i utkastet till allmänna råd [1]:

”Med *driftsmedelvärde* avses ett förhandsberäknat medelvärde av den ekvivalenta ljudnivån under den tid aggregatet eller aggregaten är i drift. Medelvärdet bestäms med avseende på förekommande vindhastigheter, och i fallet havsbaserade aggregat också vindriktningar.

Vindfördelningen (vindriktning och vindhastighet), som avser en punkt vid aggregatet eller aggregaten, bör vara grundad på platsspecifik vindstatistik, som tas fram från mätningar på den aktuella platsen eller genom avancerad modellering.

Andel av tiden i %



Vindhastighet mätt på 10 m höjd

Figur 1 Exempel på redovisning av förekommande vindhastigheter. Längs x-axeln visas vindhastigheten; längs y-axeln förekomst i %. Redovisningen avser ett medelvärde över perioden 1980 - 1988 vid Näsudden.

Vindhastigheterna är indelade i klasser, s.k. bins, där varje klass har bredden 1 m/s och är centrerad kring ett heltalsvärde av vindhastigheten. Driftsmedelvärde av ljudeffekten  $L_{WA,dmv}$  från ett aggregat definieras nu som

$$L_{WA,dmv} = 10 \log \left[ \frac{t_6 10^{L_6/10} + t_7 10^{L_7/10} + t_8 10^{L_8/10} + t_9 10^{L_9/10} + t_{10} 10^{L_{10}/10}}{\sum_6^{10} t_n} \right],$$

där  $t_6$  är den andel av tiden som vindhastigheten ligger i intervallet 5,5 - 6,5 m/s (mätt på 10 m höjd) och där övriga  $t_n$  definieras på analogt sätt. Om aggregatet startar vid en vindhastighet som är lägre än 5,5 m/s, inkluderas den andel av tiden som vindhastigheten ligger kring 5 m/s i  $t_6$ . Är starthastigheten lägre än 4,5 m/s inkluderas analogt också den andel av tiden som ligger kring 4 m/s osv. Den andel av tiden där vindhastigheten ligger över 10,5 m/s inkluderas på analogt sätt i  $t_{10}$ .

I ekvationen ovan är vidare  $L_6$  den "immissionsrelevanta ljudeffekten" ( $L_{WA}$  enligt IEC 61 400-11 plus korrektion med hänsyn till råketslängden på platsen) vid vindhastigheten 6 m/s mätt på 10 m höjd vid aggregatet.  $L_7$  o.s.v. definieras på analogt sätt.

För att bestämma årsmedelvärdet av ljudnivån i närheten av de boende används samma ekvation som för ljudeffekten;  $L_6$  är då den aktuella ljudnivån. Vindhastigheten är också här den vid aggregatet.

Vid **havsbaseade aggregat** beräknas driftsmedelnivån för en grupp av aggregat genom att man låter  $t_6$  etc. avse den tid som det blåser med aktuell vindhastighet inom en sektor  $\pm 45^\circ$  relativt förbindningslinjen mellan källa och mottagare, d.v.s. under medvindsförhållanden."

Några kommentarer:

Driftsmedelvärde är enligt Naturvårdsverket ett förhandsberäknat medelvärde av den ekvivalenta ljudnivån under den tid aggregaten eller aggregatet är i drift. Det tar hänsyn till drifttid, vindstyrka och vindriktning (bara till havs) för att beräkna ljudimmission i en eller flera punkter eller för beräkning av en korrigerad ljudemission.

Tidigare har Naturvårdsverket anvisat att ljudimmissionen ska beräknas och mätas för vindhastigheten 8 m/s på 10 m höjd, se Naturvårdsverket rapport 6241.

Naturvårdsverkets lansering av det nya begreppet driftsmedelvärde är ett tankesteg i rätt riktning genom att, jämfört med tidigare praxis, bättre ta hänsyn till bullervariationer under drift. Det finns dock även invändningar, vilket visas i det följande.

Naturvårdsverkets förslag till allmänna råd för ljud från vindkraft bör samordnas med tankegången i Naturvårdsverkets förslag till allmänna råd för externt buller från industriell verksamhet, se [29].

Följande text är hämtad från [29]:

*(1) "Till verksamhet räknas även utrustning som alstrar buller då annan industriverksamhet ej bedrivs, exempelvis fläktar. ..." (sid 1)*

*(2) "Mätningen bör utföras så att alla signifikanta variationer i ljudutstrålning och ljudutbredning beaktas och att ekvivalentnivån  $L_{Aeq}$  för referenstidsintervallet ( $T_R$ ) kan bestämmas.. ..." (sid 9)*

*(3) "Om verksamheten har ett antal beskrivbara drifttillstånd bör detta faktum utnyttjas så att  $L_{Aeq}$  bestäms för varje sådant tillstånd. Fördelen med detta är att  $L_{Aeq}$  för  $T_R$  respektive  $T_v$  kan bestämmas med driftstatistik som grund och att dessutom varje drifttillstånd  $L_{Aeq}$  blir observerad och registrerad. ..." (sid 9)*

Referenstidsintervallet är tidsintervall för dag, kväll eller natt.  $T_v$  är verksamhetstidsintervallet, dvs den tid då verksamheten för en anägning eller maskin pågår.

De, enligt remissförslaget till allmänna råd för externt buller från industriell verksamhet, (3) ovan, för vindkraftverk beskrivbara och reproducerbara drifttillstånden är naturligtvis driften i olika vindhastighetsintervall, t ex 5,5 - 6,5 m/s, 6,5 - 7,5 m/s osv, i överensstämmelse med de "bins" som Naturvårdsverkets förslag innehåller.

Dagens vindkraftverk börjar oftast producera el vid en vindhastighet av 3-4 m/s, mätt på navhöjd. Turbinen roterar dock ned till en vindhastighet av ca 2 m/s, och alstrar därvid också något ljud. Normalt sett är girmaskineriet verksamt vid ännu lägre vindhastigheter, ca 1 m/s, för att turbinen skall följa vindriktningen och kunna dras igång när vinden blir tillräcklig. Girmaskineriet är elektriskt eller hydrauliskt och vid vissa konstruktioner uppbyggda så att vissa av girbromsarna är aktiverade även under girning, i avsikt att ge girningen nödvändig dämpning. Denna bromsning har i vissa fall gett ett avsevärt buller som medfört berättigade klagomål. Med referens till (1) ovan blir en slutsats av detta att ljudnivån från vindkraftverket bör beaktas vid drifttillstånd från och med att girmaskineriet görs aktivt, alternativt att andra ljudalstrande anordningar i vindkraftverket startas.

I utkastet till allmänna råd [1] beaktas variationer i källbullervärdet upp till 10 m/s (mätt på 10 m höjd, se nedan), varefter bulleralstringen anses konstant. En första invändning mot detta synsätt är att det inte beaktar fall där bulleralstringen sjunker med ökande vindhastighet. Se exempelvis Vestas V90, [30].

Formlerna är lätta att använda. Driftsmedelvärdet ger minst skillnad mot den hittills använda metoden under statistiskt normala förhållanden, dvs. alla faktorer som ingår skall helst vara normalfördelade och helst skall vindstyrkan vara jämt fördelad runt 8 m/s.

Exempel: Om vindstyrkan är fördelad runt 10 m/s får man ett för lågt beräknat värde jämfört med en verklig årsekvivalent nivå med medvind. Det beror på att tiden då vinden är ovanför ”bin 10” räknas in. Amplituden är maximerad till uträknad nivå för 10 m/s.

Omvänt förhållande blir det om vindstyrkan är fördelad runt 6 m/s, då blir beräknad nivå för hög jämfört med en verklig årsekvivalent nivå med medvind. Många vindkraftverk kan köras under 6 m/s och all den tiden läggs till ”bin 6” men inte dess amplitud.

Metoden gynnar vindkraftverk vars ljudeffektnivå ökar med vindhastigheten. I formeln för driftsmedelvärde är den maximala ljudeffektnivån aldrig högre än den vid 10 m/s.

Metoden missgynnar verk med låg ljudemission under 6 m/s, genom att beräknad ljudnivå sätts lika med driftsförhållanden för 6 m/s.

Här är fyra exempel på beräknat driftsmedelvärde för olika vind- och ljudeffektfördelningar. Ljudeffekterna är korrigerade för markrähet och navhöjd. Gemensamt för vindkraftaggregaten är att de startar vid 4 m/s.

**Tabell 11 Exempel på beräknat driftsmedelvärde för olika vind- och ljudeffektfördelningar. Vindkraftverk 1,3 MW, pitchreglerat, standardljudeffekt 109,2 dBA re 1 pW vid 8 m/s på 10 m, vindfördelning från Västkusten. Ljudeffekten har korrigerats för annan markrähet än standard.**

| Vindhastighet<br>mätt på 10 m<br>höjd<br>m/s                       | 6                                     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Andel av tiden, %                                                  | 32,5                                  | 10,9  | 9,9   | 8,5   | 23,8  |
| $L_{WA, \text{kor}} \text{ dBA re 1 pW}$                           | 104,9                                 | 107,5 | 108,7 | 109,5 | 109,2 |
| Driftsmedelvärde,<br>dB                                            | 107,7                                 |       |       |       |       |
| Skillnad mot<br>$L_{WA, \text{kor}}$ för 8 m/s<br>på 10 m höjd, dB | -1,0, dvs. driftsmedelvärdet är lägre |       |       |       |       |

**Tabell 12 Exempel på beräknat driftsmedelvärde för olika vind- och ljudeffektfördelningar. Vindkraftverk 1 3 MW, pitchreglerat, standardljudeffekt 109,2 dBA re 1 pW vid 8 m/s på 10 m, vindfördelning från Gotland. Ljudeffekten har korrigerats för annan markrähet än standard.**

|                                                             |                                       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Vindhastighet<br>mätt på 10 m<br>höjd<br>m/s                | 6                                     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| Andel av tiden, %                                           | 30,1                                  | 10,8  | 10,1  | 9     | 26,9  |
| $L_{WA,korr}$ , dBA re 1<br>pW                              | 104,9                                 | 107,5 | 108,7 | 109,5 | 109,2 |
| Driftsmedelvärde,<br>dB                                     | 107,9                                 |       |       |       |       |
| Skillnad mot<br>$L_{WA,korr}$ för 8 m/s<br>på 10 m höjd, dB | -0,8, dvs. driftsmedelvärdet är lägre |       |       |       |       |

**Tabell 13 Exempel på beräknat driftsmedelvärde för olika vind- och ljudeffektfördelningar. Vindkraftverk 2 2,3 MW, pitchreglerat, standardljudeffekt 105,1 dBA re 1 pW vid 8 m/s på 10 m, vindfördelning från Gotland. Ljudeffekten har korrigerats för annan markrähet än standard.**

|                                                             |                                       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Vindhastighet<br>mätt på 10 m<br>höjd<br>m/s                | 6                                     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| Andel av tiden, %                                           | 30,1                                  | 10,8  | 10,1  | 9     | 26,9  |
| $L_{WA,korr}$ , dBA re 1<br>pW                              | 103                                   | 104,4 | 104,6 | 104,4 | 104,3 |
| Driftsmedelvärde,<br>dB                                     | 104,0                                 |       |       |       |       |
| Skillnad mot<br>$L_{WA,korr}$ för 8 m/s<br>på 10 m höjd, dB | -0,6, dvs. driftsmedelvärdet är lägre |       |       |       |       |

**Tabell 14 Exempel på beräknat driftsmedelvärde för olika vind- och ljudeffektfördelningar. Vindkraftverk 3 2,75 MW, pitchreglerat, standardljudeffekt 105,4 dBA re 1 pW vid 8 m/s på 10 m, vindfördelning från Gotland. Ljudeffekten har korrigerats för annan markrähet än standard.**

|                                                             |                                                                       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Vindhastighet<br>mätt på 10 m<br>höjd<br>m/s                | 6                                                                     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| Andel av tiden, %                                           | 30,1                                                                  | 10,8  | 10,1  | 9     | 26,9  |
| $L_{WA,korr}$ , dBA re 1<br>pW                              | 103,6                                                                 | 104,5 | 104,9 | 105,9 | 105,9 |
| Driftsmedelvärde,<br>dB                                     | 104,9                                                                 |       |       |       |       |
| Skillnad mot<br>$L_{WA,korr}$ för 8 m/s<br>på 10 m höjd, dB | 0,0, dvs. driftsmedelvärdet är lika med värdet för 8 m/s på 10 m höjd |       |       |       |       |

**Tabell 15 Exempel på beräknat driftsmedelvärde för olika vind- och ljudeffektfördelningar. Vindkraftverk 4 0,85 MW, pitchreglerat, ljudeffekt från Klug i Bilaga C.3, vindfördelning från Väst-kusten, Ljudeffekten har inte korrigerats för markrähet.**

|                                                             |                                       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Vindhastighet<br>mätt på 10 m<br>höjd<br>m/s                | 6                                     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| Andel av tiden, %                                           | 32,5                                  | 10,9  | 9,9   | 8,5   | 23,8  |
| $L_{WA,korr}$ , dBA re 1<br>pW                              | 98,8                                  | 100,0 | 101,1 | 101,5 | 101,1 |
| Driftsmedelvärde,<br>dB                                     | 100,2                                 |       |       |       |       |
| Skillnad mot<br>$L_{WA,korr}$ för 8 m/s<br>på 10 m höjd, dB | -0,9, dvs. driftsmedelvärdet är lägre |       |       |       |       |

**Tabell 16 Exempel på beräknat driftsmedelvärde för olika vind- och ljudeffektfordelningar. Vindkraftverk 5 1,3 MW, stallreglerat, ljudeffekt från Klug i Bilaga C.3, vindfordelning från Västkusten. Ljudeffekten har inte korrigerats för markråhet**

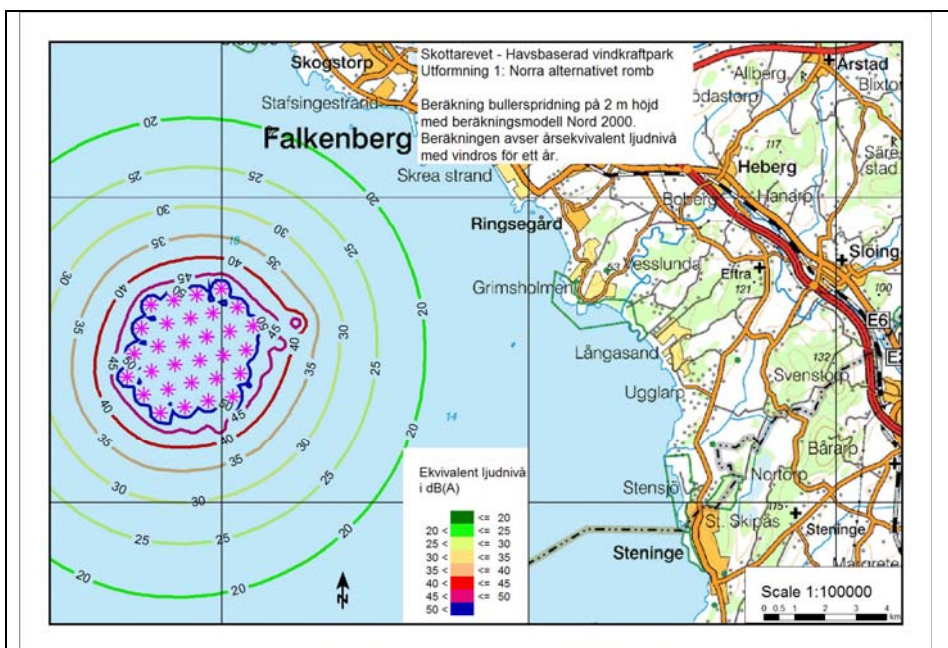
|                                                                    |                                       |      |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------|-------|-------|-------|
| Vindhastighet<br>mätt på 10 m<br>höjd<br>m/s                       | 6                                     | 7    | 8     | 9     | 10    |
| Andel av tiden, %                                                  | 32,5                                  | 10,9 | 9,9   | 8,5   | 23,8  |
| $L_{WA, \text{kor}}$ , dBA re 1<br>pW                              | 98,6                                  | 99,6 | 100,8 | 102,4 | 104,1 |
| Driftsmedelvärde,<br>dB                                            | 101,5                                 |      |       |       |       |
| Skillnad mot<br>$L_{WA, \text{kor}}$ för 8 m/s<br>på 10 m höjd, dB | +0,7, dvs. driftsmedelvärdet är högre |      |       |       |       |

Skillnaderna är således små. I de fem första testexemplen, som är pitchreglerade vindkraftverk, blir driftsmedelvärdet 0 – 1 dB lägre än värdet för 8 m/s på 10 m höjd. För ett stallreglerat verk blir driftsmedelvärdet något högre än det hittills använda sättet att bestämma nivån.

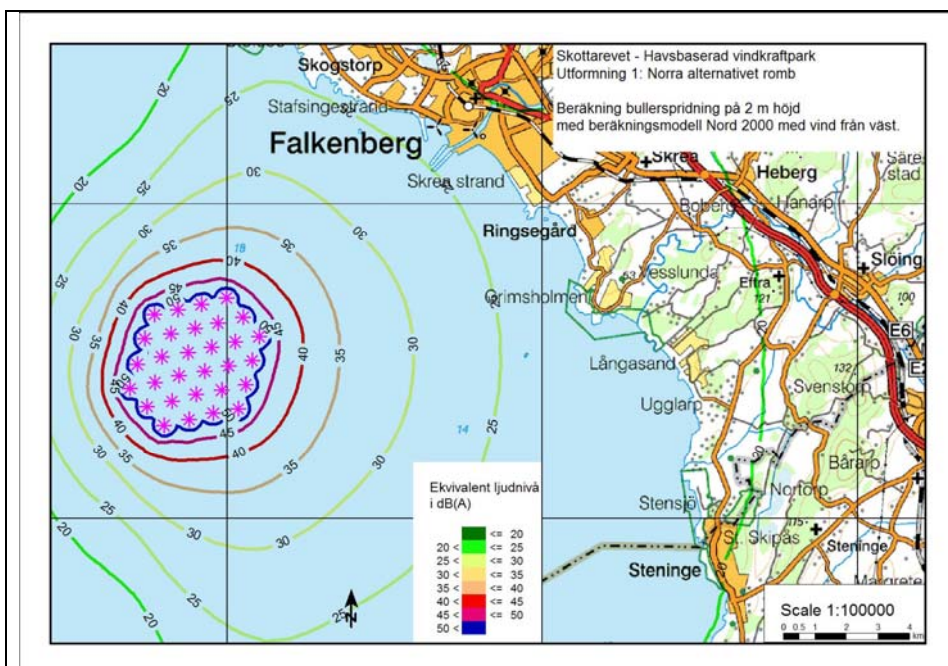
En fördel med driftsmedelvärdet är att det är ett steg på vägen mot en årsekvivalent nivå. Det är dock inte ett riktigt beräknat årsekvivalent värde där man tar hänsyn till att ljudimmissionen normalt blir olika för olika vindriktningar och att det finns perioder då vindkraftverket står stilla. Ett sådant tillämpas i Norge vid planläggning. Driftsmedelvärdet skulle också kunna anges för dag, kväll och natt liksom med årsvariationer.

En nackdel med driftsmedelvärdet är att det är svårt att förklara för den som bor i närheten av ett vindkraftverk och riskerar att bli störd.

Exempel på beräkning av ett årsekvivalent värde baserat på att det blåser 8 m/s på 10 m höjd med fördelning av vindriktningar enligt utredning på plats visas för Skottarevets vindkraftpark, se nedanstående figur. Beräkningen har här skett med Nord 2000 som möjliggör beräkning med olika vindriktningar. Motsvarande beräkningsresultat för västlig vind och östlig vind visas i följande figurer.



**Figur 2** Beräkning med Nord 2000 av ett årsekvivalent värde baserat på att det blåser 8 m/s på 10 m höjd med fördelning av vindriktningar enligt utredning på plats.



**Figur 3** Exempel på beräkning med Nord 2000 för vind från väst med 8 m/s på 10 m höjd.



## 4.2 Immissionsberäkning kontra immissionsmätning

Så här står det i utkastet från i maj 2005 för de allmänna råden

”Verksamhetsutövaren till en anläggning där ljud från vindkraftverk uppkommer bör

Bullerberäkningar ger oftast ett mera tillförlitligt resultat än mätningar och bör därför i

Bullermätningar bör också genomföras för att kontrollera ljudnivåer i omgivningen från

I utkastet till allmänna råd är Naturvårdsverket således berett att föreslå beräkningar

Den beräkningsmodell som Naturvårdsverket föreslår maj 2005 för ljudutbredning över mark stämmer ganska väl med beräkning enligt den nordiska beräkningsmodellen för externt industribuller, ”General prediction method”, 1982 under förutsättning av hård plan mark. Den stämmer också bra med Nord 2000 som är efterföljaren till ”GPD”-modellen under samma förutsättningar. Modellen innehåller viss säkerhetsmarginal eftersom man kan få markdämpning och skärmdämpning i praktiken. Om man räknar istället för att mäta väntas i de flesta fall leda till små konsekvenser för landbaserad vindkraft. Det kan finnas fall där ljudet från planerad vindkraft skärmas av ett berg. Vi har minst ett sådant exempel från Bohuslän. I ett sådant fall borde det, i en tillståndsanmälan, vara tillåtet att föra fram en beräknad ljudimmission som blir lägre än den beräknad enligt Naturvårdsverkets modell för ljudutbredning över land.

I slutändan, i ett eventuellt kontrollprogram för anläggningen, bör det vara uppmätt ljudimmission som är avgörande. Personer som tycker sig vara utsatta för störande ljud kan ha svårt att acceptera ett beräknat värde. Ett mätvärde kan vara lättare att acceptera om man litar på den som gjort mätningen.

När det gäller havsbaserad vindkraft kan konsekvenserna bli betydligt större. Se artikel från Hallands Nyheter 12 december 2005 i bilaga B. Om Naturvårdsverkets beräkningsmodell för ljudutbredning över hav ska användas vid beräkning av immissionsljudnivå vid tillståndsprövning av planerade havsbaserade vindkraftverk, och om tillståndsmyndigheter går på den linjen kommer anläggningar såsom Skottarevets vindkraftspark inte att tillåtas. Se även nästa avsnitt.

Formuleringen i utkastet till allmänna råd bör ändras så att det framgår tydligare att vid en planeringssituation ska beräknade värden presenteras och vid kontroll av ett uppfört vindkraftverk ska immissionsmätningar genomföras i första hand. Vid en sådan mätning kan det visa sig att nivån är så låg jämfört med bakgrundsnivån att det bara går att bestämma en övre gräns för ljudimmissionen. I sådana fall får ljudmätningen utföras som en ljudemissionsmätning kombinerad med ljudutbredningsberäkning.

#### **4.3 Förutsättningar för ljudutbredningsmodell med cylindrisk spridning**

Naturvårdsverket, Boverket och Energimyndigheten anvisar i rapport 6241 ”Ljud från vindkraftverk” från december 2001, se [6], att ljudimmission ska beräknas med en särskild beräkningsmodell för ljudutbredning över vatten. Naturvårdsverkets beräkningsmodell för havsbaserade vindkraftverk utgår på förekomst av vindar med ett stort språng i vindhastighet på några hundra meters höjd, se [8].

Naturvårdsverkets modell för havsbaserade vindkraftverk är hittills inte tillräckligt verifierad. I rapporten som beskriver beräkningsmodellen sägs: ”För havsbaserade aggregat redovisas en preliminär modell som primärt är avsedd för stora avstånd.” Vidare sägs: ”Teoretiskt korrekta beräkningsmodeller som är validerade gentemot mätvärden saknas på avstånd som är mer än några hundra meter. I brist på sådana modeller beräknas ljudnivån i immissionspunkten på följande sätt (modellen bygger på vissa, men få, svenska, danska och holländska mätdata). Denna beräkningsmodell ger en övre gräns för vad ljudet kan tänkas uppgå till.” Modellen tycks således vara anvisad för att beskriva ett

”värsta fall”. Det är en vällovlig ansats som ger förutsättningar för att inga anläggningar planeras som kan ge ljud som uppfattas som störande vid något tillfälle. Problemet, som illustreras i Bilaga B, är att det kan leda till att anläggningar som med stor sannolikhet kommer att ge en acceptabel ljudnivå inte ges tillstånd. Nedan kommenteras de svenska, från Maglarp, och de danska, från Saltholm och Amager, mätdata. De holländska har vi inte tillgång till. Vidare refereras en ny dansk analys och delresultat från ljudutbredningsmätningar i Kalmarsund analyseras och kommenteras i relation till beräkningsmodellen. Ett amerikanskt arbete om ljudutbredning vid mycket låga frekvenser, och som delvis ligger till grund för den svenska havsbaserade modellen, se [8], beskrivs också.

Beräkningsmodellens förutsättning är, enligt rapporten [6]: “Det förekommer dock tillfällena, då det är vindstilla eller mycket låg vind vid marken samtidigt som vindhastigheten på vindkraftverkets navhöjd är åtskilliga m/s högre. Denna kraftigare vindhastighetsgradient kan också förstärkas genom förekomst av low level jet, som är ett vertikalt vindmaximum i de lägsta hundra metrarna.”

I modellen räknas med sfärisk spridning upp till 200 m och därefter cylindrisk spridning fram till strandkanten. Havsytan ger en dB förstärkning jämfört med fritt fält utan markyta. Normalt brukar 3 dB förstärkning användas. När ljudet kommer från havet in över mark, reduceras det med upp till 2 dB om marken antas hård och upp till 4 dB om marken antas mjuk i [9]. Luftabsorption med fasta koefficienter, uttryckta i dB/m, i oktavbanden 63 – 4000 Hz ger en dämpning som ökar med frekvensen. Koefficienterna är mindre än vad som normalt brukar anges. Luftabsorptionen vid 15°C och relativa luftfuktigheten 70 % brukar användas, se t ex [21]. Vid 250 Hz och 10 km avstånd blir dämpningen 5 dB lägre, dvs. beräknad ljudnivå blir 5 dB högre än med det antagande som normalt används. I följande tabell visas koefficienterna och den beräknade skillnaden i ljudnivå på 10 km avstånd.

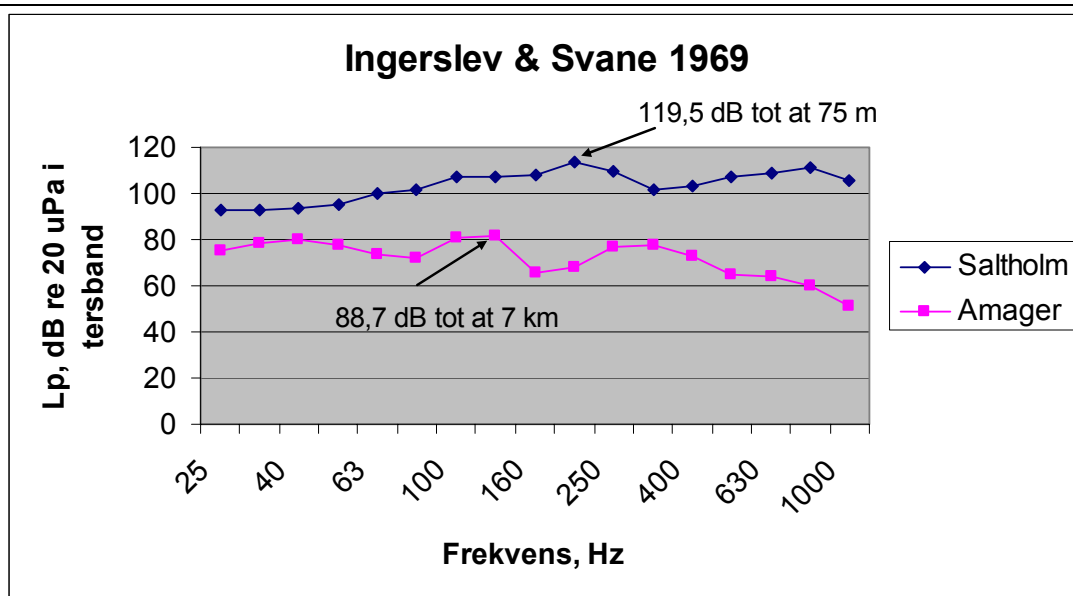
**Tabell 17 Dämpning av ljud vid utbredning i atmosfären. Jämförelse med Naturvårdsverkets val av koefficienter och koefficienter enligt SS-ISO 9813.1 vid 15°C och RH 70 %. Naturvårdsverkets antagande ger högre beräknad ljudnivå.**

| Frekvens Hz                                          | 63      | 125     | 250     | 500     | 1000    | 2000    | 4000   |
|------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Luftabsorption dB/m enligt [9]                       | 0,0001  | 0,0003  | 0,0006  | 0,0014  | 0,0032  | 0,0079  | 0,0220 |
| Luftabsorption vid 15°C och RH 70 % dB/m enligt [28] | 0,00010 | 0,00038 | 0,00113 | 0,00236 | 0,00408 | 0,00875 | 0,0264 |
| Skillnad på 10 km avstånd dB                         | 0       | 1       | 5       | 10      | 9       | 8       | 6      |

I SOU 1993:65, ”Handlingsplan mot buller” [10], Bilaga 14 sidan 18, tar man upp inverkan av vinden. Man hänvisar till VDI 2714 ”Schallausbreitung im Freien”, 1986. Där anges att ovanligt god ljudutbredning, som uppträder bara kort tid, kan ge 3 dB ökning jämfört med vanliga medvindsförhållanden på avstånd över 1000 m. Sidovind och motvind sägs ge 7 - 20 dB lägre ljudnivå än vanlig medvind. Ökningen 3 dB är

mycket måttlig jämfört med de 15 – 20 dB som low-level jets i riktning från hav till land skulle ge för Skottarevet vindkraftpark.

Ingerslev & Svane, se [13] och [14], har undersökt ljudutbredning över vatten från Salt-holm till Amager i Köpenhamn. Ljudkällan var ett jetflygplan. Spektrum visas i följande diagram.



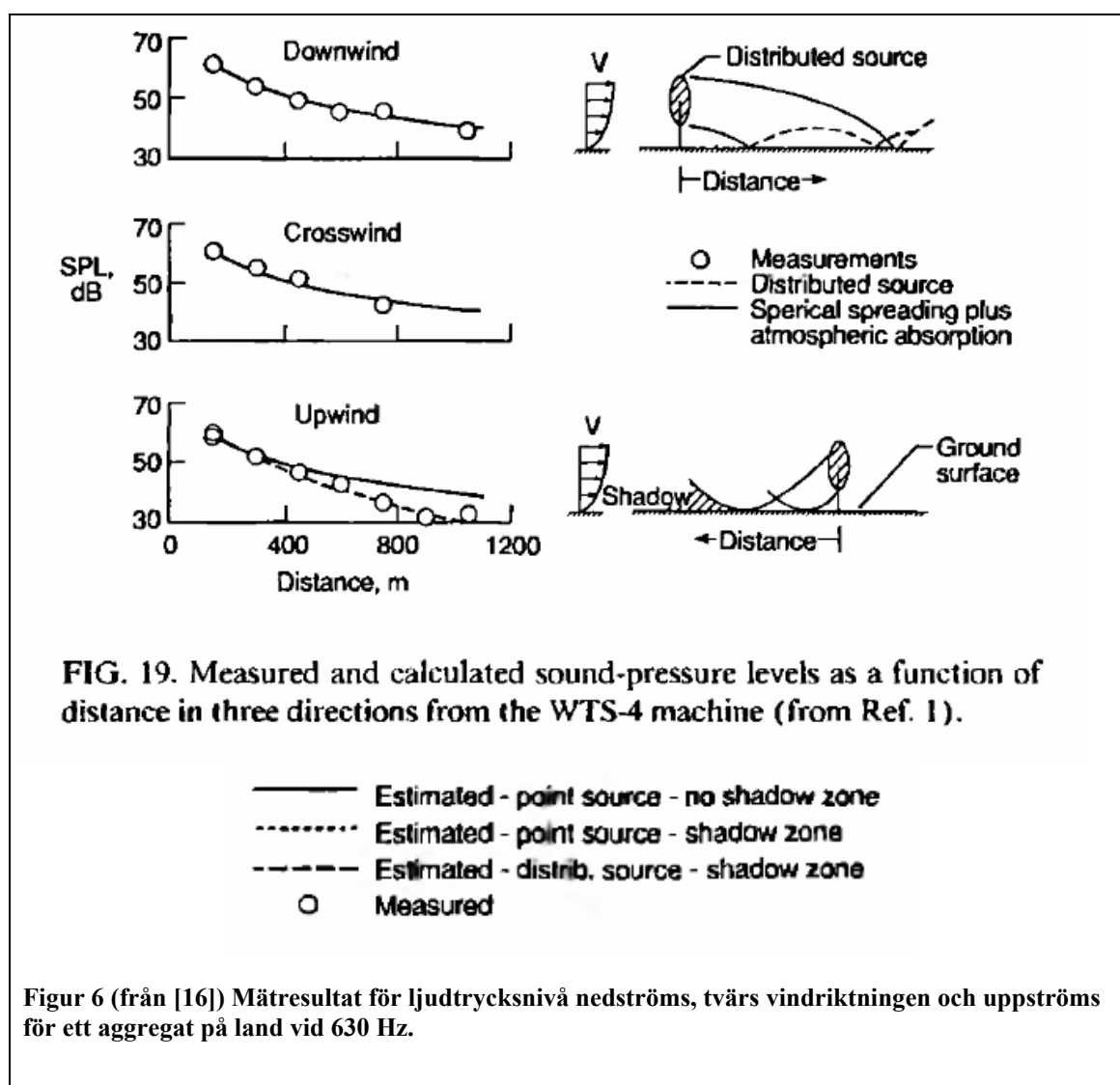
Figur 5 (efter [14]) Spektrum för jetflygplansljudet i Ingerslevs och Svanes undersökning 1969

Enligt Ingerslevs & Svanes utvärdering är avståndsdämpningen på grund av geometrisk spridning 5 dB/avståndsdubbling över vatten i medvind. För att kunna kontrollera det behövs uppgift om temperaturen, luftfuktigheten och ljudnivån vid respektive strandlinje. De uppgifterna saknas. Över land var lutningen 29 dB. I motvind erhöles mycket låga ljudnivåer på land. Författarna förklarar att avståndsdämpningen blir mindre än 6 dB per avståndsdubbling på grund av multipla ljudstrålar från källa till mottagare.

Ett underlag för Naturvårdsverkets beräkningsmodell för ljudutbredning över hav är ljudmätningar som gjorts vid Maglarp av IFM Akustikbyrå 1984. De refereras i [15]. I figur 12 i [15] återges ett diagram med mätningar av ljudtrycksnivån på avstånd upp till 1800 m i oktavbandet 31,5 Hz vilket är en låg frekvens. I detta diagram finns 3 mät-punkter som pekar på cylindrisk spridning och 3 mät-punkter som pekar på sfärisk spridning. För den A-vägda nivå styrker mätresultaten upp till 500 m hypotesen om sfärisk spridning.

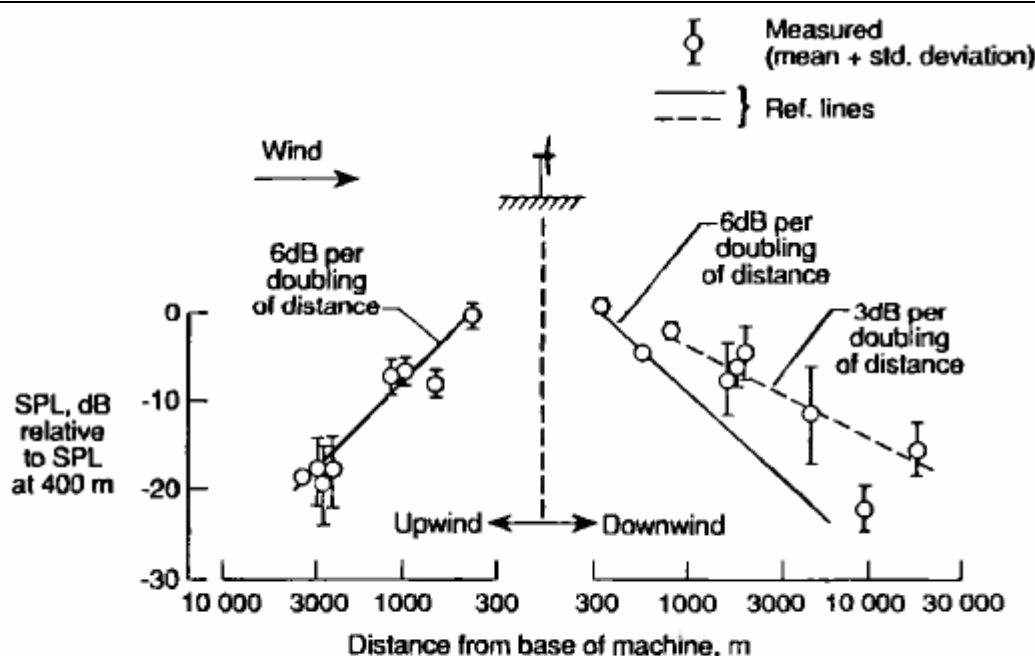
Andra resultat som hänvisas till vid framtagandet av Naturvårdsverkets modell för ljudutbredning över hav är en artikel av Hubbard & Sheperd [16]. I denna redovisas en metod att beräkna ljudtrycksnivån vid bladpassagefrekvensen och några övertoner och låg-frekvent bredbandig nivå. Beräkningsresultaten jämförs med mätresultat från anläggningar i USA.

Refraktionen, dvs. böjningen av ljudstrålarna, orsakad av vindhastighets- och temperaturgradienter i höjddled ger upphov till olika fenomen nedströms och uppströms. Vid höga frekvenser nedströms och tvärs vindriktningen följer ljudutbredningen sfärisk spridning. Uppströms uppstår en skuggzon i vilken 0 – 30 dB lägre ljudnivå än sfärisk spridning kan erhållas. Dämpningen i skuggzonen beror av frekvens och djup i skuggzonen. Vid 63 Hz väntas skuggzonsdämpningen bli upp till 6 dB och vid 1000 Hz 30 dB. Slutsatserna exemplifieras med mätresultat vid 630 Hz upp till ca 1000 m från ett 4,2 MW-verk med navhöjden 80 m och rotern placerad nedströms tornet. Se nedanstående figur.



Man har kunnat mäta ljudtrycksnivån på stora avstånd, upp till ca 20 000 m vid mycket låga frekvenser, 8 – 16 Hz, dvs. under det hörbara området. Anledningen till att man kunnat mäta på så långa avstånd är att man använt en signalanalysteknik för rena toner och medelvärdesbildning av frekvensspektra. Uppströms fann man ingen skuggdämpningseffekt, dvs. ljudnivån som funktion av avstånd följde sfärisk spridning. Nedströms

följer ljudtrycksnivåerna avklingningen i sfärisk spridning, dvs. 6 dB per avståndsdubbling, nära maskinen och på större avstånd följer de avklingningen i cylindrisk spridning, dvs. 3 dB per avståndsdubbling, se nedanstående figur.



**FIG. 22.** Measured effects of wind direction on the propagation of low-frequency (8 to 16 Hz) rotational harmonics of the WTS-4 machine.

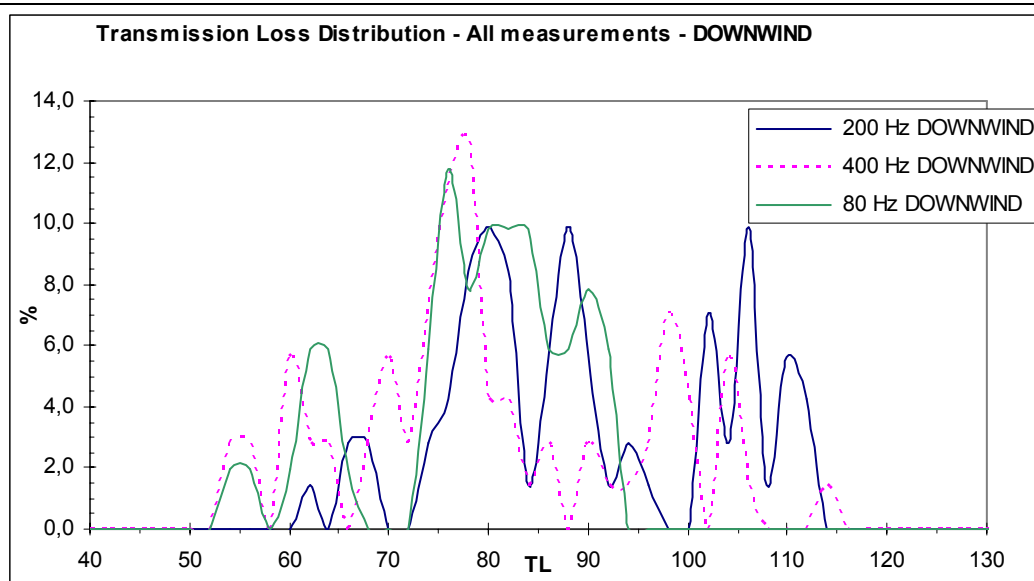
Figur 7 (från [16]) Mätresultat för ljudtrycksnivå nedströms och uppströms för ett aggregat på land vid 8 – 16 Hz.

Den reducerade avklingningen nedströms vid mycket låga frekvenser tros, enligt författarna, härröra från atmosfärisk refraktion, som skapar en kanalisering för ljudvägarna i de lägre skikten av jordens gränsskikt. Författarna hänvisar till en förklaring av Zorumski och Willshire, 1989, för fenomenet att det nedströms tycks vara sfärisk utbredning på korta avstånd och cylindrisk utbredning på stora avstånd. Zorumski och Willshire hävdar att det är samma generella utbredningsmönster vid alla frekvenser. De sluter sig till att övergången från sfärisk till cylindrisk spridning kommer att ske vid större avstånd från källan för de högre frekvenserna.

Med beräkningsmodellen Nord 2000 är det möjligt att beräkna ljudimmissionen uppströms och nedströms verken. Det är också möjligt att beräkna ett årsekvivalent värde med hänsyn till statistik över vindriktningar.

Vid KTH pågår för närvarande ett forskningsprojekt med mätning av ljudutbredning över hav från Utgrunden i Kalmarsund till Öland, se [12]. Vindhastighets- och temperaturgradienter och andra väderegenskaper mäts samtidigt. Mätningar har skett vid många

tillfällen med medvind eller vind med en komponent i medvindsriktningen. Mätningarna kommer att fortsätta. De har ägt rum under olika väderförhållanden vid tre frekvenser: 80, 200 och 400 Hz. Genom att sända ut rena toner och registrera dessa med en riktningsskänslig mikrofonarray har låga ljudnivåer vid mottagarpunkten på Öland kunnat analyseras. Mätningarna visar på stor spridning i ljudutbredningsdämpning. Nedanstående diagram visar uppmätt ljudnivåminskning från en källmätningsspunkt på 1 m avstånd till mottagarpunkten på Öland på 9500 m avstånd. Den ligger ca 500 m in på land. Källan är monterad 30 m över vattenytan på Utgrundens fyr. Mikrofonarrayen är 1,7 m över marken. Det är osäkert hur högt markytan ligger över havsytan.



**Figur 8** (ur Mathieu Boués arbetsmaterial fil oland.xls skickat till Martin Almgren 2005-12-16, diagrammet är återgivet med tillstånd av Mathieu Boué, [12]) Diagrammet visar den procentuella fördelningen av uppmätt ljudutbredningsdämpning. Luftabsorptionsdämpningen är borträknad. Diagrammet är baserat på 51 mätvärden för 80 Hz och 71 mätvärden för respektive 200 respektive 400 Hz. Mathieu rekommenderar att inte använda värdena vid 400 Hz, eftersom mikrofonarrayen inte var anpassad till denna frekvens. Nya mätningar kommer att göras våren 2006. Mathieu betonar att resultaten i diagrammet är arbetsmaterial än så länge och inte slutgiltigt kvalitetssäkrade.

Antag att vi skulle ha mätt ljudimmissionen i form av en ekvivalent ljudnivå i mätpunkten på Öland. Då blir de lägsta TL-värdena av störst betydelse. I följande tabell visas ljudutbredningsdämpningen TL-eq för de två frekvenserna 80 och 200 Hz tillsammans med medianvärdet och de minimala och maximala TL-värdena. Tabellen visar också motsvarande ljudutbredningsdämpning från 1 till 9500 m beräknat med Naturvårdsverkets modell från 2001, [6] exklusive luftabsorptionsdämpningen, och den reviderade från maj 2005, [1], exklusive luftabsorptionsdämpningen och med ljudutbredningsdämpning över mark.

**Tabell 18** Analys av Boués mätningar i Figur 8. Ljudutbredningsdämpningen TL, exklusive ljudabsorption, motsvarande en ekvivalent ljudnivå, lägsta värdet, 10 % - percentil, median, 90 % - percentil och högsta värdet visas för 80 och 200 Hz. Motsvarande beräknade värden enligt [6] och [9] visas också

| Ljudutbredningsdämpning, dB re 1 m | Frekvens, Hz |       |
|------------------------------------|--------------|-------|
|                                    | 80           | 200   |
| TL-eq                              | 65,8         | 74,6  |
| TL-min                             | 53,8         | 60,4  |
| TL-percentil 10 %                  | 61,5         | 74,2  |
| TL-median                          | 79           | 87    |
| TL-percentil 90 %                  | 89,1         | 107,6 |
| TL-max                             | 90,7         | 110,9 |
| TL-NV (2001) [6]                   | 60,8         | 60,8  |
| TL-NV (2005) [9]                   | 64,8         | 64,8  |

Med TL-percentil 10 % menas här det TL-värde som ger en ljudnivå som överskrider 10 % av mättiden. Motsvarande gäller för 90 %.

Medianvärdet är mer än 12 dB lägre än TL-värdet bestämmande för ekvivalentnivån. Det innebär att ljudnivån är oftast mer än 12 dB lägre än motsvarande ekvivalentnivå under mättiden. En fråga att ställa sig är vad som är relevant för störningsupplevelsen. Det är troligen mer störande att bo på 500 m avstånd och höra vindkraftverken alltid då de är i drift än att bo på 5 km avstånd och höra vindkraftverken enstaka dagar. (Hypotes från Gunnar Lundmark, se [18]).

Ljudutbredningsdämpningen beräknad enligt Naturvårdsverkets modell 2005 är ca 1 dB lägre än uppmätt värde TL-eq vid 80 Hz. Vid 200 Hz är ger Naturvårdsverkets modell ca 10 dB lägre värde än uppmätt.

En hypotes, se [17], enligt beskrivning längre upp i texten, är att omslaget från sfärisk till cylindrisk spridning sker vid längre avstånd från källan ju högre frekvensen är. Hypotesen stämmer med Boués mätresultat när ljudutbredningsdämpningen vid 80 och 200 Hz jämförs. I Naturvårdsverkets modell från 2005 är detta avstånd 200 m och frekvensoberoende. Om avståndet för omslag anpassas till mätresultaten för TL-eq blir detta avstånd 305 m för 80 Hz och 2590 m för 200 Hz. Beräkning med Naturvårdsverkets modell för ett vindkraftverk i Skottarevets vindkraftpark på 11700 m avstånd från ham-

nen i Falkenberg visar att A-vägda ljudet domineras av oktavbandet 125 Hz (24,0 dB), därefter 250 Hz (22,3 dB) och först därefter 63 Hz (20,5 dB). Beräkningen visar att det är inte enbart oktavbandet 63 Hz som är av betydelse för dBA-nivån. Högre oktavband är det i större utsträckning.

Mätningarna indikerar också att vindriktningen inte har den betydelse som brukar tillmätas den.

Vi har försökt hitta uppgifter om förekomst av low-level jets vid en planerad anläggning utanför Gotland eftersom de är en förutsättning i [8]. I en konfidentiell Risörapport dras slutsatsen ”Low level jets may impact the wind speed data at Näsudden but the near-perfect fit of wind speeds to a logarithmic profile and the difficulty of identifying such data suggests that the impact on the wind resource is very small. The maximum effect identified was about 2.7 % on the mean wind speed at 145 m with an occurrence of 500 cases (less than 1 % of the total). Although these mainly occurred in spring, the dominant wind direction was from a non-marine sector (north-east) suggesting a non-marine source. However it is worth noting that jets are expected to dissipate over land due to higher turbulence.”

Søndergaard och Plovsing, se [23], har undersökt olika beräkningsmodeller för havsbaserad vindkraft. De skriver (fritt översatt till svenska):

”Ljudutbredning från havsbaserade vindturbiner skiljer sig från ljudutbredning för landbaserade vindturbiner. På grund av reflektioner i den akustiskt hårda havsytan reduceras ljudet mindre med avståndet än ljud som utbreder sig över mjuka gräsmarker, och det, som syns vara ett tillräckligt avstånd för en vindturbin på land, kan visa sig icke vara det för en havsbaserad vindturbin.

(utelämnat stycke i citatet)

Prediktering av ljud från havsbaserade vindkraftparker involverar stora beräkningsavstånd. Det medför att även små onoggrannheter i predikteringsmodellerna kan få betydelse. Terrängens inverkan är av störst betydelse, men också luftabsorption vid låga frekvenser är av betydelse.

Den danska dBA-modellen, som förutsätter hårt reflekterande underlag, överestimerar nivån för det ljud som utbreder sig över land, men ger rimliga resultat för ljudutbredning över havet upp till 500 m. I oktavbandsversionen ökas detta avstånd till 2 – 5 kilometer. Modellen ger felaktiga resultat vid stora avstånd på grund av multipla reflektioner i havsytan. Reflektionerna summeras och leder till cylindrisk spridning av ljudenergin.

Nord 2000, se [22], inkluderar denna effekt. Det är dock nödvändigt att få det ytterligare avklarat vid vilka avstånd och frekvenser effekten sätter in, dvs. när det skiftar mellan koherent och inkoherent summering av reflektionerna.

Luftabsorptionskoefficienter vid låga frekvenser bör inkluderas i alla modeller.

I [23] beskrivs också förslag på en metod att mäta ljudemission från havsbaserad vindkraft. I ett försök att tillämpa metoden var det största problemet att ljud från vågorna riskerade maskera turbinljudet. Nedanstående bild är från försöken.



**Figur 9 (från [23])** Fotografiet visar mikrofonuppställning vid ett försök att mäta ljudemissionen till havs.

Diagrammen i figurerna nedan visar markeffekten inklusive effekten av refraktion (från [23]). Markeffekten har definierats som A-vägda ljudtrycksnivån och den A-vägda ljudtrycksnivån i fritt fält utan refraktion. Luftabsorption motsvarande 15°C och RH 75 % har använts. Källspektrum motsvarande ett modernt 2 MW verk har använts. Markimpedans motsvarande grästäckt mark har använts för landfallet och en markimpedans motsvarande en hård yta för havsfallet. Det första diagrammet visar beräknad markeffekt för en navhöjd på 30 m. Nord2000 med koherent addition av multipla reflexer ger i genomsnitt bäst överensstämmelse med mätresultaten från Hubbard & Sheperd [16] vid mycket låga frekvenser.

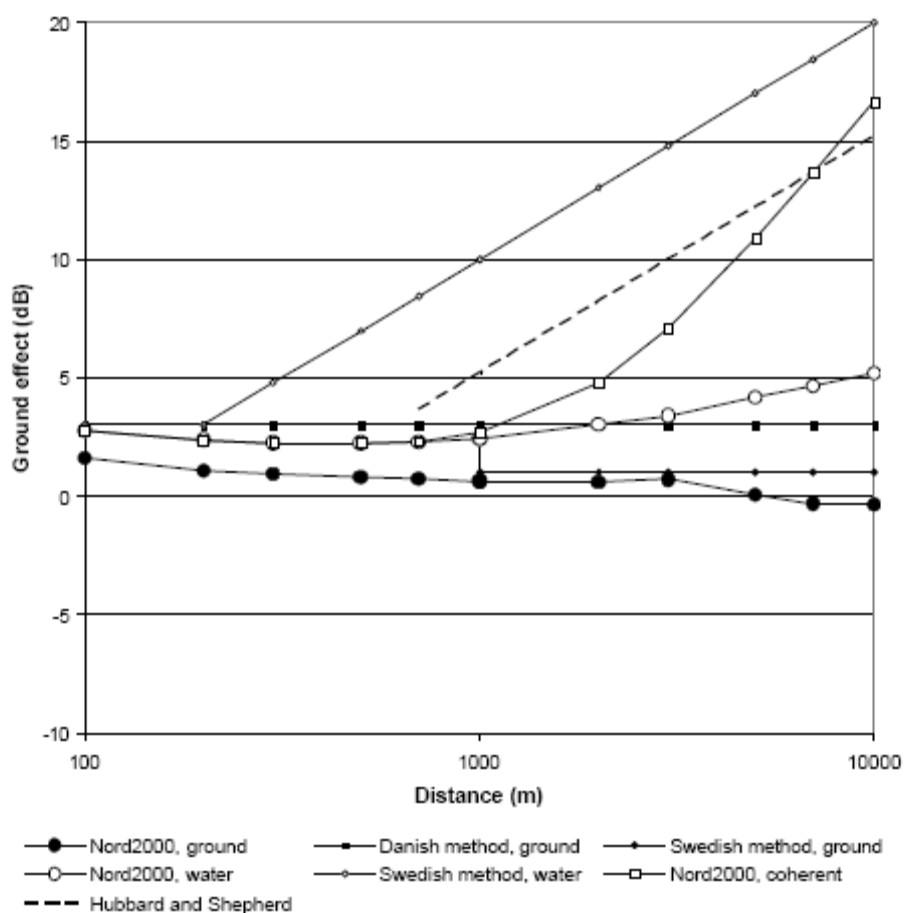


Figure 11

Ground effect for a wind turbine with a hub height of 30 m predicted according to different models at propagation both over ground and water.

**Figur 10 (från [23]).** Diagrammet visar markeffekten med inverkan av refraktion beräknat med olika ljudutbredningsmodeller för navhöjden 30 m.

Diagrammet i Figur 10 visar för ljudutbredning över vatten bra överensstämmelse med Nord2000 och den danska metoden även om Nord 2000 har en något ökande tendens över 1000 m. Om koherent summering av ljudvägarna används i Nord2000 ses en större ökning av markeffekten och därmed av ljudtrycksnivån jämfört med sfärisk spridning. På stora avstånd ses bra överensstämmelse med mätresultaten som presenteras av Hubbard och Shepherd [16]. Beräkningarna med Nord2000 visar emellertid att avståndet måste vara större än 1000 m även vid koherent summering i hela frekvensområdet innan de multipla reflektionerna blir av betydelse. Søndergaard och Plovsing menar att detta tyder på att denna effekt inte inträffar under 1000 m såsom indikeras i Naturvårdsverkets modell.

I diagrammet i Figur 11 har motsvarande beräkning gjorts för navhöjden 100 m för samma verk i övrigt. Koherent addition av de multipla reflexerna inverkar först vid av-

stånd över 4000 m enligt dessa beräkningsresultat. Resultatet av beräkningen indikerar att den cylindriska utbredningen vid höga navhöjder uppträder först vid ännu längre avstånd än för låga navhöjder.

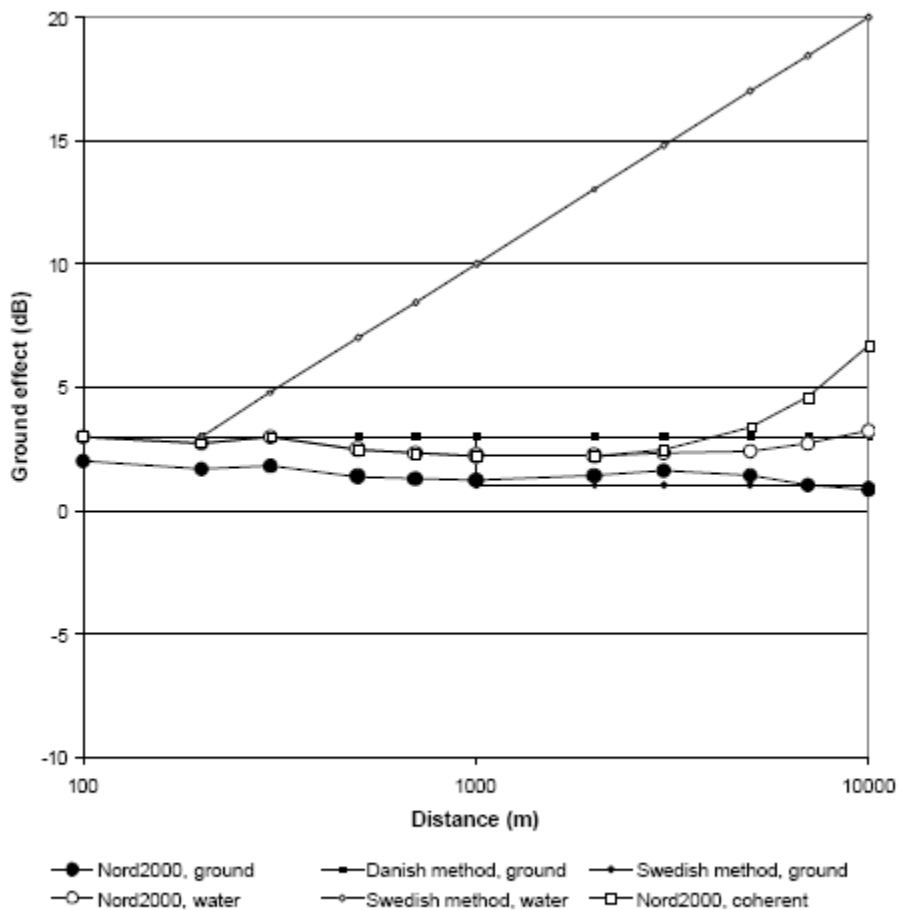


Figure 12

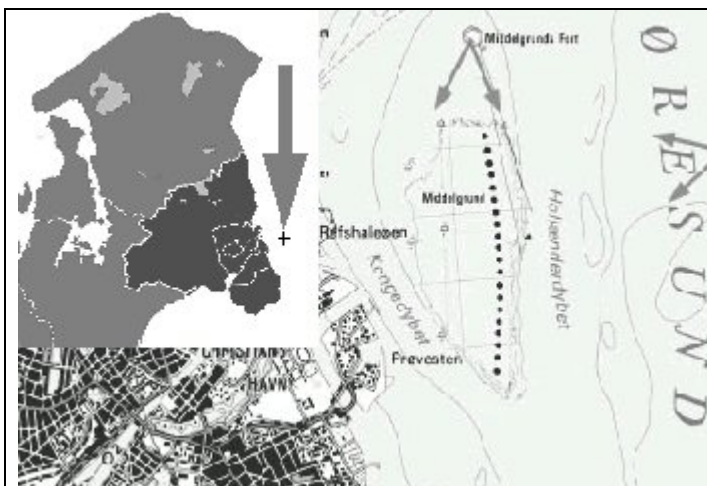
Ground effect for a wind turbine with a hub height of 100 m calculated according to different models at propagation both over ground and water.

**Figur 11(från [22])** Diagrammet visar markeffekten med inverkan av refraktion beräknat med olika ljudutbredningsmodeller för navhöjden 100 m.

Søndergaard och Plovsing, [23] redovisar också beräkningsresultat som ger att skillnaden mellan ljudutbredning nedströms och tvärs vinden är liten. Denna hypotes stärks av Boués preliminära mätresultat, [12]. Ljudutbredning uppströms ger en större markdämpning, dvs. större negativa värden i diagram så som de ovanstående. För höga vindturbiner inträffar skuggzonen bara på avsevärda avstånd, större än 1000 m. Meteorologiska effekter av temperaturgradienter kan försummas jämfört med effekterna av vindhastighetsgradienter för de vindhastigheter som är aktuella för vindkraftverk enligt Søndergaard och Plovsing.

Hörs havsbaserad vindkraft?

Om Naturvårdsverkets beräkningsmodell för havsbaserad vindkraft vore generellt giltig för ljudutbredning över vatten, borde rapporter om klagomål från havsbaserad vindkraft förekomma. Några sådana har vi inte kunnat få fram från vare sig Sverige (Bockstigen), Danmark (Middelgrunden utanför Köpenhamn, Nysteds havmøllepark och Horns rev) eller Nederländerna.



Figur 122 (från [www.middelgrund.com](http://www.middelgrund.com)) Vindkraftparken på Middelgrund ligger bara 2 km från kustlinjen och består av 20 stycken 2 MW vindkraftverk. **Närmsta bostäder ligger på ca 4,5 km**

Här är ett exempel på frågor och svar från <http://www.middelgrund.com/>:

”Sp: Støjer møllerne ? Svar: Møllerne udsender en kildestøj på 105 dB, men møllerne kan ikke høres på land.”

Martin Almgren besökte i februari 2006 Langelinie i Köpenhamn på ca 4,5 km avstånd från de närmsta vindkraftverken vid Middelgrunden. Trots att det blåste medvind ganska friskt hördes inget. Personer som bodde i närheten, och som rastade sin hund vid strandlinjen vid den lille havfruen, uppgav att de aldrig hört vindkraftverken.

Conny Larsson, Uppsala Universitet (personlig kommunikation 2005) har hört och mätt ljud från Bockstogens havsbaserade vindkraftverk vid Burgsvik någon enstaka gång vid tre- fyratiden på morgonen då det var rätt vindar och alla fåglar var tillfälligt tysta. Nivån var mycket låg, ca 20 dBA, men han hörde svischandet.

I samband med en förhandling 2005 i Miljööverdomstolen om Klasården vindkraftpark utanför Näsudden på Gotland talade Martin Almgren med en person som är fritidsboende vid Näsudden. Han hade aldrig hört vindkraftverken vid Bockstigen i havet utanför. Däremot uppgav han sig vara störd av buller från vindkraftverken på land på Näsudden. Han köpte fritidshuset innan vindkraftverken på land byggdes.



Figur 13 (från <http://www.windpowerphotos.com/bock1.html>; foto av Gunnar Britse) Bockstigen i augusti 1999. Parken består av 5 st Wind World 500 kW

Jette Kjær, som är ansvarig på miljöövervakningsprogrammet för vindkraftparken på Horns rev i Danmark skriver så här [19]:

*“Som Jens skriver har vi derfor aldrig lavet støjundersøgelser fra Horns Rev mølleparken på kysten. Ved Nysted havmøllepark, hvor afstanden er 7 km til kysten har man heller ikke lavet støjundersøgelser. Dette har aldrig været et relevant emne, da der ikke er en støjbelastning i så stor afstand fra mølleparken. Yderligere skal man huske på, at baggrundsstøjen ved havet er relativ høj.*

*I forbindelse med en præsentation for English Nature og andre miljøorganisationer af Horns Rev møllepark på siten, sejlede vi ind på en afstand af ca 500 m fra møllerne. Motorerne på båden blev slukket og alle blev bedt om at forholde sig tavse. Selv på denne afstand var det ikke muligt at høre andet end bølgerne.”*

Birger Plovsing på Delta svarar så här på vår fråga om det finns klagomål på ljud från havsbaserad vindkraft i Danmark [20]:

*“Jeg kender hverken til registrering af klager eller til målinger udført på havbaserede vindmøller i Danmark (DELTA udførte nogle målinger for mange år siden men det var næsten udelukkende baggrundsstøj der blev målt). Hvis der findes målinger er det i øvrigt mere sandsynligt, at Bo Søndergaard kender dem. Jeg har spurgt Jørgen Jakobsen i Miljøstyrelsen om der findes registrerede klager, men det mener han ikke der gør.”*

För att kontrollera risk för störning beräknades förväntad ljudnivå från några befintliga havsbaserade vindkraftparker. Resultatet redovisas i Tabell 19. Om ljudnivån vore kring 48 dBA vid de närmsta landområdena borde åtminstone några klagomål om ljudstörning eller rapporter om tydlig hörbarhet förekommit. Några sådana har vi inte lyckats spåra.

I Tabell 19 har ljudutbredningen beräknats med Naturvårdsverkets modell för havsbaserade vindkraftverk reviderad i maj 2005 [9]. För jämförelsens skull har ljudnivån beräknats även med Naturvårdsverkets modell för landbaserad vindkraft och med havsmodellen där nya värden för omslag från sfärisk till cylindrisk spridning av ljudet antagits. Omslagsavstånden har härletts ur analys av Boués [12] mätningar, se tidigare i detta avsnitt. Vid beräkning med modellen för landbaserade vindkraftverk, måste modellen för stora avstånd användas, annars blir det många dB fel.

**Tabell 19. Beräknad ljudnivå på olika avstånd från två danska havsbaserade vindkraftparker. Beräkningen har förenklats genom att anta att alla verk har lika stort avstånd till beräkningspunkten. För Middelgrunden är skillnaden liten, eftersom verken står utplacerade i en cirkelformad båge med Kastellet nära fokus. Spektrumform enligt Tabell 20 har antagits.**

| <i>Park</i>                                                       | <i>Avstånd, m</i>                                                                                | <i>Beräkningsmodell</i>                    | <i>Ljudnivå, dBA<br/>re 20 <math>\mu</math>Pa</i> |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Nysted 72 verk, källstyrka 106,5 dBA re 1 pW, navhöjd 69 m        | 7000 varav 300 m över mjuk mark (till närmsta landområde)                                        | NV hav rev maj 2005                        | 48,7                                              |
| ”-”                                                               | ”-”                                                                                              | NV land rev maj 2005                       | 33,3                                              |
| ”-”                                                               | 10000 varav 300 m över mjuk mark                                                                 | NV hav rev maj 2005                        | 45,5                                              |
| ”-”                                                               | 15000 varav 300 m över mjuk mark                                                                 | NV hav rev maj 2005                        | 41,4                                              |
| ”-”                                                               | 10000 varav 300 m över mjuk mark                                                                 | NV hav med omslagsavstånd enligt Tabell 21 | 37,8                                              |
| Middelgrunden 20 verk, källstyrka 105,6 dBA re 1 pW, navhöjd 75 m | 4500 m varav ingen ljudutbredning över mjuk mark (Kastellet i Köpenhamn nära den lilla havfruen) | NV hav rev maj 2005                        | 47,8                                              |
| ”-”                                                               | ”-”                                                                                              | NV land rev maj 2005                       | 32,3                                              |
| ”-”                                                               | ”-”                                                                                              | NV hav med omslagsavstånd enligt Tabell 21 | 39,0                                              |

**Tabell 20** Antaget oktavbandsspektrum för beräkningarna vid Nysted med källstyrkan 106,5 i Tabell 19. För beräkningarna vid Middelgrunden har 0,9 dB lägre värden använts.

|                               |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
|-------------------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| Oktavband, centerfrekvens, Hz | 31,5 | 63   | 125  | 250   | 500   | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| $L_{WA}$ dB re 1 pW           | 74,1 | 89,0 | 97,1 | 102,1 | 101,5 | 97,5 | 93,2 | 87,8 | 82,6 |

**Tabell 21** Antaget avstånd för omslag från sfärisk till cylindrisk spridning av ljudet. I Naturvårdsverkets modell [9] är omslagsavståndet 200 m. Värdena nedan är en interpolering i tersband under antagande av 200 m vid 25 Hz, 200 m vid 50 Hz, 305 m vid 80 Hz, 2590 m vid 200 Hz och 2590 m vid 10 kHz

|                               |      |       |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Oktavband, centerfrekvens, Hz | 31,5 | 63    | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Omslagsavstånd, m             | 200  | 245,5 | 1162 | 2590 | 2590 | 2590 | 2590 | 2590 | 2590 |

#### 4.4 Andra konsekvenser, t ex med låga frekvenser och olika vindfördelningar

Vid samrådsmöten om vindkraftprojekt dyker det ofta upp frågor om infraljud. I Storbritannien har det rests farhågor att ljudet från vindkraftverk innehåller tillräckligt höga nivåer av lågfrekvent ljud så att det innebär en hälsorisk. Det har påståtts att symptom som illamående, huvudvärk och oro kan uppstå. Dr Geoff Leventhall, som är en av världens främsta experter på lågfrekvent ljud och infraljud säger [25], [26]:

*“I can state quite categorically that there is no significant infrasound from current designs of wind turbines.”*

Lågfrekvent ljud brukar definieras som ljud med frekvenser mellan 20 och 200 Hz. Infraljud är ljud med frekvenser under det hörbara frekvensområdet, dvs. under 20 Hz.

Ljudet från en modern vindturbin är utspritt över hela det hörbara frekvensområdet och har också en ohörbar andel i infraljudområdet [24]. De tidiga vindkraftverken som byggdes i USA på 80-talet liksom Maglarsverket i Sverige hade läplacerade rotoror. Ljudemissionen från dessa turbiner gav en stark lågfrekvent ljudpuls varje gång ett blad passerade tornet. Ljudet innehöll också en betydande andel lågfrekvent ljud. Genom att placera rotorn uppströms och att öka avståndet mellan blad och torn har torninteraktionseffekterna reducerats och därmed också det lågfrekventa ljudet.

Ljudet från moderna vindkraftverk är normalt tydligt hörbart då man befinner sig inne i vindkraftparken och en lyssnare kan tydligt höra att ljudet inte innehåller ett lågfrekvent pulserande ljud. Nära ett vindkraftverk kan man höra ett svischande ljud med högre frekvenser. Det uppstår då bladen sveper genom luften och träffar olika vindhastighet

samt då de ändrar avstånd och riktning till lyssnaren. Då lyssnaren avlägsnar sig sjunker ljudnivån med ökande avstånd.

Karaktären hos ljudet ändrar sig också med avståndet. Luftabsorptionen gör att högre frekvenser i ljudet avtar mer än låga frekvenser. Denna effekt gäller alla typer av ljudkällor utomhus, t ex vägtrafik, industri, havsbrus och åska. Vindkraftverk är därför inte en betydande källa till lågfrekvent ljud och infraljud, men på avstånd reduceras högfrequensandelen och totala nivån är låg [24].

Det finns inga dolda eller direkta hälsoeffekter av ljudet från vindkraftverk. Eventuella effekter beror på lyssnarnas reaktioner på det de hör. Det har visats genom upprepade mätningar av ljud från vindkraftverk i Storbritannien, Danmark, Tyskland och USA under det senaste decenniet, se [24], att infraljudnivån från moderna vindkraftverk med rotorn placerad uppströms är så låga att de ligger under känseltröskeln, även för människor som är extra känsliga och även i anläggningen nära verken.

Olika vindfördelningar kan påverka driftsmedelvärdet, se avsnitt 4.1. En sned anströmning av rotorn, t ex i backig terräng, eller kan påverka ljudalstringen, se Bilaga C med reserapport från WTN 2005 och referatet av Sloths bidrag.

Naturvårdsverkets utkast till allmänna råd [1] utgår från vindhastigheten på 10 m höjd, vilket huvudsakligen synes vara en relik från tidigare anvisning om att mäta vindkraftsljud vid vindhastigheten 8 m/s på 10 m höjd. Med förslaget synsätt av en statistisk behandling av bullerstörningen vid olika vindhastigheter bortfaller skälet att referera till höjden 10 m. Lämpligare är att utgå från vindhastigheten på turbinens navhöjd, oavsett vad denna är, eftersom denna är känd dels genom den vindanalys som föregår lokaliseringen, dels genom driftstatistik. Vinden på 10 m höjd kräver däremot särskilda arrangemang för att bestämmas på ett invändningsfritt sätt. I skogsterräng bör den relateras till ett nollplan på 2/3 - 3/4 av trädens medelhöjd, vilken kan vara svår att bestämma. - Det skulle vara intressant att ta del av mätningar av vindbrus i olika omgivningar, särskilt skog, där ljudet på 1,5 m höjd relateras till vindhastigheten på navhöjd, typiskt 90-100 m.

#### **4.5 Synpunkter på "Beräkning av ljud från vindkraftverk" utkast maj 2005**

Definitionen av  $L_i$  bör förtydligas. Den uppmätta oktavbandsnivån  $L_i$  avser ljudeffektnivån eller en ljudtrycksnivå nära källan. Såsom formeln för luftabsorption är utformad, behöver inte den absoluta nivån vara rätt, men spektrumformen ska vara rätt.

Se även avsnitt 4.3 ovan.

## 5 Uppföljning av senare tids och pågående forskning och standardisering kring ljud från vindkraft

### 5.1 Forskning

Forskning, se bilaga C med reserapport från konferensen Wind Turbine Noise i Berlin 2005.

På Chalmers Teknisk akustik pågår, i samarbete med Göteborgs Universitet Miljömedicin, ett examensarbete med långtidsmätning på 500 m avstånd från ett vindkraftverk på land och jämförelse med beräkningsmodeller för ljud. Vid ett seminarium på Chalmers 27 januari 2006 redovisades preliminära resultat. De visade att ljudnivån beräknad med Naturvårdsverkets modell för ljudutbredning över land underskattar uppmätt ljudnivå. Uppmätt ljudnivå hade dock inte korrigerats för bakgrundsljud. En reviderad rapport är att vänta.

Ett annat examensarbete bedrivs i samarbete mellan Chalmers och Ingemansson. Syftet med detta arbete är att testa en metod att mäta ljudnivån från vindkraftturbiner vid en bakgrundsnivå som är lika med eller högre än ljudet från vindkraftverken. Här finns ännu inga resultat.

#### *Forskning om maskering*

Enligt diagram i Ljud från vindkraftverk [6] uppgår det naturliga vindbruset till drygt 50 dB(A) vid angiven vindhastighet i en omgivning omgiven av låga byggnader och till drygt 60 dB(A) i en omgivning av höga träd. Möjligheten till att vindkraftljudet maskeras av vindbruset i träd undersöktes av Olivier Fégeant i dennes doktorsavhandling, [31]. Han fann exempelvis att vindbruset i träd med 90% sannolikhet maskerar vindkraftljud om vindbruset är 2,5 dB högre än vindkraftsljudet. Därmed skulle vindkraftsljud maskeras upp till ca 47 respektive ca 57 dB(A) i de bägge fallen, förutsatt att maskeringseffekten är densamma. En slutsats bör dock vara att möjlighet till maskering skall beaktas på så sätt att vindkraftverk inte skall anses störa om maskering inträtt. Inledningsvis kan det vara rimligt att ansätta att maskering inträder från vindhastigheten 10 m/s (mätt på 10 m höjd).

Bolin på KTH har fortsatt Fégeants arbeten om vindalstrat bakgrundsljud, se Appendix C.3. Bolins arbete indikerar att vindalstrat ljud från vegetation maskerar den högfrekventa delen av vindkraftljudet, medan den lågfrekventa delen tycks vara hörbar. Bolin arbetar vidare med att undersöka turbulensens inverkan på vegetationsljudet. Maskeringseffekten kan minska om ljudet från vegetationen varierar mer i nivå än ljudet från vindkraften.

Maskering är en viktig egenskap som ligger bakom metoden att formulera ett riktvärde utgående från uppmätt bakgrundsljud.

## 5.2 Standardisering

Standardisering. Kontakt har tagits med Sten Ljunggren och Sven-Erik Thor. Båda dessa har av sagt sig deltagande i standardiseringen. Mats Åbom, KTH, är svensk representant efter Sten Ljunggren. Janne Blix, Vattenfall, deltar i SEK:s standardiseringsgrupp. Helmut Klug från DEWI, är projektledare för IEC TC 88, projektgrupp PT61400 – 14 "Declaration of sound power levels and tonality values" och convenor för IEC TC 88 Maintenance team MT 11 "Acoustic noise measurement techniques".

Följande standards finns i dagsläget:

Svensk standard SS-EN 61400-11 2003-08-26. "Vindkraftverk - del 11: Mätning av buller". Ikraftsätter IEC 61400-11 utgåva 2.

IEC 61400-11 utgåva 2 2002-12-10. "Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques." Utgåva 1 från 1999 upphävdes när utgåva 2 sattes i kraft. Flera av dagens vindkraftverk har dock mätts enligt denna standard.

IEC TS 61400-14 Ed.1 "Declaration of sound power level and tonality values of wind turbines". Skriften har publicerats [27]. Där anges hur ljuddata i form av ljudeffektnivå och tonalitet för en aggregattyp ska deklarerats av tillverkaren. Det ska således gälla för flera exemplar. I IEC 61400-11 står vad som ska rapporteras i en mät rapport för ett exemplar av en aggregattyp.

S. Ljunggren (ed) (1997): Recommended Practices for Wind Testing: 10. Acoustics. Measurement of Noise Immission from Wind Turbines at Noise Receptor Locations. 1st Edition 1997. IEA.

S. Ljunggren (1998): Mätning av bullerimmission från vindkraftverk. Elforsk rapport 98:24.

Arbete pågår med:

"Approved maintenance work" för IEC 61400-11 utgåva 3. Ett arbete cirkuleras bland medlemmarna i IEC TC 88 MT 11 just nu [27].

Amendment 1 till IEC 61400-11 utgåva 2. Amendment handlar om ljudeffektnivåer för elektrisk effekt överstigande 95 % av märkeffekten. Den svenska nationella standardiseringskommittén kommer inom någon vecka att få en så kallad FDIS för omröstning [27].

Mätning av ljud från vindkraftverk. Utkast från Naturvårdsverket, maj 2005. Denna metod baseras på metoden angiven i Elforsk rapport 98:24 angiven ovan.

## 6 Slutsatser

Naturvårdsverket håller på att ta fram allmänna råd för ljud från vindkraft. Ett utkast redovisades på ett informationsmöte på Naturvårdsverket 13 maj 2005. Jämförelser med hur man gör i andra länder och konsekvenser för planering och etablering av anläggningar för vindkraft belyses i denna utredning.

Tillämpning av den rekommenderade beräkningsmodellen för ljud från vindkraft med ljudutbredning över vatten i Naturvårdsverkets utkast kan ge allvarliga konsekvenser. I denna förutsätts sfärisk spridning av ljudet upp till 200 m avstånd och därefter cylindrisk spridning. Underlagsmaterialet stödjer inte denna modell fullt ut. Det gör inte heller delresultat från en pågående undersökning av ljudutbredning i Kalmarsund. Det kan dock vara så att cylindrisk spridning sker från ett visst avstånd som dock är större än 200 m. Ytterligare mätningar som ska göras under våren 2006 och analys av redan gjorda mätningar i Kalmarsund bör inväntas innan en beräkningsmodell förordas. Om beräkningsmodellen vore generellt giltig för ljudutbredning över vatten, borde rapporter om klagomål från havsbaserad vindkraft förekomma. Några sådana har vi inte kunnat få fram vare sig från Sverige (Bockstigen), Danmark (Middelgrunden, Nysteds havmöllepark och Horns rev) eller Nederländerna. Vid Middelgrunden och Nysted blir ljudnivån beräknad med Naturvårdsverkets modell för havsbaserad vindkraft kring 48 dBA vid landområden på 4,5 respektive 7 km avstånd. Enligt störningsstudierna från Miljömedicin på Göteborgs Universitet uppfattas sådana nivåer som störande av många.

Två metoder att sätta riktvärden för ljud från vindkraft förekommer internationellt. I den ena anges riktvärde för en ekvivalent ljudnivå. I den andra relateras ljudnivån till bakgrundsljudet. I några fall är det en kombination. Naturvårdsverket planerar att ange ett riktvärde för ekvivalent ljudnivå i kombination med ett strängare riktvärde för platser med topografiskt ogynnsamma omständigheter. Anledningen är att det kan finnas platser med sådan topografi att vindalstrat bakgrundsljud blir lågt medan vindkraftverket hörs. Då bör man också tillåta högre ljud från vindkraft i de fall ljudet maskeras av t ex havsbrus. I många länder ställs samma krav på ljud från vindkraft som på ljud från industrier.

Vindkraftverk är den utomhusljudkälla som det i Sverige ställs strängast krav på i praxis: 40 dBA ekvivalent ljudnivå dygnet runt vid 8 m/s på 10 m höjd. Om ljudet innehåller toner är kravet 35 dBA. Kravet är detsamma som ställs på industri nattetid. För vägar, järnvägar och flygplatser är kravet betydligt mildare: 55 dBA ekvivalent ljudnivå eller 70 dBA maximal ljudnivå dygnet runt.

I Naturvårdsverkets utkast till allmänna råd sägs: "Bullerberäkningar ger oftast ett mera tillförlitligt resultat än mätningar och bör därför i första hand komma i fråga". Denna formulering bör ändras. Vid kontroll av ljudimmission från vindkraftverk bör mätning användas i första hand där det är möjligt, eftersom det särskilt för havsbaserad vindkraft finns invändningar mot den föreslagna beräkningsmodellen. En annan invändning mot formuleringen är att allmänheten brukar lita mer på mätningar än beräkningar.

---

Den av Naturvårdsverket föreslagna metoden att ställa krav på driftmedelvärde istället för på ekvivalent ljudnivå leder till en lindring av ljudkravet för pitchreglerade vindkraftverk med 0 – 1 dB. För stall-reglerade innebär metoden en skärpning med upp till 1 dB. Detta framgår av testberäkningar för några olika verk och vindhastighetsfördelningar. Begreppet driftmedelvärde kan bli ännu svårare att förklara för allmänheten än begreppet ekvivalent ljudnivå vid 8 m/s på 10 m höjd. De flesta exponeringsstudier som gjorts använder ekvivalent ljudnivå som bullermått. Sättet att se på ekvivalent ljudnivå i Naturvårdsverkets allmänna råd för ljud från vindkraft bör samordnas med Naturvårdsverkets allmänna råd för externt buller från industriverksamhet.

Det finns inga dolda eller direkta hälsoeffekter av ljudet från vindkraftverk. Eventuella effekter beror på lyssnarnas reaktioner på det de hör. Infraljudnivån från moderna vindkraftverk med rotorn placerad uppströms är så låga att de ligger under känseltröskeln, även för människor som är extra känsliga och även i området nära verken

## 7 Referenser

- [1] ”Naturvårdsverkets allmänna råd för ljud från vindkraftverk [till 2 kap. miljöbalken]. Utkast”, Naturvårdsverket 13 maj 2005
- [2] ”Externt industribuller – allmänna råd”, Naturvårdsverkets Råd och Riktlinjer RR 1978:5 rev. 1983
- [3] ”Veileder til Miljøverndepartementets retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging (støyretningslinjen)”, Statens Forurensningstilsyn, SFT, TA-2115/2005, Oslo 2005
- [4] Johansson L; ”Notes from the IEA Topical Expert Meeting IEA, 34 Meeting of Experts, Noise immission”, organized by FFA in Stockholm, 27-28 November 2000
- [5] Pedersen E; ”Noise annoyance from wind turbines – A review”, Naturvårdsverket, report 5308, 2003
- [6] ”Ljud från vindkraftverk”, Boverket, Energimyndigheten, Naturvårdsverket rapport 6241, 2001
- [7] Ljunggren S; ”Ljudnivå från vindkraftverk – driftsmedelvärde.” Dokument skickat till Naturvårdsverket, mars 2005
- [8] Johansson L; ” Sound propagation around off-shore wind turbines”, Inst för Byggnader och installationer, KTH. Avdelningen för Byggnadsteknik, Bulletin 192, 2003
- [9] ”Beräkning av ljud från vindkraft”, Naturvårdsverket utkast maj 2005
- [10] ”Handlingsplan mot buller”, SOU 1993:65, 1993
- [11] Ljunggren S; ”Ljud från vindkraftverk. En kritisk genomgång av dagens system för behandling av ljud omkring vindkraftverk.” KTH, Inst. f. Bygghälsan, avd för byggnadsteknik, arbetsrapport 2005:1, Stockholm 2005
- [12] Boué M; KTH, personlig kommunikation 2005
- [13] Ingerslev F & Svane Ch; ”Preliminary studies of sound propagation in the lower layers of the atmosphere.” Proc 6th ICA, pp F-93 - F-96, Paper F-3-6, Tokyo 1968
- [14] Ingerslev F & Svane Ch; ”Preliminary studies of sound propagation in the lower layers of the atmosphere” The Acoustics Laboratory, technical University of Denmark, 2800 Lyngby, Denmark, April 1969 (enligt maskinskriven text på Sten Ljunggrens kopia.)
- [15] Ljunggren S; ”A preliminary assessment of environmental noise from large WECS, based on experiences from Swedish prototypes”, Flygtekniska Försöksanstalten FFA TN 1984-84, Stockholm 1984
- [16] Hubbard HH & Shepherd KP; ”Aeroacoustics of large wind turbines” J Acoust Soc Am vol 89, pp 2495 - 2508, 1991
- [17] Zorumski WE & Willshire Jr WL; ”Downwind sound propagation in an atmospheric boundary layer”, AIAA J., vol 27, no 5, pp 515-523, 1989
- [18] Lundmark G; personlig kommunikation, 2006
- [19] Kjær, J; personlig kommunikation, 2005

- 
- [20] Plovsing, B; personlig kommunikation, 2005
  - [21] Kragh J, Andersen B & Jakobsen J; "Environmental noise from industrial plants. General Prediction Method" Danish Acoustic Laboratory, report no 32, 1982
  - [22] "Nordic environmental noise prediction methods, Nord 2000. Summary report. General sound propagation model and applications in source-related prediction methods", Report prepared for the Nordic noise group, Delta AV 1719/01, revised 30 June 2002
  - [23] Søndergaard B & Plovsing B; "Noise from offshore wind turbines prepared", Delta for Danish Ministry of the Environment, Environmental Project No. 1016 2005
  - [24] "Low frequency noise and wind turbines" British Wind Energy Association, BWEA Briefing Sheet February 2005
  - [25] "Low frequency noise and wind turbines technical annex", British Wind Energy Association, BWEA, February 2005
  - [26] Leventhall GA; "Review of published research on low frequency noise and its effects", Report for Defra, May 2003
  - [27] Klug H; personlig kommunikation, 2006
  - [28] SS-ISO 9613-1; "Akustik – dämpning av ljud under utbredning utomhus – Del 1: Beräkning av atmosfärens ljudabsorption", SIS 1995
  - [29] "Naturvårdsverkets allmänna råd om externt buller från industriell verksamhet [till 2 kap. och 26 kap. 19§ Miljöbalken], remiss från Naturvårdsverket april 2005
  - [30] "General specification V90 - 3 MW", Vestas Item no 950011.R6. 2005-06-13.
  - [31] Fégeant, O; "Noise from wind turbines", Doctoral Thesis. Department of building sciences, Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm 2001



## Bilagor



## A Regler för ljud från vindkraft i olika länder

Nedan visas en sammanfattning av några länders regler och en sammanställning av länkar till olika organisationer och myndigheter i olika länder.

### A.1 Sammanfattning av några länders regler

Norge:

Norge har en gräns på  $L_{den} = 45$  dB. ”For vindmøller kan grenseverdien heves til  $L_{den}$  50 dB for boliger som ligger i vindskygge mindre enn 30 % av et normalår, forutsatt at vindmøllen ikke gir lyd med rentonekarakter.” Vid rena toner bör kravet skärpas 5 dB.

Danmark:

Gränsen utanför bostadsområden är 45 dBA och för känsliga områden är det 40 dBA

Estland:

Regler på estniska.

Frankrike:

I Frankrike har de ingen fast gräns utan relaterar till bakgrundnivån. Tillåten ökning är 5 dBA dagtid och 3 dBA nattetid. Ljudmätningarna måste göras i max 5 m/s vindhastighet. Dessutom rekommenderas en buffertzon på 500 meter. Frågan är om kravet gäller vid 5 m/s också?

Holland:

Ljudkravet är kopplat till vindhastigheten. Gränsen börjar vid 40 dBA (natt) vid 1m/s och ökar med vindhastigheten till 50 dBA vid 12m/s. Dagtid börjar gränsen vid 50 dBA och kvällstid gäller 45 dBA.

Schweiz:

Vindkraftljud behandlas som industribuller. Man har tre nivåer 1) Riktvärde för planering, 40 dBA natt, 2) Immissionsgränsvärde 45 dBA natt och 3) Alarmvärde 60 dBA natt. Värdena avser områdekategori I som har de lägsta värdena.

Österrike:

Ingen lag om ljud från vindkraft. En del regioner har riktvärden.

Grekland:

Gäller 45 dBA inomhus i bostad med öppet fönster. I bostadsområden utomhus gäller 50 dBA. Det finns ingen reduktion för natt utan samma värde gäller dygnet runt.

Tyskland:

Behandlas som industribuller. I bostadsområden med flerfamiljshus gäller dagtid 55 dBA, natt 40 dBA. I områden med enfamiljshus dagtid gäller 50 dBA och natt 35 dBA. I särskilt känsliga områden typ sjukhus, hälsohem gäller dagtid 45 dBA och natt 35 dBA.

**Storbritannien:**

Man relaterar till bakgrundsnivån,  $L_{A90, 10min}$ , och tillåter ökning med 5 dBA dag och natt. Utöver detta föreslås en absolut undre gräns för  $L_{A90, 10min}$  på 43 dBA nattetid. I känsliga områden finns även en absolut gräns dagtid som ligger mellan 35-40 dBA beroende antal hus i området.

**Belgien:**

Har olika regler i olika regioner. Wallonia: använder man max nivå för natt 40 dBA med hänvisning till att vindkraftverket producerar dygnet runt.

**Finland:**

Vid bostadsområden dagtid (kl:7-22) gäller 55 dBA och natt 50 dBA, vid nya bostadsområden gäller 45 dBA nattetid. I naturområden och sommarbostäder gäller 45 dBA dagtid och 40 dBA natt, om ljudet innehåller stötpulser eller rena toner reduceras gränsen med 5 dBA.

**Nya Zeeland:**

Används bakgrundnivå  $L_{A95, 10min}$  plus 5 dBA vid ökande vindhastighet eller 40 dBA beroende på vilken som är störst.

**Australien:**

Har olika regler i olika stater, Victoria och Tasmania använder samma regler som Nya Zeeland. I South Australia används bakgrundnivå  $L_{A95, 10min}$ , mätt vid olika vindhastighet, plus 5 dBA eller 35dBA beroende på vilken som är störst.

**USA:**

Har olika regler i olika stater och ibland även i counties i samma stat.

Washington: har  $L_{eq}$  60 dBA dagtid (kl:7-22) och 50 dBA natt i bostadsområden  
Oregon: sätter ett max bakgrundsljud till  $L_{50}$  55 dBA dagtid (kl:7-22) och 50 dBA nattetid. För att undvika svårigheter har man satt minimum bakgrundsljud  $L_{50}$  till 26 dBA och lagt till 10 dBA vilket ger 36 dBA på så sett får man välja vilken regel man skall utvärderas med.

California: får inte överskrida med mer än 5 dBA än bakgrundsljud ( $L_{90}$ )

Riverside County: måste man reservera en fri yta runt vindkraftverken 2000 fot om parken innehåller 10 turbiner eller mindre annars gäller 3000 fot. Om man inte frigör yta gäller 55 dBA

Solano County: gäller 50 dBA CNEL eller 44 dBA  $L_{eq}$

City of Fairfield: nattetid 45 dBA  $L_{eq}$  och 65 dBA  $L_{max}$

Kern County: Hörbart ljud från vindkraftverk får inte ge upphov till en ljudnivå överstigande 45 dBA i mer än 5 minuter i vilken timme som helst (så kallad  $L_{8,3}$ -nivå) eller 50 dBA för vilken tidsperiod som helst vid mätning inom 50 fot från befintliga bostäder, sjukhus, kyrkor eller allmänna bibliotek. Särskilda villkor anges för infraljud och lågfrekvent ljud. Om ljudet innehåller toner eller impulsljud skärps kravet med 5 dB. Om den befintliga bakgrundsnivån överskrider värdena ovan, tillåts motsvarande lika hög ljudnivå från vindkraftverket. Om ljudnivån överskrider värdena ovan kan man få tillå-

telse att bygga om man har informerat de berörda fastighetsägarna och fått deras skriftliga godkännande och om detta registrerats i "County Hall of Records".

Fresno County: gäller nattetid  $L_{50}$  av 45 dBA

Alameda County: gäller nattetid  $L_{50}$  av 45 dBA

Contra Costa County: max 65 dBA vid markgräns och 60 dBA  $L_{dn}$  i bostadsområden

Morro Bay: nattetid 45 dBA  $L_{eq}$

City and county of San Francisco: gäller generellt 50 dBA natt (kl:22-07) dag 55 dBA vid frånvaro av specifik standard gäller 5 dBA över bakgrundsnivå.

County of San Bernardino: Natt 45 dBA och 65 dBA  $L_{max}$

Monterey County: gäller 45 till 55 dBA CNEL

Santa Cruz County: 45 dBA  $L_{eq}$  och 65 dBA  $L_{max}$ , i tysta områden sänks gränsen med 5 dBA till 40 dBA  $L_{eq}$  och 65 dBA  $L_{max}$

San Joaquin County: 45 dBA  $L_{eq}$  och 65 dBA  $L_{max}$

Sacramento County: gäller högsta utomhus nivå 50 dBA  $L_{50}$

State of Colorado: Natt 50 dBA om ljudet innehåller rena toner, stötar eller skrik görs avdrag med 5 dBA

## A.2 Sammanställning från 2005 av länkar till myndigheter och organisationer i olika länder

En första sammanställning gjordes av Ingemanssons praktikant Laura Simon. Den har senare kompletterats med ytterligare länkar. Informationen sker på olika språk.

På några ställen i detta avsnitt står "see folder". Det avser en mapp på Ingemanssons server med nedladdade dokument.

Länk till IEC TC 88

<http://www.iec.ch/cgi-bin/procgi.pl/www/iecwww.p?wwwlang=E&wwwprog=dirdet.p&committee=TC&number=88>

Länkar till miljömyndigheter:

<http://www.dmu.dk/International/About+NERI/Links+-+institutional/International+environmental+authorities.htm>

Länkar till vindenergiorganisationer:

<http://www.ewea.org/>

### Argentina:

Contacted: Argentinean Wind Energy Association – AAEE:

[www.argentinaeolica.org.ar](http://www.argentinaeolica.org.ar)

e-mail: [info@argentinaeolica.org.ar](mailto:info@argentinaeolica.org.ar) (contact person: Alejandro J. Gesino [ajgesino@argentinaeolica.org.ar](mailto:ajgesino@argentinaeolica.org.ar))

Do not have any guidelines etc., working on standards at the moment

### Australia:

<http://www.environment.sa.gov.au/epa/noise.html>

See folder: windfarms\_guidelines.pdf

**Austria:**

Contacted: Umweltsenat: <http://www.bmu.gv.at/>

e-mail: [post@umweltsenat.gv.at](mailto:post@umweltsenat.gv.at) (contact person: Sabine Mayer  
[sabine.mayer@umweltbundesamt.at](mailto:sabine.mayer@umweltbundesamt.at))

Evaluation of caused noise immission:

Richtlinie Nr. 3 Blatt 1 des Österr. Arbeitsringes für Lärmbekämpfung (ÖAL)

(can be bought at <http://www.oal.at/main/shop/enter.html>)

There is no law for wind turbines in special, some regions have guidelines:

See folder: (search for Schall, p.10) Leitfaden Genehmigung Windkraftanlagen NÖ  
Maerz 2001.pdf

(does not include something about noise in special)

A2657\_LEITFADEN\_OKT02.PDF

**Belgium:**

Contacted:

EDORA: [www.edora.be](http://www.edora.be)

e-mail: [info@edora.be](mailto:info@edora.be) (contact person: Annabelle Jacquet [ajacquet@edora.be](mailto:ajacquet@edora.be))

Different regulations for each region (see folder, Belgium.doc)

Wallonia (see folder, Wallonia.pdf, p.13-15)

Flandern (see folder, omzendbrief wind\_Flandern.doc, p.11)

**Denmark:**

Contacted:

Danmarks Vindmolleforening: <http://www.dkvind.dk>

e-mail: [info@dkvind.dk](mailto:info@dkvind.dk) (contact person: Linette Riis ([lr@dkvind.dk](mailto:lr@dkvind.dk)))

Transport- og Energiministeriet: [www.ens.dk](http://www.ens.dk)

e-mail: [ens@ens.dk](mailto:ens@ens.dk) (contact person: Maria H. Jørgensen [mhj@ens.dk](mailto:mhj@ens.dk))

in Danish (see folder):

Støj fra vindmøller. Bekendtgørelse om støj fra vindmøller  
(<http://147.29.40.91/DELFIN/HTML/B1991/0030405.htm>)

Translation (see folder):

STATUTORY ORDER FROM THE MINISTRY OF THE ENVIRONMENT.doc

**Estonia:**

Contacted:

EWPA (Estonian Wind Power Association): <http://www.tuuleenergia.ee/>

e-mail: [info@tuuleenergia.ee](mailto:info@tuuleenergia.ee) (contact person: Jaan Tepp)

p. 76 (Estonian)

[http://www.tuuleenergia.ee/failid/Tuulikute\\_KMH\\_tekst.doc](http://www.tuuleenergia.ee/failid/Tuulikute_KMH_tekst.doc)

Regulation for noise (Estonian):

<https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=163756>

**Finland:**

Contacted:

STY Suomen Tuulivoimayhdistys ry: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/>

e-mail: [tuuli@tuulivoimayhdistys.fi](mailto:tuuli@tuulivoimayhdistys.fi) (contact person: Erkki Haapanen  
[erkki.haapanen@tuulivoimayhdistys.fi](mailto:erkki.haapanen@tuulivoimayhdistys.fi))

Noise control is based on (see Finland.doc for main points):

"meluntorjuntalaki" (382/87)

Bullerbekämpningslagstiftningen:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=88311&lan=sv>  
 ([www.environment.fi](http://www.environment.fi))

### France:

Contacted:

FRANCE ENERGIE EOLIENNE: <http://www.fee.asso.fr>

e-mail: [info@fee.asso.fr](mailto:info@fee.asso.fr) (forwarded message to: Penny Dunbabin  
[dunbabin@eoleres.com](mailto:dunbabin@eoleres.com))

General information see folder France.doc

Law (see folder):

Loi sur le bruit n°92-1444 du 31 décembre 1992 codifiée par le Code de  
 l'environnement aux articles 571-1 à 57 71-26

Working group set up by French standards agency AFNOR to develop a methodology  
 specifically for wind farms

### Germany:

[http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/stichwortsuche/info/windkraftanlage.h  
 tml](http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/stichwortsuche/info/windkraftanlage.html)

No special law for wind farms

Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz  
 (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm):

<http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/anlagen/talaerm.pdf>

(Offshore (Standarduntersuchungskonzept (StUK) für die Untersuchung und Überwa-  
 chung der Auswirkungen von Offshore Windenergieanlagen( WEA) auf die Meeres-  
 umwelt):

(p. 32/ 33)

[http://www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Sonstige%20Publikationen/Standarduntersuch  
 ungskonzept/Untersuchungskonzept.pdf](http://www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Sonstige%20Publikationen/Standarduntersuchungskonzept/Untersuchungskonzept.pdf))

Technical guidelines for wind power plants: technische Richtlinien: Teil 1, Bestimmung  
 der Schallemissionswerte (01.07.05) can be ordered via [www.wind-fgw.de](http://www.wind-fgw.de) (cost: 40€  
 (via e-mail, pdf-document))

### Great Britain:

British wind energy association: [www.bwea.com](http://www.bwea.com)

ETSU Noise Working Group Guidance R-97 (onshore) (see folder):

<http://www.dti.gov.uk/energy/renewables/publications/noiseassessment.shtml>

ETSU Guidance thresholds are dictated by British Standard BS4142

### Netherland:

Contacted:

Nederlands Windenergievereniging: <http://www.newin.nl>

e-mail: [info@newil.nl](mailto:info@newil.nl)

Message forwarded to: Johan Pater: [johan.pater@nuon.com](mailto:johan.pater@nuon.com) / [johan.pater@chello.nl](mailto:johan.pater@chello.nl)  
Rules for windturbines onshore (only in Dutch available, see folder, search for windturbine and geluid, p.8): Infomil-document R19.pdf based on: Besluit voorzieningen en installaties milieubeheer.doc (see: <http://wetten.overheid.nl/cgi-bin/deeplink/law1/title=BESLUIT%20VOORZIENINGEN%20EN%20INSTALLATIE%20MILIEUBEHEER>)

Up-to-date regulations, always look at:  
<http://www.infomil.nl/aspx/get.aspx?xdl=/views/infomil/xdl/page&ItmIdt=29913&SitIdt=111&VarIdt=46>

Offshore, there are none at the moment, but to keep up-to-date:  
[www.noordzeeloket.nl](http://www.noordzeeloket.nl) (category: Beleid & Regelgeving)

**New Zealand:**

Contacted (but did not have further information):

New Zealand Wind Association: <http://www.windenergy.org.nz>

e-mail: [info@windenergy.org.nz](mailto:info@windenergy.org.nz) (contact person: James Glennie  
[james@windenergy.org.nz](mailto:james@windenergy.org.nz))

NZS 6808: 1998 - Acoustics – The Assessment and Measurement of Sound from Wind Turbine Generators, buyable at: [http://www.standards.co.nz/web-shop/?action=viewSearchProduct&mod=catalog&pid=6808:1998\(NZS\)](http://www.standards.co.nz/web-shop/?action=viewSearchProduct&mod=catalog&pid=6808:1998(NZS))

**Norway:**

Contacted:

State of the Environment Norway: <http://www.miljostatus.no>

E-mail: [miljostatus@sft.no](mailto:miljostatus@sft.no) (contact person: Anita Ulfsbøl)

Main info:

<http://www.sft.no/arbeidsomr/stoy/kilde/dbafile13789.html>

Linked to:

p. 197 (Norwegian)

[http://www.sft.no/publikasjoner/luft/2115/ta2115\\_del2.pdf](http://www.sft.no/publikasjoner/luft/2115/ta2115_del2.pdf)

(Norwegian)

[http://www.sft.no/nyheter/dokumenter/retningslinje\\_stoy\\_arealplanlegging.pdf](http://www.sft.no/nyheter/dokumenter/retningslinje_stoy_arealplanlegging.pdf)

(Norwegian)

[http://www.sft.no/publikasjoner/luft/2115/ta2115\\_del1.pdf](http://www.sft.no/publikasjoner/luft/2115/ta2115_del1.pdf)

**Sweden:**

<http://www.naturvardsverket.se/> (main article, see folder: ljud.doc)

Ljud från vindkraftverk:

zip-file: <http://www.naturvardsverket.se/bokhandeln/dse/620-6241-7>

Beräkningsprogram (see folder):

Ljud från landbaserade vindkraftverk

Ljud från havsbaserade vindkraftverk

**Switzerland:**

Contacted:

<http://www.suisse-eole.ch/default-f.htm>

e-mail: [kontakt@suisse-eole.ch](mailto:kontakt@suisse-eole.ch) (contact person: Anita Garbellini  
[anita.garbellini@enco-ag.ch](mailto:anita.garbellini@enco-ag.ch))

No special law, guidelines for windfarms

Lärmschutzverordnung:

[http://www.admin.ch/ch/d/sr/814\\_41/](http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_41/)

(for max. dBA values, see folder: Lärmverordnung\_Anhang 6.doc)

### Other countries

Other countries were contacted, but we have not got an answer:

Canada: Canadian Wind Energy Association: <http://www.canwea.ca> ([info@canwea.ca](mailto:info@canwea.ca))

China: Chinese Renewable Energy Industries Association  
[http://www.creia.net/cms\\_eng/\\_code/english](http://www.creia.net/cms_eng/_code/english)  
 ([creia@creia.net](mailto:creia@creia.net))

Greece: Greece Association: <http://www.cres.gr> ([cres@cres.gr](mailto:cres@cres.gr))

Ireland: public information service on environmental matters: <http://www.enfo.ie>

Italy: associazione nazionale energia del vento: <http://www.anev.org>  
 ([segreteria@anev.org](mailto:segreteria@anev.org))

Portugal: APREN <http://www.apren.pt/ukindex.htm> ([apren@mail.telepac.pt](mailto:apren@mail.telepac.pt))

Russia: Russian Association of wind industry

<http://www.rawi.ru/eng/index.html> ([energy@esk.spb.ru](mailto:energy@esk.spb.ru))

Spain: Asociación de Productores de Energías Renovables: <http://www.appa.es>  
 ([comunicacion@appa.es](mailto:comunicacion@appa.es))

Turkey: Turkish Wind Energy Association:  
<http://www.ruzgarenerjisibirli.org.tr/index.htm> ([info@ruzgarenerjisibirli.org.tr](mailto:info@ruzgarenerjisibirli.org.tr))

USA: American Wind Energy Association: <http://www.awea.org> ([windmail@awea.org](mailto:windmail@awea.org))

Other links which might be helpful:

Noise and Nuisance Policy

Noise Climate Assessment: A Review of National and European Practices (Austria, Denmark, France, Germany, Netherlands, Spain)

<http://www.defra.gov.uk/environment/noise/research/climate/nannexb.htm>

Germany/ Netherlands/ Denmark/ UK, noise levels

p.180 (pdf p. 41)

[http://www.ewea.org/documents/Facts\\_Volume%204.pdf](http://www.ewea.org/documents/Facts_Volume%204.pdf)



## B Skottarevet bryter mot bullergränsen - om man räknar enligt Naturvårdsverket

[http://www.hn.se/m\\_standard.php?id=503217&avdelning\\_1=109&avdelning\\_2=167&](http://www.hn.se/m_standard.php?id=503217&avdelning_1=109&avdelning_2=167&). Publicerad med tillstånd av Lars Rosenberg.



Hallands Nyheter, Publicerad: 2005-12-12

### Skottarevet bryter mot bullergränsen - om man räknar enligt Naturvårdsverket

FALKENBERG

**Kommer vindkraftverken utanför Skottarevet att kunna höras in till land?**

**Den frågan visar sig innehålla ett stort myste-rium.**

Favonius, företaget som vill bygga anläggningen, har engagerat en konsult från Ingemanssons i Göteborg för att analysera bullret och vibrationerna från de 30 planerade vindkraftverken. Konsulten är en ytterst kunnig man som heter Martin Almgren och som brukar presentera sig som doktor i akustik.

Martin Almgren redogjorde för sina resultat vid samrådsmötena i förra veckan. De är högst förbryllande.

Utgångspunkten är en rapport som Naturvårdsverket gav ut för fyra år sen, som heter "Ljud från vindkraftverk". I den finns matematiska formler för beräkning av bullerutbredningen från vindagregat, både över land och över vatten.

Martin Almgren har använt formeln för ljudutbredning över vatten, och kommit fram till det uppseendeväckande resultatet att hela Falkenbergs innerstad riskerar ett buller från Skottarevsparken som överstiger gällande riktvärde.

Det är 40 decibel som nästan alltid anges som gräns för hur mycket vindkraftverk får bullra, mätt vid närmsta bostad. Beräkningarna enligt Naturvårdsverkets formel ger en ljudnivå inne i Falkenberg på 43 decibel.

Martin Almgrens egen slutsats är att Naturvårdsverket helt enkelt har fel.

- Min bedömning är att detta inte kommer att inträffa, sa Martin Almgren vid redovisningen.

Han har också gjort samma beräkning med formeln för ljudutbredning över land. Resultatet blir då drygt 20 decibel, alltså mycket långt under gränsen.

Men Naturvårdsverket påstår i sin skrift att ljud förflyttar sig över vatten på ett helt annat sätt än över land. Huvudorsaken skulle vara att en ljudvåg som faller mot en vattenyta reflekteras mycket effektivt: "Detta medför att ljudstrålarna i huvudsak utbreder sig inom ett skikt närmast vatten", skriver Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket har inte hittat på det själv. Resonemanget härrör från Sten Ljunggren, professor vid institutionen för byggnader och installationer vid Kungliga tekniska högskolan i Stockholm. Sten Ljunggren har i en rad skrifter hävdat att buller över vatten och buller över land har helt olika karaktär. Så här skrev han till exempel i skriften "Ljudutbredning kring havsbaserade vindkraftverk", utgiven 1999:

"Såväl mätresultaten som de teoretiska beräkningarna indikerar starkt att ljudutbredningen kraftigt avviker från den som råder över land."

De här slutsatserna är inte oomstridda. Nya forskningsprojekt väntas bringa ljus över mysteriet.

Men skulle professor Ljunggren visa sig få rätt har Favonius drabbats av ännu en förarglig motgång.

**Lars Rosenberg**

[lars.rosenberg@hn.se](mailto:lars.rosenberg@hn.se)

0346-290 59

## **C Reserapport med sammanfattning av konferensen Wind Turbine Noise i Berlin 17 – 18 oktober 2005**

### **C.1 Sammanfattning**

Två metoder finns för att ställa upp riktvärden 1) Välj fix nivå, 2) Välj en nivå relaterad till uppmätt eller standardiserad bakgrundsnivå.

Ljudemissionsdata bör relateras till vindhastighet i navhöjd.

Beräkningsmodellen NORD 2000 anses av Delta kunna användas för att modellera ljudutbredning från vindkraftverk i alla vindriktningar, även över vatten.

KTHs mätningar i Kalmarsund har ännu inte kunnat stärka hypotesen att ljudutbredning över vatten sker med cylindrisk spridning av ljudenergin. Ljudutbredningen är mer sfärisk än cylindrisk, men mätningarna är inte klara och sista ordet är inte sagt ännu om hur analysen av mätningarna ska göras.

Karin Törnbloms, Uppsala Universitet, modelleringar av vindar och ljudhastighetsgradienter visar att ljudhastighetsprofilerna är inte sådana att de ger ett kraftig språng i ljudhastigheten på ca 100 m höjd, dvs den low level jet-profil som ligger till grund för den cylindriska utbredningsmodellen i Naturvårdsverkets modell för ljudutbredning över hav. Därmed inte sagt att de aldrig förekommer.

Eja Pedersen rapporterade steg 1 och 2 av Laholmsstudien. I steg 2 har man gjort djupintervjuer. Vindturbinljudet uppfattades av några av intervjupersonerna som att det trängde sig in i det privata området, fysiskt in i trädgården och hemmet, men också som en inkräktare in i dem själva. Försökspersonernas uppfattning om landsbygden som antingen en fridfull och tyst plats eller som en plats för utveckling och ekonomisk tillväxt tycktes påverka motviljan mot ljudet, tillsammans med känslor som uppstår av uppfattningen att man saknar kontroll, man är föremål för orättvisa, saknar inflytande eller inte blir trodd.

### **C.2 Deltagande**

Det är stort intresse från hela världen. Man hade räknat med ca 70 deltagare. Nu blev det ca 140 från alla världsdelar utom Syd- och Mellanamerika. Det var 9 deltagare från Australien och Nya Zeeland. Det märks att man satsar på vindkraft på många håll. På t ex Nya Zeeland har man energibrist och man kan inte köpa från andra länder. De vill uppfylla Kyotoprotokollet och satsar på vindkraft.

Det kom deltagare från

- Sverige
- Danmark
- Norge
- Finland
- Tyskland

- Polen
- Ryssland
- Nederländerna
- Storbritannien
- Frankrike
- Italien
- Spanien
- Grekland
- Jordanien
- USA
- Sydkorea
- Japan
- Australien
- Nya Zealand

Från Sverige kom förutom författaren:

- Karl Bolin, KTH/MWL
- Mathieu Boué, KTH/MWL
- Conny Larsson, Uppsala Universitet
- Karin Törnblom, Uppsala Universitet
- Eja Pedersen, Göteborgs Universitet
- Kerstin Persson Waye, Göteborgs Universitet

Deltagarna från andra länder representerade tillverkare, operatörer, konsulter, myndigheter, universitet och forskningsinstitut.

### **C.3 Resumé av föredragen**

#### **A review of wind turbine noise**

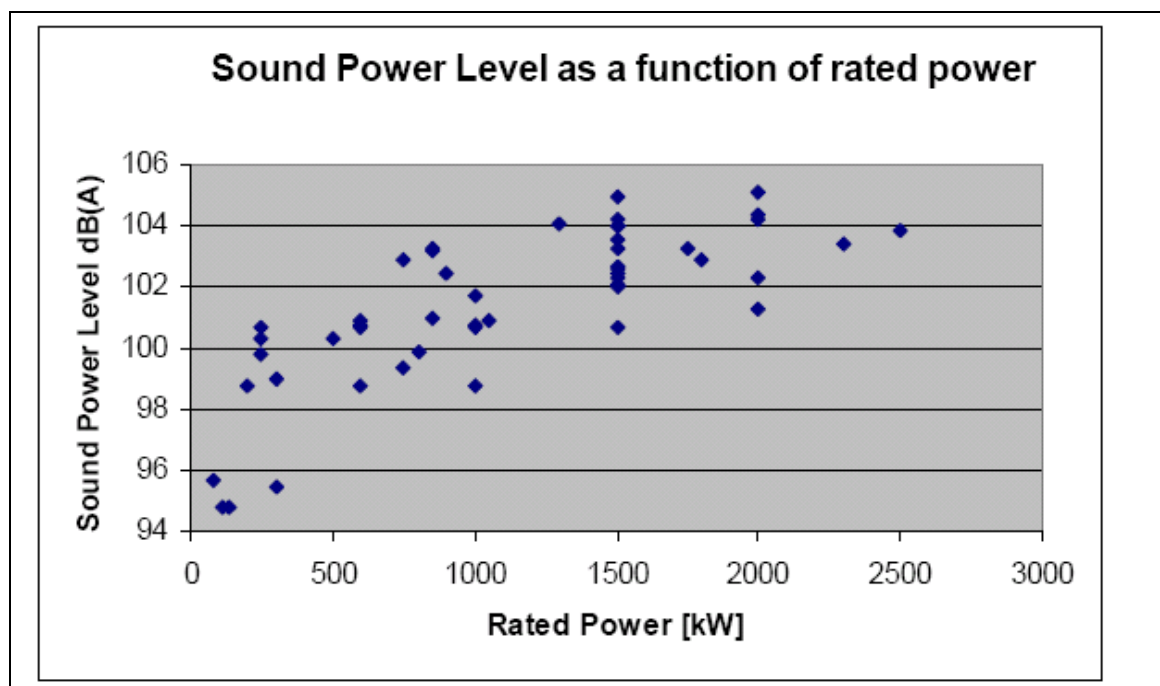
**Helmut Klug, DEWI**

I många länder är ljudutstrålningen fortfarande den huvudsakliga begränsningen i den stora utvecklingen av vindenergi under de senaste åren. Nya konstruktioner har resulterat i avsevärda minskningar av aerodynamiskt alstrat ljud från bladen och maskinbuller. Ljudeffekten från maskiner med reglerbart varvtal kan justeras även efter att de tagits i bruk och ljudtrycksnivån vid de närmaste bostäderna har tagits i bruk.

I en del länder har man absoluta ljudnivågränser, medan de är baserade på bakgrundsljud i andra. Egenskaperna hos vindturbinljud och vindinducerat bakgrundsljud är mycket viktiga för att definiera maskeringskriterier. De nationella föreskrifterna om ljudreglering måste vara konsistenta med de internationella standarderna för att mäta vindturbinljud inkluderande bedömning av tonalitet och standarderna för ljudutbredningsberäkning.

IEC-standard 61400-11 Wind Turbines – Part 11 ”Acoustic noise measurement techniques” reviderades nyligen för att få en procedur som förväntas ge noggranna resultat som kan repeteras av andra. Immissionsmätningar ingår inte i denna standard. De olika

mätprocedurerna för ljudimmission från vindturbiner vid mottagaren beskrivs i en IEA-rekommendation.



Figuren visar ljudeffekten som funktion av märkeffekten. Dessa är publicerade data i en katalog som kommer från German Wind Energy Association BWE (Market Survey 1997-2005).

Klug visar också skillnaden mellan stall-reglerade och pitch-reglerade vindturbiner.

| V[m/s] at 10 m height           | 6    | 7     | 8     | 9            | 10           |
|---------------------------------|------|-------|-------|--------------|--------------|
| Sound Power Level               | 98.6 | 99.6  | 100.8 | 102.4        | <b>104.1</b> |
| Stall-regulated turbine 1300 kW |      |       |       |              |              |
| Sound Power Level               | 98.8 | 100.0 | 101.1 | <b>101.5</b> | 101.0        |
| Pitch-regulated turbine 850 kW  |      |       |       |              |              |

**Tab. 1:** Sound Power Level vs. Wind speed. Examples for a stall and a pitch-regulated turbine

För en pitchreglerad turbin ökar inte ljudeffekten över en viss vindstyrka. För stallreglerade turbiner ökar ljudeffekten med ökad vindstyrka.

Klug säger att de ljudhastighetsgradienter som orsakar de högsta ljudnivåerna på stora avstånd kan väntas inträffa nedströms på natten. Den mest uttalade atmosfäriska skiktningen kan väntas under klara nätter och låga vindhastigheter och i många länder krävs därför mätning under sådana förhållanden. Eftersom vindturbiner har den högsta ljudalstringen vid höga vindhastigheter måste de nationella reglerna för mätning anpassas till detta.

Klug redogör för upplaga 2 av ljudemissionsmättningsstandarden IEC 61400-11. Ljudeffektnivån bestäms för standardiserade vindhastigheter vid 10 m höjd. Vindhastigheten vid navhöjd bestäms ur den elektriska effekten ur turbinens effektkurva. Detta är den enda metoden att få reproducerbar ljudeffektbestämning. Man ska således inte mäta vindhastigheten på 10 m höjd med en mätmast. Många återkom till detta i diskussion. Vindhastigheten på 10 m höjd ska uppskattas ur en standardiserad vindhastighetsprofil som ges i standarden. Metoden för att beskriva tonalitet har reviderats.

IEC Technical Specification 61400-14: "Declaration of Sound Power Level and Tonality Values of Wind Turbines" anger en metod att beskriva typisk ljudemission för ett antal vindturbiner av samma typ snarare än ett enskilda exemplar.

### **Human response to wind turbine noise – annoyance and moderating factors** **Eja Pedersen och Kerstin Persson Waye, Göteborgs Universitet**

Vindturbiner betraktas som industriella bullerkällor. Riktlinjerna för sådana baseras på kunskap om situationer som avviker ganska mycket från de som förknippas med vindturbiner. Landsbygd, rotorblad i konstant rörelse, oförutsägbara bullerhändelser och lätt uppfattbara ljud är exempel som indikerar behovet av ny reglering enligt författarna. Författarna hänvisar till sitt pågående projekt om människans respons på vindturbiner. I detta projekt, dvs Laholmsstudien, har förhållandet mellan den A-vägd ljudtrycksnivå och den egenrapporterade störningen av vindturbinbuller studerats tillsammans med modererande faktorer. Man fann ett dos-responssamband mellan A-vägd ljudtrycksnivå och bullerstörning. När man jämförde resultaten med dos-responssamband för andra stationära ljudkällor fann man att anelen störda av vindturbinljud ökade snabbare med exponering.

Av de möjliga modererande faktorerna som mättes i studien var attityden till turbinens visuella påverkan på landskapsbilden den mest betydelsefulla. För att öka förståelsen varför ljud ibland orsakar allvarliga reaktioner och för att undersöka inflytandet av icke hörbara faktorer, genomfördes en kvalitativ studie. Djupintervjuer gjordes med 15 personer som bodde i närheten av vindkraftverk.

Vindturbinljudet uppfattades av några av intervjupersonerna som att det trängde sig in i det privata området, fysiskt in i trädgården och hemmet, men också som en inkräktare in i dem själva. Försökspersonernas uppfattning om landsbygden som antingen en fridfull och tyst plats eller som en plats för utveckling och ekonomisk tillväxt tycktes påverka motviljan mot ljudet, tillsammans med känslor som uppstår av uppfattningen att man saknar kontroll, man är föremål för orättvisa, saknar inflytande eller inte blir trodd.

### **How the "mythology" of infrasound and low frequency noise related to wind turbines might have developed, Geoff Leventhall, Noise Consultant**

Invändningar baserade på infraljud och lågfrekvent buller, som ofta reses mot vindkraftprojekt, beror huvudsakligen på att allmänheten missuppfattar dessa ämnen. Problemet har uppstått genom överdrifter i media. Det var en period för över 30 år sedan då, varje gång infraljud och lågfrekvent ljud gavs publicitet, mer och mer "fakta" för-

svann i en dimma av överdrift. Man redogjorde för försök med mycket höga ljudnivåer. Sedan har man gjort utdrag ur sådana artiklar utan att redogöra för förutsättningarna, dvs mycket höga ljudnivåer. Dessa missuppfattningar har använts för att skapa förvirring i internationell politik och används för närvarande i tillståndsärenden.

### **Public opinion of a proposed wind farm situated close to a populated area in New Zealand: Results from a cross-sectional study.**

**Charmaine A. Watts, Philip J. Schluter and Roger Whiting, Auckland University of Technology**

Tillståndsansökan för ett vindkraftprojekt i Franklin avslogs av myndigheterna för att ett antal grupper i kommunen, som sade sig representera majoriteten av samället, motsatte sig ansökan. En enkätundersökning gjordes efter detta för att utreda invånarnas attityd. Det visade sig att 70 % var för vindfarmen, 17 % neutrala och bara 13 % motståndare.

Slutsatsen är att, i motsats till flera lobbygruppers försäkringar, majoriteten av invånarna i området är för att vindfarmen ska byggas. En betydande andel, 21 %, av samhällspopulationen tycker dock att "bullerförorening" är en nackdel. Utbildning bedöms behövas för att lindra detta och andra orosmoment innan vindfarmer kan välkomnas till Franklin och andra liknande lokala samhällen.

### **Masking of wind turbine sound by vegetation noise**

**Karl Bolin, KTH**

Bolin utgår från Olivier Fégeants arbete med att ta fram en modell för ljud från vind i vegetation. Fégeants arbete har några begränsningar; valideringar av modellen har inte gjorts för vindhastigheter över 7 m/s och fluktuationer orsakade av turbulens har bara delvis undersökts. Bolin beskriver att han förbättrat modellen och han har använt en tredimensionell turbulensmodell. Mätningar har gjorts för olika vegetationsgeometrier och vid högre vindhastigheter och mätningarna jämförs med olika modeller. Loudnessindex beräknat enligt ISO 532(A) har gjorts från tersbandsspektrum av vindturbiner och vegetationskällor.

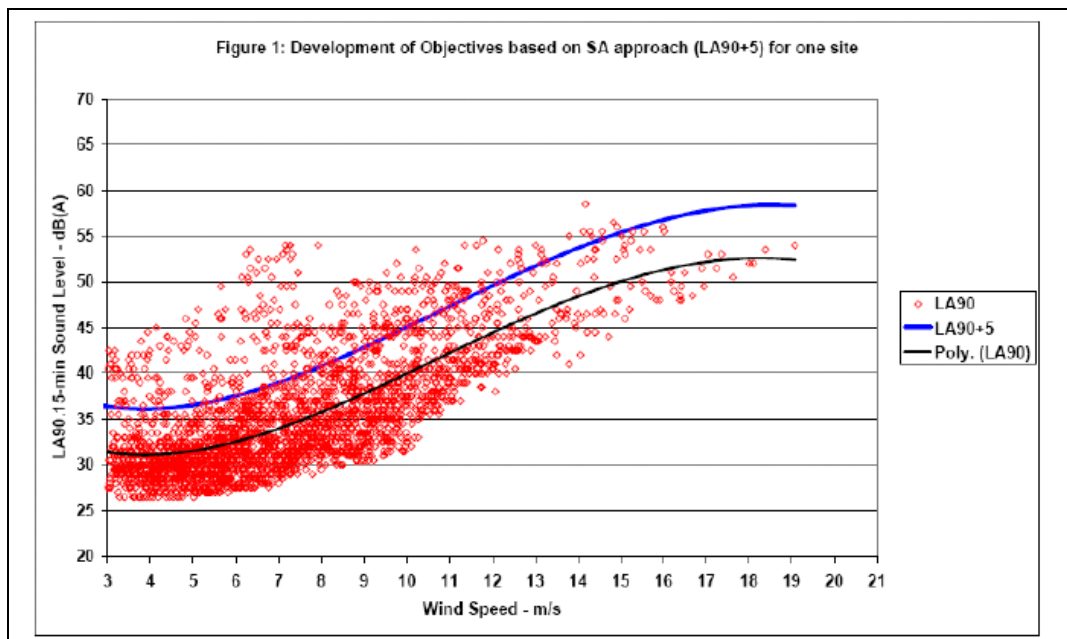
Jämförelser och utvärderingar av dessa data indikerar att maskering sker av högfrekvent ljud, men lågfrekvensdelen av vindturbinljudet tycks vara hörbart. Bolin ska jobba vidare med att ta hänsyn till att turbulensen gör att vegetationsljudet varierar i tiden. Det gör att maskeringseffekten kan minska.

### **Wind Turbine Noise Assessment In Australia And Comparison Of Software Model Predictions For Australian Conditions And Wind Farms**

**Colin Tickell, Hatch, PO Box 1237, North Sydney, NSW 2774, Australia**

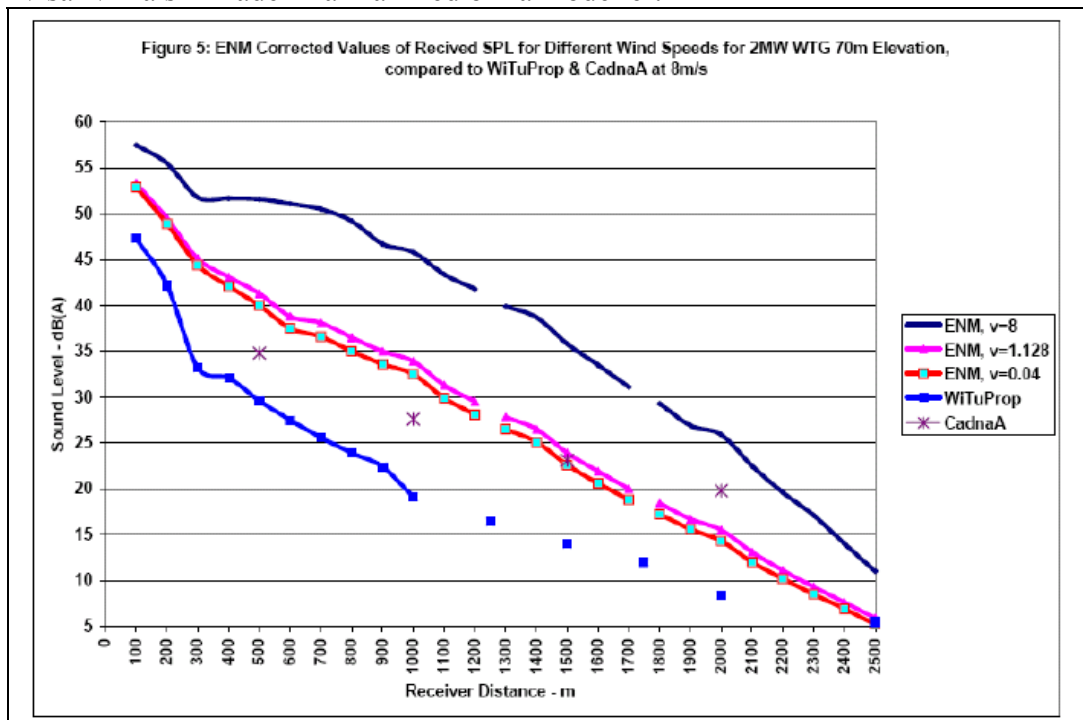
Varje stat i Australien har sina egna riktlinjer för bedömning av ljud från vindkraft. De baseras på metoder för bedömning av industribuller.

Följande figur visar metoden som används i South Australia och New South Wales.



Man mäter bakgrundsnyvån  $L_{A90}$  i tiominutersintervaller för olika vindstyrka i området där vindkraftverk planeras.  $L_{A90}$  är den momentana ljudnivå som överskrids 90 % av tiden. Det högsta värdet av  $L_{A90} + 5$  dB och 35 dBA tillåts. Se den blåa kurvan i figuren. I Victoria och i Nya Zeeland är det högsta värdet av  $L_{A90} + 5$  dB och 40 dBA som tillåts.

Man har ingen överenskommen beräkningsmodell för ljudutbredning. Följande figur visar vilka skillnader man får med olika modeller.



Validering av beräkningsmodeller behövs enligt författaren.

Tickel säger att om mätning visar att man inte kan höra och inte kan mäta ljud från vindkraftverken så är allt OK. Kan man höra dem så kan det bli problem.

### **Modelling Of Noise From Wind Farms And Evaluation Of The Noise Annoyance Erik Sloth, Vestas Wind Systems, Alsvej 21, 8900 Randers, Denmark**

Sloth visar på några problem med emissionsmätmetoden, t ex om det är högre vindskjuvning än standard på platsen där man planerar vindkraftverk. Då får man mer buller. Även om man får ”yaw error”, dvs vinden faller in snett mot rotorn.

Sloth tycker att man ska använda den immissionsrelevanta ljudeffekten. Det innebär att man ska använd ljudeffekten som funktion av vindhastigheten vid navhöjd. Det är också viktigt att ta hänsyn till luftens densitet.

In this example, the site is imagined as a site in a hilly terrain, at a high elevation above sea. The yearly average values for the site as compared to the standardized measurement results are:

|                      | Standardized values | Alternative site values |
|----------------------|---------------------|-------------------------|
| Hub height           | 60                  | 80                      |
| Wind shear           | 0,16                | 0,1                     |
| Air density:         | 1,225               | 1,12                    |
| Turbulence intensity | 16%                 | 22%                     |
| Inflow angle         | 2 deg               | 6 deg                   |

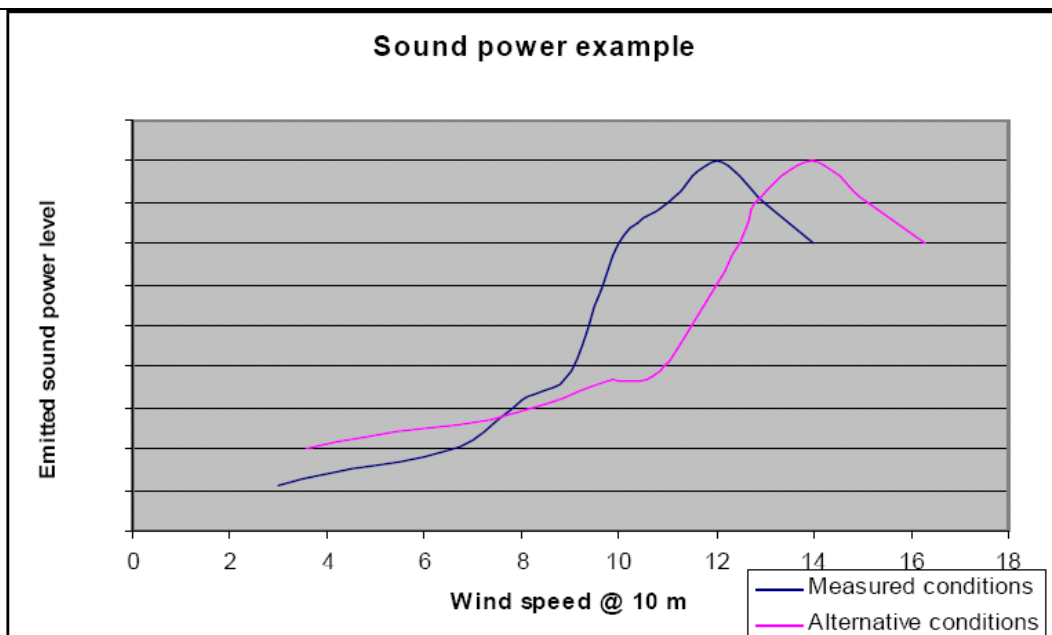
Based on this data, the immission relevant data as compared to the standardized values is shown below.

Noggrannheten i ljudeffekten och utbredningsberäkningen måste man också ta med i planeringen.

Följande metoder för beräkning av ljudimmission brukar användas:

- ISO 9613-2
- VDI 2714
- Concawe
- BS 5228
- General prediction method (Danish)
- Danish EPA guidelines
- Netherlands guidelines 1999
- Swedish method (different methods for land and sea)

Ska riktvärdet för ljud från vindkraft vara en fix nivå eller vara en nivå som relateras till bakgrunds nivå? Sloth förordar bakgrundsrelaterad nivå. Boende brukar uppleva minst störning från sådana vindkraftverk



As evident from the figure, the sound power level at the site with alternative conditions must be expected to be above the standardized values at low wind speeds, and below the standardized values at higher wind speeds. Consequently, using the standardized values will result in an underestimation of the noise contribution from the wind turbine at low wind speeds, and an overestimation of the noise contribution at higher wind speeds.

### Prediction Of Wind Turbine Noise Propagation Over Complex Terrain In All Kinds Of Weather With Nord2000

Jørgen Kragh, Birger Plovsing DELTA Danish Electronics, Light & Acoustics [www.delta.dk](http://www.delta.dk), Venlighedsvej 4, DK-2970 Hørsholm, Denmark

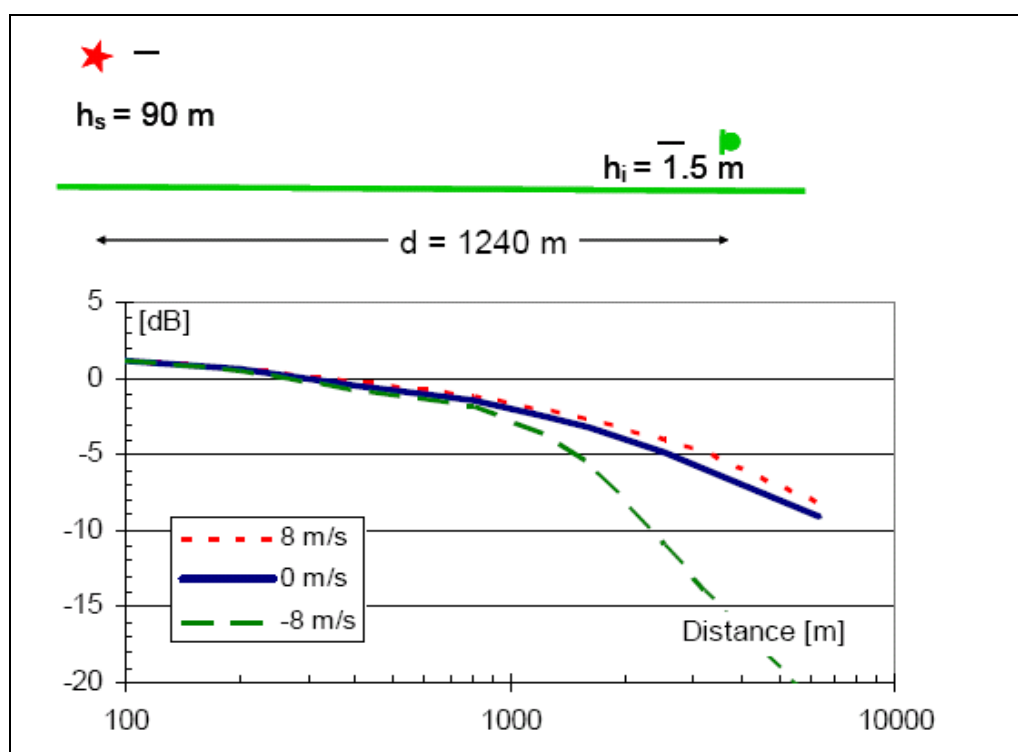
Bo Søndergaard DELTA Danish Electronics, Light & Acoustics [www.delta.dk](http://www.delta.dk) Kongsvang Allé 33, DK-8000 Aarhus, Denmark

Föredraget presenterades av Søndergaard. Plovsing och Kragh var inte där.

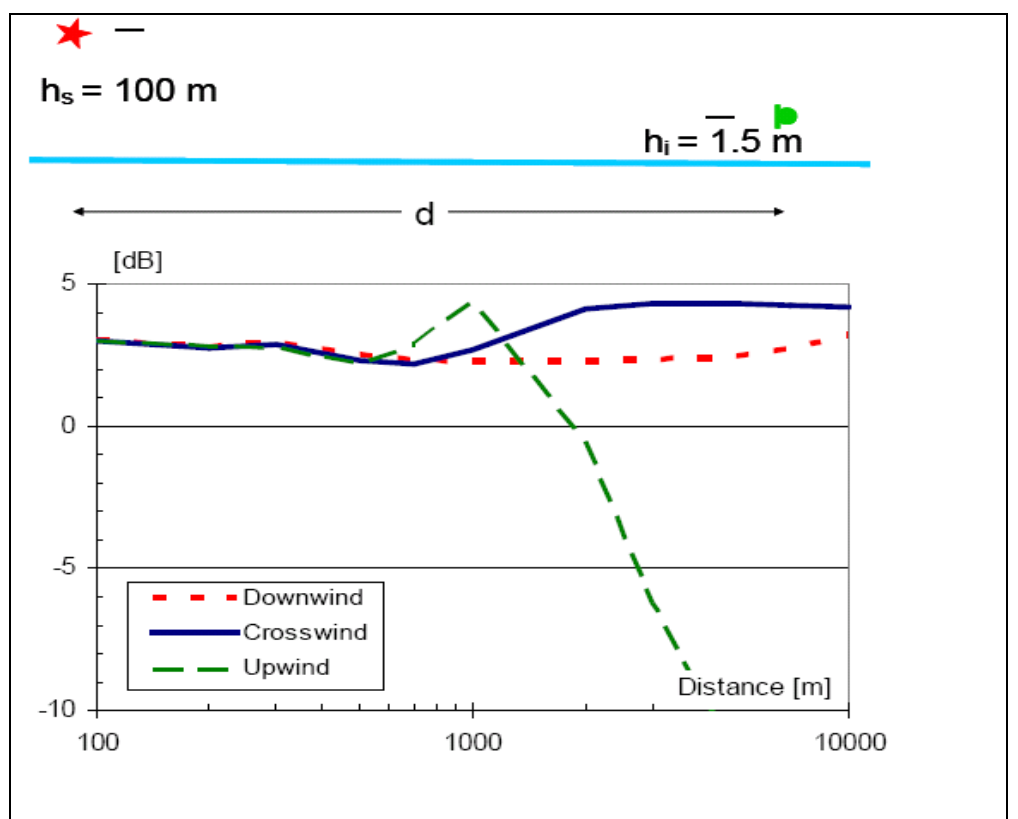
Förutom att Nord 2000-modellen kan ta hänsyn till topografi, skärmar och markdämpning finns flera vädereffekter medtagna.

Det finns principer utvecklade för det faktum att ljudhastighetsprofilen inte är linjär, att gradienten fluktuerar, att man kan få multipelstrålar som ökar ljudnivån nedströms och att man kan få skuggzon uppströms. Vidare att man får turbulent spridning av ljud in i skuggzonen bakom en skärm.

Ett exempel som visar den kombinerade effekten av luftabsorption och markdämpning uppströms och nedströms visas i följande figur.



Delta tillämpar Nord 2000 på ljudutbredning över vatten också. Se följande figur. Figuren visar markeffekten vid olika vindriktning.



Delta tycker att ”The Nord2000 propagation model is more generally valid than the methods applied until now for predicting wind turbine noise. Nord2000 has facilities for taking the actual weather conditions into account as well as the details of the terrain profile between the wind turbine and the receiver. This opens for more nuanced description of the environmental noise levels from wind turbines / wind farms and thereby for running wind farms with fewer restrictions than may be the case today when environmental noise levels are assessed assuming downwind from every wind turbine in every direction at the same time. Such nuance in assessment may at the same time lead to more power production and less neighbour conflict. ”

### **Numerical Simulations Of Wind Fields Over The Baltic Sea With Applications To Sound Propagation**

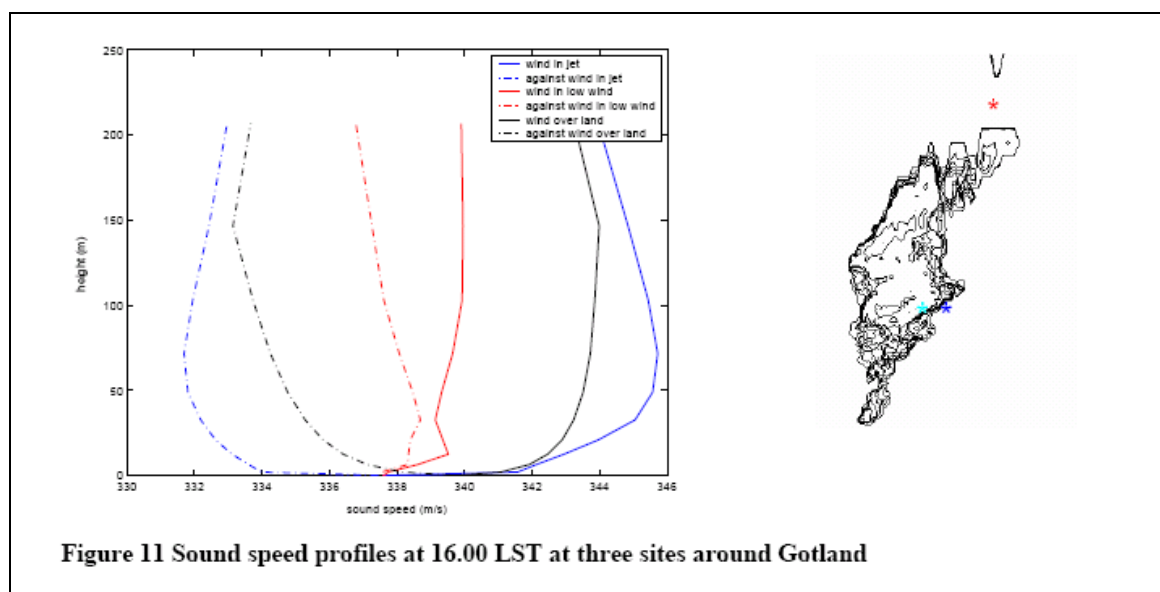
**Corresponding author: PhD student Karin Törnblom, University of Uppsala, Department of Earth Sciences, Air and Water Sciences, Villav.16, SE-75236 Uppsala, Sweden. Co-author: Dr. Conny Larsson**

Karin visade på vindsimuleringar gjorda med MIUU för vindar vid Gotland. Här återges slutsatserna:

”This study, which was made for a day in May, shows that thermally driven circulations affect the wind field and gradients in coastal areas, often giving rise to low level jets, sea breezes and supergeostrophic winds. It is the diurnal heating of the islands together with the surface roughness changes between land and sea that have the greatest effect on the wind climate in the Baltic Sea, where the topography is considered to be moderate.

The sound propagation is highly dependent on atmospheric conditions, such as gradients of wind and temperature. Small variations of these gradients in time and space, e.g. a LLJ changes height with tens of meters, may change the whole sound scenario at a specific place a distance away from the sound source, since the sharp wind gradient may work as a lid for upward or downward propagation, depending on where the source is situated. In a real atmosphere the gradients change even faster and more vividly than they can ever do in a numerical model, which is restricted by the distance between its grid points. Numerical sound models that do not take into account the atmosphere or that simplify it too much therefore miss a lot of physics important for an accurate modelling of sound propagation. It also seems that calculating a mean value for the sound in decibel is not a good way to represent the result. A better way might be to make a statistical distribution on the sound level and when they occur. ”

De visade ljudhastighetsprofilerna är inte sådana att de ger ett kraftigt språng i ljudhastigheten på ca 100 m höjd, dvs den low level jet-profil som ligger till grund för den cylindriska utbredningsmodellen i Naturvårdsverkets modell för ljudutbredning över hav. Se följande figur.



### Wind gradient statistics up to 200 m altitude over flat ground

G.P. van den Berg Science Shop for Physics, University of Groningen, Nijenborgh 4, 9747 AG Groningen, the Netherlands;

Vindstatistik från en 200 m hög mast och dess konsekvenser för effekt och ljudalstring belyses. Atmosfärisk stabilitet är en viktig faktor.

"The underestimate of high altitude night time wind speed has been compensated partly by the overestimate of high altitude daytime wind speed, which partly explains why, until recently, atmospheric stability was not been recognized as an important determinant for wind power. To assess wind turbine electrical and sound power production the use of a neutral wind profile should be abandoned as it yields data that are not consistent with reality.

### A Detailed Study of the Propagation and Modelling of the Effects of Low Frequency Seismic Vibration and Infrasound from Wind Turbines

Peter Styles<sup>1</sup>, Richard England<sup>1</sup>, Ian G. Stimpson<sup>1</sup>, Sam Toon<sup>1</sup>, David Bowers<sup>2</sup>, Malcolm Hayes<sup>3</sup>, <sup>1</sup> Applied and Environmental Geophysics Group, School of Physical and Geographical Sciences, Keele University, Keele, Staffs ST5 5BG, UK, ([p.styles@keele.ac.uk](mailto:p.styles@keele.ac.uk)), <sup>2</sup> Division of Forensic Seismology, AWE Blacknest, Brimpton, Reading, Berks RG7 4RS, UK, ([bowers@blacknest.gov.uk](mailto:bowers@blacknest.gov.uk)), <sup>3</sup> Hayes McKenzie Partnership, Lodge Park, Tre'r-ddol, Machynlleth, Powys SY20 8PL, UK, ([Malcolm@hayesMckenzie.co.uk](mailto:Malcolm@hayesMckenzie.co.uk))

Föredraget handlade om att ställa krav på en zon kring Storbritanniens mätstation för seismiska vågor från kärnvapensprängningar (och andra orsaker). De har tagit fram en utbredningsmodell för vibrationer i marken kring vindkraftverk. Anläggningen tål vib-

rationsförskjutningar på 0,336 nm. Aggregaten får vara som närmast drygt 18 km från mätstationen.

## MAPPING OF UPWIND AND DOWNWIND AIRBORNE NOISE PROPAGATION

GAMBA R., GARRIGUES S., SENAT C. Gamba Acoustique & Associés BP 163 – 31676 Labège cedex – France

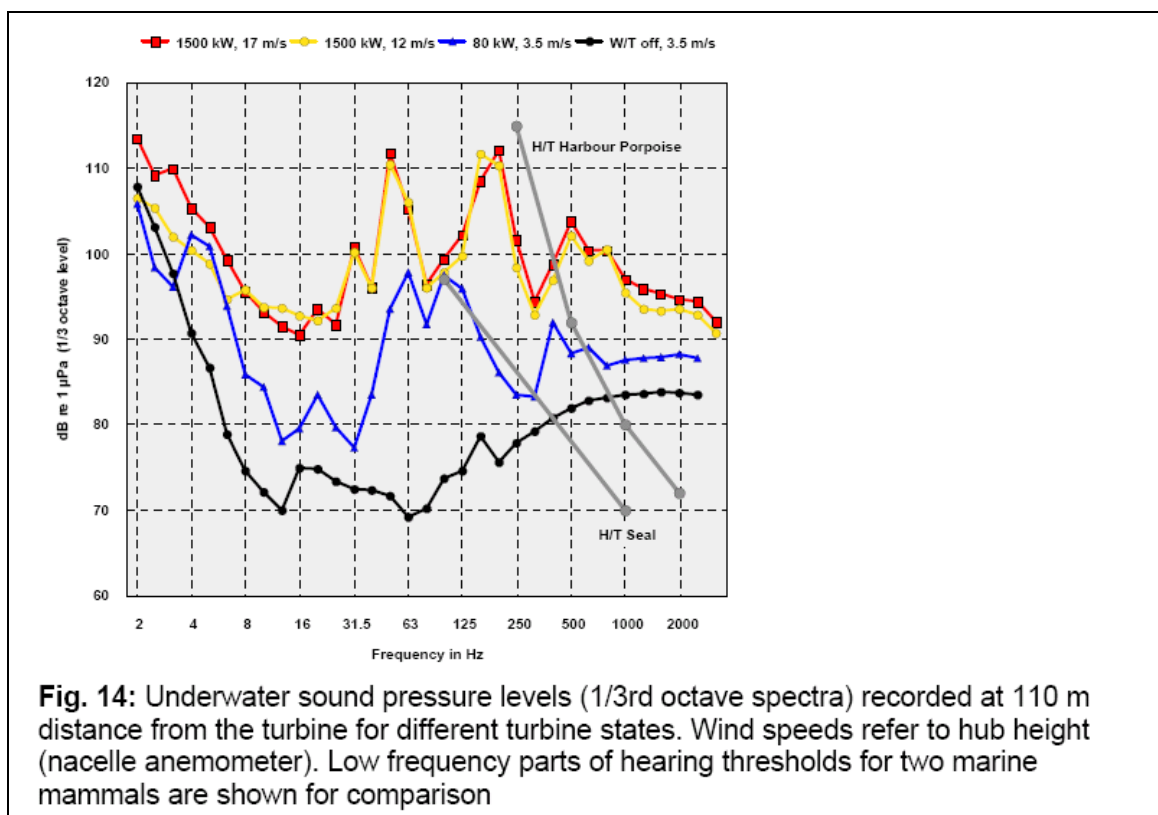
Gamba berättade om ett franskt ljudutbredningsberäkningsprogram som hans firma utvecklar.

## UNDERWATER NOISE EMISSIONS OF OFFSHORE WIND TURBINES

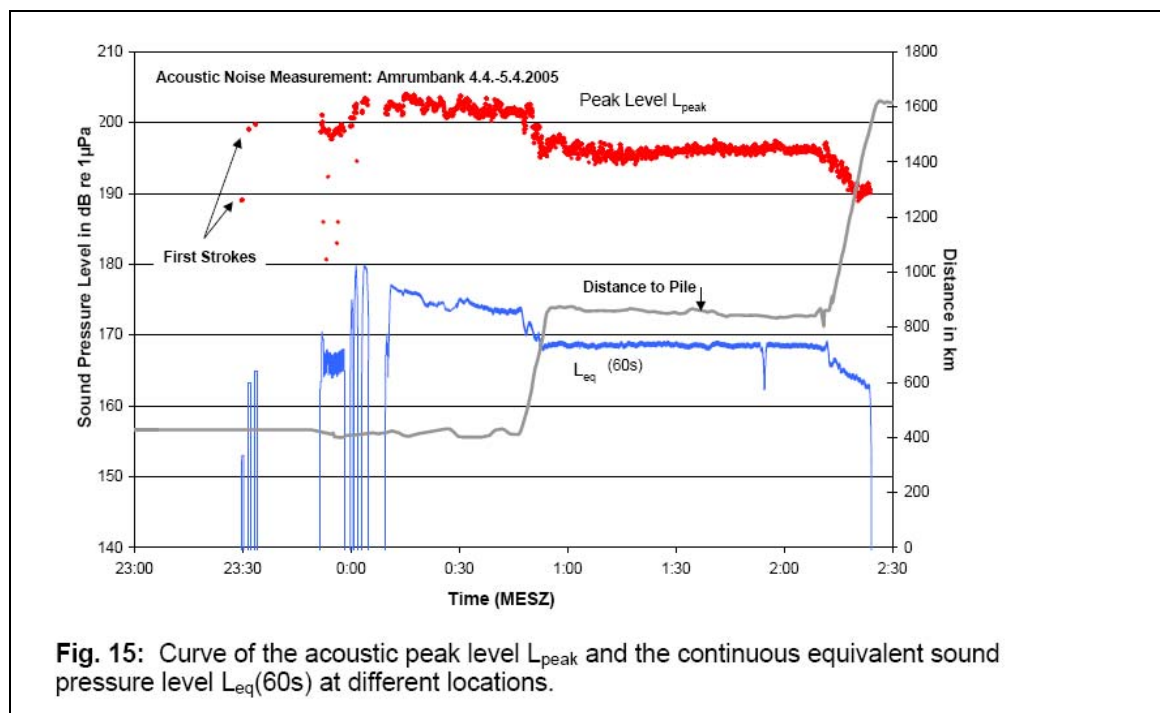
K. Betke<sup>3</sup>, K.-H. Elmer<sup>2</sup>, J. Gabriel<sup>1</sup>, W.-J. Gerasch<sup>2</sup>, R. Matuschek<sup>3</sup>, T. Neumann<sup>1</sup>,  
 1: Deutsches Windenergie Institut GmbH (DEWI), Wilhelmshaven, Germany, [t.neumann@dewi.de](mailto:t.neumann@dewi.de),  
 2: Institut für Statik und Dynamik, Univ. Hannover, (ISD), Hannover, Germany, [wj.gerasch@isd.uni-hannover.de](mailto:wj.gerasch@isd.uni-hannover.de),  
 3: Institut für technische und angewandte Physik GmbH (itap), Oldenburg, Germany, [betke@itap.de](mailto:betke@itap.de)

De har mätt ljudnivåer i vatten på 200 dB re 1  $\mu$ Pa nära påldrivning och mätt ljud i vatten vid drift av turbin.

Följande figur visar ljudnivåmätningar.



Följande figur visar uppmätt ljudtrycksnivå i vattnet på olika avstånd från pålning.



### The Use of 10 m Wind Speed Measurements in the Assessment of Wind Farm Developments

**Paul Botha BSc (Mech) Eng, MSc Eng Wind Technical Specialist Meridian Energy Limited PO Box 10-840, Wellington, New Zealand**

The paper proposes that hub-height wind speeds should be used for the entire acoustic assessment of both wind turbines (sound power level determination) and wind farms (prediction and measurement), and outlines the advantages of this approach.

Detta var ett återkommande tema på konferensen.

### Understanding the acoustical behaviour of a wind turbine by means of acoustic imaging.

**K. Haddad (karim.haddad@acb-engineering.fr), V. Benoit (vincent.benoit@acb-engineering.fr) – ACB Engineering (Paris, France)**

Haddad redovisade ett system för akustisk kamera (acoustic imaging). SCIROCCO-projektet som redovisas i andra föredrag är ett konkurrerande system. Man mäter med en stor array av mikrofoner för att kunna separera ljudkällor på turbinen. ACBs system kan inte uppvisa några konkreta resultat ännu.

**Development of noise reduction technology for a 500 kW prototype wind turbine**  
**By Geoff Henderson, Chief Executive Officer, Windflow Technology Limited, P.O. Box 13 952, Christchurch, New Zealand.**

Henderson beskriver ett fall där man fick problem med en ton som störde en bostad på 1,4 km avstånd. Man fick plocka ner turbinen och göra en mängd undersökningar. Till slut hittade man orsaken och kunde åtgärda. Det var en resonans mellan en kuggingreppsfrekvens och en axelböjsvängning. Tonen försvann och man sänkte nivån från 36 till 24 dBA.

Henderson nämnde att detta är Nya Zealands första vindturbin som är helt konstruerad och producerad inom landet. Det verkar vara viktigt.

**Mitigation measures for night-time wind turbine noise**  
**G.P. van den Berg Science Shop for Physics, University of Groningen, Nijenborgh 4, 9747 AG Groningen, the Netherlands**

1A Kontrollera ljudemissionen utgående från mätning av vindhastigheten

1B Kontrollera ljudemissionen utgående från mätning av omgivningsbullernivån

2A Variera pitchvinkeln under ett rotorvarv anpassat till vindens variation med höjden.

2B Tilta rotorn

**Analysis of the sound characteristics of large stall-controlled wind power plants in inland locations**

**Harders, H.; Albrecht, Dr. H. J.; Landesumweltamt Brandenburg (Brandenburg State Office for Environment); D-14467 Potsdam - Germany;**

Harders kommer från myndigheten i Brandenburg. Han visar på relationen mellan vindhastigheter och ljudalstring och att det är viktigt ha rätt vinddata för att undvika avstängning av stallreglerade vindturbiner i onödan.

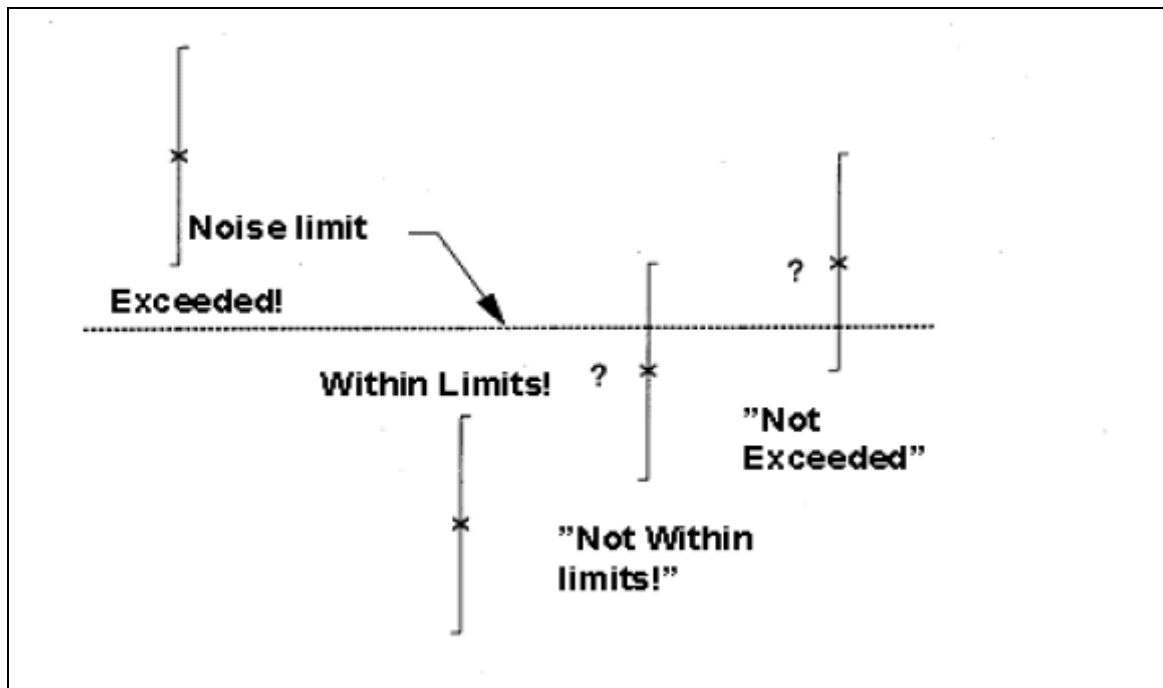
**TWO-MEDIUM THEORY OF AERODYNAMIC SOUND SOURCES AND THE PRACTICAL PROBLEMS OF WIND TURBINE NOISE**

**A. T. Fedorchenko *Institute for Mathematical Modeling, Russian Academy of Sciences 125047 Moscow, Russia***

Författaren tyckte att han har den bästa modellen för att räkna på ljudalstring. Han var besviken för att inga andra forskare refererade till hans arbeten.

**Noise measurements according to IEC 61400-11. How to use the results**  
**Bo Søndergaard M.Sc (Physics) DELTA Danish Electronics Light & Acoustics**  
[www.delta.dk](http://www.delta.dk), Kongsvang Allé 30, DK 8000 Aarhus Denmark

Søndergaard gav eksempel på ljudemissionsmätning och diskuterade vad som kan hända om terrängen inte är idealt plan. Onoggrannheten är en viktig faktor. Följande figur illustrerar olika fall.



As described in the paper, the measurement method gives an A-weighted sound power level at wind speed range from 6 – 10 m/s that can be extended to higher and lower wind speeds. Further a tonality analysis is given. A range of parameters are not quantified in the method e.g. low frequency noise, impulsivity, modulation...

This means that the data representing the noise from a wind turbine at a neighbour position is based solely on the A-weighted noise level (wind speed dependent) and the corresponding tonality. This can be an appropriate description, but community reactions indicate that a wider range of parameters might be relevant

- low frequency noise
- modulation
- traditional descriptors such as sharpness, roughness,
- masking (background noise from nature, roads, factories etc.)

If these effects are to be clarified further research is needed including:

- Psychoacoustic experiments
- Listener test
- Measurements at low frequencies
- Analysis for other characteristics

**Noise of Wind Power Turbine V80 in a Farm Operation**

**Maria GOLEC\*, Zdzisław GOLEC\*, Czesław CEMPEL\*** \*Poznań University of Technology, Institute of Applied Mechanics Piotrowo 3 Street, 60-965 Poznań, Poland

Golec beskrev ett praktikfall där man mätt ljudemission i fyra riktningar och beräknat ljudimmissionen.

**CFD-CAA Study Of Generic Savonius Wind Turbine Rotor**

**Serguei Timouchev** Laboratory of Numerical Modelling SRCNT MAI

Beskriver beräkningar av ljud vid bladpassagefrekvensen för en Savoniusrotor.

**Regulation of Wind Turbine Noise in the Western United States**

**Mark Bastasch** CH2M HILL 825 NE Multnomah St., Suite 1300, Portland, OR 97232, USA

Det finns inga federala regler i USA. Delstater kan ha regler och counties kan ha egna regler. Bureau of Land Management har regler som gäller över hela USA för deras områden.

Bastasch har som konsult tagit fram regler för Oregon:

”(iii) For noise levels generated or caused by a wind energy facility:

(I) The increase in ambient statistical noise levels is based on an assumed background  $L_{50}$  ambient noise level of 26 dBA or the actual ambient background level. The person owning the wind energy facility may conduct measurements to determine the actual ambient  $L_{10}$  and  $L_{50}$  background level. (Författarens kommentar: Här menas nog med  $L_{10}$  den nivå som underskrids 10 % av tiden.)

(II) The “actual ambient background level” is the measured noise level at the appropriate measurement point as specified in subsection (3)(b) of this rule using generally accepted noise engineering measurement practices. Background noise measurements shall be obtained at the appropriate measurement point, synchronized with windspeed measurements of hub height conditions at the nearest wind turbine location. “Actual ambient background level” does not include noise generated or caused by the wind energy facility.

(III) The noise levels from a wind energy facility may increase the ambient statistical noise levels  $L_{10}$  and  $L_{50}$  by more than 10 dBA (but not above the limits specified in Table 8), if the person who owns the noise sensitive property executes a legally effective easement or real covenant that benefits the property on which the wind energy facility is located. The easement or covenant must authorize the wind energy facility to increase the ambient statistical noise levels,  $L_{10}$  or  $L_{50}$  on the sensitive property by more than 10 dBA at the appropriate measurement point.

(IV) For purposes of determining whether a proposed wind energy facility would satisfy the ambient noise standard where a landowner has not waived the standard, noise levels at the appropriate measurement point are predicted assuming that all of the proposed wind facility's turbines are operating between cut-in speed and the wind speed corresponding to the maximum sound power level established by IEC 61400-11 (version 2002-12). These predictions must be compared to the highest of either the assumed ambient noise level of 26 dBA or to the actual ambient background  $L_{10}$  and  $L_{50}$  noise level, if measured. The facility complies with the noise ambient background standard if this comparison shows that the increase in noise is not more than 10 dBA over this entire range of wind speeds.

(V) For purposes of determining whether an operating wind energy facility complies with the ambient noise standard where a landowner has not waived the standard, noise levels at the appropriate measurement point are measured when the facility's nearest wind turbine is operating over the entire range of wind speeds between cut-in speed and the windspeed corresponding to the maximum sound power level and no turbine that could contribute to the noise level is disabled. The facility complies with the noise ambient background standard if the increase in noise over either the assumed ambient noise level of 26 dBA or to the actual ambient background  $L_{10}$  and  $L_{50}$  noise level, if measured, is not more than 10 dBA over this entire range of wind speeds.

(VI) For purposes of determining whether a proposed wind energy facility would satisfy the Table 8 standards, noise levels at the appropriate measurement point are predicted by using the turbine's maximum sound power level following procedures established by IEC 61400-11 (version 2002-12), and assuming that all of the proposed wind facility's turbines are operating at the maximum sound power level.

(VII) For purposes of determining whether an operating wind energy facility satisfies the Table 8 standards, noise generated by the energy facility is measured at the appropriate measurement point when the facility's nearest wind turbine is operating at the windspeed corresponding to the maximum sound power level and no turbine that could contribute to the noise level is disabled.

## **PERFORMANCE AND NOISE FROM A WALL-MOUNTED WIND MILL DRIVING A REFRIGERATOR/HEAT PUMP UNIT**

**K. Asfar , H. Radaydeh, and B. Shaddad** Department of Mechanical Engineering  
Jordan University of Science and Technology P.O.Box 3030  
Irbid – Jordan

Asfar dök into upp.

## **SIROCCO: Silent ROTors by aCoustic Optimalisation**

**J. G. Schepers, A.P.W.M. Curvers<sup>1</sup> S. Oerlemans<sup>2</sup> K. Braun, T. Lutz, A. Herrig, W. Wuerz<sup>3</sup> B. Méndez López<sup>4</sup>**

EU-projekt. Schepers gav en sammanfattning.



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

Figuren visar resultat av mätningar med en mikrofonarray för separering av ljudkällor. Man drar slutsatsen att ljud från virvelavlösning vid bakkanten ("trailing edge noise") då bladet går uppifrån och ner dominerar ljudalstringen. Denna kunskap använder de i de andra delprojekten för att dimensionera bygga och validera tystare blad.

## LOCALISATION AND QUANTIFICATION OF NOISE SOURCES ON A WIND TURBINE

Stefan Oerlemans National Aerospace Laboratory NLR, Emmeloord, The Netherlands (stefan@nlr.nl) Department of Helicopters and Aeroacoustics, P.O. Box 153, 8300 AD Emmeloord Beatriz Méndez López Gamesa Eólica, Madrid, Spain (bmendez@eolica.gamesa.es) Cañada real de las merinas 7, Edificio 3, Planta 4, Madrid 28042

### Constrained Aerodynamic & Aeroacoustic Design of Wind-Rotor Airfoils

Th. Lutz, A. Herrig, W. Würz, K. Braun, E. Krämer Institute of Aerodynamics and Gas Dynamics (IAG), University of Stuttgart, Pfaffenwaldring 21, D-70550 Stuttgart

### Trailing-Edge Noise Measurements of Wind Turbine Airfoils in Open and Closed Test Section Wind Tunnels

A. Herrig, W. Würz, Th. Lutz, K. Braun and E. Krämer S. Oerlemans

Se Schepers

## C.4 Noteringar från samtal

Jesper Mogensen från danska miljöministeriet säger att Birger Plovsing kan känna till om det finns immissionmätning av ljud från havsbaserade vindkraftverk

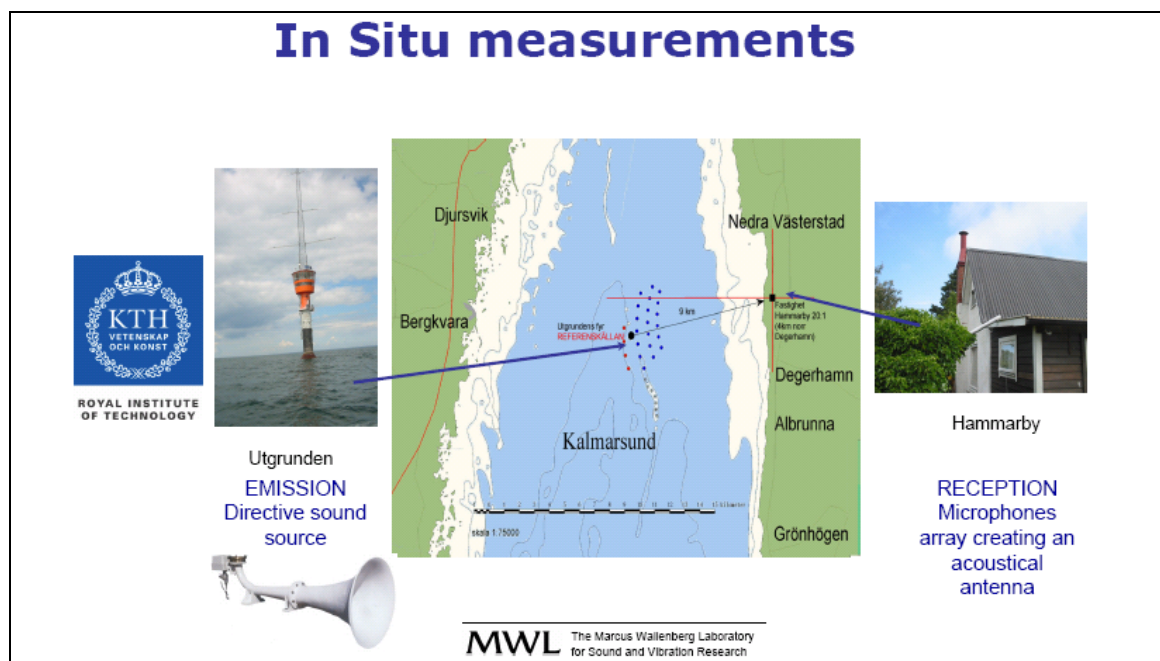
Erik Sloth, Vestas tycker att ett riktvärde baserat på mätning av bakgrundsljud är mycket bättre för de boende än en absolut nivå. Han har ingen mättrapport, som Vestas betalat för, och som han skulle kunna skicka mig. Han känner dock till flera sådana och ska undersöka om han får skicka en sådan. Danmark är det land som har de enklaste reglerna för projektutvecklare. Vestas kommer att göra en mätning av ljudimmission från havsbaserad vindkraft.

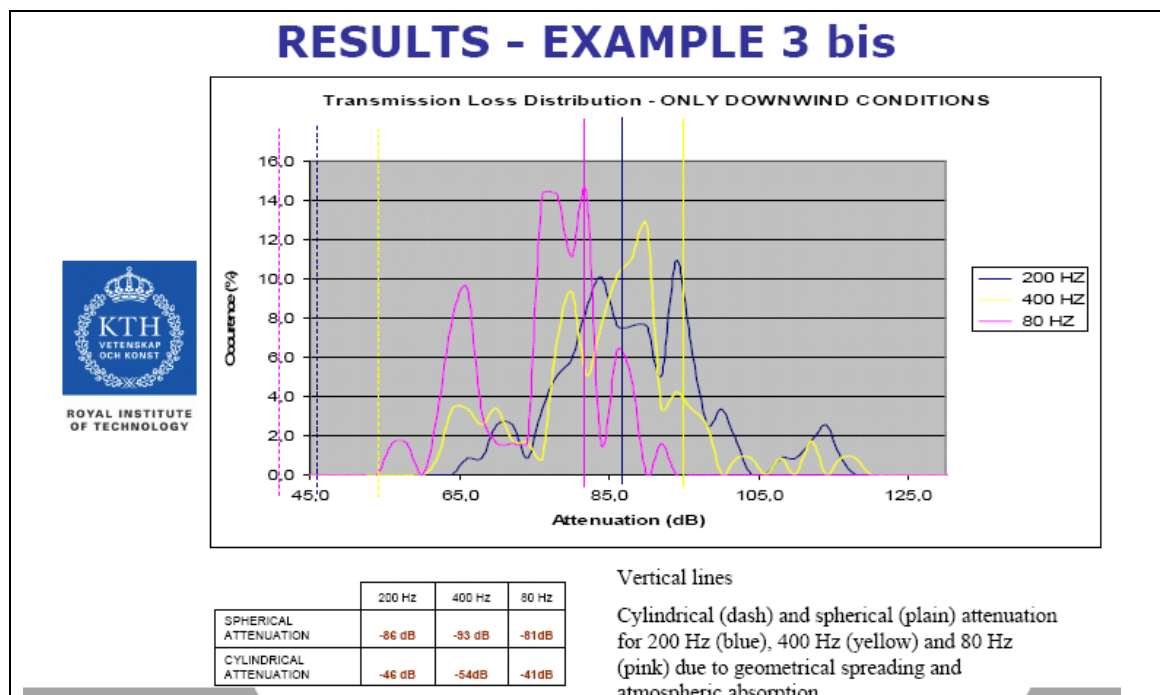
Conny Larsson. Conny har hört och mätt ljud från Bockstogens havsbaserade vindkraftverk vid Burgsvik någon enstaka gång vid tre- fyratiden på morgonen då det var rätt vindar och alla fåglar var tillfälligt tysta. Nivån var mycket låg, ca 20 dBA, men han hörde svischandet.

Bo Söndergaard, Delta. Bo tycker det är OK att använda NORD 2000 för att räkna på ljud från vindkraftverk till havs. Kragh säger att man kan räkna upp till 6 km, men i praktiken räknar han längre. Bo ska undersöka om man kan knappa in en godtycklig vindhastighetsprofil.

Bo har försökt att göra en emissionsmätning till havs, men det gick inte bra på grund av störande vågor. Han känner inte till att man gjort immissionmätning av ljud från offshoreverk. Han känner inte heller till att någon klagat i Danmark och det borde han i så fall fått veta.

Mathieu Boué från KTH hade ingen egen presentation. Han gjorde dock en presentation för författaren, Eja Pedersen och Kerstin Persson Waye.





Figuren visar att det är sällan ren sfärisk eller cylindrisk utbredning. Diagrammet ska modifieras för att ta hänsyn till att en del av ljudutbredningen sker över land. I diagrammet ovan framgår att det är närmare sfärisk än cylindrisk utbredning under de tillfällena mätningar gjorts. Eventuellt ska korrigeringar göras. Mathieu har tagit fram en bild som visar den kumulativa fördelningen av ljudutbredningsdämpningen. Sten Ljungren har efterlyst en sådan analys för att kunna modifiera Naturvårdsverkets beräkningsmodell. Mathieu har senare tillhandahållit mätresultaten. Dessa har analyserats och jämförts med beräkningar enligt Naturvårdsverkets modell för ljudutbredning över hav, se avsnitt 4.3.

## D Terminologi för ljud i vindkraftsammanhang

| Ord                    | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1/3-oktavband          | Se tersband.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Absorption             | Se ljudabsorption                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Addition av ljudnivåer | <p>Om de olika nivåerna representerar inkoherenta (oberoende) ljudbidrag är det de kvadrerade effektivvärdena (eller ljudeffekterna eller ljudintensiteterna) som skall adderas. Additionen måste därför ske genom att först antilogaritmera nivåerna dividerade med tio och därefter logaritmera summan av antilogaritmerna och multiplicera med tio:</p> $L_{tot} = 10 \cdot \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10})$ <p>Detta innebär att ljud från två källor som var och en ger samma ljudtrycksnivå tillsammans ger 3 dB högre nivå. Om den ena ljudkällan ger 10 dB lägre ljudtrycksnivå blir resultatet bara 0,4 dB högre. Tio källor med samma ljudbidrag ger tillsammans 10 dB högre nivå och 100 källor ger 20 dB högre nivå.</p> |
| Aktiv ljuddämpning     | Ljuddämpare som bygger på ljuddämpning med ett elektroniskt framställt motljud. Inkommande ljud tas upp av en eller flera mikrofoner, räknas om i en dataprocessor och skickas ut från högtalare i motfas. Syftet är att summan av det inkommande ljudet och motljudet ska bli noll.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Akustik                | Akustik är läran om ljud, dess uppkomst, spridning och effekter.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Amplitud               | <p>Storleken av en fram- och återgående svängande rörelse, t ex i en ljudvåg. En elektrisk spänning som svänger mellan -325 och +325 volt har amplituden 325 volt. Om ljudtrycket för en ton varierar mellan</p> <p>-1 och +1 Pa är amplituden 1 Pa.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| antilogaritm           | Matematisk funktion som är motsatsen till logaritm. Betecknas vanligen $10^x$ , där $x$ är talet som ska antilogaritmeras. Exempel $10^0 = 1$ , $10^1 = 10$ , och $10^2 = 100$ .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Atmosfärisk absorption | Se luftabsorption                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Avskärmning            | Se bullerskärm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

| Ord                                         | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Avståndsdämpning vid ljudutbredning utomhus | När ljudvågor utbreder sig minskas, genom olika processer, ljudnivån ju längre vågen utbreder sig. Dämpning kan ske genom sfärisk spridning, luftabsorption, absorption i regn, snö eller dimma, skärmning av vall, mur eller annat hinder, absorption i gräs, buskar och träd, inverkan av temperatur- och vindgradient, markreflektion, mm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| A-vägning                                   | Genom att mäta buller med ett filter som dämpar låga och höga frekvenser på ett sätt som liknar hörselns frekvensvägning vid <u>låg</u> hörnivå, får man ett mätetal som kan relateras till örats sätt att uppfatta buller. Den A-vägda totalnivån har enheten dB(A) eller dBA. Se även frekvensfilter och vägning.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Baffel                                      | En plan skiva som påverkar ljudet. Vid mätning av ljudemission från vindkraftverk placeras mikrofonen på en hård skiva som reflekterar ljudet                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Bakgrundsbuller                             | Om man vill undersöka ljudet från en ljudkälla, måste man först undersöka bakgrundsbullret, dvs. ljudnivån uppmätt med den intressanta ljudkällan avstängd. Om bakgrundsbullret understiger det mätta ljudet från källan med 10 dB kan man bortse från bakgrundsbullrets inverkan. Om å andra sidan skillnaden är mindre än 3 dB, är ljudnivån från ljudkällan lägre än bakgrundsbullret och ljudmätningen kan då endast betraktas som ungefärlig. För skillnader på 3 - 10 dB mellan uppmätt nivå med påkopplad ljudkälla (totalt) och enbart bakgrundsbullret, kan en korrektion av mätvärdena göras.<br>$L_{källa} = 10 \cdot \log(10^{L_{tot}/10} - 10^{L_{bakgr}/10})$ |
| Bandbredd                                   | Vid en frekvensanalys mäts ljudet inom olika frekvensband. Storleken av ett frekvensband benämns bandbredd. Konstant relativ bandbredd innebär att bandbredden är en viss procent av mittfrekvensen. Exempel: 3 % bandbredd vid 1000 Hz motsvarar bandbredden 30 Hz. Konstant absolut bandbredd innebär att bandbredden i absoluta tal, t ex 10 Hz, är konstant vid alla frekvenser.<br><br>Se även mittfrekvens och gränsfrekvens.                                                                                                                                                                                                                                         |
| Baston                                      | En hörbar ton med låg frekvens. En bassångare ska normalt ha ett tonomfång från grova F till ettstrukna D. Det motsvarar frekvensomfånget 87,3 till 294 Hz. Se även lågfrekvent ljud. Motsats: diskantton.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Bredbandigt ljud                            | Ljud, som i ett frekvensspektrum ej uppvisar några toppar, kallas bredbandigt ljud.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| Ord               | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brus              | Ljud som från ett brusande vattenfall. Brus är bredbandigt när man ser det som ett frekvensspektrum.                                                                                                                                                                                                                                   |
| Buller            | Oönskat ljud, oljud. Det som är välljud för en person kan vara oljud för en annan                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Bullerdosimeter   | En bullerdosimeter är en personburen ljudnivåmätare och används för att bestämma arbetstagarnas bullerexponering i form av bland annat ekvivalent och momentan ljudnivå samt impulstoppvärde. Namnet lever kvar sedan den tid man verkligen mätte bullerdosen och därefter räknade ut den ekvivalenta ljudnivån.                       |
| Bullerexponering  | När en person utsätts för buller.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Bullerkarta       | En ritning eller karta som visar ljudnivån på olika platser är en bullerkarta. Ofta visas bullernivån i 5 dB-intervall med olika färger. Se även iso-dBA.                                                                                                                                                                              |
| Bullerskada       | Skada på hörseln orsakad av buller, exempelvis permanent hörselnedsättning, tinnitus och ljudöverkänslighet. Kan uppstå vid långvarig exponering i för hög bullernivå eller vid mycket höga bullertoppar. Så höga nivåer uppstår inte från vindkraftverk.                                                                              |
| Bullerskärm       | En skärm som används för att skärma av ljudet från en bullerkälla.                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Böjvåg            | Typ av svängningsform som förekommer bl.a. i plattor och balkar. Överföring av ljud genom en vägg sker via denna typ av svängning. Ljudhastigheten för böjvågor är frekvensberoende och ökar med ökande frekvens. Se även koincidens.                                                                                                  |
| Centerfrekvens    | Se mittfrekvens                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| CNEL<br>C-vägning | Se $L_{den}$ .<br>Genom att mäta buller med ett filter som dämpar låga och höga frekvenser på ett sätt som liknar hörselns frekvensvägning vid <u>hög</u> hörselnivå, får man ett måttetal som kan relateras till örats sätt att uppfatta buller. Den C-vägd totalnivå får enheten dB(C) eller dBC. Se även frekvensfilter och vägning |
| dB (decibel)      | Enhet för logaritmiska mått som exempelvis ljudtrycksnivå. Se även nivåbegreppet.                                                                                                                                                                                                                                                      |
| dB(A)             | Skrivs även dB(A). Se A-vägning                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| dBC               | Skrivs även dB(C). Se C-vägning                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

| Ord                              | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| dBLin                            | Med dBLin menas enheten för den totala nivån ovägt, dvs. ej frekvensfiltrerad. Lin är en förkortning för linjär, vilket i sin tur syftar på att filterkurvan är rak som en linjal.                                                                                                                                                    |
| Densitet                         | Ett ämnes täthet eller volymvikt. Anger hur mycket massa per volymenhet ett ämne har ( $\text{kg/m}^3$ ).                                                                                                                                                                                                                             |
| Direktfält                       | Ljudfältet på relativt nära avstånd från en ljudkälla i ett rum utan att ljudreflexer från väggar och tak inverkar. Det kan röra sig om avstånd upp till någon eller några meter från källan beroende på efterklang i rummet. Kallas också närfält, men närfält har också en annan betydelse. Direktfält och fritt fält är samma sak. |
| Direktivitet                     | Riktningsegenskap. Används för ljudkällor som skickar ut olika mycket ljud i olika riktningar.                                                                                                                                                                                                                                        |
| Diskanttoner                     | Toner med höga frekvenser. Motsats till baston.                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Distortion                       | Förvrängning av ljud.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Effektivvärde                    | Ett mätinstrument som skall mäta en varierande signal presenterar ofta resultatet i form av ett effektivvärde eller RMS-värde ("root mean square"). Effektivvärdet är i princip det konstanta värde som ger samma energiinnehåll som den varierande signalen under viss tid (medelvärde)                                              |
| Efterklangsfält                  | I ett rum med hårda väggar, golv och tak reflekteras ljudvågor från en ljudkälla fram och tillbaka. Nära ljudkällan dominerar det direktstrålade ljudet, direktfältet. Då man avlägsnar sig från källan avtar ljudtrycksnivån för att sedan bli ungefär konstant. Denna del av ljudfältet kallas efterklangsfält.                     |
| Efterklangsnivå                  | Ljudtrycksnivån i efterklangsfältet                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Efterklangstid                   | Om man plötsligt stänger av en ljudkälla i ett rum avtar ljudnivån olika snabbt beroende på lokalens akustiska egenskaper. Den tid det tar för nivån att sjunka 60 dB kallas efterklangstiden och mäts i sekunder.                                                                                                                    |
| Ekvivalent ljudnivå              | Se ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå | Ekvivalent ljudtrycksnivå mätt med vägningsfilter A. Det är en av de vanligaste storheterna för att bedöma buller.                                                                                                                                                                                                                    |
| Ekvivalent ljudtrycksnivå        | Den ekvivalenta ljudtrycksnivån är en form av genomsnittlig ljudtrycksnivå under en given tidsperiod, t ex ett dygn. Genomsnittet ska                                                                                                                                                                                                 |

| Ord                             | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | beräknas eller mätas på ett sätt som påminner om addition av ljudnivåer. Om ljudnivån är 30 dBA under halva dygnet och 40 dB under andra halvan blir den ekvivalenta ljudnivån 37 dBA. Den ekvivalenta ljudtrycksnivån kan bestämmas för flera olika sorters ljudtrycksnivåer, t ex A- eller C-vägd ljudtrycksnivå och ljudtrycksnivå i oktavband. |
| EU-direktiv                     | Påbud från Europeiska Unionen, EU. Alla medlemsländer ska följa ett EU-direktiv. Det finns EU-direktiv om bedömning och hantering av omgivningsbuller.                                                                                                                                                                                             |
| ”Fast”                          | På en ljudnivåmätare kan man välja under hur lång tid medelvärdesbildningen för bestämning av effektivvärde skall ske. ”Fast” innebär kort tid, ca 125 ms. ”Fast” betyder snabbt. Se även tidsvägning, ”Slow”, ”Peak” och effektivvärde.                                                                                                           |
| FFT                             | ”Fast Fourier Transform”. Används i mätsystem för att göra frekvensanalys, särskilt smalbandsanalys. Metoden bygger på en snabb beräkning av Fouriertransformen av en signal. Se även Fouriertransform och smalbandsanalys.                                                                                                                        |
| Filter                          | Se frekvensfilter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| ”Flat”                          | Efter det engelska ordet för platt. Används i enheten dBFlat. Se även ovägd nivå.                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Fourieranalys, Fouriertransform | Matematiska metoder att dela upp vilket ljud som helst som en summa av toner. Om ljudet är brusartat blir det en oändlig summa av toner. I mätinstrument görs beräkningarna med FFT, ”Fast Fourier Transform”, som är ett ”fiffigt” räkneschema för att snabba upp beräkningarna.                                                                  |
| Frekvens                        | Antal svängningar per tidsenhet för ljud eller vibrationer som anges i enheten Herz, Hz. Ett annat svenskt ord för frekvens i ljudsammanhang är tonhöjd.                                                                                                                                                                                           |
| Frekvensanalys                  | Analys för att se vilka frekvenser ljud och vibrationer är uppbyggda av. Kan t ex vara oktavbandsanalys, tersbandsanalys eller smalbandsanalys. För frekvensanalysen används frekvensfilter.                                                                                                                                                       |
| Frekvensband                    | Vid en frekvensanalys av en ljudsignal mäter man ljudet i breda eller smala frekvensområden. Dessa delar benämns frekvensband. Se även oktavband och tersband.                                                                                                                                                                                     |
| Frekvensfilter                  | Ett frekvensfilter används för att filtrera ljudet så att bara ljud inom ett visst frekvensområde släpps igenom. Frekvensfiltret bestäms av                                                                                                                                                                                                        |

| Ord                     | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | den undre och övre gränsfrekvensen. Vanliga frekvensfilter i bullersammanhang är oktavfilter, tersbandsfilter och smalbandsfilter. Även A-vägningsfilter och C-vägningsfilter är en slags frekvensfilter som dämpar ljud vid olika frekvenser.   |
| Fritt fält              | Ljudfält utan inverkan av ljud som reflekteras från ytor. Ibland får ljud som reflekteras i marken medräknas.                                                                                                                                    |
| Fält                    | Se ljudfält, fritt fält, närfält,                                                                                                                                                                                                                |
| Gränsfrekvens           | Den undre och övre gränsfrekvensen för ett frekvensfilter anger inom vilket frekvensområde filtret släpper igenom ljud. Bandbredden är skillnaden mellan frekvenserna.                                                                           |
| Grundton                | Första tonen i en tonserie, t ex i en serie av harmoniska toner. För exempelvis en elmotor med varvtalet 1480 varv/min hör man ofta ett ljud med en grundton vid 25 Hz, vilket motsvarar 25 varv per sekund. Övertonerna är 50, 75, 100 Hz, etc. |
| Gränsvärde              | Ett värde knutet till bindande krav från myndighet.                                                                                                                                                                                              |
| Harmoniska toner        | En grundton och dess multiplar, t ex grundtonen 25 Hz och övertonerna 50, 75 och 100 Hz.                                                                                                                                                         |
| Herz, Hz                | Antal svängningar per sekund som är enheten för frekvens.                                                                                                                                                                                        |
| Hyperakusis             | Se överkänslighet för ljud.                                                                                                                                                                                                                      |
| Hård                    | Se ljudhård.                                                                                                                                                                                                                                     |
| Hörbara frekvensområdet | Man brukar allmänt ange 20 – 20000 Hz som det hörbara frekvensområdet. Ljud vid olika frekvenser hörs dock olika starkt. Hörbarheten försämras i regel med åldern och vid kraftig långvarig bullerexponering.                                    |
| Hörmiljö                | Hörmiljö är den ljudomgivning där en person ska lyssna och uppfatta tal och annat ljud.                                                                                                                                                          |
| Hörnivå                 | Ljudtrycksnivå för en standardiserad jämförelseton (ren ton med frekvensen 1000 Hz), då denna ger samma subjektiva styrkeintryck som det ljud vars hörnivå skall bestämmas. Enhet 1 phon.                                                        |
| Hörområde               | Frekvensområde inom vilket man kan höra. Kan vara olika för olika människor. Är normalt 20 till 20000 Hz. En del djur kan höra mycket                                                                                                            |

| Ord                           | Förklaring                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | högre frekvenser. Fiskar kan höra lägre frekvenser.                                                                                                                                      |
| Hörsel                        | Förmågan att uppfatta ljud, det vill säga tryckvariationer i luften.                                                                                                                     |
| Hörselintryck                 | Det intryck man får av att lyssna på ljud.                                                                                                                                               |
| Hörselkurva                   | Uppmätt hörselförlust i dB prickas in i ett så kallat audiogram. Mätvärdena förbinds med streck. Den kurva som då uppstår kallas hörselkurva.                                            |
| Hörselnedsättning             | Försämring av hörförmågan.                                                                                                                                                               |
| Hörselskydd                   | Personliga skydd som sätts över öronen eller i hörselgången för att minska ljudnivån vid trumhinnan. Kan vara kåpor eller proppar.                                                       |
| Hörteknik                     | Med hörteknik menas här tekniska hjälpmedel som till exempel hörselapparat och PA-system (högtalarsystem)                                                                                |
| Hörtröskel                    | Det svagaste ljud man kan uppfatta. Hörtröskeln varierar med ljudets frekvens.                                                                                                           |
| Impulsljud                    | Impulsljud är ljud som karakteriseras av en plötslig tryckändring med varaktighet mindre än ca 1 s.                                                                                      |
| Impulsnivå                    | Ljudnivå med tidsvägning "Impulse" används för skottbullen. Se även impulstoppvärde och tidsvägning.                                                                                     |
| Impulstoppvärde               | Ljudnivå med tidsvägning "Peak". Se tidsvägning och "Peak"-nivå.                                                                                                                         |
| Infraljud                     | Infraljud är ljud med frekvenser under det hörbara området, mindre än ca 20 Hz. Riktvärden för infraljud finns i Arbetsmiljöverkets föreskrifter om buller.                              |
| Insättningsdämpning           | Med insättningsdämpning menas skillnaden i ljudtrycksnivå före insats och efter insats av åtgärd. Anges i dB eller dBA.                                                                  |
| Intermittent ljud             | Ljud som är tidvis konstant. Exempel: Ljudnivå är 70 dBA i 25 minuter, 84 dBA i 3 minuter 70 dBA åter i 15 minuter och 63 dBA i 30 minuter.                                              |
| Inverkan av ljud på människan | <p>Buller kan få följande negativa följder:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Akut permanent hörselskada vid mycket höga ljudtryck, även vid kortvarig exponering.</li> </ul> |

| Ord                            | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permanent hörselnedsättning</li> <li>▪ Tillfällig hörselnedsättning</li> <li>▪ Försämrade taluppfattbarhet</li> <li>▪ Maskering av varningsljud</li> <li>▪ Maskering av andra positiva ljud som t ex bäckens porlande eller fåglarnas kvittrande i naturen</li> <li>▪ Sömnstörning</li> <li>▪ Allmän störning, irritation och koncentrationssvårigheter</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Inverkan av vibrationer        | <p>Vibrationer över känslighetströskeln, ca 0,28 mm/s, kan kännas. Vägd vibrationshastighet 0,4 – 1,0 mm/s bedöms ge måttlig störning enligt svensk standard SS 460 48 61. Vibrationer över 1 mm/s (vägd vibrationshastighet) ger sannolikt störning och upplevs av många som störande. Precis som för ljud finns det inga absoluta gränser som gäller för alla människor. Skillnaden kan vara stor.</p> <p>Vägningen innebär att endast frekvenser i intervallet 1 till 80 Hz beaktas och att vibrationer med frekvenser under 8 Hz bedöms lindrigare.</p> <p>Vibrationer kan inverka på funktionen hos känsliga instrument, t ex elektronmikroskop. Gränsvärden för detta är ofta strängare än för inverkan på människor.</p> <p>Vibrationer kan skada byggnader. Gränsvärden för detta är ofta mycket lindrigare än för inverkan på människor.</p> |
| Irritation                     | Buller, även låga nivåer av buller, kan orsaka irritation.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Iso-dBA                        | Område på en karta med samma ljudnivå i dBA. Iso betyder samma.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Kalibrering                    | Kalibrering av en ljudnivåmätare innebär att mikrofonen exponeras för en känd ljudnivå, vanligen 94,0 dB vid 1000 Hz. Om värdet avviker måste instrumentet korrigeras. Se även mikrofon. En grundlig kalibrering i hela frekvensområdet och av andra egenskaper ska göras regelbundet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Koincidens, koincidensfrekvens | Om våglängden för böjvågor i en platta eller vägg blir lika med våglängden för ljudvågor i luft fås koincidens (samstämmighet). Det får till följd att ljudutstrålningen från vibrationer i plattan blir extra effektiv och att plattans ljudisolerande förmåga blir dålig. Den lägsta frekvens där detta kan inträffa för en viss platta kallas koincidensgränsfrekvens eller kritisk frekvens.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Konstant ljud                  | Ljud där nivå och frekvens inte ändrar sig nämnvärt med tiden. Kallas ibland stationärt ljud.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| Ord                  | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Källstyrka           | En ljudkällas styrka. I bullersammanhang används vanligen ljudeffekten.                                                                                                                                                                                                                                                          |
| $L_{den}$            | En årsekvivalent A-vägd ljudnivå med 5 dB höjning av kvällsnivån och 10 dB höjning av nattnivån. Den = day, evening, night. Betecknas ibland <i>CNEL</i> .                                                                                                                                                                       |
| $L_{A90, 10min}$     | Den ljudnivå som överskrider 90 % av tiden under en tiominutersperiod. Ibland används begreppet $L_{A10}$ för samma nivå. Då menas den nivå som underskrider 10 % av tiden. För att undvika risk för missförstånd bör begreppet definieras när det används.                                                                      |
| $L_{A95, 10min}$     | Den ljudnivå som överskrider 95 % av tiden under en tiominutersperiod                                                                                                                                                                                                                                                            |
| $L_{eq}, L_{Aeq}$    | Ekvivalent ljudnivå. A:et för A-vägning är ofta underförstått.                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| $L_{max}, L_{AFmax}$ | Maximal ljudnivå. Normalt mäts den med tidsvägning F, FAST och med A-vägning.                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $L_p$                | Ljudtrycksnivå i dB re 20 $\mu$ Pa. p:et utelämnas ofta, t ex så som i $L_{Aeq}$                                                                                                                                                                                                                                                 |
| $L_W$                | Ljudeffektnivå i dB re 1 pW                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| $L_{WA}$             | A-vägd ljudeffektnivå i dB re 1 pW                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| $L_{50}$             | Den ljudnivå som överskrider 50 % av mättiden                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $L_{8,3}$            | Okänt nivåbegrepp som används i Kern County i USA                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Lin                  | Förkortning för linjär nivå och anges i enheten dBLin. Se även dBLin och ovägd nivå.                                                                                                                                                                                                                                             |
| Ljud                 | Ljud är trycksvängningar i luften som människan uppfattar med hörselsinnet. Även fenomen som styrs av liknande fysikaliska principer kallas ljud. Se t ex infraljud, ultraljud, stomljud och undervattensljud. Hörbart ljud har frekvenser i området 20 till 20000 Hz                                                            |
| Ljudabsorbent        | En yta eller föremål som används för att absorbera eller suga upp det ljud som faller in mot ljudabsorbenten.                                                                                                                                                                                                                    |
| Ljudabsorption       | Reducering av ljudenergin genom energiupptagning hos ett ämne. Då en ljudvåg faller in mot en yta reflekteras en del av ljudenergin och en del försvinner in i ytan. Den del som försvinner in i ytan kan utbreda sig ytterligare eller omvandlas till värme. Man säger att denna, till värme omvandlade del, absorberas i ytan. |

| Ord                                       | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ljudalstring, ljudkällor                  | En viktig del av akustiken är beskrivning av ljudkällor och principer för ljudalstring. Generellt kan man säga att ljud uppstår av krafter i rörelse och att ljudalstringen reduceras genom att minska kraften och förlänga tidsförloppet.                                                                                                  |
| Ljuddämpare                               | Anordning för att dämpa ljud, ofta i en ventilationskanal. I en absorptionsljuddämpare passerar ljudet förbi ljudabsorberande ytor. I en reaktiv ljuddämpare passerar ljudet genom, eller förbi, håligheter av olika slag.                                                                                                                  |
| Ljudeffekt, ljudenergi och ljudintensitet | För varje ljudkälla kan den utsända ljudenergin per tidsenhet, dvs. ljudeffekten bestämmas. Ljudeffekten sprids över en allt större yta ju längre bort från källan man befinner sig. Ljudeffekten per ytenhet benämns ljudintensiteten.                                                                                                     |
| Ljudenergi                                | Se ljudeffekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Ljutfält                                  | Liksom höjden på ett fält med havre kan anges som funktion av längd- och breddkoordinat kan man ange ljudtrycksnivån för olika koordinater. En beskrivning av ljudtryck för olika positioner kallas ljutfält. Ett ljutfält, till exempel i ett rum, är tredimensionellt. Höjdkoordinaten har också betydelse.                               |
| Ljudhastighet                             | Den hastighet varmed en ljudvåg utbreder sig. Ljudhastigheten beror av medium och temperatur och är 340 m/s i luft vid 15 °C, ca 1500 m/s i vatten och 5100 m/s i stål.                                                                                                                                                                     |
| Ljudhård                                  | Med en ljudhård lokal menas en lokal med hårda väggar, tak och golv, som ljudvågor studsar i utan att dämpas nämnvärt. I en ljudhård lokal är efterklangstiden lång.                                                                                                                                                                        |
| Ljudintensitet                            | Ljudeffekt per ytenhet. Se ljudeffekt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ljudisolering                             | Ljudisolering innebär både luftljudisolering och stomljudisolering. Exempel på luftljudisolering är när en vägg mellan två rum isolerar ljudet i luften från det ena till det andra. I en byggnad är det även viktigt med stomljudisolering, vilket innebär exempelvis att steg på golvet i ett rum skall inte störa någon i ett annat rum. |
| Ljudisoleringsindex                       | Se vägt reduktionstal.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ljudklass                                 | I svensk standard SS 02 52 68 anges ljudmiljön för lokaler i fyra ljudklasser A, B C och D där A är den bästa och D den sämsta. Ljudklass C överensstämmer i de flesta fall med praxis för byggnader med god ljudmiljö. Ljudklass kan också avse ljudabsorbenter, dörrar och fönster.                                                       |

| Ord                    | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ljudkvalitet           | Ljud har andra egenskaper än att vara störande. Ljud kan vara rogvande, informativt och njutbart. På en arbetsplats bör man eftersträva att skapa och ge förutsättning för ljud av god kvalitet. Det mest grundläggande är att skapa en ljudmiljö som möjliggör en god taluppfattbarhet. |
| Ljudmätare             | För att mäta ljud behövs en mikrofon, en förstärkare och ett instrument som visar ljudets nivå, frekvens eller andra storheter. För mätning av buller används normalt en ljudnivåmätare, se även detta ord.                                                                              |
| Ljudnivå               | Med ljudnivå menas den A-vägda ljudtrycksnivån, det vill säga dBA-nivån.                                                                                                                                                                                                                 |
| Ljudnivåmätare         | Ett mätinstrument som används för att bestämma ljudnivå eller ljudtrycksnivå.                                                                                                                                                                                                            |
| Ljudstyrka             | Anger hur starkt eller kraftigt ljudet låter. Vanligen används ljudtrycksnivån i dB som mått på ljudstyrkan. Ett mindre använt mått är hörstyrkan i Phon.                                                                                                                                |
| Ljudtransmission       | Överföring av ljud från ett ställe till ett annat. Det kan exempelvis ske genom en vägg eller i en byggnadsstomme.                                                                                                                                                                       |
| Ljudtryck              | Den tryckvariation som ljud ger upphov till. Anges i Pascal, Pa, liksom lufttrycket. Normalt variationsområde 0,00002 Pa till 200 Pa för ljud i luft.                                                                                                                                    |
| Ljudtrycksnivå, $L_p$  | 10 gånger 10-logaritmen av kvoten mellan kvadraten på ljudtrycket och kvadraten på referensljudtrycket. Ljudtrycksnivån uttrycks i decibel (dB). Referensljudtrycket är 20 $\mu\text{Pa}$ ( $2 \cdot 10^{-5}$ Pa) $L_p = 10 \cdot \log \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right)$                 |
| Ljudutbredning utomhus | Se avståndsdämpning vid ljudutbredning utomhus                                                                                                                                                                                                                                           |
| Ljudvåg                | En störning i ljudtryck eller i partikelläge. Störningen rör sig med ljudhastigheten. Ljud utbreder sig som vågor. Avståndet mellan två vågtoppar kallas för våglängd.                                                                                                                   |
| ln                     | Förkortning för den naturliga logaritmen, som är en matematisk funktion. Den naturliga logaritmen används inte i bullersammanhang. Se även log och logaritm.                                                                                                                             |

| Ord                 | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| log                 | Förkortning av logaritm. Oftast menas tiologaritmen. Ibland betecknas den $\log_{10}$ eller lg. Används för decibelskalan. Exempel: $\log 1 = 0$ , $\log 10 = 1$ och $\log 100 = 2$                                                                                                                                                                                       |
| logaritm            | En matematisk funktion som anger storleksordningen av tal. Det finns olika sorts logaritmer. I ljudsammanhang används tiologaritmen.                                                                                                                                                                                                                                      |
| Luftabsorption      | Kallas även atmosfärisk absorption och innebär omvandling av ljudtryckssvängningen till värme. Ljudvågen dämpas då. I luft beror dämpningen på frekvens, relativ luftfuktighet och temperatur och utbredningsavståndet.                                                                                                                                                   |
| Luftljud            | Ljud som utstrålas i luft från en ljudkälla.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Luftljudsisolering  | Minskning av luftljudsöverföring mellan två angränsande rum.                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Luftljudsutbredning | Ljudutbredning i luft från en ljudkälla.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Lågfrekvent ljud    | I bullersammanhang menas vanligen ljud med frekvenser i området 20 till 200 Hz.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Maximal ljudnivå    | Den högsta ljudnivån under viss tid. Det är viktigt att ange vilken tidsvägning som avses. Normalt ska tidsvägning "Fast" användas. Se tidsvägning.                                                                                                                                                                                                                       |
| Medelvärdesbildning | Ett medelvärde mäts eller beräknas för att få ett genomsnitt av ett antal mätvärden under viss tid.                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Mikrofon            | Används för att omvandla ljudtryck till en elektrisk signal vars nivå mäts i ett elektriskt mätinstrument. För att kunna få rätt värde måste mätinstrumentet vara kalibrerat tillsammans med mikrofonen.                                                                                                                                                                  |
| Mittfrekvens        | Vid en frekvensanalys mäts ljudet inom frekvensband. Geometrisk mittfrekvensen i bandet benämns mittfrekvens eller centerfrekvens. Se även bandbredd.                                                                                                                                                                                                                     |
| Momentant ljudtryck | Det verkliga ljudtrycket i varje ögonblick. Varierar upp till 20000 gånger i sekunden mellan negativa och positiva värden.                                                                                                                                                                                                                                                |
| Motfas              | En svängning eller ljudvåg som är spegelvänd sägs ske i motfas. Om exempelvis ljudtrycket i en ljudvåg svänger från $-1$ till $+1$ Pa under en millisekund och ljudtrycket i en annan ljudvåg svänger från $+1$ till $-1$ Pa i samma millisekund, sägs det senare ljudet svänga i motfas mot det första. Om svängningen är exakt lika sägs svängningen ske med samma fas. |

| Ord                  | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Motljud              | Se aktiv ljuddämpning.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Mätprotokoll         | Protokoll som upprättas i samband med ljudmätning. Bör förutom uppmätta värden även innehålla datum, syftet med mätningen, namn på medverkande personal, mätpositioner beskrivning av mätplats och bullerkälla, etc.                                                                                                                                                                                                                              |
| Mätstandard          | En metod för mätning som standardiserats. Metoden har då godkänts av ett standardiseringsinstitut. Det finns svenska, nordiska, europeiska och internationella standardiseringsinstitut.                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Nivåbegreppet        | Akustiska storheter uppvisar ett mycket stort variationsområde som inte stämmer med ett hörselintryck man har. Inom teletekniken har man infört nivåbegreppet för elektriska storheter för att få det mer hanterligt.                                                                                                                                                                                                                             |
| Närfält              | Begreppet används för två olika typer av närfält. Det ena är direktfältet, dvs. ljudfältet från en ljudkälla utan inverkan av reflexer från rumsytor. Den andra typen av närfält är att väldigt nära en ljudkälla kan det pumpas runt luft utan att en ljudvåg strålas ut till omgivningen. Ljudtrycken kan vara ganska höga i denna typ av närfält. Denna typ av närfält kallas också ett wattlöst närfält eftersom ingen ljudeffekt skickas ut. |
| Oktavband, bandsnivå | <p>oktav- Ett frekvensband där övre gränsfrekvensen är två gånger den undre gränsfrekvensen benämnes oktavband. Bandbredden blir då 70,7 % av centerfrekvensen. Centerfrekvenserna för oktavband är internationellt standardiserade 125, 250, 500 Hz, etc.</p> <p>Ljudtrycksnivån för ett frekvensband som omfattar en given oktav kallas oktavnivå eller oktavbandsnivå.</p>                                                                     |
| Oktavfilter          | Ett frekvensfilter med bandbredden en oktav och med standardiserad mittfrekvens.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| ”Overload”           | Se överstyrningsindikator.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Ovägd nivå           | Nivån av ljud som inte frekvensvägts med filter. Kallas också linjär nivå. Enheten betecknas då dBLin eller dBFlat. Jämför vägd nivå.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ”Peak”, ”peak”-nivå  | Toppvärde för ljudnivån, mätt med en tidsvägning som medelvärdesbildar ljudtrycksnivån under mycket kort tid, högst 50 µs. Kallas för impulstoppvärde på svenska. Se tidsvägning och impulstoppvärde.                                                                                                                                                                                                                                             |
| Phon                 | Enhet för hörnivå.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

| Ord                             | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Porös absorber, poröst material | En yta med många små porer eller trådar. Ljudvågen tränger in i materialet och omvandlas där till värme genom friktion och värmeledning. Används för ljudabsorbenter som sätts på väggar och tak för att minska ljudreflexer.                                                                                                                                                                                                                        |
| Reduktionstal, $R$              | Ett mått på den ljudisolerande förmågan hos en vägg eller skiljekonstruktion. Anges i dB.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Reflekterat ljud                | Ljud som reflekterats en eller flera gånger i ett rums begränsningsytor. Ljud som reflekterats många gånger fram och tillbaka kallas efterklang.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Reflexion                       | En ljudvåg som faller rakt in mot en hård yta studsar och går tillbaka i motsatt riktning. Fenomenet kallas reflexion. Även ljudvågor som faller snett in mot en yta reflekteras.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Ren ton                         | Ett ljud där det momentana ljudtrycket varierar som en sinuskurva. Innehåller inga övertoner eller brus.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Resonans                        | Överensstämmelse mellan ljudvågens eller vibrationskraftens svängningsfrekvens och systemets egensvängningsfrekvens. Systemet kan exempelvis vara ett galler i ett kylskåp. Gallret kan ha egensvängningsfrekvenser som man kan höra om man slår på det. Kompressorn skapar vibrationskrafter vid flera frekvenser. Om en av dessa stämmer överens med gallrets egenfrekvenser fås resonans och gallret kan börja vibrera med relativt hög amplitud. |
| Resonansfrekvens                | Den frekvens vid vilken resonans inträffar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Riktningsfaktor                 | En faktor som talar om hur mycket starkare ljudet är i en riktning jämfört med medelvärdet för alla riktningar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Riktvärde                       | Ett värde som man bör sträva efter. Jämför gränsvärde.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| RMS-värde                       | Se effektivvärde                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Rumsakustik                     | Ljudets egenskaper i rum studeras i rumsakustiken och har betydelse för ljudutbredningen i en lokal. En storhet som är viktig för ljudnivån, taluppfattbarheten och musikupplevelse är efterklangstiden.                                                                                                                                                                                                                                             |
| Sinuston                        | Se ren ton.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Skärm                           | Se bullerskärm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

| Ord                     | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| "Slow"                  | På en ljudnivåmätare kan man välja under hur lång tid medelvärdesbildningen för bestämning av effektivvärde skall ske. "Slow" innebär ca 1 s. Se även "Fast", tidsvägning och effektivvärde.                                                                          |
| Smalband                | Ett frekvensband som är smalt jämfört med t ex oktavband. Bandbredden är oftast oberoende av mittfrekvensen. Den kan vara t ex 30 Hz, 5 Hz eller 1 Hz. Smalbandsanalys görs ofta för att hitta toner i buller. Tonerna kan användas för att hitta källan till ljudet. |
| Spektrum                | Med spektrum menas en fördelning av en viss storhet, t ex ljudtryck, vid olika frekvenser.                                                                                                                                                                            |
| SPL                     | Sound Pressure Level är detsamma som ljudtrycksnivå.                                                                                                                                                                                                                  |
| Stationärt ljud         | Se konstant ljud                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Stigtid                 | Stigtiden är den tid en ljudnivåmätare behöver på sig för att avläst värde ska stiga till den verkliga ljudtrycksnivån. Se även tidsvägning.                                                                                                                          |
| Stomljud                | Ljud eller vibrationer i strukturer och fasta kroppar i det hörbara frekvensområdet.                                                                                                                                                                                  |
| Stomljudsisolering      | Isolering av stomljud från en maskin till en byggnadsstomme eller isolering av ljudöverföring mellan byggnadsdelar. Se även vibrationsisolering.                                                                                                                      |
| Störfrekvens            | Frekvens för en ton som stör.                                                                                                                                                                                                                                         |
| Talinterferens          | Detsamma som talmaskering.                                                                                                                                                                                                                                            |
| Talmaskering            | Talmaskering innebär att talat ljud störs av buller så att det blir svårt att uppfatta vad som sägs.                                                                                                                                                                  |
| Talstyrka               | Tal kan ske med olika ljudstyrka. Det kan t ex vara viskande, i normalt röstläge, förhöjt röstläge och skrikande.                                                                                                                                                     |
| Taluppfattbarhet        | Möjligheten att uppfatta tal i en given situation.                                                                                                                                                                                                                    |
| Temperaturgradient      | Temperaturändring per höjdenhet. Har betydelse för ljudutbredning utomhus.                                                                                                                                                                                            |
| Tersband, tersbandsnivå | Varje oktavband är uppdelat i tre tersband.<br><br>Ljudtrycksnivån för ett frekvensband omfattande en given ters kallas tersnivå eller tersbandsnivå. Se även oktavband och oktavbandsnivå.                                                                           |

| Ord                 | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tidskonstant        | Se tidsvägning                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Tidsvägning         | Anger hur snabbt mätinstrumentet reagerar på variationer i ljudnivå. Normalt ska läge "Fast" användas. "Fast" betyder snabbt. Dessutom finns läge "Slow" som ibland används för tågbuller och vibrationer och läge "Impulse" som används vid skottbuller. För mätning av impulsljud används normalt läge "Peak". |
| Tinnitus            | Öronsus. Pip, sus eller andra ljud som hörs i örat utan att yttre ljud finns. Skapas i hörselsinnet.                                                                                                                                                                                                             |
| <i>TL</i>           | "Transmission loss", ljudutbredningsdämpning eller minskning av ljudtrycksnivån vid ljudutbredning från en plats till en annan.                                                                                                                                                                                  |
| Ton                 | Exempel på toner är de ljud som åstadkoms av musikinstrument som flöjt, piano och fiol. Ljud som inte innehåller hörbara toner är t ex slagljud och brus                                                                                                                                                         |
| Tonhöjd             | Se frekvens.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Trafikbuller        | Buller från trafik. Vägtrafik på en livligt trafikerad väg brukar ge en ganska konstant ljudnivå, medan tågtrafik ger bullertoppar vid tågpassagerna.                                                                                                                                                            |
| Transmission        | En ljudvåg som faller in mot en vägg kan komma ut på andra sidan och fortsätta i samma riktning, oftast med en väsentligt lägre ljudtrycksnivå. Fenomenet kallas transmission (överföring).                                                                                                                      |
| Ultraljud           | Ljud med frekvenser högre än ca 20000 Hz. Riktvärden för ultraljud finns i Arbetsmiljöverkets föreskrifter                                                                                                                                                                                                       |
| Undervattensljud    | Ljud, trycksvängningar i vatten.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Vibrationer         | Svängningar, oscillationer, dvs. fram och återgående rörelser i strukturer och fasta media                                                                                                                                                                                                                       |
| Vibrationsisolering | Vibrationsisolering kan användas för att skydda en struktur från en vibrerande maskin eller tvärtom för att skydda en struktur från ett vibrerande underlag. Principen för vibrationsisolering är att använda så mjuk fjädring som möjligt och att göra underlaget och maskinfoten så tung och styv som möjligt. |
| Viskoelastisk       | En egenskap som innebär både fjädrande och seg, typ tuggummi.                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Våglängd            | Avståndet mellan två vågtoppar i en havsvåg eller avståndet mellan två trycktoppar i en ljudvåg. Ljudets våglängd kan beräknas ur ljudhastigheten dividerat med frekvensen.                                                                                                                                      |

| Ord                     | Förklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vägd nivå               | Med vägd nivå menas vanligen ljudtrycksnivå av ljud som filtrerats genom ett frekvensvägningsfilter, t ex A-filter eller C-filter. En annan form av vägning är tidsvägning. För att undvika missförstånd bör man ange vilken vägning som avses, t ex A-vägd nivå.                                                                                                         |
| Vägning                 | Vägning med olika filter görs ofta av ljud för att förenkla. Frekvensvägning av ljud med A- eller C-filter ger en vägd nivå. Vägning av luftljudsisolering genom jämförelse med standardiserade reduktionstal vid olika frekvenser ger ett vägt reduktionstal. Vägning av tidssignalen för att bromsa upp variationerna med tiden ger tidsvägt värde "Fast" eller "Peak". |
| Överkänslighet ljud     | för Ljud, som de flesta uppfattar normalt, uppfattas av vissa personer som mycket störande och obehagliga. Kallas även hyperakusis.                                                                                                                                                                                                                                       |
| Överstyrnings-indikator | En ljudnivåmätare innehåller en förstärkare som inte tål hur höga signaler som helst. Om signalnivån är för hög blir instrumentet överstyrt och visar fel värde. De flesta ljudnivåmätare har en lampa eller en teckensymbol som indikerar överstyrning. Ibland används det engelska ordet "overload" som betyder överbelastning eller överstyrning.                      |
| Övertton                | Med övertton menas en ton som är överlagrad en grundton. Ofta är överttonens frekvens två gånger grundtonen, tre gånger grundtonen, etc. Då säger man att övertonen är harmonisk                                                                                                                                                                                          |







# **ELFORSK**

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31

Telefon: 08-677 25 30. Telefax 08-677 25 35

[www.elforsk.se](http://www.elforsk.se)