

Bilaga A. Vetenskapliga rapporter om infraljudens allvarliga hälsoeffekter.

Sammanställning av studier visar att

- infraljud stör det laminära blodflödet i småkärl, där det blir oscillerande och leder till störning av kärllrörelser och ojämvt i redoxsystemen, erkänt som huvudorsaken till utvecklingen av kroniska inflammationssjukdomar som ateroskleros och motsvarande sekundära sjukdomar, eventuellt cancer.
- orsakar nedgång av grå substans i hjärnområden som är förknippade med somatomotoriska (rörelse) och kognitiva (lärande) funktioner, som arbetsminne, hörselbearbetning, talförståelse, talförmåga och textbearbetning (läsning).
- minskar hjärtmuskelcellernas kontraktionskraft och förstyrvar hjärtsäcken.
- påverkar lungvävnad, blodkärlens väggar (förstyvning) och blodcirkulationen.
- påverkar gliaceller som omger nervcellerna och tillför näring och syre.
- har depressiv påverkan (suicide) på åldersgruppen 15-19 och de över åldern 80 i förhärskande vindriktning (Eric Zou).

Nedanstående rapport utgör ett bekräftande genombrott i forskning om infraljudexponering.

- **Impairment of the Endothelium and Disorder of Microcirculation in Humans and Animals Exposed to Infrasonic due to Irregular Mechano-Transduction 2023.**

Ursula Maria Bellut-Staack Independent Scientist, Berlin, Germany.

<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=125553>

Abstrakt

Mikrocirkulationen hos däggdjur är ett autoreglerat och komplext synkroniserat system för att tillgodose det varierande behovet av näringsämnen och syre. Det ostörda förloppet av vitala funktioner såsom tillväxt, blodtrycksreglering, inflammatorisk sekvens och embryogenes är bunden till endotel integritet.

/Wikipedia: Endotelcellerna täcker blodkärlens insida och motverkar inflammation. De fungerar som ett gränsskikt och skydd mellan vävnad och blod. När skyddet inte fungerar fastnar fett och inflammatoriska celler i kärlen, vilket leder till åderförkalkning och i värsta fall hjärtinfarkt eller stroke.

Den känsliga vasorörelsen är särskilt beroende av endotel integritet.

/Vasomotion är en spontan tidsberoende kontraktion och avslappning av mikroartärer vid frekvensen 0,01–0,1 Hz/.

Mekanotransduktion och signalnätverk spelar en avgörande roll i viktiga cellulära processer och är den avgörande fysiologiska mekanismen för rätt NO-frisättning, som är huvudregulator för autoreglering av blodkärl.

/Inom cellbiologi är mekanotransduktion (mekano + transduktion) någon av de olika mekanismer genom vilka celler omvandlar mekanisk stimulans till elektrokemisk aktivitet.

Denna form av sensorisk transduktion är ansvarig för ett antal sinnen och fysiologiska processer i kroppen, inklusive kroppsuppfattning, beröring, balans och hörsel. Den grundläggande mekanismen för mekanotransduktion innebär att konvertera mekaniska signaler till elektriska eller kemiska signaler/.

Störd endotel-integritet, som härrör från kronisk oxidativ stress och/eller mekanisk (oscillerande) stress, leder till störning av kärllrörelser såväl som en ojämvt i redoxsystemen, erkänd som huvudorsaken till utvecklingen av kroniska inflammationssjukdomar som ateroskleros och motsvarande sekundära sjukdomar, eventuellt cancer. Endotelcytoskelettet, som motsvarar en viskoelastisk "tensegrity-modell" (bärande system baserat på tryck och sträckkraft), erbjuder möjligheten till mekanisk transduktion via sin speciella konstruktion. De senaste årens snabbt växande kunskap om mekaniska krafter i cellulär avkänning och reglering (som kulminerade i Nobelpriset för avkodning av tryck-/vibrationsavkännande jonkanaler), ledde oss till följande hypotes:

Den externa tryckstressorn (Buller) producerar under vissa förhållanden ett oscillerande flöde i kapillärkärlens normalt lugna och laminära flöde, vilket kan leda till oregelbundna mekanotransduktioner. Fynden visar ett strikt frekvensberoende vid mekanisk transduktion. B

Alla beskrivna reaktioner involverar endotelcytoskelettet som har en vital funktion för den komplexa inflammationsprocessen och är en försvarsmekanism mot bakterier, virus och skador där leukocyter har en avgörande roll. Det fortsatta förloppet leder i gynnsamma fall till en restaurering och i det ogynnsamma till en kronisk inflammation med fibros, defektläkning och eventuella organskador. Patapoutians forskning som gav Nobelpriset i medicin 2021, definierade en ny typ av endotelmekano-sensorer, PIEZO-1-kanalerna. De utgör ett komplext sensoriskt system med receptorerna för tryck och vibrationer i alla blodkärl i de inre organen. Ca²⁺ permeabla Piezo-1-kanaler aktiveras av fysisk kraft på cellmembranet och känner av hela kroppens fysiska aktivitet för att återställa kardiovaskulär jämvikt och förbättra prestationsförmågan. De är kritiska för lymf- och blodsystemen och viktiga mekanosensorer. PIEZO-kanaler finns i alla flercelliga organismer, d.v.s. även ryggradslösa djur som flugor och fiskar.

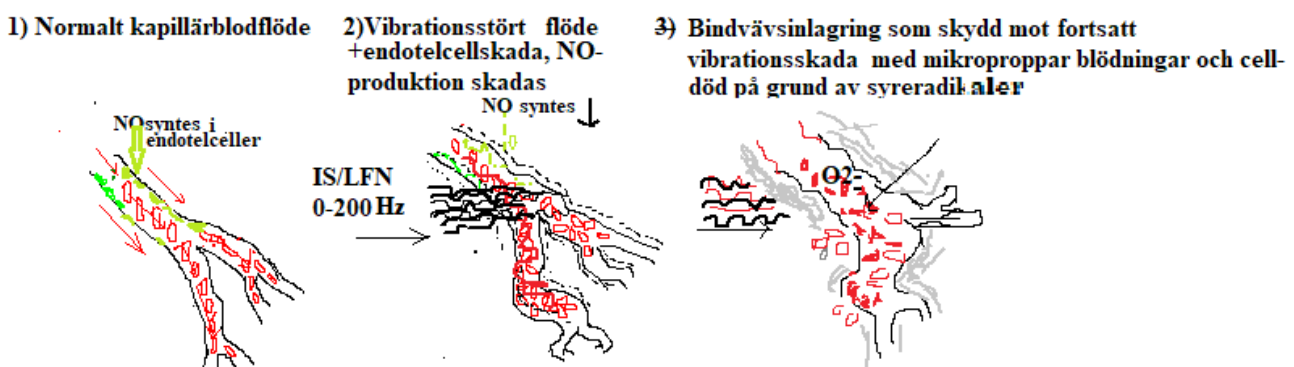
Kunskapen, som nyligen vunnits om endotelial mekanotransduktion, **kastar nytt ljus över effekten från låga frekvenser**. Det skulle kunna indikera den länge sökta förklaringen på hur infraljud kan utöva en stressoreffekt på cellnivå. **Bullerexponerade medborgare, som bor nära infrastrukturer som en biogasininstallation, värmepumpar, termiska kraftverk och större industriella vindkraftverk (IWT), uppvisar över hela världen huvudsakligen en symptomatologi förknippad med mikrocirkulationsstörningar**. Tänkbart är också effekter på insekter och fiskar, eftersom piezokanalerna känns igen som bevarade strukturer av alla flercelliga organismer. En experimentell design föreslås för att demonstrera den direkta patologiska påverkan av infraljud av definierad styrka, frekvens, effekt/tidsprofil och varaktighet på den känsliga vasorörelsen i små blodkärl. Det internationella diagnosregistret ICD-11 (2020), innehåller diagnoser för "bullerexponering" under kategorierna "Externa orsaker/Exponering för annan mekanism". Diagnosen "Yrsel från infraljud" faller under kategorin "Andra specificerade effekter av vibrationer" (artikel NF08.2Y).

Slutsatser

För första gången kan symptomatologin hos kroniskt infraljudsexponerade människor och djur klassificeras patofysiologiskt i en sammanhållen hypotes. Detta möjliggjordes av framstegen i kunskapen om endotelets mekanotransduktion, väsentlig vaskulär funktion av vital karaktär som reaktion på mekaniska krafter. Avgörande cellulära processer är beroende av mekaniska krafter och endotelets integritet, såsom tillväxt, cellulär differentiering (process för bildning av specifik celltyp), migration (cellvandring), nybildning av blodkärl, balansering av antioxidanter/reduktanter och inflammation.

Normalt är flödet i däggdjursmikrocirkulationen laminärt och inte variabelt. Detta uppnås genom uppströmsanslutningen av motståndskärlen i arteriolerna. Ihållande förändringar i belastningsmönster, särskilt oscillerande flöde, har associerats med minskad biotillgänglighet av NO, en ökning av reaktiva syrearter (ROS), högre lipoproteinioxidationshastigheter (blodfetter), ökad endotelial apoptos (vävnadsdöd) och viktiga aminosyror mot åderförkalkning (AA). Fynden hittills tyder på att specifika AA inducerar selektiva anti-aterogena effekter (glycin, alanin, leucin och cystein). Vi har positiva bevis för vår hypotes att en kroniskt verkande oscillerande stressor kan inducera ett oscillerande stressfält och därför utlösa en stressreaktion på cellnivå (med variabler för frekvens, ljudtryck och varaktighet). De nya grunderna för mekanotransduktion är nu starka bevis, med uppenbara indikatorer för en möjlig interaktion av infraljud, speciellt med låga frekvenser och impulsiv karaktär från vindkraftverk och värmepumpar. Förtydligandet av det starka beroendet av mekanotransduktion från frekvenser av "ljud" och identifieringen av aktinfilament (Proteintrådar i cellskelettet) och mikrotubuli (Långa, ihålliga rör, uppbyggda av mikrotubulin-molekyler), som "lågpassfilter", stödjer vår hypotes. På så sätt kan utbredningen av ljudvågen i den viskoelastiska organismen bli en avkodningsbar information. Initialt funktionella störningar av det vasomotoriska systemet, respektive av sensibel vasorörelse kan förväntas, vid längre exponering och anatomiskt

igenkännbara patologiska skador i endotel-integriteten. Viktigt i detta sammanhang är de strukturella förändringar som tenderar att vara självförstärkande, och som beskrivs i exemplet med ombyggnad av hjärtat. Genom att troligen belysa den patofysiologiska vägen för hur infraljud/IFLN skulle kunna orsaka allmänna hälsostörningar, kommer det att vara möjligt att ta steg framåt för att definiera säkra avstånd för att leva eller arbeta vid emitterande tekniska installationer. Många vetenskapliga frågor återstår att besvara, men det finns tillräckliga bevis för att, som försiktighetsåtgärd, begränsa eller helst undvika ytterligare teknologier, som involverar mycket låga frekvenser och/eller impulsiva emissioner med potentiell påverkan på levande organismer, tills alla problem är vetenskapligt lösta. De eventuella effekterna på insekter, som ännu inte har klarlagts, kan ha stor betydelse för den biologiska mångfalden och för påverkan av pollinatörer och därmed näring. Avkodningen av PIEZO-1-kanalerna borde redan ha uppmärksammat allmänheten på de potentiella riskerna. Inre organ är känsliga för ljud och vibrationer. Det nuvarande kunskapsläget om mekanotransduktion tillsammans med kända oscillerande och oxidativa stress effekter, pekar i riktning mot vår hypotes och bör vara skäl för brådskande försiktighetsåtgärder och ytterligare forskning. De befintliga epidemiologiska studierna betraktar nästan uteslutande det audio-vestibulära organet (hörbart ljud), respektive involveringen av individuella hjärnstrukturer [49], som organ möjligen påverkade av exponering för buller i lågfrekvensområden. En variabel faktor är den individuella förmågan att kompensera för stressfaktorer. Det är en ytterligare faktor som troligen är orsaken till att människor i samma miljö inte reagerar på samma sätt i sin symptomatologi. Följande kan förväntas när man jämför en kortvarig stressorbelastning med en permanent: Efter en individuell tidsperiod är de biologiska systemens kompensationsmöjligheter uttömda. På grund av det ljud/akustiska arbetssättet har de förändrade förutsättningarna för ljudutbredning i de viskoelastiska kroppsorganen inte beaktats tidigare. Det gör vi nu. Av samma anledning blir den så kallade perceptionströskeln (hörtröskeln) irrelevant då denna endast avser hörbart ljud och luftöverföring.



NO som är kroppens flödesreglerande kärlvidgare produceras i endotelcellerna på ytan av blodkärlsväggen.

Dör dessa celler, uteblir anpassad kärlvidgning. Vid stockning fås syrebrist i kärlet och bildas cellskadande syreradikaler. Där radikalneutraliserande enzymer skall skydda, och som visats försämras i kapacitet av infra- och lågfrekvent buller

Lidingö 20231203

**Henning Theorell leg läk
Spec. invärtes medicin**

Förklarande bild av hur våra blodkärl påverkas av IS/LFN-ljud.

Kommentarer:

Trots att rapporten innehåller en mängd medicinska facktermer är budskapet tydligt att

- infraljud/LF-ljud utgör en stressfaktor på cellnivå, som kan påverka det viktiga endotelskiktet på insidan av de minsta blodkärlen.
- funktionella störningar kan förväntas i blodkärlens autonoma vasomotoriska pumpsystem, som leder till patologiska skador i endotelskiktet.
- avgörande cellulära processer är beroende av mekanisk påverkan (ljudtryck) och endotelets integritet.
- störd endotelintegritet som härrör från kronisk oxidativ stress och/eller mekanisk (oscillerande) stress, leder till störning av kärllörelser och ojämvt i syrebalanssystemen, som erkänns som huvudorsaken till utvecklingen av kroniska inflammationssjukdomar som ateroskleros och motsvarande sekundära sjukdomar, eventuellt cancer.
- det finns olika mekanismer (mekanotransduktion) där celler omvandlar tryck till elektrokemisk aktivitet i ett antal sinnen och processer i kroppen, inklusive kroppsuppfattning, beröring, balans och hörsel.
- det nu finns starka bevis med tydliga indikatorer för en möjlig interaktion av infraljud, speciellt med djupa frekvenser och impulsiv karaktär t.ex. från vindkraftverk eller värmepumpar.
- det finns tillräckligt med bevis för att tillämpa försiktighetsprincipen för ytterligare teknologier, som involverar mycket låga frekvenser och/eller impulsiva emissioner med potentiell påverkan på levande organismer.

Infraljud

Infraljud är ett begrepp för ohörbara, kraftigt pulserande luftvågor <20 Hz, som alstras längs rotorbladen och vid passage tornet. Extremt ljudtryck uppstår vid rotorbladens spetsar som kan nå en hastighet om 300 km/h.

Passagen vid tornen ger kraftiga infraljud vid ca 1 Hz och flera ekon vid 2 och 4 Hz.

95 % av den fysikaliska ljudenergin utvecklas <3 Hz. med extrem ljudutbredning. Specifikt från stora industriella vindkraftsanläggningar.

Tabell nedan, visar att luftabsorptionsvärdena för infraljud är nära noll, vilket kan bilda sammanhängande bullermattor av pulserande ohörbara luftvågor över flera mil.

Källljud från ett 5,6 MW-verk i frekvensområdet 10-200 Hz. Låga frekvenser har högre ljudnivå.

Frekvens (Hz)	10	12,5	16	20	25	31,5	40,0	50,0	63,0	80,0	100	125	160	200
Siemens SG 6.0-170 (ovägt, dB)	112,0	112,3	112,1	111,2	110,3	111,1	110,1	108,5	107,3	106,4	106,9	104,3	103,1	100,9
Luftabsorption. dB/km	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,050	0,065	0,08	0,1	0,15	0,23	0,3	0,4	0,5

Den tyska specialistläkarorganisationen Ärzte für Immissionsschutz anger hälsosam ljudnivå till 60 dBZ eller 10 km, för ett enda verk.

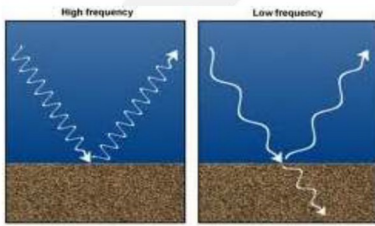
De extremt kraftiga infraljuden från stora anläggningar har underskattats.

Infraljud kan utbredas långt bortom de avstånd på 20-33 km, som gäller vid Hallandskusten.

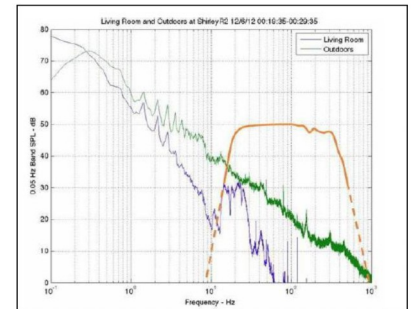
Kraftiga vindar på hög höjd påverkat ljudutbredningen på 4-5 sätt:

- luftvågorna böjs ned eller följer atmosfäriska skikt mot kusten och når högre områden i det halländska kustlandskapet. (Omar Marcillo, et al uppmätte infraljud från en vindkraftspark på 90 km från en industriell anläggning med 60 st 1,5 MW-verk. USA, 2014. Cylindrisk ljudutbredning)
- nedåtriktade ljudvågor reflekteras över vattnet och träffar bostäder i kustområdet (Cylindrisk ljudutbredning).
- rakt uppåtriktade ljudvågor studsar mot höga atmosfäriska luftlager på 2-20 km och återförs mot marken i kustlandskapet. Koreansk studie.

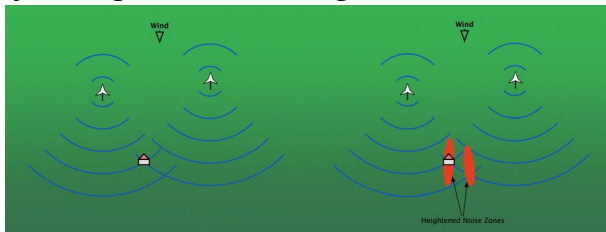
- lågfrekvent ljud och infraenergivågor, kan tränga ner i marken och omvandlas till markvibrationer.



Det kan få extra effekt när pulserande ljudvågor träffar lutande mark i kustområden, vilket är relevant vid flera halländska bostadsområden efter kusten.



Lågfrekvent ljud och infraljud förstärks inomhus, genom vibrationer i byggkonstruktionen. **Dessa hot måste riskanalyseras innan det tas ödesdigra beslut som berör kustområdenas framtida livsmiljö och hälsotillstånd.** Andra förstärkande effekter och fallgropar finns vid redovisning av ljudenergiernas utbredning.



Bob Thorne har redovisat kraftigt höjda ljudnivåer om 8-13 dB när ljudvågor från två närliggande verk möts, s.k. "heightened zones". De uppstår i smala band om 5-10 m och blir extra störande då de orsakar plötsliga förändringar när zonerna vandrar över landskapet. Mätresultaten varierar radikalt om mätutrustningen bara flyttas några meter.

Källa: Propagation thresholds and measurement of infrasound to establish separation distances from wind farm turbines to residences. Bob Thorne, Australia.

Detta stöder kritiken av nuvarande beräkningsmodeller och egenkontroller, som överhuvudtaget inte är relevanta, då de inte tar hänsyn till det mest väsentliga; intensitet och extrema och plötsliga maxvärden.

Detta gäller i synnerhet för stora industriella anläggningar med många verk, där antalet "heightened zones" mångdubblas. Rent teoretiskt kan dessa zoner vara tredimensionella, som sfäriska bågar som kan sända förstärkta pulser mot atmosfären och repelleras mot jordytan. Dessutom förstärks ljudvågorna när ljudet interagerar med andra verk. Dels inom den egna anläggningen och dels med andra anläggningar. Våglängdernas amplitud (skillnad noll och max) dubblas när ljudvågorna kommer i fas, vilket kraftigt förlänger ljudutbredningen. Samverkan av många verk får då stor betydelse.

Ytterligare förstärkning kan uppstå under sommarnätter, när kraftiga Low Level Jet Winds (100 km/h) kan nå ned till ett hundratal meter över havet.

Normalt gäller sfärisk ljudutbredning i alla riktningar där dämpningen är 6 dBA/dubbelt avstånd. Vindkraftverk levererar ljud från hög höjd. Kraftiga vindar medför att ljudvågorna övergår till horisontell s.k. cylindrisk ljudutbredning som börjar vid ca 700 m. Dämpningen reduceras då till 3 dBA/dubbelt avstånd.

En dubblerad avståndsserie är:

1-2-4-8-16-32-64-128-256-512-1024-2048-4096-8192-16384-**32768** meter

Mätningar vid Horns klint utanför Danmarks västkust visade 90-120 dB vid 100 m. Med tillägg + 7dBA för tillplattade maxljud, erhålls 9 dubblingar eller reducering med 27 dB. Värden >70 dB skulle då teoretiskt kunna nå land via luften.

Samma långa ljudutbredning erhålls för ljudvågor som reflekteras över vatten. Detta får en **förstärkande effekt utöver den luftöverförda energin.**

- Redovisning av ofiltrerade mätvärden i dBZ visar höga ljudnivåer < 200 Hz.
- Van den berg visade ljudtrycksnivå nära 90 dB SPL vid 1 Hz. Innebär lång ljudutbredning.
- Sugimoto et al. visade ljudtryck nära 100 dB SPL vid 2 Hz. Innebär lång ljudutbredning.
- Salt et al, drar slutsatsen att infraljud kan påverka hörsel- och vestibulära system genom andra mekanismer än vad som gäller för hörbart ljud.

- Zhou et al. (2012) fann att vinden är starkare på natten än under dagtid (ca 50 %) och två gånger starkare på sommaren än på vintern. Samband med luftfuktighet. Det innebär stora skillnader mot beräknade värden och större störningar, då bakgrundsljudet är lägre på natten.
- Interagerande effekter mellan infraljud och markvibrationer från verkens fundament, kan skapa resonans och höjning av bullernivån med 2 dBA inomhus.
- Marcillo et al uppmätte höga infraljudsnivåer över 90 km från en vindkraftspark med 60 st 1,5 MW-verk.

Havsbaserade anläggningar med många samverkande vindkraftverk förstärker ljudnivåerna, så att de når Hallandskusten vid de flesta väderförhållanden. Ytterligare förstärkning erhålls i Falkenbergs-området, som har många landbaserade verk, 5 mindre verk i hamnområdet och hotas av den närliggande parken på Skottarevet (7 km).

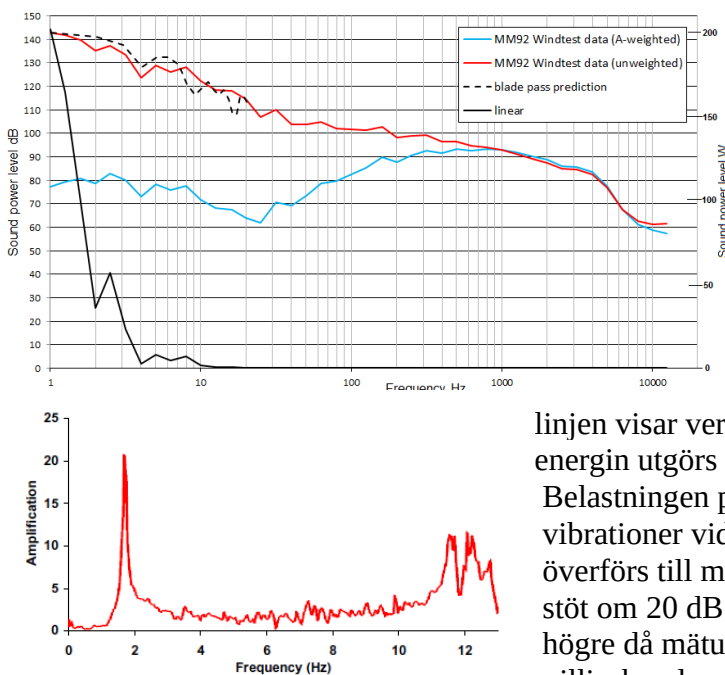


Fig. 4. Acceleration transfer function from the tower base to the top of the nacelle [3].

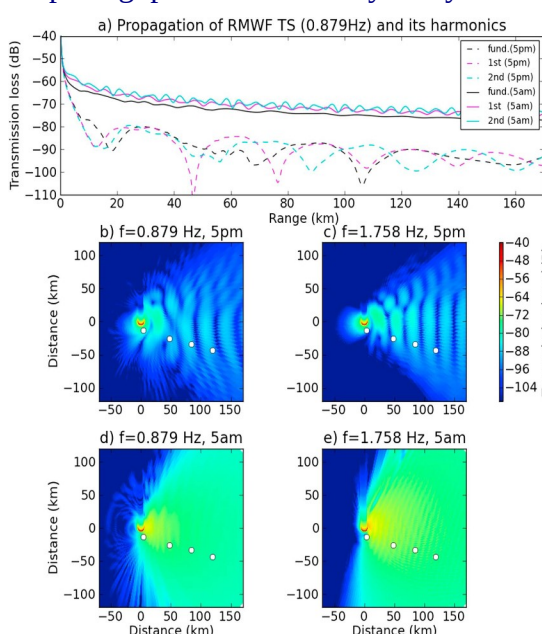
dBA är ett logaritmiskt filtrerat värde som underkänts av WHO, vid miljöprövning av vindkraft. dBA är inget mått på energi. Det är en faktor som erhålls ur en formel, där 10 dBA motsvarar en dubblerad hörupplevelse vid 1000 Hz. Den fysiska ljudenergin ska mätas i ljudtryck/ytenhet, vanligen Pascal/kvm. Detta presenteras bäst med dBlinear. Skillnaden mellan dBA (filtrerad), dB (Ofiltrerad) och dBlinear visas i diagrammet till vänster. Den mörka

linjen visar verkligheten, där all den fysiska akustiska energin utgörs av tunga luftvågor <4 Hz.

Belastningen på rotorblad och torn alstrar också kraftiga vibrationer vid bladens passage av tornets bas som överförs till markplanet. Bilden visar en mycket kraftig stöt om 20 dB vid 2 Hz. Peaken kan uppfattas 5-7 dB högre då mätutrustning redovisar medelvärde över 125 millisekunder, medan örat uppfattar ljud inom 2-10 millisekunder.

- **On infrasound generated by wind farms and its propagation in low-altitude tropospheric waveguide. Marcillo, Arrowsmith, Blom, Jones.**

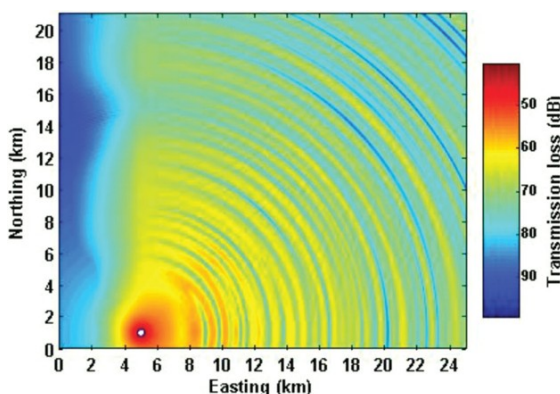
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2014JD022821>



Klassisk rapport visar hur ljudpulser kan följa atmosfäriska luftlager och reflekteras mot marken över 150 km. (60 st, 1,8 MW-verk).

Den översta bilden a) visar olika utbredningsmönster under morgon respektive eftermiddag. Stor skillnad! AM = Före lunchtid. PM = Eftermiddag. De heldragna linjerna i ruta a) visar kl. 5.00 på morgonen, när förutsättningar för ljudutbredning är goda. Rutorna (d-e) visar att de ohörbara luftpulserna utbreder sig mycket långt under dessa förhållanden i den förhärskande vindriktningen. Vindparkens ljudemission, utbredning och registrering på långa avstånd kan vara relaterat till det

atmosfäriska gränsskiktets egenskaper. Först under stabila förhållanden, mestadels på kvällen är vindar mycket skiktade, vilket ökar emissionen av tungt ljud. För det andra kan nattliga atmosfäriska förhållanden skapa vågledare på låg höjd (något hundratal meter) som möjliggör långväga utbredning. För det tredje, kännetecknas natt och tidiga morgontimmar av minskat bakgrundsljud som förbättrar detekterbarheten. Transmissionsförluster om 65 dB ska ställas mot källjud infraljudområdet om >120 dB, från extrema industrianläggningar med 30 st 7,5 MW-verk. Den direktverkande effekten bör beräknas enligt principerna från cylindrisk ljudutbredning, som säger att ljuddämpningen är 3 dB per dubblerat avstånd. Uppgifter om verkens källdata är svåråtkomliga, men uppgift finns om att 5,6 MW-verk emitterar 112 dB, mätt vid 175 m. Det innebär att det endast krävs 7 avståndsdubblingar över 20 km (350-700-1400-2800-5600-11200-22400 m), vilket innebär 112-21 = 91 dB och därmed nå de flesta svenska centralorter. Samverkan med andra anläggningar kan ge förstärkande effekt om 3-5 dB. De faktiska värdena kan vara 5-7 dB högre, då mätapparater redovisar mätvärden som medelvärden av medelvärden, vilket eliminerar uppmätta maxvärden (peaks).



- **The Journal of the Acoustical Society of America.**
Wind turbine low frequency and infrasound propagation
and sound pressure level calculations at dwellings.
Keith, Daigle and Stinson.

<https://pubs.aip.org/asa/jasa/article/144/2/981/950002/Wind-turbine-low-frequency-and-infrasound>

Studien visar hur infraljud utbreder sig i vågor över 30 km med återkommande höga energipulser om 60-70 dB (gula cirklar). Visar tydligt utbredningen i vindriktningen och hur den utbreder sig i tunga vågor. I frekvenser som täcker de inre organens egenfrekvenser.

Sammanhängande infraljudområden runt vindkraftverk har snabbt bildats i Finland, 2016-2017.



Mätningar som gjordes i Finland 2017, visar att infraljud från vindkraftverk utbreder sig över 15-20 km, under nästan alla förhållanden. Vissa väderförhållanden bidrar till ännu längre utbredning av infraljud.

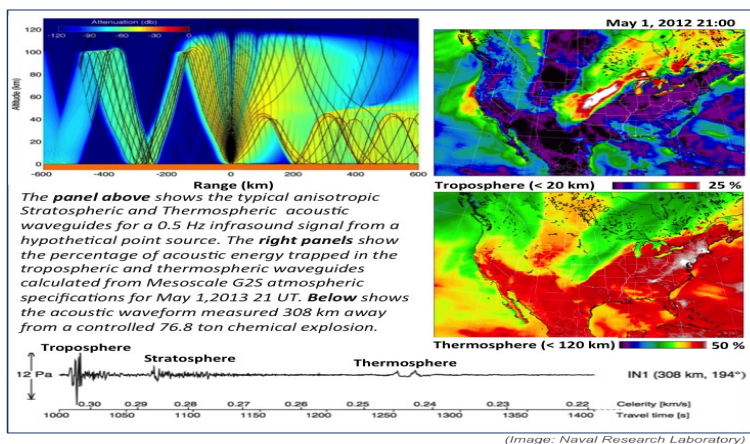
2017 var den genomsnittliga effekten 3,5 MW/verk. Utbredningen av infraljud från vindkraftverk ökade snabbt under 2016-2017.

Pilotstudie om sjukdomssymptom som uppkommit efter att uppförande av vindkraftsanläggningar, genomfördes av Finlands förening för miljöhälsa (SYTe) under våren 2016. Sju permanent uppkopplade fasta mätstationer med transparent redovisning. Resultaten visade att uppkomna symtom och besvär inte avtog förrän vid 15-20 km från vindkraftverken. Uppgifterna insamlades 0,5-1,5 år efter uppförandet av vindkraftverk i Satakunta och norra Österbotten i Finland våren 2016. Den installerade kapaciteten för vindkraft var då nästan 1500 MW i Finland. Statlig studie har senare sökt vederlägga dessa resultat.

Figur vänster. Utbredningen av infraljud från vindkraftverk, juli 2016.

Figur höger. Läget december 2017.

Kommentar: Planerna på havsbaserad vindkraft i Bottenhavet kan därmed bli en nordisk hälsokatastrof.



- **Forskning om atmosfäriska effekter på spridning av infra-energi.**

<https://www.nrl.navy.mil/ssd/branches/7630/infrasound-propagation>

US Naval Research Laboratory, Space Science Division leder ett stort projekt för att öka förståelsen för lågfrekvent akustisk utbredning i atmosfären.

Dels tidsmässigt från minuter till dagar och dels distansrelaterad påverkan, regionalt och över långväga avstånd.

Och för att söka förstå de akustiska vågornas reflektion från atmosfären och jonosfären.

Syftet är att samla alla tillgängliga

atmosfäriska data och detaljerade tidsberoende mark-till-rymd händelser

(0 -180 km) för utveckling, detektering och beräkning av infraljudens utbredning.

Målet är också att validera teoretiska beräkningar för både geofysiska (jordbävningar, tsunami och vulkanutbrott) och konstgjorda infraljudskällor (planerade och oavsiktliga).

Den vänstra översta bilden visar hur uppåtriktat infraljud når höga troposfäriska och termosfäriska skikt och sedan repelleras mot marken över långa avstånd. De högra bilderna visar att stora mängder infraenergi finns kvar i atmosfären och belastar stora områden i USA.

Amerikansk studie från mätstation i Korea visade att infraljud också repelleras från luftskikt på 2-8 km höjd och kan återvända mot markytan 40 km från ljudkällan.

Detta är alarmerande signaler, med tanke på de desperata EU-planerna på 15-20.000 havsbaserade vindkraftverk i Nordsjön, kanske 5000 verk runt Danmark och vid norska kusten. Sverige kan således få stora gränsöverskridande effekter som måste utvärderas el ESBO-konventionen.

Denna fråga måste också överföras till EU:s nya ECCC-institution (European Climate Change Council) för riskanalys av hälso- och klimateffekter.

Det gäller även pågående samråd om planerat vindkraftpark, Nordre Flint i Öresund mellan Köpenhamn och Malmö.

Drob et al, konstaterade redan 2003, att infraljud har potential för långdistansutbredning, hundratals till tusentals kilometer. Andra delar av troposfären kan skapa akustiska vågleder, t.ex. jetströmmar vid 10–12 km. Inom 25–50 km från källan förväntas ljud med signifikant amplitud.

- **Negative effect of high-level infrasound on human myocardial contractility: In-vitro controlled experiment. Chaban, Ghazy, Stumpf. April 2021.**

Forskarna utvärderade infraljudens påverkan på hjärtmuskulatur vid 100, 110 och 120 dBz under 60 minuter. Muskelvävnadens kontraktionskraft minskade 11 % vid 110 dBz och 18 % vid 120 dBz.

Slutsatser: Exponering för höga nivåer av infraljud (mer än 100 dBz) stör hjärtmuskeln kontraktila förmåga, redan en timme efter exponering. Det finns många ytterligare studier som stöder denna slutsats. Dessa resultat bör beaktas när man överväger miljöbestämmelser.

- **Exploring the cognitive impact of frequencies below the hearing threshold during short term exposure. Darren Christopher Pereira**

<https://theses.whiterose.ac.uk/32019/>

Forskaren avsåg att få insikt i infraljudets inverkan på kognitiva funktioner (lärande).

I sammanfattningen sägs;

”Medan ingen förändring av reaktionstiden observerades i arbetsminnesuppgiften visade den enkla reaktionstidsuppgiften en ökning i genomsnitt reaktionstid på stimuli i närvaro av infraljud i en miljö som kräver datorbaserad informationsbehandling.”

”Oavsett resultaten av framtida forskning, föreslår aktuell studie stöd för hypotesen att närvaron av infraljudsfrekvenser har en påvisbar effekt på kognition”

- **A longitudinal, randomized experimental pilot study to investigate the effects of airborne infrasound on human mental health, cognition, and brain structure.** Ascone, Kling, Wieczorek, Koch och Kühn.

<https://www.nature.com/articles/s41598-021-82203-6>

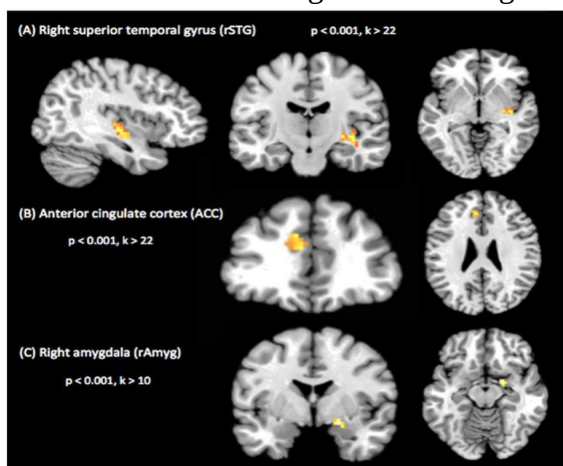
Studien undersökte långsiktiga effekter av infraljud på hjärnan (grå substansvolym; rGMV) och beteende hos människor vid 6 Hz, 80–90 dB under 28 nätter.

Slutsats: ”Vår studie tyder i stora drag på att ohörbart infraljud (6 Hz) inte påverkar mänskligt beteende”. ”Baserat på våra hjärnstrukturanalyser verkar det som att infraljudexponering relaterar till nedgång av grå substans i hjärnområden som är förknippade med somatomotoriska och kognitiva funktioner som arbetsminne och högre auditiv bearbetning, innefattande funktioner som t.ex. talförståelse/produktion eller semantisk/lexikal bearbetning och läsning. Det övergripande mönstret av resultat, inklusive fynd av förändrad kroppsuppfattning (ökad upplevd svaghet), gör ett rimligt argument för bedöma kroppsförändringar på en mer detaljerad nivå, lägga till fysiologiska bedömningar som elektromyografi, och att fokusera på uppgifter relaterade till språkbearbetning och komplext (verbalt) arbetsminne i framtida försök”.

Kommentar: Då ska det noteras att i verkligheten exponeras människorna för högre och kraftigt pulserande ljudstötter, dygnet runt och vid frekvenser <3 Hz, där ca 95 % av den fysiska ljudenergin emitteras.

- **Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold ± Evidence from fMRI.** Weichenberger, et al. 2017.

Studien redovisar förändringar av hjärnaktivitet med hjälp av fMRI, som reaktion på långvarig exponering av infraljud något under och något över hörtröskeln. *fMRI är förkortning av Funktionell magnetresonanstomografi*, som är en radiologisk metod för mätning av blodkoncentrationen vid en hjärnaktivitet. Ökad hjärnaktivitet i ett visst område kräver mer syre som överförs av blodkroppar som kan mätas med magnetisk radiologi.



Rapporten bör givetvis analyseras av medicinsk expertis. Sammanfattningen visade att centrala hjärnfunktioner som hjärnbarken (cortex), tinningsloben och amygdala påverkades av infraljud. Resultaten verkar stödja hypotesen att ohörbart infraljud kan utöva inflytande på organismen via en undermedveten bearbetningsväg. Eftersom hjärnans reaktion på långvarig infraljud-påverkan innebär aktivering av hjärnområden, som är kända att spela en avgörande roll i emotionell och autonom kontroll, kan det fastställas en potentiell koppling mellan infraljudinducerade förändringar av hjärnaktivitet och uppkomsten av olika fysiologiska och psykologiska hälsoeffekter. Kortvarig uppkoppling av dessa hjärnområden vid reaktion på infraljud under eller nära tröskeln kan återspegla en initial stressrespons i kroppen som

eventuellt så småningom främjar symptombildning, eftersom stimulering uppstår upprepade gånger och ytterligare riskfaktorer tillkommer. Ytterligare forskning behövs.

- **Involvement of microglial cells in infrasonic noiseinduced stress via upregulated expression of corticotrophin releasing hormone type 1 receptor.**

F Du, L Yin, M Shi, H Cheng, X Xu, Z Liu, G Zhang, Z Wu, G Feng, G Zhao

Infraljud är ett slags miljöbuller och hotar folkhälsan som en ospecifik biologisk stressfaktor.

Uppreglerat uttryck av kortikotropinfrisättande hormon (CRH) och dess receptor CRH-R1 i neuronerna i hypotalamisk paraventrikulär kärna (PVN) rapporterades vara ansvarig för infraljud-inducerad stress och skador. Nyligen genomförda studier visade att CRH-R1 uttrycks i aktiverade mikroglia-celler, vilket ger stöd till hypotesen att mikroglia-celler också kan vara ansvariga för infraljudinducerad stress. I detta arbete exponerade vi Sprague-Dawley-råttor och in vitro odlade mikroglia-celler för infraljud med en huvudfrekvens på 16 Hz och en ljudtrycksnivå på 130 dB under 2 timmar, och undersökte förändringarna i uttrycket av CRH-R1 vid olika tidpunkter efter infraljuds-

exponering genom immunhistokemi och semikvantitativ RT-PCR. Vi fann att infraljudsexponering resulterade i en **signifikant aktivering av mikroglia-celler** och uppreglerade deras uttryck av CRH-R1 i PVN in vivo. Uppreglerat uttryck av CRH-R1 kan blockeras av antalarmin, en selektiv CRH-R1-antagonist. Våra in vitrodata avslöjade vidare att i frånvaro av neuroner kan infraljud direkt inducera mikroglialaktivering och uppreglera deras CRH-R1-uttryck. Dessa fynd tyder på att förutom PVN-neuronerna är **mikroglia-celler också effektor-celler för infraljud och involverar den infraljudinducerade stressen genom uppreglerat uttryck av CRH-R1.**

Kommentar:

Gliaceller omsluter nervbanorna och svarar för tillförsel av nödvändiga näringsämnen och syre. Andra studier visar att de är känsliga för tryckvariationer, vilket påverkar nervcellerna.

Dessa ödesdiga bevis har aldrig upptagits i miljöprövningarna. Eller i de nationella forskningsprogrammen

- **En snabb översyn och metaregressionsanalyser av de toxikologiska effekterna av mikroplastexponering i mänskliga celler (september 2021)**

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389421028302>

Studien sammanställde resultaten från sjutton toxikologiska studier av mikropartiklar på humanceller i en snabböversikt och åtta studier med avancerad statistisk analys (metaregression). Partiklarna hade **effekter på cytotoxicitet, immunsvår, oxidativ stress och cellernas barriäregenskaper**. Däremot inte på genotoxicitet (primära DNA-skador och mutationer på DNA-molekylnivå eller kromosomnivå). Oregelbunden form visade sig vara den enda karakteristiken som förutsäger celldöd, tillsammans med exponeringens varaktighet och MP-koncentration ($\mu\text{g}/\text{ml}$). Cellerna visade varierande cytotoxisk känslighet, med tarmceller som de mest mottagliga. Minsta miljörelevanta koncentrationer på $10 \mu\text{g}/\text{mL}$ ($5\text{--}200 \mu\text{m}$), hade en negativ **effekt på cellviabiliteten (Andel levande eller döda celler i ett totalt cellprov)** och $20 \mu\text{g}/\text{mL}$ ($0,4 \mu\text{m}$) på cytokinfrisättning (inflammatorisk reaktion). Denna studie är den första som kvantifierar tröskelvärden för nanopartiklarnas effekter på mänskliga celler i samband med riskbedömning.

Noterbart är att det var oregelbundet formad mikroplast som orsakade cellskador och inte den sfäriska mikroplasten som normalt används i laboratorieexperiment. Detta tyder på att tidigare laboratorieforskning med sfärisk mikroplast kanske inte helt representerar de skador som mikroplaster orsakar på människors hälsa.

Mänskligheten har på kort tid insett de ödesdiga hoten från alla typer av plast, som kan passera cellkärnans membran och orsaka infektion och inflammation. Särskilt allvarligt är när armeringens kolfiber mals ned till mininivån och följer vindarna globalt med risk för asbestos. Japansk studie visar att mikroplaster nu också finns i molnen.

- **Wind Turbine Syndrome: The Impact of Wind Farms on Suicide.** Eric Zou. 2017.

<https://docs.wind-watch.org/Zou-suicide-2017-Oct.pdf>

Sammanfattning.

Nuvarande teknik använder vindkraftverkens bladaerodynamik för att omvandla vindenergi till elektricitet. Denna process genererar betydande lågfrekvent buller som enligt uppgift resulterar i invånarnas sömnstörningar, bland andra irritationssymptom. Men förekomsten och betydelsen av vindkraftsparkers hälsoeffekter på befolkningsskala är dock fortfarande okänd. Genom att utnyttja över 800 installationer av vindkraftverk i allmän skala i USA från 2001 till 2013 visar jag robusta bevis för att vindkraftsparkerna leder till betydande ökning av självmord. Jag utforskar tre indirekta tester av lågfrekvent bullerexponerings roll. För det första koncentreras självmordseffekten till individer som är sårbara för bullerinducerade sjukdomar, såsom äldre. För det andra drivs självmordseffekten av dagar då vinden blåser i riktningar som skulle öka invånarnas exponering för lågfrekvent bullerstrålning. För det tredje tyder data från en storskalig hälsoundersökning på ökad sömnbrist när nya vindkraftverk installerats. Dessa fynd pekar på värdet av bullerreducering i framtida vindtekniska innovationer.

Uppdatering 2020:

Nuvarande teknologi använder vindkraftverkens bladaerodynamik för att omvandla vindenergi till

elektricitet. Denna process genererar betydande lågfrekvent ljud som enligt uppgift producerar irritationssymptom och stör sömnen för närboende. Men förekomsten och betydelsen av vindkraftsparkers hälsoeffekter på en befolkningskala är fortfarande okända. I utvärdering av över 800 vindkraftsanläggningar i USA från 2001 till 2013 visar jag robusta bevis för att vindkraftsparker leder till betydande öknings av självmord. Jag utforskar indirekta tester av rollen av lågfrekvent bullerexponering som stöder samband. Självmordseffekten ökar med antalet dagar som människor upplever större exponering för lågfrekvent buller, som ett resultat av riktningen av rådande vindar. Data från en storskalig hälsoundersökningar tyder på att sömnbrist ökade när nya vindkraftsparker etablerats. Självmordsökningen är mest uttalad bland två åldersgrupper: de i åldersgruppen 15-19 och de över åldern 80. Jag uppskattar att självmordskostnaden för vindkraftsparker inte är trivial i omfattning jämfört med miljö- och hälsofördelar med vindenergi.

9.9. Havsbaserade industriellanläggningar avger kraftiga infraljud över stora avstånd

Infraljud är ohörbara pulserande luftvågor < 20 Hz, som alstras längs rotorbladen och vid passage tornet. Extremt ljudtryck uppstår vid rotorbladens spetsar som kan nå en hastighet om 300 km/h. Passagen vid tornen ger kraftiga infraljud vid ca 1 Hz och flera ekon vid 2 och 4 Hz.

95 % av den fysikaliska ljudenergin utvecklas <3 Hz.

De extremt kraftiga infraljuden från stora anläggningar har underskattats.

Infraljud kan utbredas långt bortom de avstånd på 20-33 km, som gäller vid Hallandskusten.

Kraftiga vindar på hög höjd påverkar ljudutbredningen på tre sätt:

- luftvågorna böjs ned eller följer atmosfäriska skikt mot kusten och når högre områden i det halländska kustlandskapet. (Omar Marcillo, et al uppmätte infraljud från en vindkraftspark på 90 km

från en industriell anläggning med 60 st 1,5 MW-verk. USA, 2014. Cylindrisk ljudutbredning)

- nedåtriktade ljudvågor reflekteras över vattnet och träffar bostäder i kustområdet (Cylindrisk ljudutbredning).

- rakt uppåtriktade ljudvågor studsar mot höga atmosfäriska luftlager på 2-20 km och återförs mot marken i kustlandskapet. Koreansk studie.

Dessutom förstärks ljudvågorna när ljudet interagerar med andra verk. Dels inom den egna anläggningen och dels med andra anläggningar. Våglängdernas amplitud (skillnad noll och max) dubblas när ljudvågorna kommer i fas vilket kraftigt förlänger ljudutbredningen. Samverkan av många verk får då stor betydelse.

Ytterligare förstärkning kan uppstå under sommarnätter, när kraftiga Low Level Jet Winds (100 km/h) kan nå ned till ett hundratal meter över havet.

Normalt gäller sfärisk ljudutbredning i alla riktningar där dämpningen är 6 dBA/dubbelt avstånd.

Vindkraftverk levererar ljud från hög höjd. Kraftiga vindar medför att ljudvågorna övergår till horisontell s.k. cylindrisk ljudutbredning som börjar vid ca 700 m. Dämpningen reduceras då till 3 dBA/dubbelt avstånd.

En dubblerad avståndsserie är:

1-2-4-8-16-32-64-128-256-512-1024-2048-4096-8192-16384-**32768** meter

Mätningar vid Horns klint utanför Danmarks västkust visade 90-120 dB vid 100 m. Med tillägg + 7dBA för tillplattade maxljud, erhålls 9 dubbleringar eller reducering med 27 dB. Värden >70 dB skulle då teoretiskt kunna nå land via luften.

Samma långa ljudutbredning erhålls för ljudvågor som reflekteras över vatten. Detta får en förstärkande effekt utöver den luftöverförda energin.

- Redovisning av ofiltrerade mätvärden i dBZ visar höga ljudnivåer < 200 Hz.
- Van den berg visade ljudtrycksnivå nära 90 dB SPL vid 1 Hz. Innebär lång ljudutbredning.
- Sugimoto et al. visade ljudtryck nära 100 dB SPL vid 2 Hz. Innebär lång ljudutbredning.
- Salt et al, drar slutsatsen att infraljud kan påverka hörsel- och vestibulära system genom andra mekanismer än vad som gäller för hörbart ljud.

- Zhou et al. (2012) fann att vinden är starkare på natten än under dagtid (ca 50 %) och två gånger starkare på sommaren än på vintern. Samband med luftfuktighet. Det innebär stora skillnader mot beräknade värden och större störningar, då bakgrundsljudet är lägre på natten.
- Interagerande effekter mellan infraljud och markvibrationer från verkens fundament, kan skapa resonans och höjning av bullernivån med 2 dBA inomhus.
- Marcillo et al uppmätte höga infraljudsnivåer över 90 km från en vindkraftspark med 60 st 1,5 MW-verk. Se avsnitt II.

Havsbaseade anläggningar med många samverkande vindkraftverk förstärker ljudnivåerna, så att de når Hallandskusten vid de flesta väderförhållanden. Ytterligare förstärkning erhålls i Falkenbergs-området, som har många landbaseade verk, 5 mindre verk i hamnområdet och hotas av den närliggande parken på Skottarevet (7 km).