



Gesundheitliche Bewertung der Schallimmissionen von Windenergieanlagen

Grundsätzlich

Infraschall von WEA ist bei Einhaltung der gültigen Werte in

Privatwohnungen nicht wahrnehmbar

(keine Geräusche, keine Vibrationen).

Epidemiologisch sind keine adversen Gesundheitseffekte

durch IS von WEA nachweisbar.



Was ist Lärm?

Wortursprung: italienisch „*all'arme*“, „zu den Waffen!“ → ALARM!

- Bis Mitte des 18. Jahrhunderts: Begriff im militärischen Bereich
 - Im Zuge der Industrialisierung und Verstädterung wurde „*Lärm*“ allgemeines Thema
- Erst spätes 18. Jahrhundert: „ein jeder lauter, beschwerlicher Schall“ (J. C. Adelung)
- Kurt Tucholsky (1890 – 1935) „*Lärm ist das Geräusch der anderen.*“

Besonderheit des Gehörs:

„Wir können nicht Nicht-Hören“

Sinneseindrücke im Schlaf

1. Ohren bleiben voll auf Empfang
 - Gehirn qualifiziert
 - (*basal forebrain parvalbumin neurons*)
2. Tastsinn/ Erschütterung
3. Gleichgewichtssinn
4. Interne Sensorik (CO₂, Schmerz, Hunger)
5. Geruch kaum aktiv
6. Sehen je nach Schlafphase

Was ist Lärm?

Schall	Geräusch	Lärm _#
-	-	-
Wird gemessen	Wird gehört	Subjektive Bewertung des Geräuschs*

* ist abhängig von:

- Persönlicher Sensitivität
- Vorerfahrungen (Assoziation, Verstehen der Notwendigkeit, Möglichkeiten der Einflussnahme)
 - Akuter Kontext (Sport, Aufgabe welche Konzentration erfordert, Kommunikation)
 - Ort des Erlebens (Großveranstaltung, Zuhause)

#: Nach der Definition von Lärm laut DIN 1320 ist Lärm „... unerwünschter Hörschall; Hörschall, der zu Störungen, Belästigungen, Beeinträchtigungen oder Schäden führen kann“

LEITLINIEN FÜR UMGEBUNGSLÄRM

für die Europäische Region

ZUSAMMENFASSUNG



Aktuell bieten die ...
"Environmental noise guidelines for the European region"
die **beste Evidenzbasis** für die **Ursache-Wirkungs-Beziehungen** zwischen **Lärm und Gesundheit**

Diese Leitlinien enthalten auch Empfehlungen für Geräusche von WEA.

- Europäische Umweltagentur

<https://www.eea.europa.eu/ims/health-impacts-of-exposure-to-1>

Die Gesundheit ist ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens und nicht nur das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen.

(Verfassung der WHO)

Belästigung ist eine **adverse gesundheitliche** **Auswirkung von Schall**

- Definition in diesem Zusammenhang (Ursprung Psychoakustik)
- *„Belästigung ist eine “komplexe Reaktion” welche bezüglich einer oft wiederholten Störung durch Lärm besteht und welche oft auch mit Verhaltensantworten kombiniert ist, welche dazu dienen die Störung zu minimieren“ (Guski et al. 2017)*

„Belästigung“ ist eine **retrospektive** Bewertung vergangener Erfahrungen mit einer Lärmquelle über eine bestimmte Zeitspanne.



„**Belästigung**“ ist eine **retrospektive** Bewertung vergangener Erfahrungen mit einer Lärmquelle über eine bestimmte Zeitspanne.

Elemente der Lärmbelästigungsreaktion:

1. Wiederholte Störung durch Lärm:

- Häufige Unterbrechung beabsichtigter Aktivitäten durch Lärm, z. B. Kommunikation mit anderen Personen, Musik hören, Fernsehen, Lesen, Arbeiten oder Schlafen.

2. Emotionale Reaktion

- Ärger über den Lärm
- Entwicklung einer negativen Haltung ggü. der Lärmquelle.

3. **Kognitive Antwort**

- Beunruhigende Einsicht, dass man nichts gegen die ungewollte Situation tun kann (erlernte Hilflosigkeit).



Zwischenfazit

1. **Lärm** ist die negative Bewertung eines **unerwünschten** Geräuschs (gehörter Schall) durch **Menschen**
2. Lärm kann schon bei **moderater Lautstärke** negative gesundheitliche Folgen haben (chronische Lärmbelastung)
3. **Belästigungsreaktionen** werden durch eine **retrospektive** Bewertung vergangener Erfahrungen mit einer **Geräuschquelle** über eine bestimmte Zeitspanne bedingt



LEITLINIEN FÜR UMGEBUNGSLÄRM

für die Europäische Region

ZUSAMMENFASSUNG



LANUV 14.03.2024

Empfehlungen werden entweder als „**stark empfohlen**“ oder „**bedingt empfohlen**“ eingestuft.

„**starke Empfehlung**“: abgesichertes Erkenntnis, sollte in den meisten Fällen politisch umgesetzt werden.

„**bedingte Empfehlung**“: erfordert vor der Umsetzung einen politischen Entscheidungsprozess mit substanzieller Diskussion und Einbeziehung verschiedener Akteure.

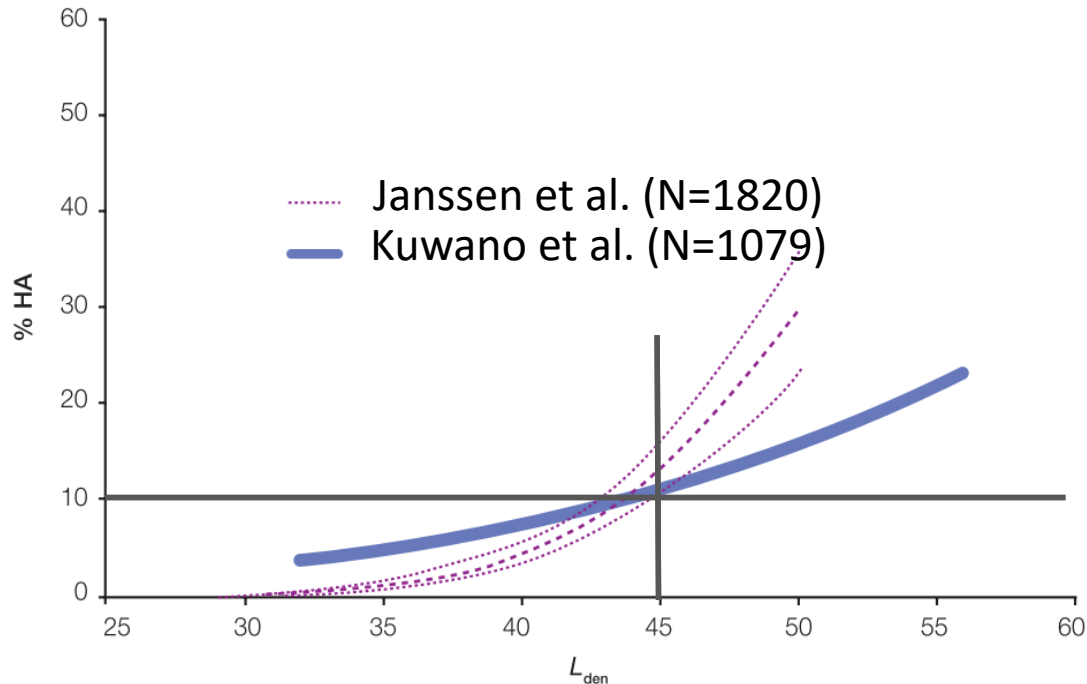
Neuerung in ENG (2018)

„Lowest observed adverse effect Level“ vs „relevanter Risikoanstieg“

Relevante Risikoanstiege für die Bemessung der Leitlinienwerte nach Definition der WHO

Entscheidende Gesundheitliche Auswirkung*	Relevanter Risikoanstieg für die Festlegung des empfohlenen Leitlinienwerts
Inzidenz ischämische Herzerkrankung	Anstieg des relativen Risikos um 5 %
Inzidenz Bluthochdruck	Anstieg des relativen Risiko um 10 %
%-Anteil hoch belästigte Personen	Anstieg des absoluten Risikos auf 10 %
%-Anteil hoch schlafgestörte Personen	Anstieg des absoluten Risikos auf 3 %
Dauerhafte Gehörschäden und Tinnitus	Keine Risikoerhöhung durch Umgebungslärm
Verzögerung beim Erwerb der Lesekompetenz und des Hörverständnisses	Ein Monat Verzögerung hinsichtlich des ‚Lesealters‘

Überlagerung der Expositionswirkungskurven bzgl. des prozentualen Anteils Hochbelästigter



N_{global} = 2899

Aus den zwei Expositionswirkungskurven wurde von der WHO abgeleitet, dass bei **45 dB(A) 10 % hochbelästigt** (*highly annoyed* [HA]) sind → relevanter Risikoanstieg



Lärm von Windenergieanlagen

Empfehlung

Für die durchschnittliche Lärmbelastung empfiehlt die LEG bedingt, durch Windenergieanlagen bedingte Lärmpegel auf weniger als **45 dB L_{den}** zu verringern, weil Lärm von Windenergieanlagen oberhalb dieses Wertes mit schädlichen gesundheitlichen Auswirkungen verbunden ist.

In Bezug auf die durchschnittlicher nächtliche Lärmbelastung L_{night} durch Windenergieanlagen wird keine Empfehlung abgegeben. Die Qualität der Evidenz zur nächtlichen Belastung durch Lärm von Windenergieanlagen ist zu gering, um eine Empfehlung zu gestatten.

Zur Verringerung der gesundheitlichen Auswirkungen empfiehlt die LEG bedingt, dass die Politik geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Lärmbelastung durch Windenergieanlagen für die Bevölkerung ergreift, deren Lärmbelastung die Leitlinienwerte für die durchschnittliche Lärmbelastung übersteigt. Es ist jedoch keine Evidenz verfügbar, um die Empfehlung einer bestimmten Art von Maßnahme gegenüber einer anderen zu erleichtern.

Stärke

Bedingt

Bedingt

Wird das durch die WHO Umgebungslärmrichtlinie (2018) geforderte Schutzniveau in Deutschland i. d. R. eingehalten?

- Gängige Regulierungspraktik für WEA maßgeblich nach TA Lärm:
 - Dorf und Mischgebiete nachts: $L_o=45 \text{ dB(A)}^*$

CAVE: Diese **bedingte** Empfehlung akzeptiert **10 % hochbelästigte** Personen

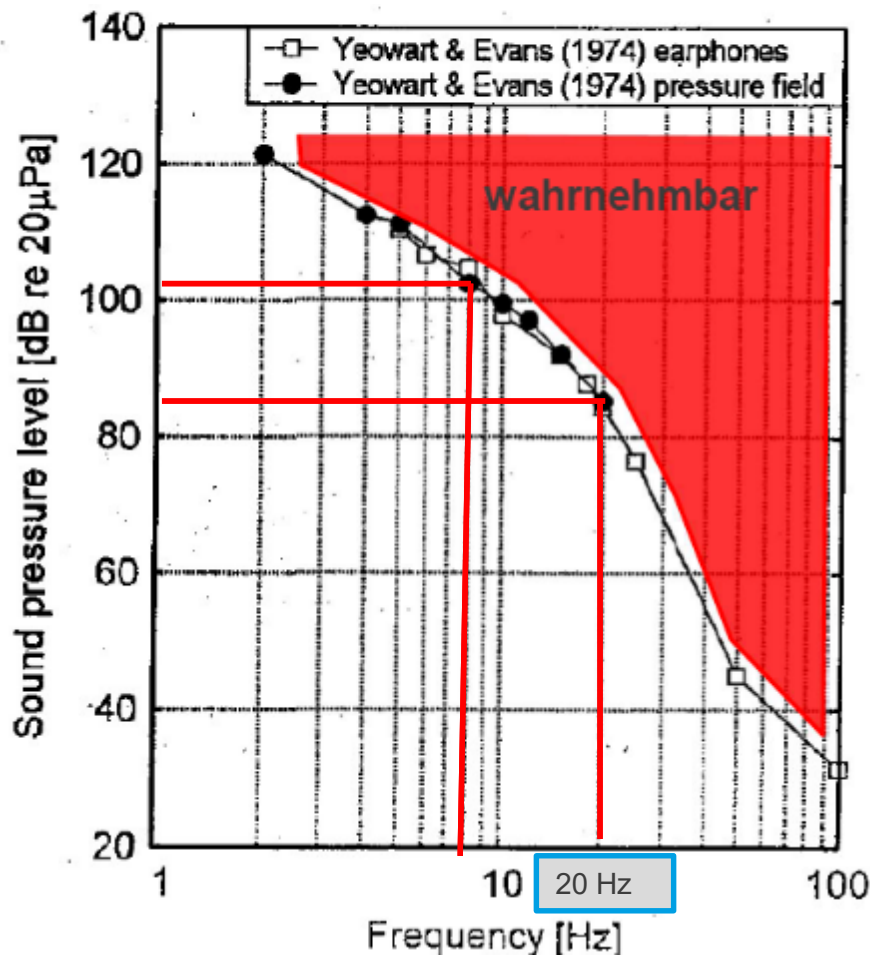
→ Empfehlung ist kein „**No-Effect-Level**“

*entspricht ca. dem von den WHO ENG geforderten L_{den} von 45 dB(A)

Kernfragen: Infraskall (IS)

1. Kann Infraskall Lärm sein?
2. Kann Infraskall belästigend sein?
3. Kann Infraskall einer WEA in einem Wohnhaus in Deutschland belästigend sein?

Infraschall mit sehr hohem Pegel (SPL) kann wahrnehmbar sein – solche Pegel werden von WEA jedoch nicht erreicht



Wahrnehmung ist
pegel- und
frequenzabhängig!

(Møller and Petersen, 2004)

TEXTE

163/2020

Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen

Abschlussbericht

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Forschungskennzahl 3714 51 100 0 FB000335
Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen
Abschlussbericht

von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahe,

Alexander Alaimo Di Loro, M.Sc.

Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal Dr. rer.
nat. Uwe Müller,

Priv.-Doz. Dr. med. Eva-Maria Elmenhorst, Dott.

Riccardo De Gioannis, Stefan Schmitt Deutsches

Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln Dipl.-

Wirtschaftspsych. Christin Belke, Sarah Benz, M.Sc.

Stephan Großarth, M.Sc., Dr. rer. nat., Dirk
Schreckenberger,

ZEUS GmbH, Hagen

Dipl.-Ing (FH) Christian Eulitz, M.Eng., Bianca

Wiercinski, M.Sc.,

Dipl.-Ing. Ulrich Möhler

Möhler + Partner Ingenieure AG, München

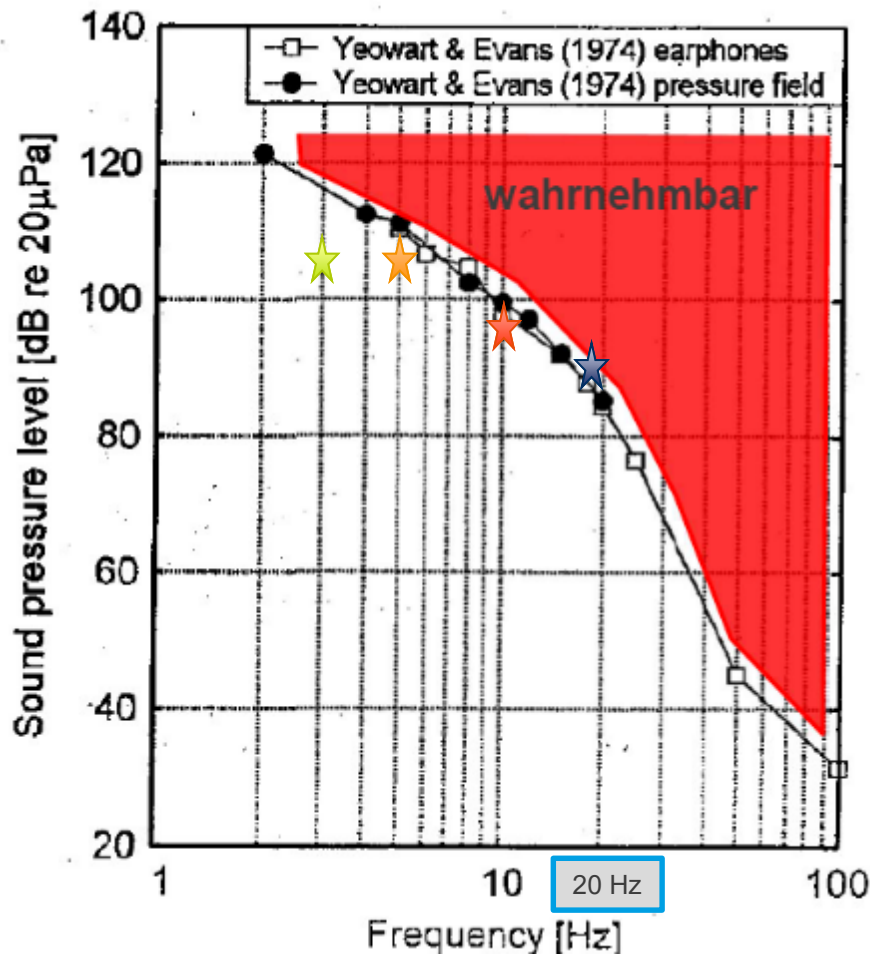
Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Verfügbar unter:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/laermwirkungen-von-infraschallimmissionen>

Die UBA Laborstudie

- Geräuscharmer Versuchsraum (ca. 25 dB(A))
- 44 Versuchspersonen (5 nachträglich teil zensiert)
- 30 min unterschiedliche Geräuschszenarien
 - *Sinus 3 Hz 100 % amplitudenmoduliert mit 1 Hz, 105 dB*
 - *Sinus 5 Hz, Pegel 105 dB*
 - *Sinus 10 Hz, Pegel 95 dB*
 - *Sinus 18 Hz, Pegel 85 dB*
 - *Ruhe*
- Wechselnde Reihenfolge
- Testung **physiologische** Akutwirkung
 - Blutdruck, Herzfrequenz, Wach-EEG, Neurologische Testung
- Fragebogen zu **psychologischen** Aspekten
 - Einschätzung der Belästigung, Bewertung Geräuschmerkmale, Wohlbefinden, Druck- bzw. Vibrationsempfinden



Wahrnehmung ist
pegel- und
frequenzabhängig!

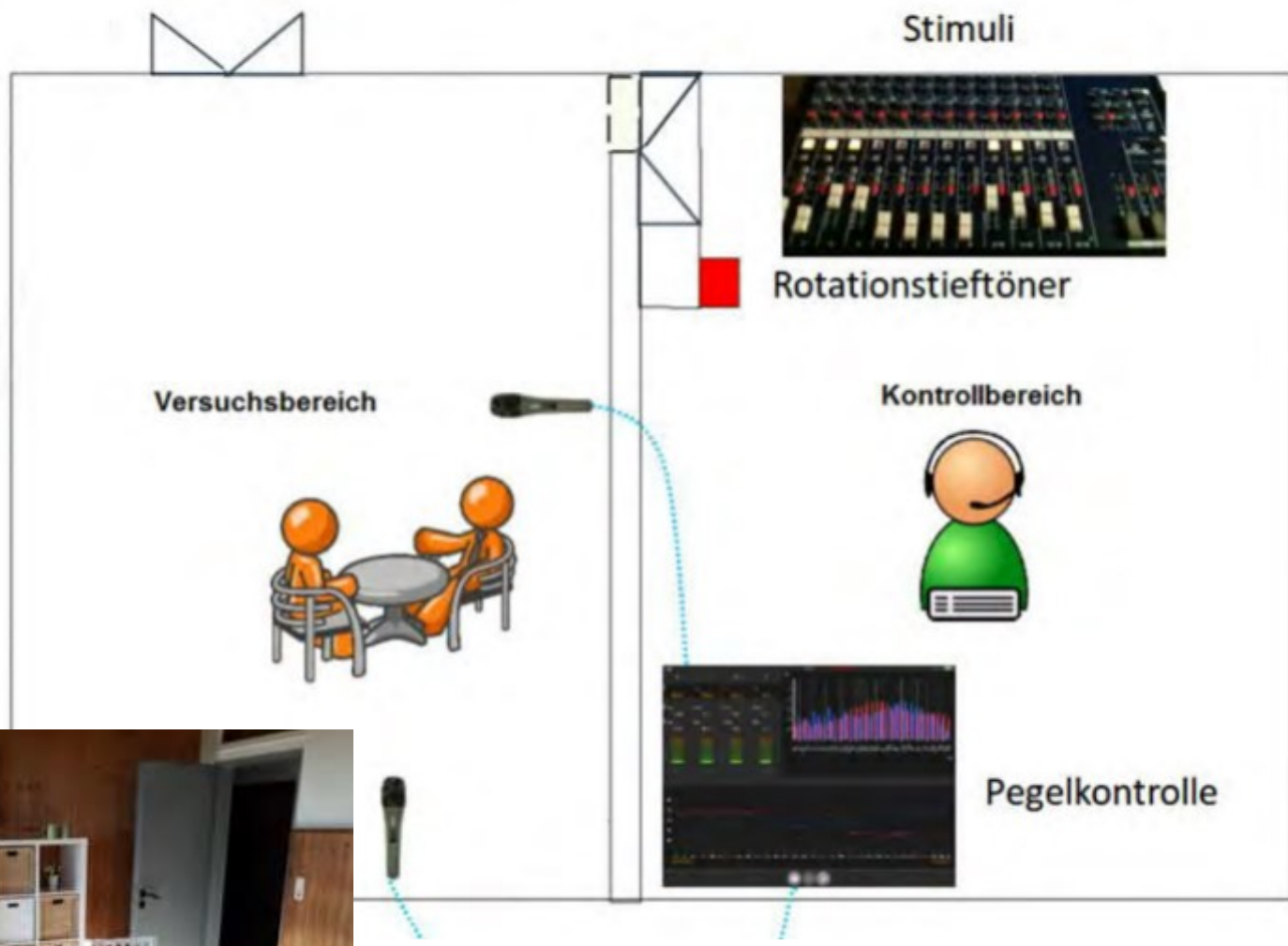
(Møller and Petersen, 2004)



Unter der Wahrnehmungsschwelle: 3 Hz mit 105 dB ★
(amplitudenmoduliert) sowie 5 Hz mit 105 dB ★
Auf der Wahrnehmungsschwelle: 10 Hz mit 95 dB ★
Über der Wahrnehmungsschwelle: 18 Hz mit 85 dB ★



Abbildung 4: Konzept der Beschallungsanlage, Versuchs- und Kontrollbereich über kommunizierende Räume

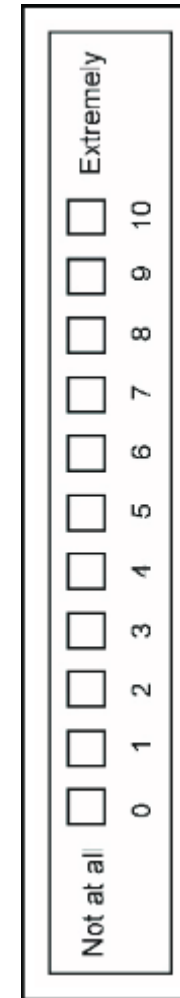
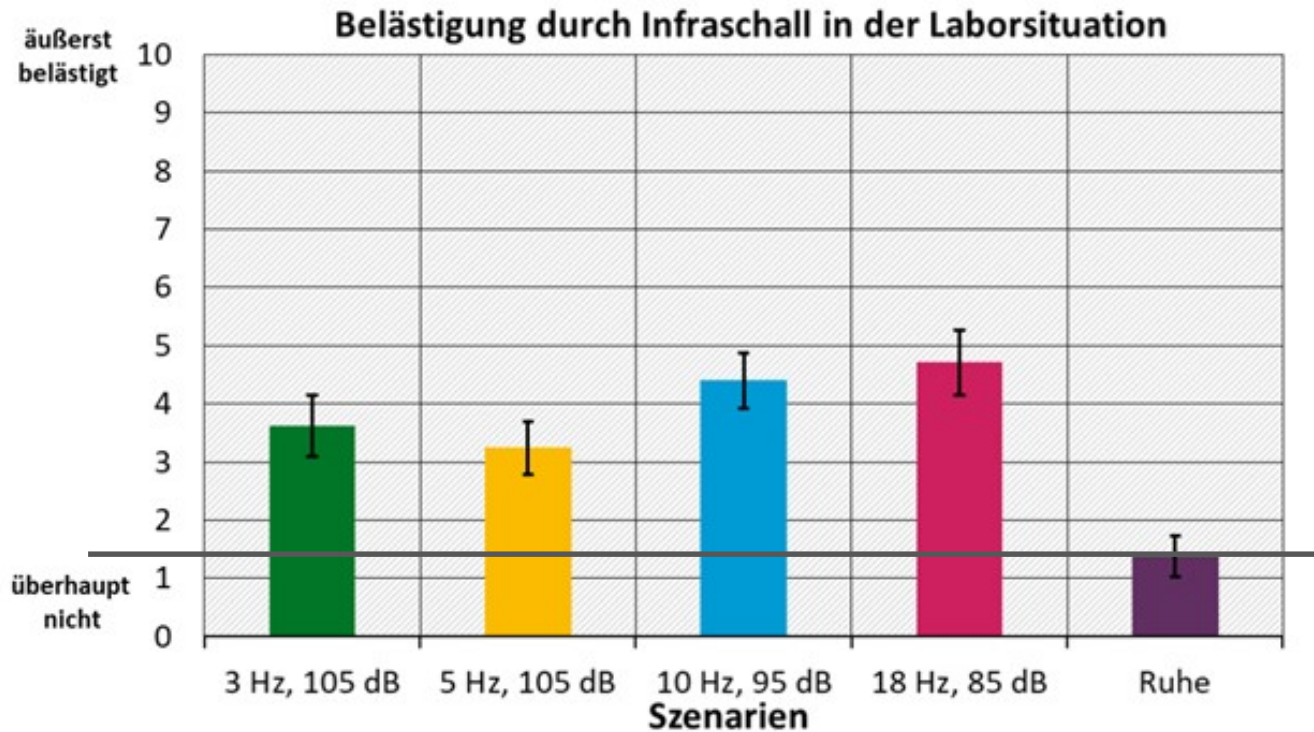


<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/laermwirkungen-von-infraschallimmissionen>



Alle Expositionen werden von „Ruhe“ unterschieden → Wahrnehmung ist gegeben / Belästigungsurteil vergleichbar

Abbildung 7: Ergebnisse zur Belästigung während der dargebotenen Infrasschallgeräusche



Folgende körperlichen Akutreaktionen wurden ohne Ergebnis gemonitored:

Blutdruck, Herzfrequenz, Wach-EEG, Neurologische Testung

Resümee des UBA

(Zitat UBA S. 130):

„Die Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten physiologischen Messungen zeigen somit zwar **keine messbaren Akutreaktionen auf eine 30-minütige Exposition** durch Infraschall.

Auf Grundlage der erhobenen Daten kann jedoch **nicht** geschlossen werden, dass es bei **langfristiger Exposition nicht zu physiologischen Veränderungen** kommen kann.“



Kommentierung Schlussfolgerungen UBA

- ❖ Infraschallimmissionen **an und oberhalb** der Hörschwelle werden von „Ruhe“ unterschieden und auf Nachfrage als leicht- bis mittelgradig belästigend beurteilt.
- ❖ Infraschallimmissionen mit *zeitlichen Schwankungen des Schallpegels (Amplitudenmoduliert)* haben eine (relativ) höhere Belästigungswirkung als ein zeitlich konstantes Schallereignis.
- ❖ Die in der Literatur und Normung aufgeführten frequenzabhängigen Wahrnehmungsschwellen im Infraschallbereich konnten bei der Untersuchung bestätigt werden.



Projekt der finnischen Regierung zu Infraschall Wirkungen von WEA

GOVERNMENT'S ANALYSIS,
ASSESSMENT AND RESEARCH ACTIVITIES

Panu Majjala, Anu Turunen, Ilmari Kurki, Lari Vainio, Satu Pakarinen,
Crista Kaukinen, Kristian Lukander, Pekka Tiittanen, Tarja Yli-Tuomi, Pekka Taimisto,
Timo Lanki, Kaisa Tiippana, Jussi Virkkala, Emma Stickler, Markku Sainio

Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines



<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162329>

Langfristige Geräuschaufzeichnung im Umfeld von WEA

Zwei Hauptfragestellungen

1. Wie hoch sind die Vollspektrum-Schallpegel bis hinunter zu 0,1 Hz in Häusern in der Nähe der WEA?
2. Was sind die Eigenschaften des Schalls, sowohl des hörbaren als auch des unhörbaren Infraschalls?

Methode:

- Messungen an und in zwei (verlassenen) Häusern in der Nähe von WEA
- 308 kontinuierliche Messtage
- Aufzeichnung des Vollspektrumschalls
- Aufzeichnung der Vibrationen in alle Raumrichtungen (3D)
- Kombination mit lokalen meteorologischen Daten und Betriebsdaten aller relevanter WEA

Langfristige Geräuschaufzeichnung im Umfeld von WEA (ca. 1,5 km)

Steigerung um „10 dB“
doppelte Wahrnehmung
der Lautheit

<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162329>

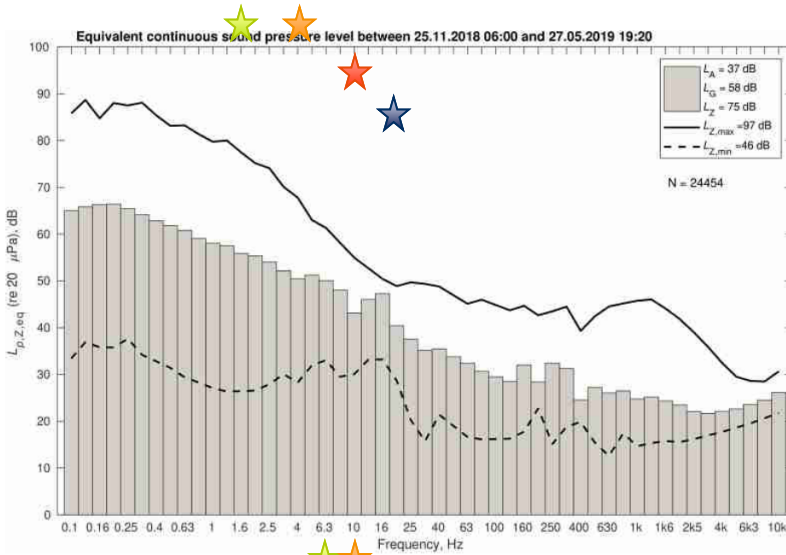


Figure 2.13: Kurikka, indoors, equivalent sound pressure level.

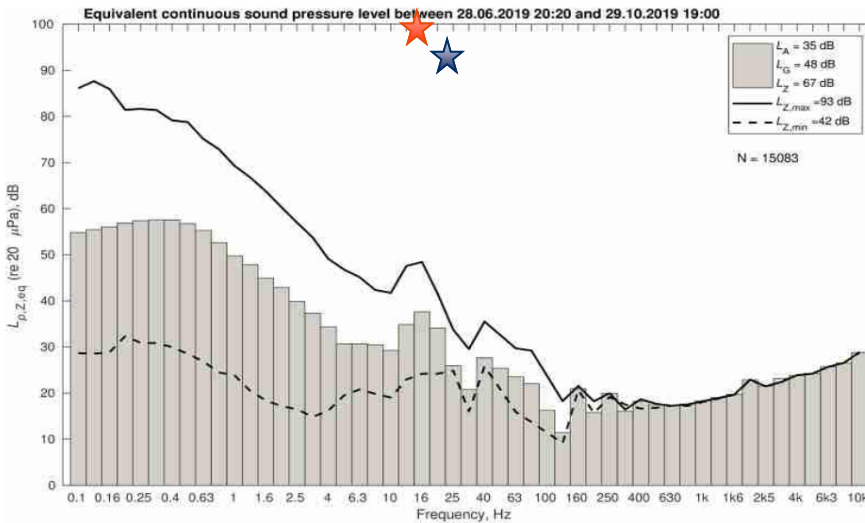
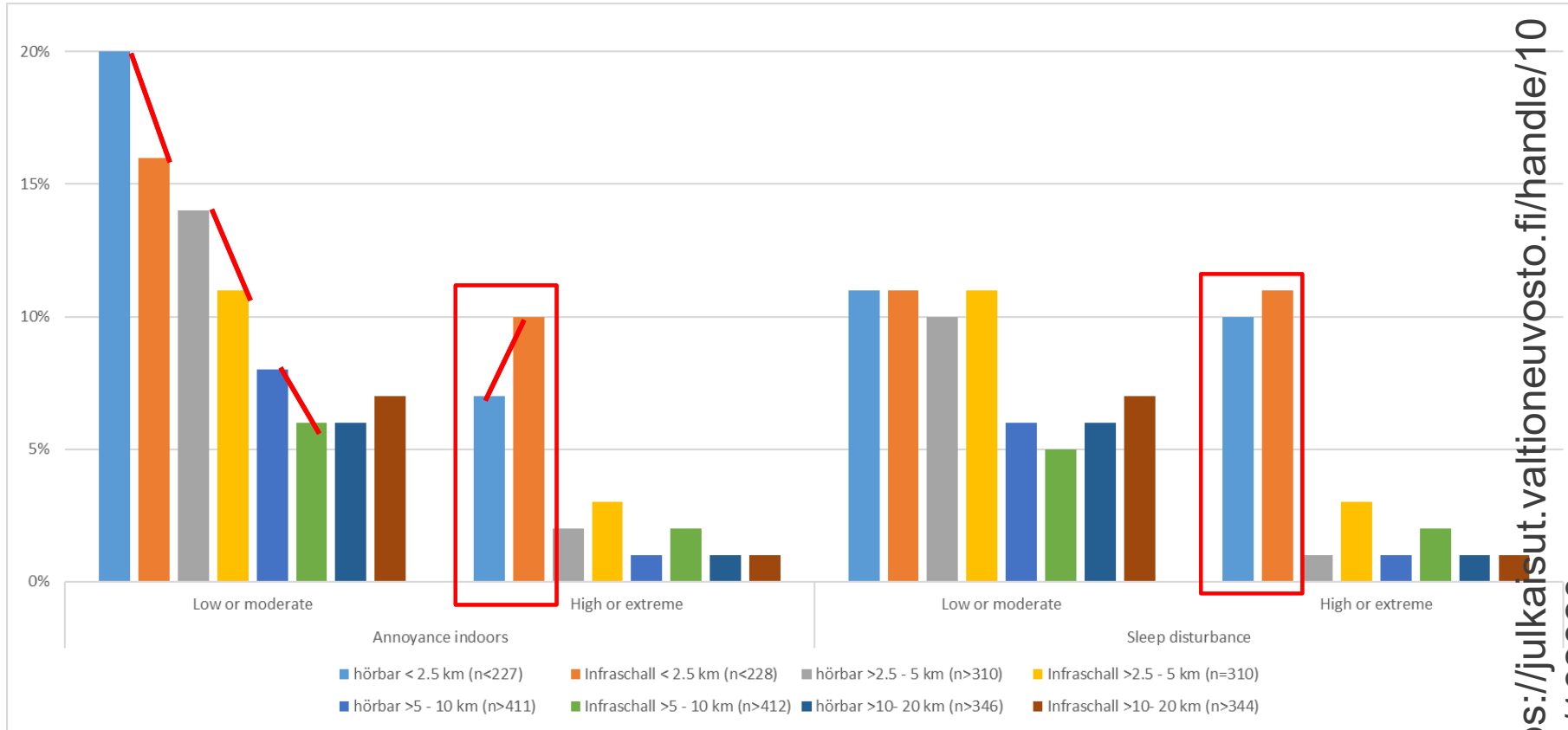


Figure 2.12: Raahe, indoors, third octave bands for all the validated data based on 600 seconds equivalent sound pressure levels. Also, the minimum and maximum L_z curves are shown.

Etwa jeder zehnte im Bereich bis 2,5 km zur WEA ist hochbelästigt und gibt Schlafstörungen an (vergl. WHO ENG)



<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162329>

- I. d. R. geben MEHR Personen Belästigung durch HÖRBAREN Schall an als durch IS
- IS-Belästigte sind fast vollständig eine Untergruppe der HS-Belästigten



Laborergebnis mit aufgezeichneten Infraschall

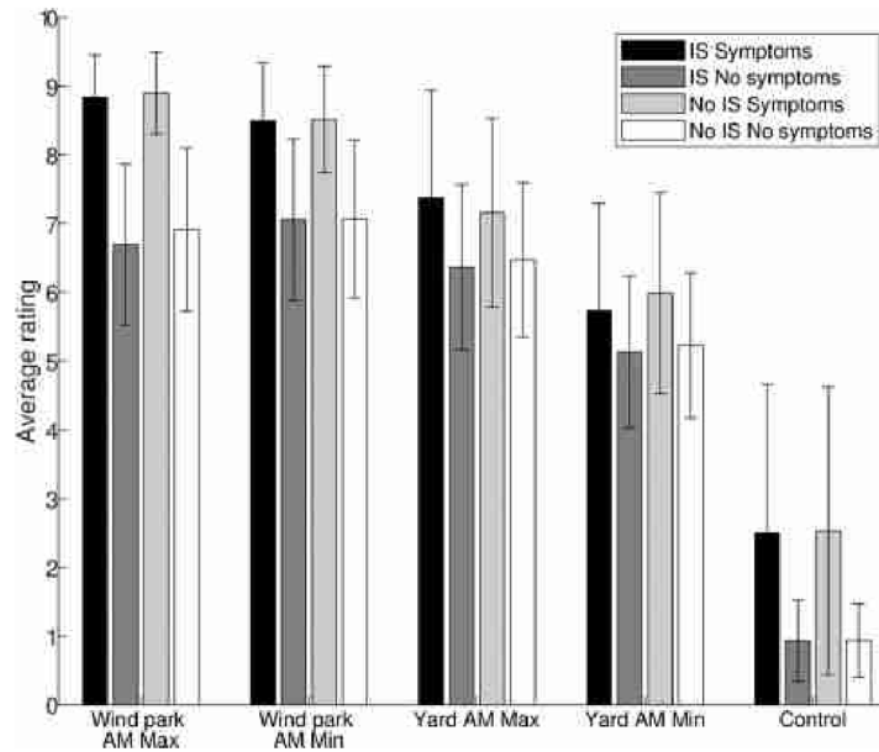


FIG. 5. Annoyance ratings of WTS by symptoms: group that reported wind turbine related symptoms (*symptoms*) and group that did not report symptoms (*no symptoms*).

- WEA Infraschall verändert im Laborversuch nicht die Lästigkeit eines eingespielten Tons
- Personen mit Symptomen geben stets etwas höhere Belästigung an

Klarer Zusammenhang zwischen schlechter Information → hohem „Risikoempfinden“ → Belästigung → Symptome

	All respondents		Symptomatic respondents	
	%	n	%	n
Annoyance caused by audible sound from wind turbines⁶				
No	89	1023	38	22
Low or moderate	9	110	33	19
High or extreme	2	26	29	17
Annoyance caused by wind turbine lights⁷				
Not in the neighbourhood	31	352	14	8
No	57	663	26	15
Yes, at least low	12	144	60	35
Annoyance caused by shadow flicker from wind turbines⁸				
Not at all	92	1067	50	29
Yes, at least occasionally	8	92	50	29
Received enough information about wind power projects⁵				
No	39	454	90	52
Yes or not needed	61	705	10	6
Opinion about personal health risk due to wind turbine infrasound¹⁰				
No risk	54	629	3	2
Low or moderate risk	36	419	21	12
High or extreme risk	10	111	76	44

Stets ca. 50-60 %

“...fast alle symptomatischen Personen schätzen WEA Infraschall als Risiko für die Gesundheit ein, drei von vier sogar als hohes oder extremes Risiko - jedoch nur jeder zehnte Befragte generell.”

Klarer Zusammenhang zwischen schlechter Information → hohem „Risikoempfinden“ → Belästigung → Symptome

	All respondents		Symptomatic respondents	
	%	n	%	n
Received enough information about wind power projects⁵				
No	39	454	90	52
Yes or not needed	61	705	10	6
Opinion about personal health risk due to wind turbine infrasound¹⁰				
No risk	54	629	3	2
Low or moderate risk	36	419	21	12
High or extreme risk	10	111	76	44

Resümee zu WEA-Infraschall

1. Kann Infraschall Lärm sein?

- Ja natürlich, wenn er wahrnehmbar ist.

2. Kann Infraschall belästigend sein?

- Ja natürlich, wenn er wahrnehmbar ist.

3. Kann Infraschall einer WEA in einem Wohnhaus in Deutschland belästigend sein?

- Die Studien/Messungen sagen, dass er i. d. R. NICHT-wahrnehmbar ist, das hieße die Antwort sei: **Nein**

Stand heute: Keine IS Wahrnehmung = keine (negative) Wirkung durch IS

Take Home Messages: Lärm ist unerwünschte Wahrnehmung

1. Wird der Wert von 45 dB(A) an einem Wohnhaus ausgereizt kann dies etwa in jedem zehnten Fall zu einer Belästigungsreaktion bei den betroffenen Anwohner*innen führen.
2. WEA können auch bei Einhaltung aller Vorschriften wahrnehmbar sein (sichtbar, hörbar).
3. Infraschall spielt nach aktuellem Stand des Wissens keine Rolle für die Wahrnehmung und mögliche unerwünschte gesundheitlichen Wirkungen im Zusammenhang mit WEA

Faktenpapier "Windenergieanlagen und Infraschall"

In einem Faktenpapier beantwortet das NRW-Umweltministerium häufig gestellte Fragen zum Thema "Windenergieanlagen und Infraschall". Es gibt über gesundheitliche Auswirkungen ebenso Auskunft, wie über gesetzliche Regelungen und Mindestabstände. Anwohnerinnen und Anwohner hatten immer wieder negative gesundheitliche Auswirkungen dieser Geräusche von Windenergieanlagen befürchtet. Bislang gibt es dafür keinen Nachweis.

Stand: 26.05.2023



https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/klima/windenergieanlagen_infraschall_faktenpapier.pdf

Geräusche von Luft-Wärmepumpen

Quellen tieffrequenter Geräusche im Wohnumfeld:

- ▶ ▶ Mini-Blockheizkraftwerke
- ▶ ▶ **Luft-Wärmepumpen (LWP)** 
- ▶ ▶ Klein-Windkraftanlagen
- ▶ ▶ Heizungsanlagen
- ▶ ▶ Haushaltsgeräte
- ▶ ▶ Klima- und Kühlgeräte

Verdichter/Kompressor

Ventilator

3 m



bei 50 bis 65 dB(A)

30-45 dB(A)

- Gängige Regulierungspraktik für LWP maßgeblich nach TA Lärm:
 - Dorf und Mischgebiete nachts: $L_o=45$ dB(A)*

Wichtigste Empfehlung:

1. Komplexität der Belästigungsreaktion anerkennen (Psychoakustik)
 - die Zuordnung „Wahrnehmung zu Symptomatik“ und „Wahrnehmungsverstärkung DURCH Symptomatik“ sind reales Problem (*)
2. Betreiber sollten präventiv bereits ins offene Gespräch gehen und im Gespräch bleiben sowie hochwertige und passgenaue Information vermitteln (WEA/LWP)
3. Menschen mit ihren Bedenken ernst nehmen (**Bürgerbeteiligung#**)

Über die gesetzlichen Beteiligungsvorgaben hinaus und unabhängig von der Hinwirkungspflicht hat es sich bei der Projektierung von neuen Windenergieanlagen in vielen Fällen als hilfreich erwiesen, frühzeitig auf eine angemessene Information und Einbeziehung von Bürgerinnen und Bürgern, sowie einschlägigen Verbänden zu achten. Es wird daher allen Projektierenden von Windenergieanlagen empfohlen, frühzeitig eine entsprechende Öffentlichkeitsbeteiligung einzuplanen.

Literatur

1. WHO Environmental Noise Guidelines for the european region (2018)
2. Guski et al., (2017) „WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance
3. Schreckenberget al., „The Development of a Multiple-Item Annoyance Scale (MIAS) for Transportation Noise Annoyance“
4. Krahé et al (2020) „Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen“. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, September 2020.
5. Majjala et al., (2021) „Annoyance, perception, and physiological effects of wind turbine infrasound“
6. Kudella et al., (2020) “Verbundprojekt: Objektive Kriterien zu Erschütterungs- und Schallemissionen durch Windenergieanlagen im Binnenland (TremAC)”
<https://doi.org/10.2314/KXP:1734043008>
7. UMID Artikel „Infraschall von Windenergieanlagen“ von THOMAS MYCK & JÖRDIS WOTHGE (2021)
8. Faktenpapier zu Infraschall von WEA der NRW Landesregierung (2019)

Weitere Empfehlungen

1. WHO Leitlinien für Umgebungslärm (2018)
2. UBA Infraschallprojekt (2020)
3. Projekt der finnischen Regierung zu Infraschallwirkungen von WEA (2020)
Veröffentlicht 2021 in „The Journal of the Acoustical Society of America 149, 2238”
4. TremAc Projekt (Abschlussbericht 2020)
5. UMID Artikel „Infraschall von Windenergieanlagen“ von THOMAS MYCK & JÖRDIS WOTHGE (2021)
6. Faktenpapier zu Infraschall von WEA der NRW Landesregierung (2019)