



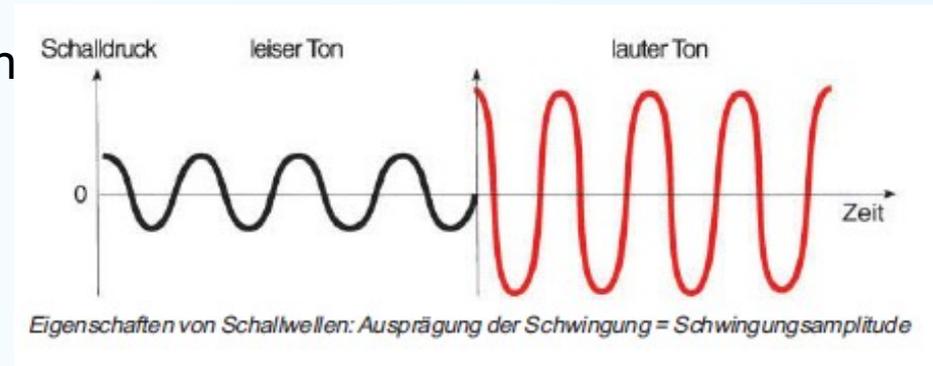
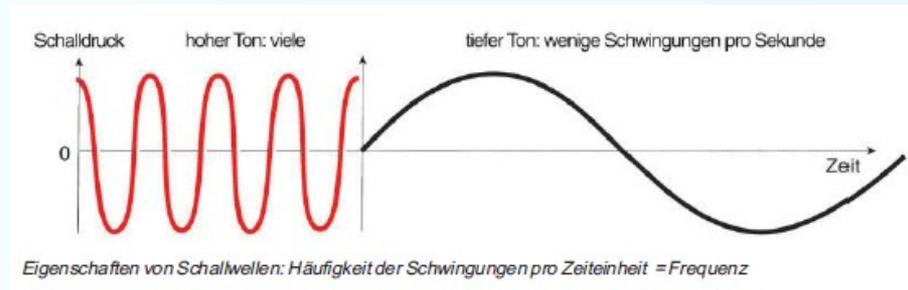
LGL

Macht Infraschall krank?

Ministerium für Energie, Infrastruktur und
Landesentwicklung Mecklenburg-Vorpommern
Caroline Herr, Bernhard Brenner

Was ist Schall?

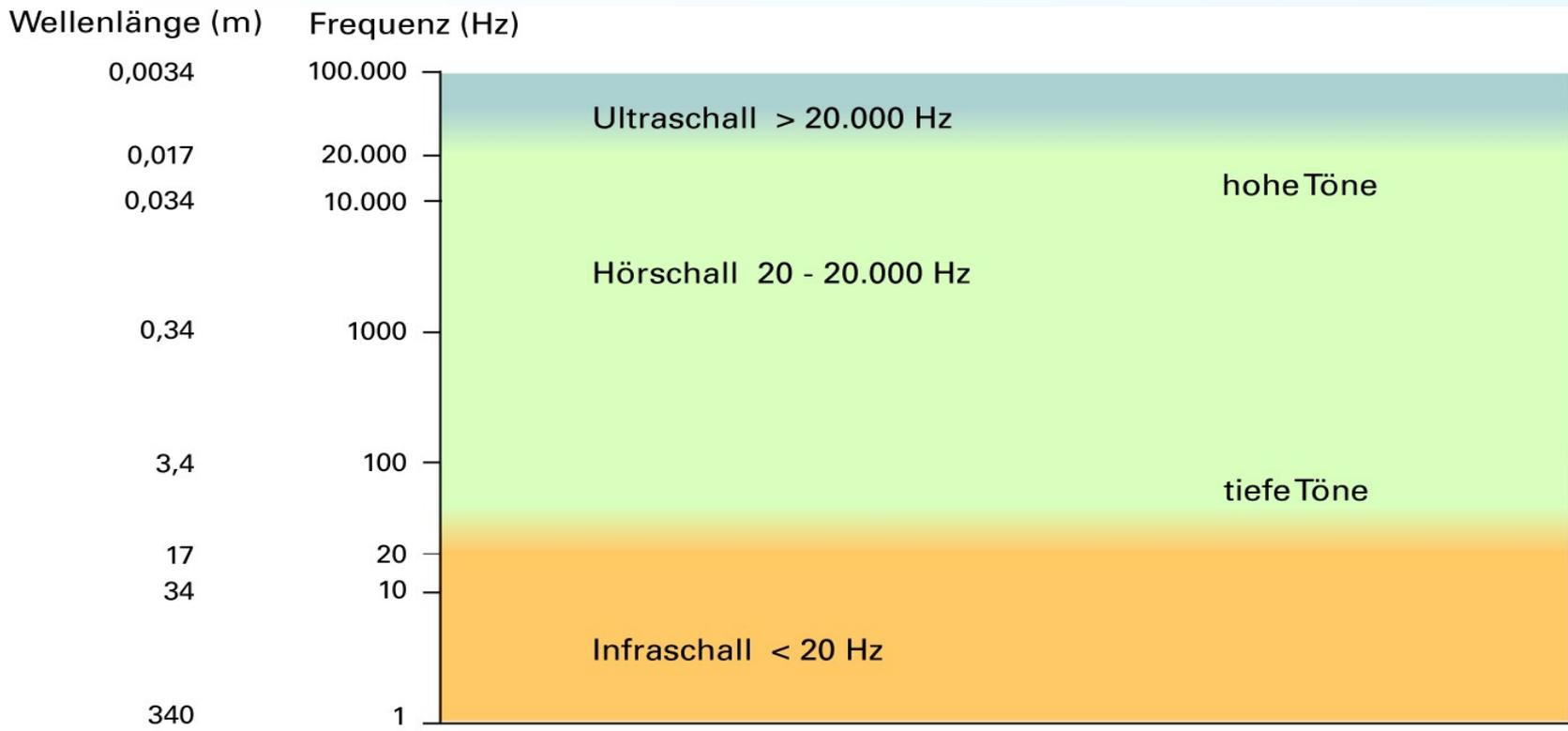
- Schall = Luftdruckschwankungen
- Zahl der Luftdruckschwankungen pro Sekunde = **Frequenz**; gemessen in Hertz [Hz] : **1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde**; 1000 Hz = 1 kHz
- Je größer die Luftdruckschwankungen (**Schalldruckpegel**), desto lauter der Ton, Lautstärke wird in **Dezibel [dB]** angegeben



Quelle: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hrsg.), www.baua.de

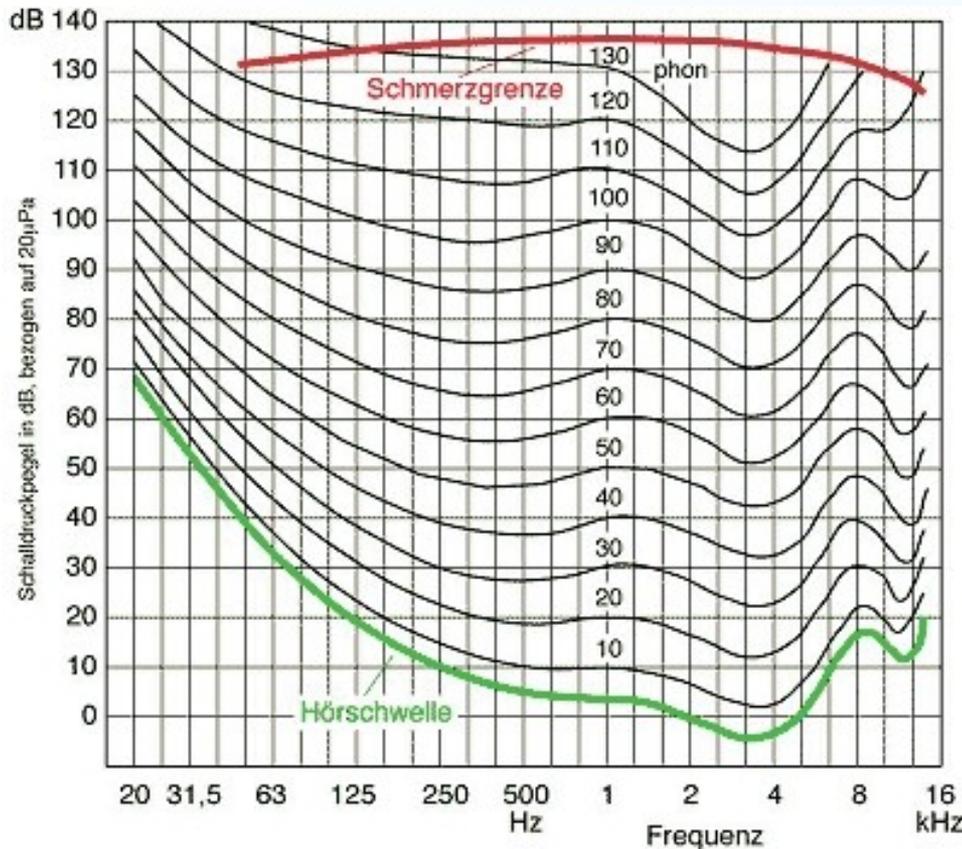
Unterscheidung: Hörschall und Infraschall, tiefe Töne

Hörschall, Infraschall sowie tiefe Töne werden anhand ihrer Frequenz bzw. Wellenlänge unterschieden



Quelle: LfU, LGL (2012): Windkraftanlagen – beeinträchtigt Infraschall unsere Gesundheit?

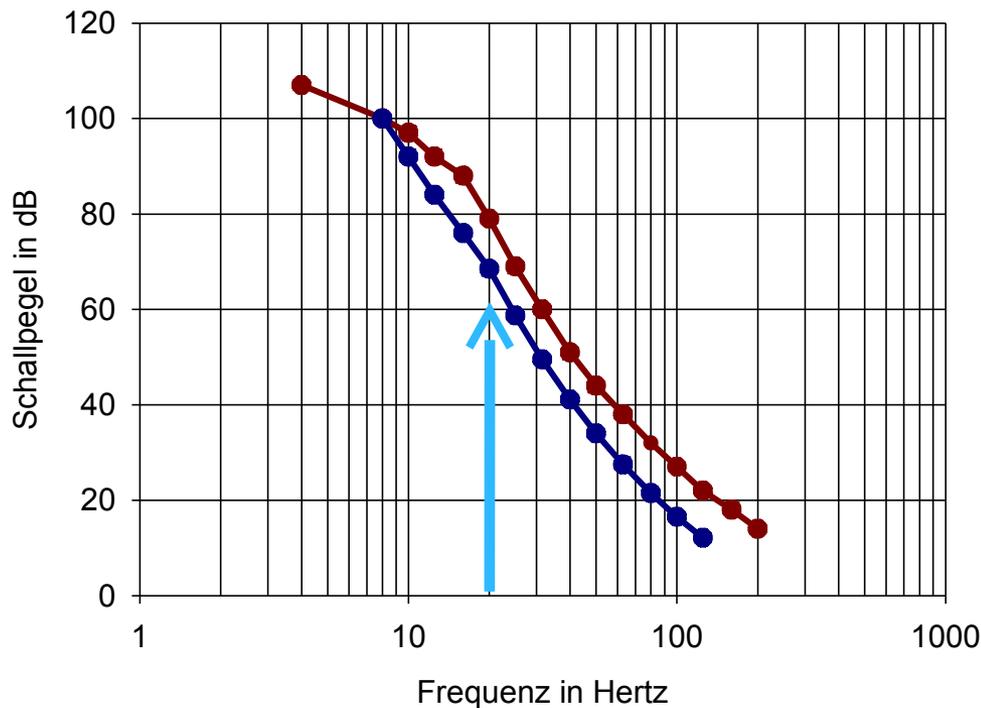
Gleich laut empfundene Schallpegel im Frequenzbereich des Hörschalls - Kurven gleicher Lautstärke



Quelle: LfU (2013): Lärm – Hören, messen und bewerten

- Maximale Empfindlichkeit des Gehörs bei ca. $f = 3$ kHz
- geringe Empfindlichkeit des Gehörs bei tiefen Tönen $f < 100$ Hz
- Minimale Empfindlichkeit des Gehörs bei $f < 20$ Hz (Infraschall)
- Hörschwelle liegt bei tiefen und hohen Tönen höher als im Mitteltonbereich

Hörschwelle bzw. Wahrnehmungsschwelle im tieffrequenten Schallbereich (8 - 100 Hz) bzw. Infraschallbereich (< 20 Hz)

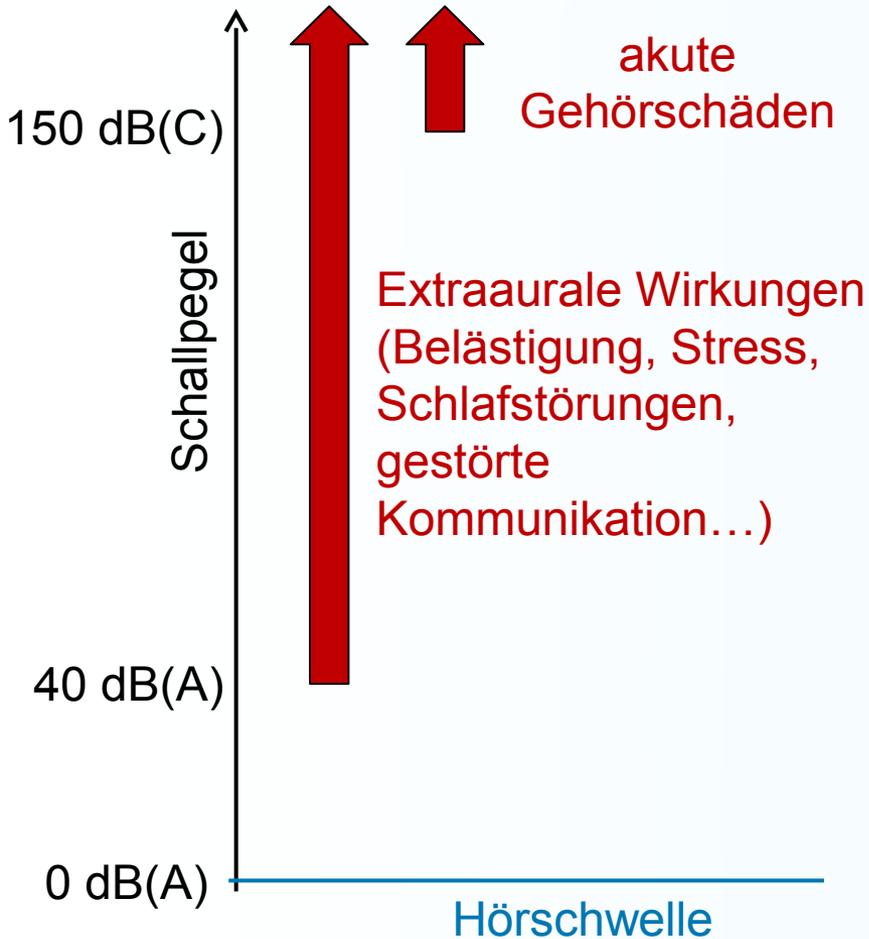


—●— Hörschwelle nach ISO:226, 2003 and Watanabe + Moller 1990
—●— Wahrnehmungsschwelle aus E DIN 45680:2013-09

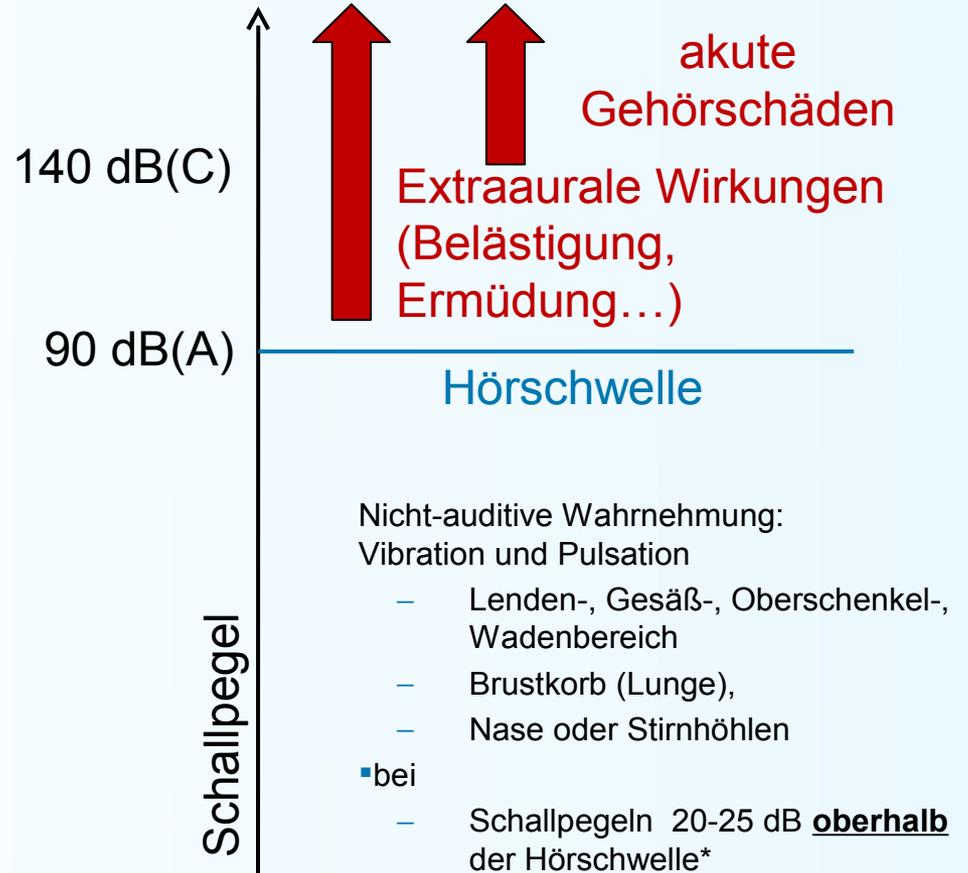
Auditive Wahrnehmungsschwelle nach E DIN 45680: 2013-09 = 90% Perzentil der Hörschwellenverteilung

- Die Art des Hörens ändert sich
- Tonhöhenwahrnehmung verschwindet
- Töne werden diskontinuierlich wahrgenommen
- Luftdruckänderungen werden als Pulsieren und Vibrationen, verbunden mit einem Druckgefühl auf den Ohren wahrgenommen
- Die Sensitivität im Infraschallbereich ist gering

Wirkungen des Hörschalls



Wirkungen des Infraschalls

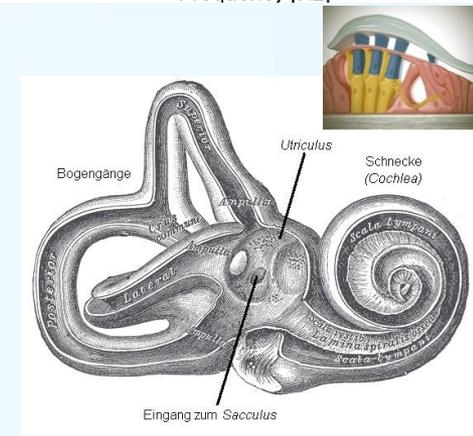
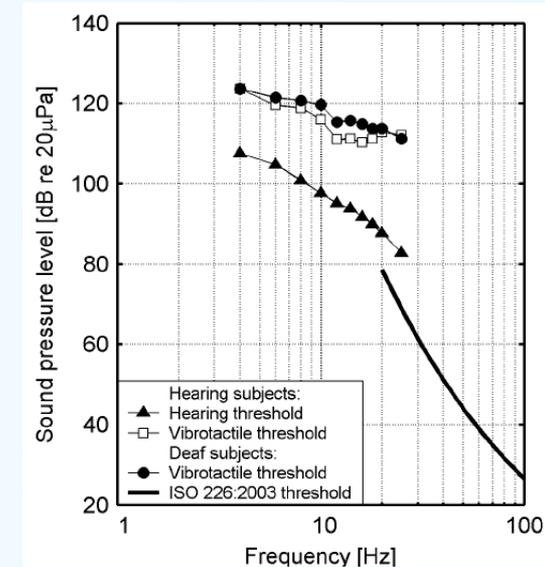


*Moller H, Pedersen CS: Hearing at low and infrasonic frequencies. Noise & Health 2004; 6: 37-57

Die (individuelle) Hörschwelle als zentrales Kriterium zur Bewertung des Infraschalls



- Das Gehör ist das empfindlichste Wahrnehmungsorgan des Menschen für Infraschall (Moller & Pedersen 2004)
- ab Hörschwelle: Belästigung und physiologische/gesundheitliche Effekte
- unter Hörschwelle:
 - kein Hinweis auf gesundheitliche Wirkungen (Ising 1982, Landström & Byström 1984, Moller 1984)
 - Anregung der äußeren Haarzellen im Innenohr („schallverstärkende“ Funktion → erhöhte Sensitivität des Hörens) (Salt & Hullar 2010) (Kugler et al., 2014)
 - Anregung der Gleichgewichtsorgane bei < 1 Hz möglich (Schomer et al., 2015)



Bedeutung für die Gesundheit ?

Machbarkeitsstudie von Krahé et al., 2014



Aufbereitung des Wissensstands über Infraschallauswirkungen

- Vorgehen entspricht nicht dem eines systematischen Reviews
- Methodische Bewertung der Studien fehlt.
- Studien werden z.T. falsch zitiert

Beispiel aus dem Text:

„Vielfach wurde belegt, dass komplexere Geräusche zu einer niedrigeren Hörschwelle führen ...(vgl. Møller / Pedersen (2004)).“

Beispiel aus der Originalarbeit:

“...and as seen above there is no final conclusion about possible higher or lower sensitivity to noise bands than to pure tones.” Møller / Pedersen (2004)

Beschwerden über Infraschall und tieffrequente Geräusche



Am häufigsten Anlagen der Energieerzeugung und des Energietransportes (33,0 % der Fälle)

- Wärmepumpen (Anteil 9,3 %)
- Biogasanlagen 8,4 %
- Blockheizkraftwerke 6,5 %
- **Windenergieanlagen 3,3 %**

sowie raumlufttechnische Anlagen (22,8 % der Fälle)

- Lüftungs- und Kälteanlagen (Anteil 8,5 % bzw. 8,0 %)

Unter den zehn häufigsten Beschwerdeursachen befindet sich auch die Geräuschquelle „Pressen/Stanzen“ aus der Gruppe der Produktionsanlagen.

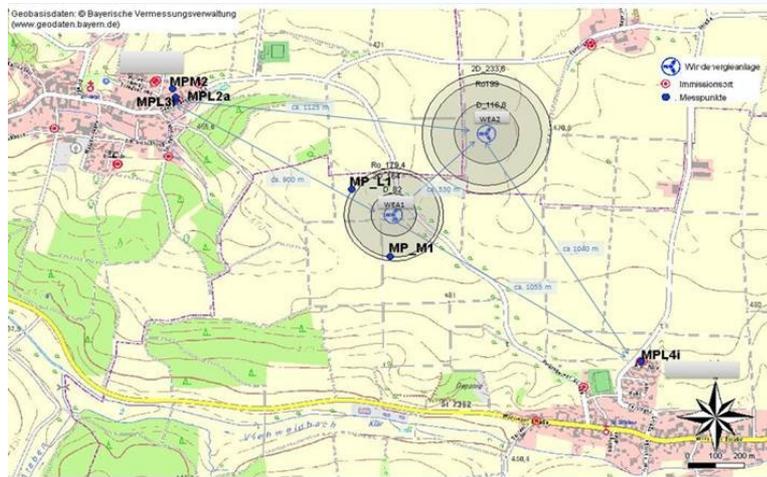
Quelle: Machbarkeitsstudie von Krahe et al., 2014

Infraschall-Immissionen von Windenergieanlagen (WEA)

Kommt es durch den Betrieb von WEA an Immissionsorten zu einer relevanten Erhöhung der Infraschall-Immissionen?

Wie hoch sind die Infraschall-Immissionen von WEA?

Siehe Messungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) und des LUBW, *Evans, Cooper & Lenchine 2013* Messreihe vom 04.11.14 an 2 Windenergieanlagen (2,3 MW u. 2,4 MW).



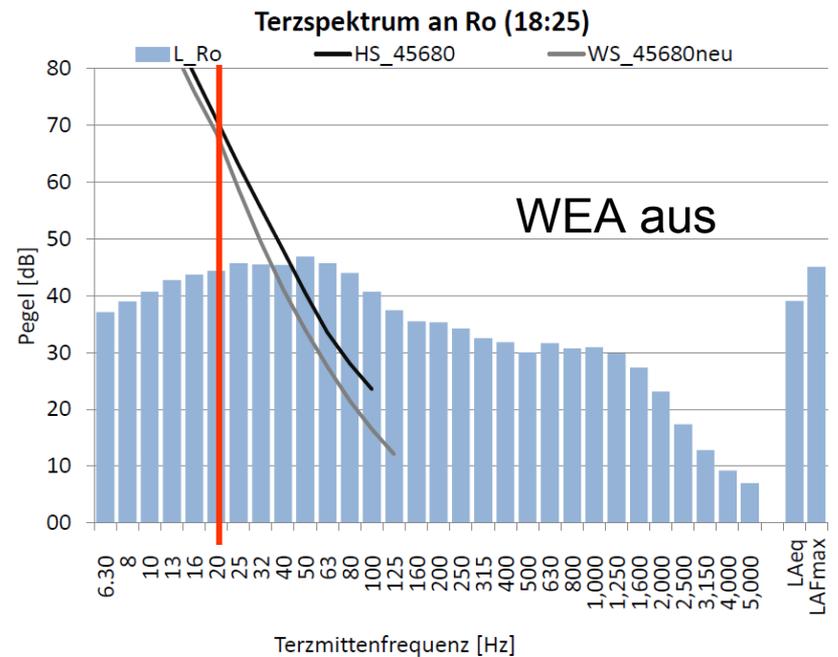
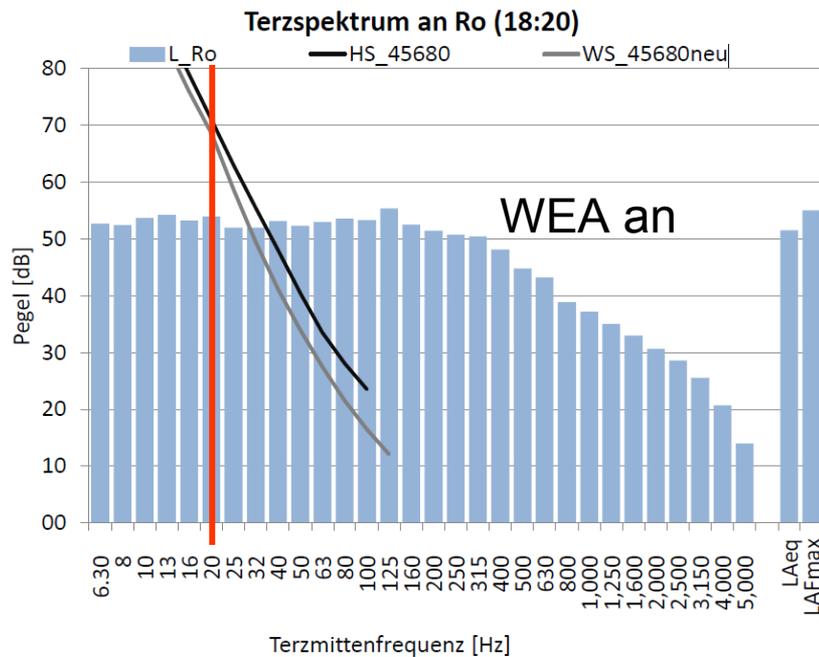
Legende zu den LfU - Messwerten (siehe nachfolgende Folien)

- Vwind** Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe (ca. 140 m)
- Vwind(10m)** Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (gemessen)
- rpm** Umdrehungen pro Minute (Rotor, od. Generator)
- L_MPL2a** Schalldruckpegel am MPL2 (Außenmessung, TA Lärm)
- L_MPL3i** Schalldruckpegel am MPL3 (Innenmessung, DIN 45680)
- LA(t)_Ro** Schalldruckpegel auf schallharter Platte (ca. 180 m zu WEA 1)

- L_Ro** Terzpegel unbewertet an Ro (180 m zur WEA 1)
- HS** Hörschwelle nach DIN 45680
- WS** Wahrnehmungsschwelle nach DIN 45680 (neu)
- L2a** Terzpegel unbewertet am L2a (Außenmesspunkt ca. 900m)
- L3i** Terzpegel unbewertet am L3i (Innenmesspunkt ca. 900m)

Schall-Immissionen - Ort der höchsten Schallpegel von Windenergieanlagen (WEA)

Vergleich der Schallimmissionspegel bei aus- und angeschalteter WEA
 1. am Ort der höchsten Immissionen (ca. 180 m Entfernung)*



* Messungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU): Messreihe vom 04.11.14 an 2 Windenergieanlagen (2,3 MW u. 2,4 MW). Anlagen befanden sich in süd-östlicher Richtung zum Immissionsort, d.h. Mitwindsituation $v = 10$ m/s.

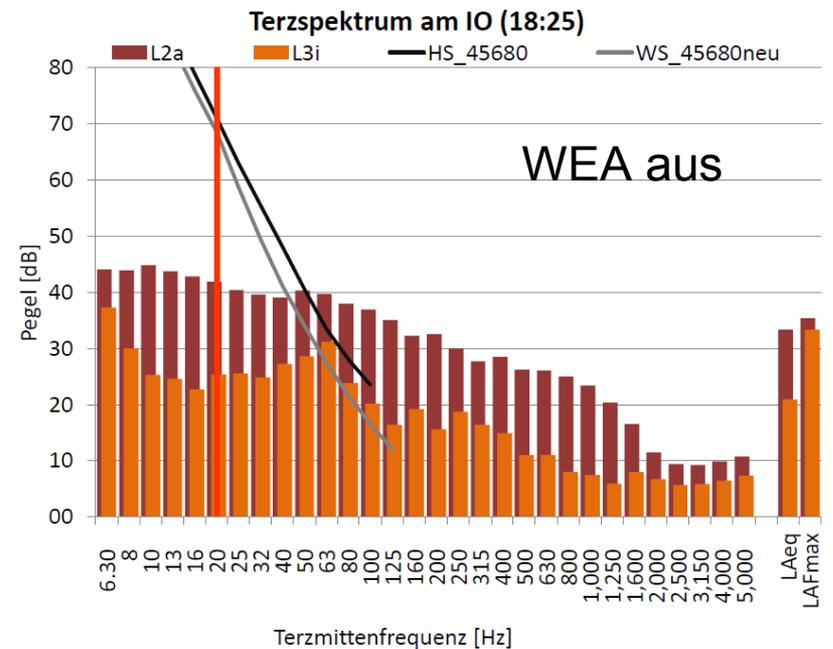
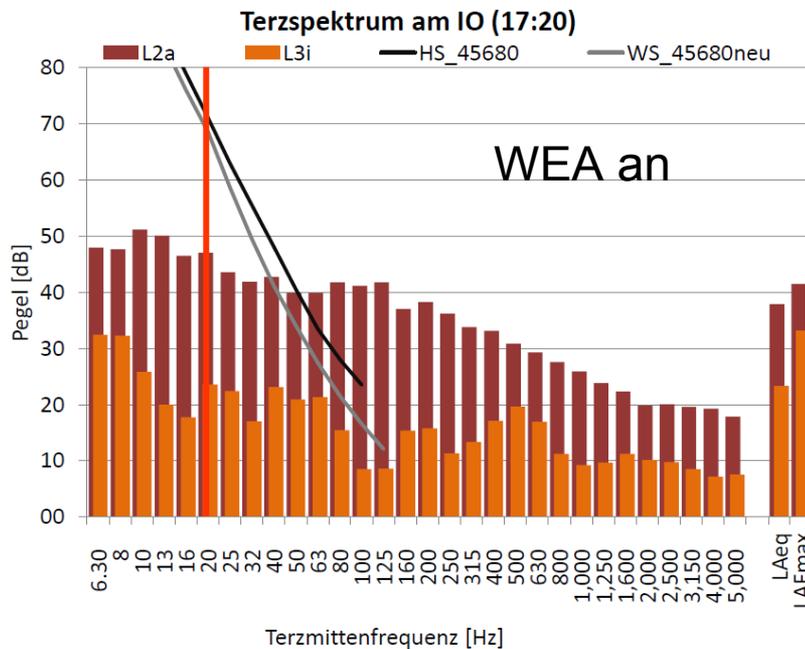
Schall-Immissionen von Windenergieanlagen (WEA) - verschiedene Immissionsorte

Vergleich der Schallimmissionspegel bei aus- und angeschalteter WEA:

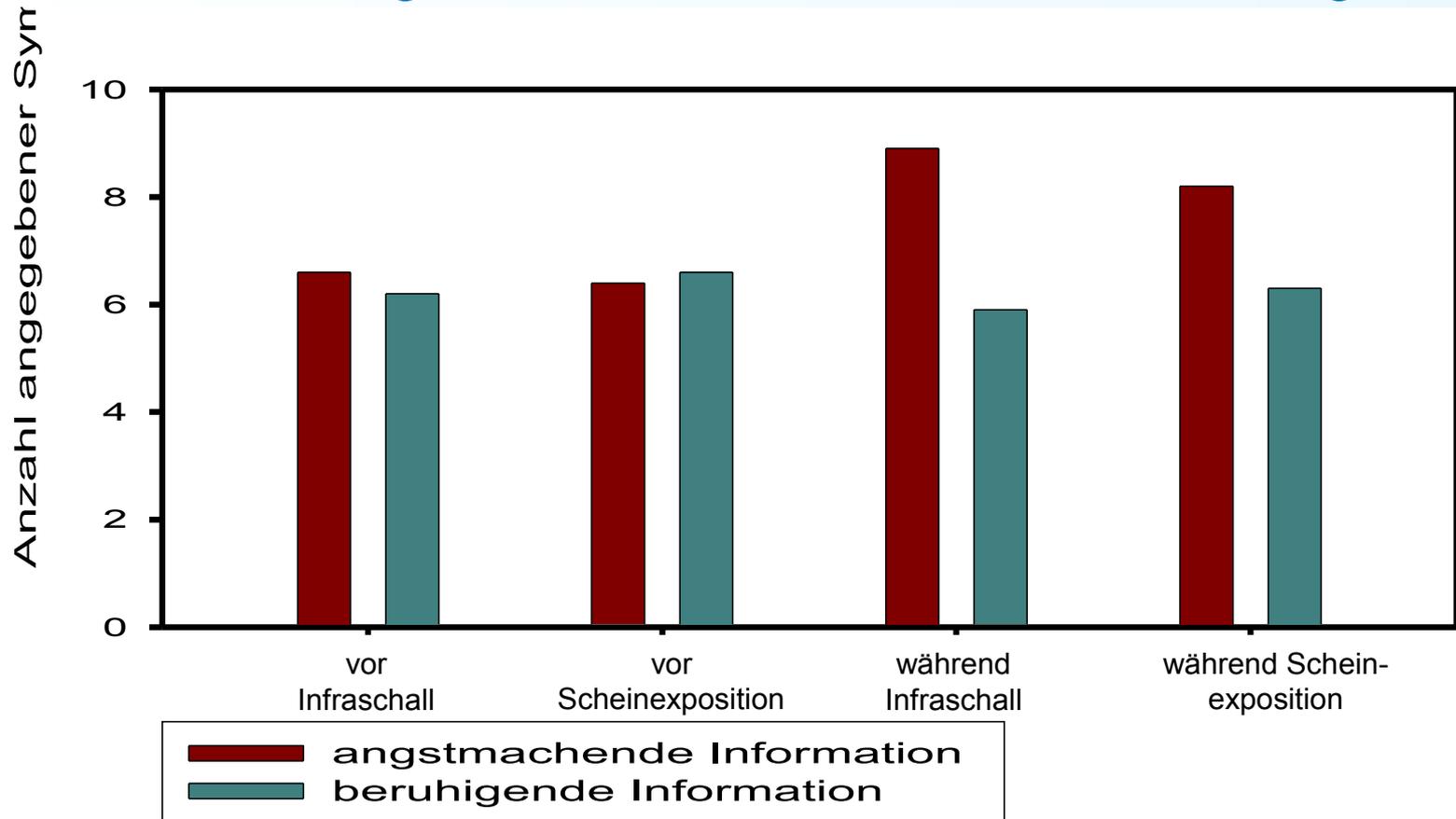
2. an relevanten Immissionsorten (**Außen** und **Innenraum**) (ca. 900 m Entfernung)

Messreihe (LfU) vom 04.11.14 an 2 Windenergieanlagen (2,3 MW u. 2,4 MW).

Anlagen befanden sich in süd-östlicher Richtung zum Immissionsort, d.h. Mitwindsituation $v = 10$ m/s



Symptombenrichte bei Exposition gegenüber Infraschall : Rolle von bereitgestellter Information und Erwartungen



*5 Hz 40 dB über Lautsprecher (Crichton et al. 2013)



Abstandsbezogene Hörschall – Immissionen von WEA

Abschätzung der Immissionen (Schalleintrag an verschiedenen Orten):

	Einzelanlage	7 Anlagen	21 Anlagen
45 dB(A)	280 m	440 m	500 m
40 dB(A)	410 m	740 m	830 m
35 dB(A)	620 m	1.100 m	1.300 m

Beurteilungsgrundlage: Immissionsrichtwerte (IR) TA Lärm

Gebietsnutzung	IR tags in [dB(A)]	IR nachts in [dB(A)]
Gewerbegebiet	65	50
Mischgebiet	60	45
allgemeines Wohngebiet	55	40
reines Wohngebiet	50	35

Gesundheitliche Wirkungen von Hörschall aus WEA

(Merlin et al. 2014)

- 7 Studien identifiziert, alles Hörschall - Querschnittstudien
- Ergebnisse
 - Konsistente Ergebnisse hinsichtlich Lärmbelästigung, aber stark beeinflusst von visueller Belästigung
 - Konsistente Ergebnisse hinsichtlich Beeinträchtigungen des Schlafes
 - Inkonsistenzen hinsichtlich Lebensqualität und anderer gesundheitlicher Wirkungen
- Aussagekraft der Studien wird als gering eingeschätzt aufgrund
 - mögliche Verzerrung der Studienergebnisse
 - niedriger Teilnahmeraten in den Studien (mögliche Selektionseffekte)

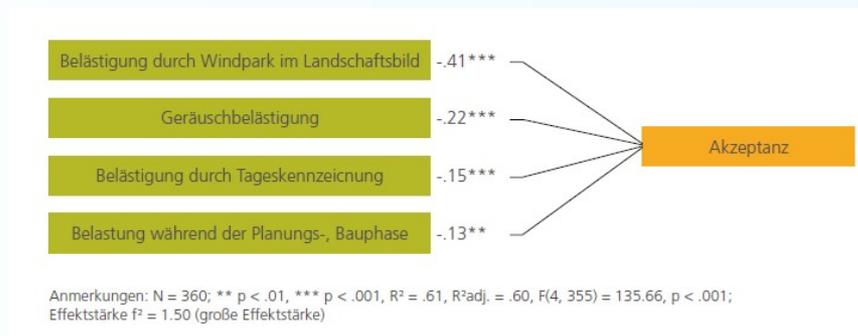
WEA -

Mehr Abstand - mehr Akzeptanz? Ein umweltpsychologischer

(Hübner, G. & Pohl, J. (2015))

Abstand zur Wohnbebauung - kein signifikant bedeutsamer Akzeptanzfaktor !

Erfolgsbedingungen für lokale Windenergieprojekte maßgeblich von anderen Themen bestimmt : →



Studie: rd. 1.300 Anwohner an mehr als 20 WEA-Standorten in Deutschland und der Schweiz sowie Abstandswerte von unter 100 bis über 8.000 m wurden einbezogen

Aspekte zur Risikokommunikation



Um eine bessere Akzeptanz zu erreichen, erscheint es sinnvoll die Bevölkerung proaktiv während des Ausbaus vor Ort durch Aufklärung (Pohl 2014) z.B. in regionalen Workshops zu begleiten.

Ein Beteiligungsverfahren, in dem sich die Bürger Informationen an zentralen Stellen, Behörden etc. aktiv „holen“ müssen, kann diese aufwändigen Aktivitäten vor Ort nicht ersetzen.

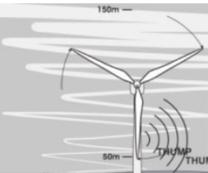
Entscheidend für die Akzeptanz ist auch die Wahrnehmbarkeit der Veränderung (z.B. Windenergieanlagen) in der unmittelbaren Wohnumwelt.

Schallemissionen und – Immissionen von WEA

Emissionen

(Schallabgabe durch Rotorbewegung und Luftturbulenzen)

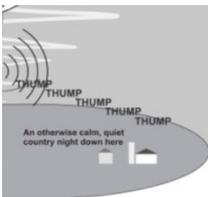
- steigen mit zunehmender Größe der Anlagen ebenso steigt der Anteil an tieffrequentem Schall und Infraschall
- nehmen mit zunehmender Windstärke zu ab 7 - 8 m/s keine weitere Zunahme



Immissionen

(Schalleintrag in der Umgebung)

- Infraschall bei geringem Abstand unterhalb der Hörschwelle (Jakobsen 2005, Moller und Pedersen 2011)
- Anteil an tieffrequentem Schall anlagenfern höher als anlagennah
- Schalleintrag am höchsten im Frequenzbereich 250 bis 1000 Hz
- durch ortsübliche Infraschall – Hintergrundgeräusche sowie durch Luftturbulenzen an der Anlage können Pulsationen (d.h. Schalldruckschwankungen) überlagert auftreten



Genehmigung von Windenergieanlagen

- ❖ > 50 m Gesamthöhe
 - ❖ Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) und TA Lärm
- ❖ < 50 m Gesamthöhe
 - ❖ baurechtlichen Genehmigungspflicht
- Lärmgutachten (Unterschreitung der Immissionsrichtwerte nach TA Lärm und Anhaltswerte nach DIN 45680)
- Mindestabstand vom 10-fachen der Höhe von WEA zu Wohngebäuden in Gebieten mit Bebauungsplänen ([Bayerischen Landesbauordnung](#))

Tiefe Töne - tieffrequenter Schall

- Belästigung möglich, sobald die Hörschwelle überschritten wird

Sind tieffrequente Schallimmissionen einer Windenergieanlage (WEA) zu berücksichtigen?

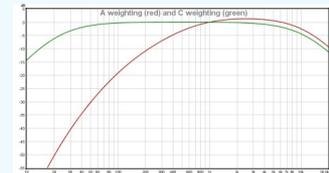
- Nach TA Lärm: ... wenn vorherrschende Energieanteile unter 90 Hz liegen ($L_{CF} - L_{AF} > 20 \text{ dB}$)*

→ **bei WEA nicht zutreffend !**

- Außenbereich: Überschreitungen von Hör- bzw. Wahrnehmungsschwelle möglich, eher oberhalb von 80 Hz, auch dann nachweisbar, wenn WEA nicht in Betrieb bzw. vorhanden sind
- Innenbereich: kein Fall bekannt, bei dem es zu einer Überschreitung von Anhaltswerten der DIN 45680* gekommen wäre

* DIN 45680: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft (zur Beurteilung gewerblicher Anlagen)

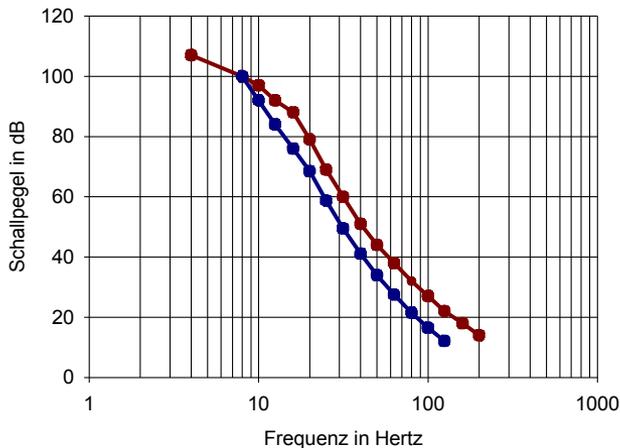
Wahrnehmung im tieffrequenten Bereich nicht mehr durch den Verlauf der sonst üblichen A-Bewertung richtig beschrieben. Lärm ist tieffrequent im Sinn von DIN 45680, wenn vorherrschende Energieanteile unter 90Hz liegen; in der Regel ist dann die Differenz zwischen dem C- und dem A-bewerteten Pegel $L_{CF} - L_{AF} > 20\text{dB}$. Besonders störend in diesem Frequenzbereich sind tieffrequente Einzeltöne.



Tieffrequente Geräusch-Immissionen

Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen nach
 -TA Lärm, Kap. 7.3 und Anhang A.1.5
 -sowie in DIN 45680.

wenn $L_{CF} - L_{AF} > 20 \text{ dB}$: → nach Frequenzbereichen - differenzierte Beurteilung der Immissionen



—●— Hörschwelle nach ISO:226, 2003 and Watanabe + Moller 1990
 —●— Wahrnehmungsschwelle aus E DIN 45680:2013-09

Anhaltswerte bei deutlich hervortretenden Einzeltönen								
Beurteilungszeit	Differenzen nach Gleichung 1							
	ΔL_1 [dB] bei Terzmittenfrequenz				ΔL_2 [dB] bei Terzmittenfrequenz			
	8 Hz	10-63 Hz	80 Hz	100 Hz	8 Hz	10-63 Hz	80 Hz	100 Hz
Tagstunden	5	5	10	15	15	15	20	25
Nachtstunden	0	0	5	10	10	10	15	20

Tabelle 2: Anhaltswerte für tieffrequente Einzeltöne nach DIN 45680, Beiblatt 1

$$\Delta L_1 = L_{Terz,r} - L_{HS}$$

$$\Delta L_2 = L_{Terz,Fmax} - L_{HS}$$

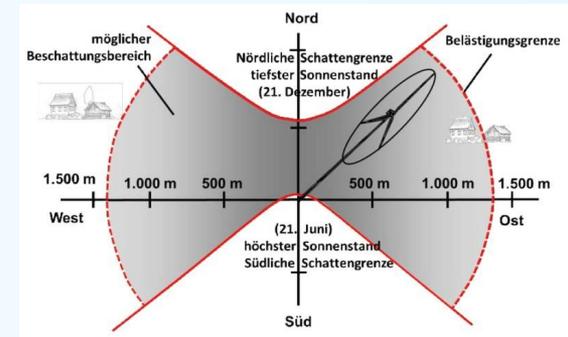
Gleichung 1 nach DIN 45680 – Beiblatt 1

$L_{Terz,r}$ = Terz-Beurteilungspegel des hervortretenden Einzeltones

$L_{Terz,Fmax}$ = maximaler Terz-Schalldruckpegel

L_{HS} = Hörschwellenpegel nach DIN 45680

Schattenwurf



Problemstellung:

- Die betriebsbedingte periodische Bewegung des Rotors bewirkt bei entsprechender Sonneneinstrahlung einen periodischen Schatten -> der Schatten kann belästigend wirken

Maßnahmen:

- Begrenzung der Beschattungsdauer auf 30 Stunden (astronomisch mögliche) bzw. 8 Stunden (meteorologisch wahrscheinliche) Beschattungsdauer pro Kalenderjahr und darüber hinaus auf nicht mehr als 30 Minuten pro Kalendertag

Grundlage:

- LAI-Schattenwurfhinweise für Windkraftanlagen, 2002

Wissenschaftliche Grundlage:

- 1 Feld und 1 Laborstudie aus Deutschland (*Pohl et al. 1999, Pohl et al. 2000*), auch international keine weitere Untersuchung

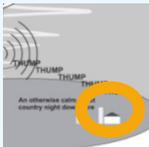
Zusammenfassung

Infraschall

- ist ebenso wie Hörschall eine Luftdruckschwankung
- kann bei hohem Schalldruck „gehört“ werden
- In Studien, in denen Infraschall unterhalb der Hörschwelle vorlag: keine gesundheitlichen Wirkungen (*liegen gleichzeitig tonhaltige Schallanteile (auch Pulsationen) im tieffrequenten Bereich bis 100 Hz oberhalb der Hörschwelle vor, können diese eine plausible Ursache für eine beobachtete Wirkung darstellen*)

Windenergieanlagen (WEA)

- Beschattungsdauer < 30 Std/Jahr oder < 30 Min/Tag (LAI, 2002)
- Hörschall-Belästigung, aber stark beeinflusst von visueller Belästigung; Beeinträchtigungen des Schlafes
- Infraschallimmission schon bei geringen Abständen unterhalb der Hörschwelle; verändert im Wohnumfeld die ortsübliche Infraschall-Hintergrundexposition (ohne Anlage) nicht wesentlich



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!





LGL

Macht Infraschall krank?

Ministerium für Energie, Infrastruktur und
Landesentwicklung Mecklenburg-Vorpommern
Caroline Herr, Bernhard Brenner

New expert panel report (April 9, 2015)

Council of Canadian Academies

1. The **evidence is *sufficient*** to establish a causal relationship between **exposure to wind turbine noise and annoyance**.
2. There is ***limited* evidence** to establish a causal relationship between exposure to wind turbine noise and **sleep disturbance**.
3. The **evidence suggests a *lack of causality*** between exposure to wind turbine noise and **hearing loss**.
4. **For all other health effects** considered (fatigue, tinnitus, vertigo, nausea, dizziness, cardiovascular diseases, diabetes, etc.), the **evidence was *inadequate*** to come to any conclusion about the presence or absence of a causal relationship with exposure to wind turbine noise.
5. Technological development is unlikely to resolve, in the short term, the current issues related to perceived adverse health effects of wind turbine noise.
6. Impact assessments and community engagement provide communities with greater knowledge and control over wind energy projects and therefore help limit annoyance.

<http://www.scienceadvice.ca/en/news.aspx?id=146>

Quellen

- Betke K, Remmers H. Messung und Bewertung von tieffrequentem Schall. DAGA 1998.
- Ising H, Schwarze C. Infraschallwirkungen auf den Menschen. Zeitschr Lärmbekämpfung 1982; 29: 79-82.
- Jakobsen J. Infrasound emission from wind tubrines. J Low Freq Noise Vibr Act Control 2005; 24:145-155.
- Landström U, Byström M. Infrasonic threshold levels of physiological effects. J Low Freq Noise Vibr 1984;3(4):167-73.
- Moller H. Physiological and psychological effects of infrasound on humans. J Low Freq Noise Vibr 1984; 3; 1-16.
- Moller H, Pedersen CS. Hearing at low and infrasonic frequencies. Noise and Health 2004; 6(23): 37-57.

Quellen (2)

- Moller H, Pedersen CS. Low-frequency noise from large wind turbines. J Acoust Soc Am 2011; 129: 3727-3744.
- Leventhall G. What is infrasound? Progr Biophys Mol Biolog 2007; 93: 130-137.
- Salt AN, Hullar TE. Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. Hear Res 2010; 268: 12-21.
- E DIN 45680:2013-09 Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschemissionen.