



LGL

Ausbau von Windenergie und Stromtrassen:  
wird die Gesundheit der Anwohner beeinträchtigt ?

Caroline Herr, Bernhard Brenner

# Windenergieanlagen (WEA)

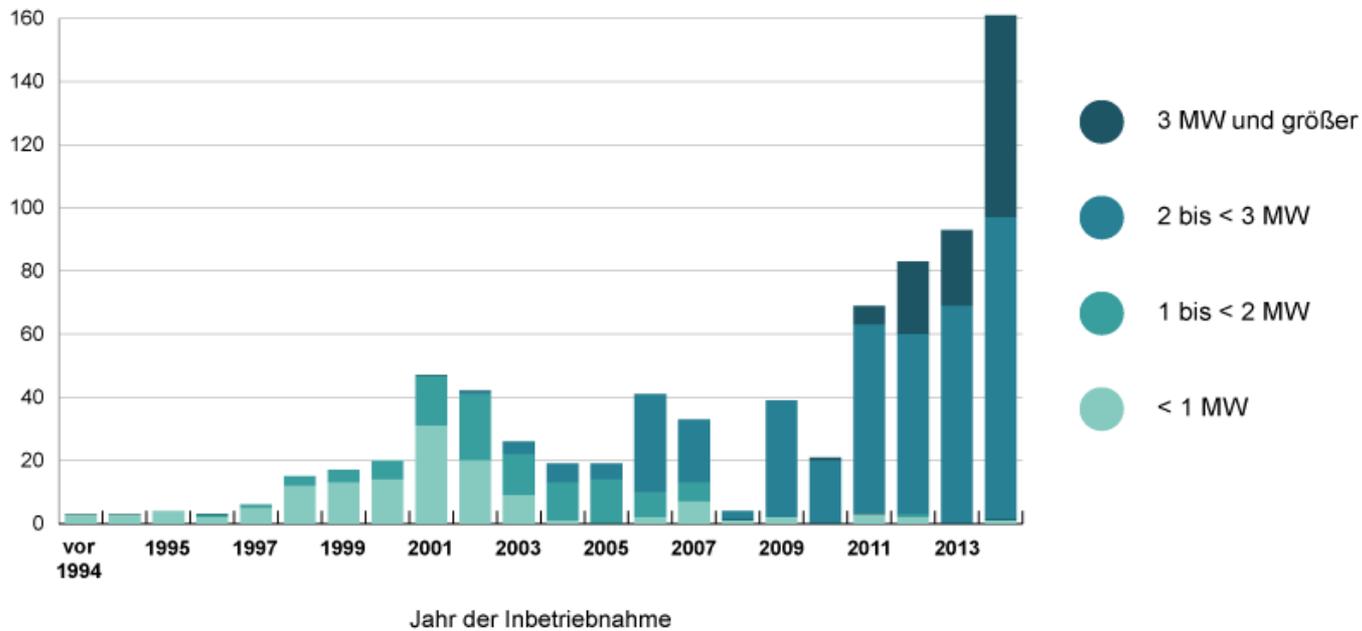


Quelle: Bundesverband Windenergie

Quelle: [http://www.netzausbau.de/cln\\_1431/DE/Verfahren/Bundesfachplanung/Bundesfachplanung-node.html](http://www.netzausbau.de/cln_1431/DE/Verfahren/Bundesfachplanung/Bundesfachplanung-node.html)



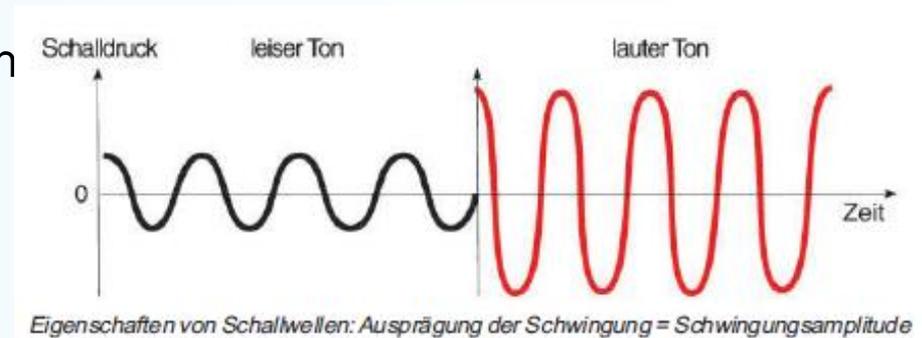
## Anzahl der neu installierten Windenergieanlagen nach Leistungsklassen in Bayern



Quelle: Energie-Atlas Bayern

# Was ist Schall?

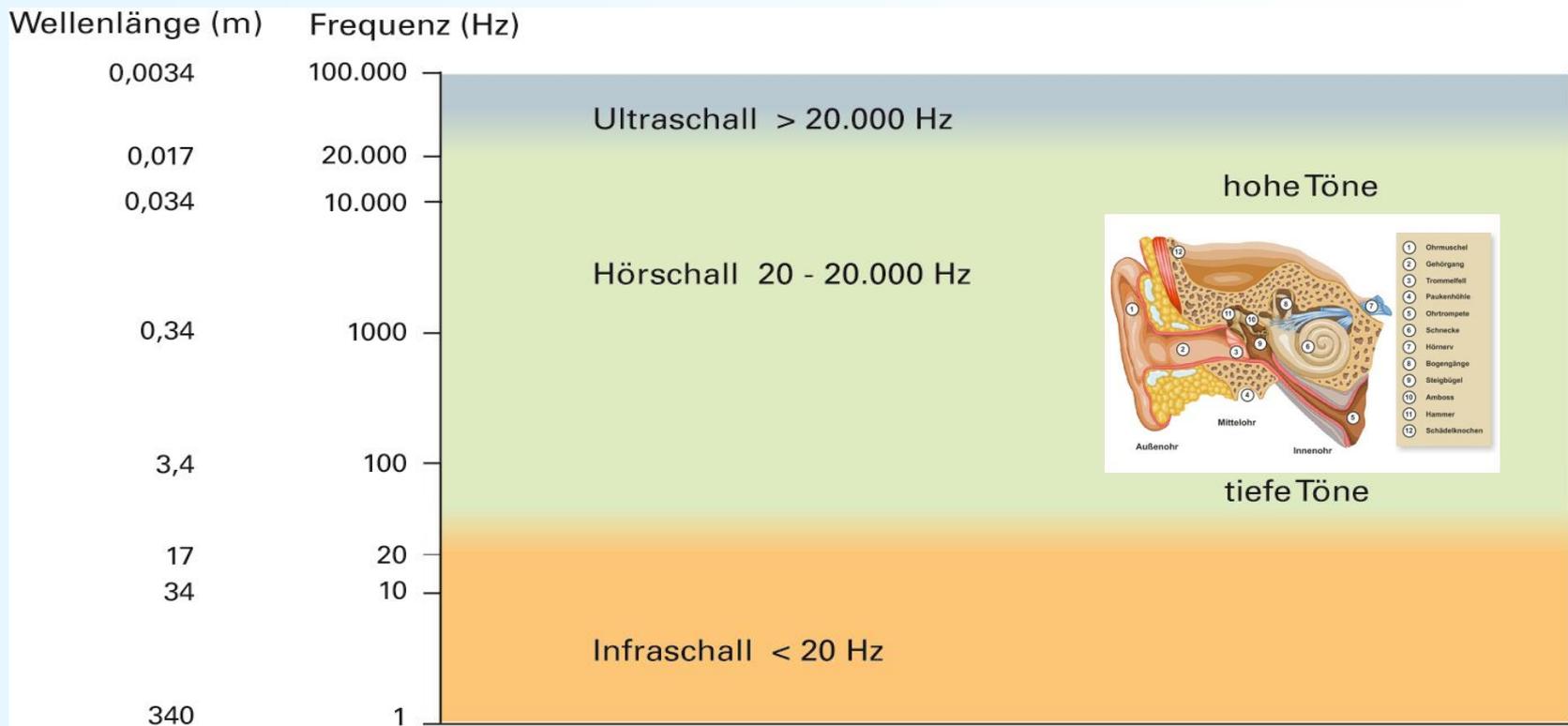
- Schall = Luftdruckschwankungen
- Zahl der Luftdruckschwankungen pro Sekunde = **Frequenz**; gemessen in Hertz [ Hz ] : **1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde**; 1000 Hz = 1 kHz
- Je größer die Luftdruckschwankungen (**Schalldruckpegel**), desto lauter der Ton, Lautstärke wird in **Dezibel [dB]** angegeben



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

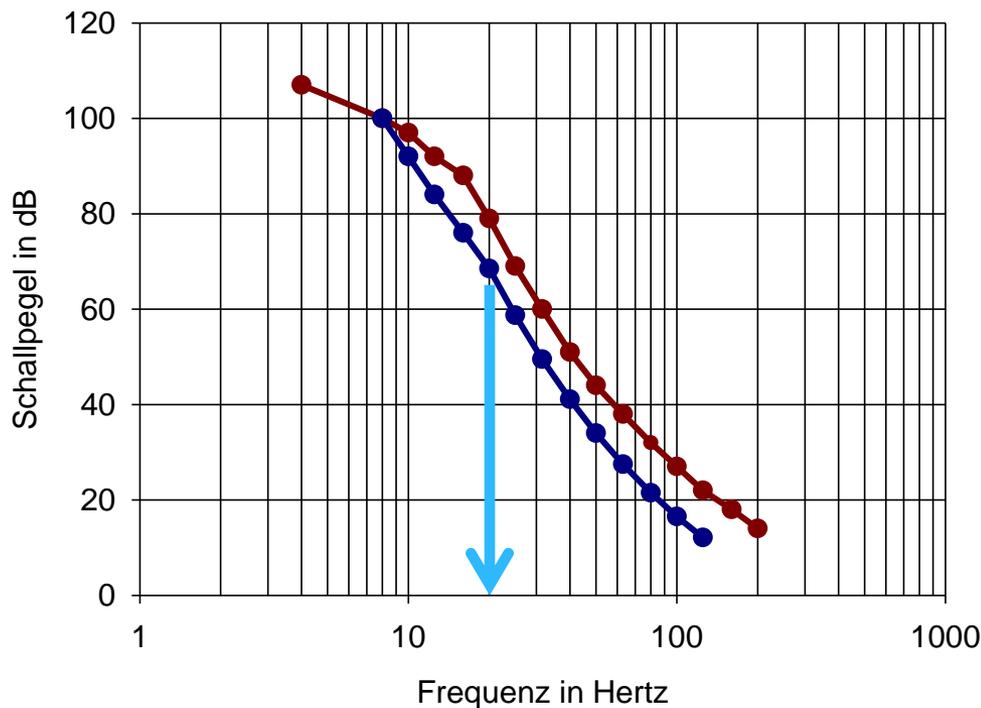
# Unterscheidung: Hörschall und Infraschall, tiefe Töne

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



Quelle: LfU, LGL (2012): Windkraftanlagen – beeinträchtigt Infraschall unsere Gesundheit? [http://earaction.bayern.de/ohr/pic/ohr\\_legende.jpg](http://earaction.bayern.de/ohr/pic/ohr_legende.jpg)

# 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

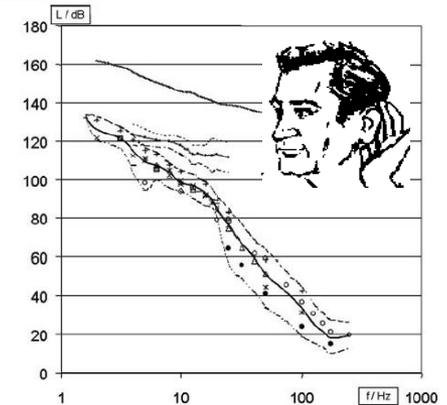
Auditive Wahrnehmungsschwelle nach E DIN 45680: 2013-09 = 90% Perzentil der Hörschwellenverteilung

- 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

# Die (individuelle) Hörschwelle als zentrales Kriterium zur Bewertung des Infraschalls <20Hz

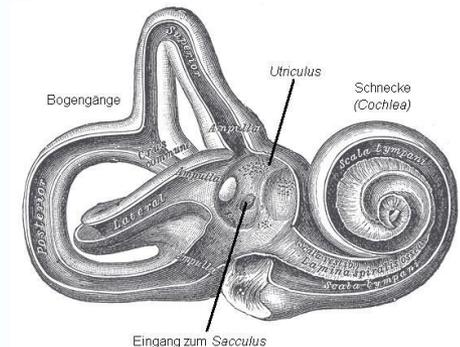
- Das Gehör ist das empfindlichste Wahrnehmungsorgan des Menschen für Infraschall (Moller & Pedersen 2004)
- ab Hörschwelle: Belästigung und physiologische/gesundheitliche Effekte
- unter Hörschwelle:
  - kein Hinweis auf gesundheitliche Wirkungen (Ising 1982, Landström & Byström 1984, Moller 1984)
  - 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 ?



+	Yeovart et al. (1967), 10 subj., 10 - 29 ears, age not avail., headphones, monaural, tone
x	Yeovart et al. (1974), 5 subj., 23-33 years, headphones, binaural, tone
x	Yeovart et al. (1974), 12 subj., 23-33 years, free-field, tone
-	Landstroem et al. (1983), 10 subj., 20 - 37 years, free-field, tone
o	Corso (1959), 15 subj., 19-22 years, headphone, right ear, monaural, tone
Δ	Whittle et al. (1972), 16-23 subj., mean age 30 - 32 years, free-field, tone
□	Whittle et al. (1972), 29 - 35 subj., mean age 45-47 years, free-field, tone
●	Robinson et al. (1956), 120 subj., 16 - 63 years, free-field, tone
◇	Verzini et al. (1989), 25 subj., 18 - 25 years, free-field, tone
—	hearing threshold, mean value
- - - -	hearing threshold, max. mean value + standard deviation (if available)
- · - · -	hearing threshold, min. mean value - standard deviation (if available)
—	threshold of vibrotactile perception, Landstroem et al. (1983)
· · · · ·	threshold of vibrotactile perception, SD added
- · - · -	threshold of vibrotactile perception, SD subtracted
—	threshold of aural pain, von Gerke et al. (1978)

<http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2004;volume=6;issue=23;spage=73;epage=85;aulast=Schust>



Henry Gray (1821–1865). Anatomy of the Human Body. 1918.  
Quelle: <http://www.bartleby.com/107/232.html>

# Machbarkeitsstudie von Krahé et al., 2014

## Aufbereitung des Wissensstands über Infraschallauswirkungen

### Zitate korrekt??

- **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)

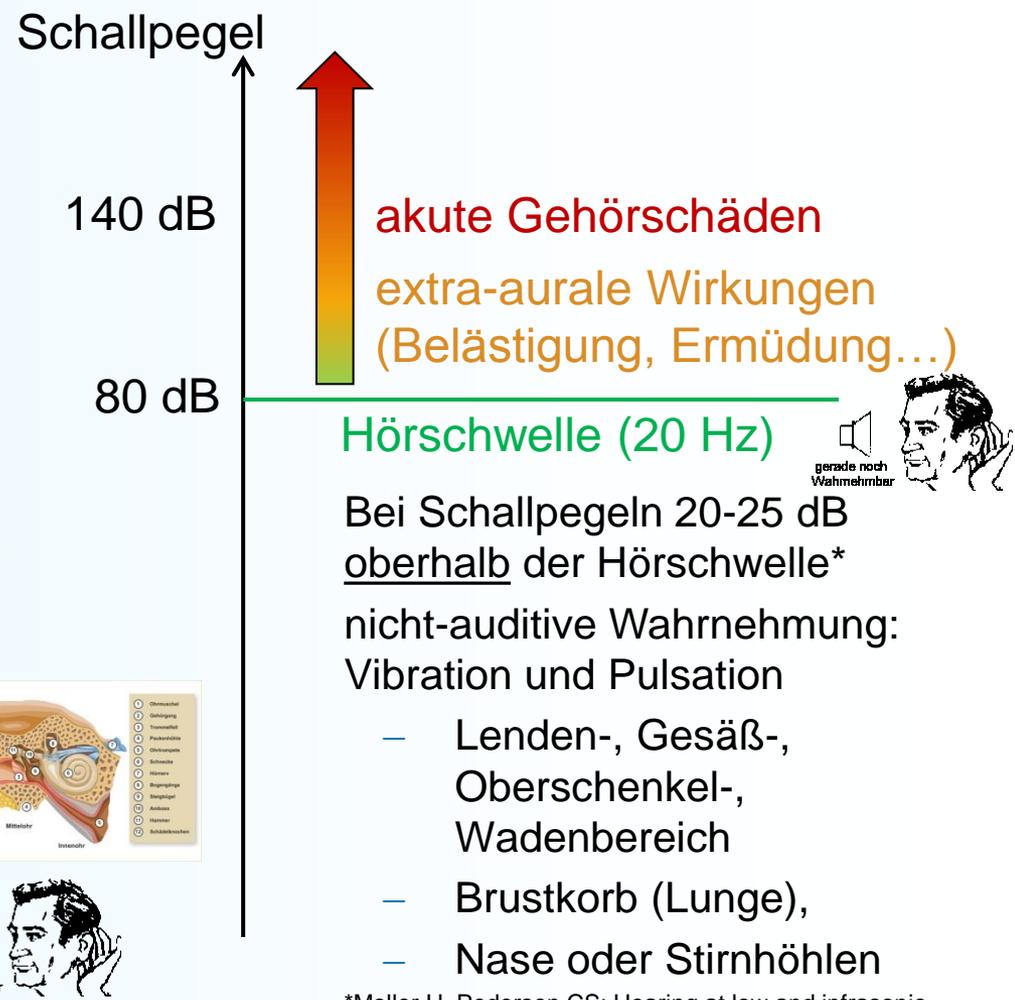
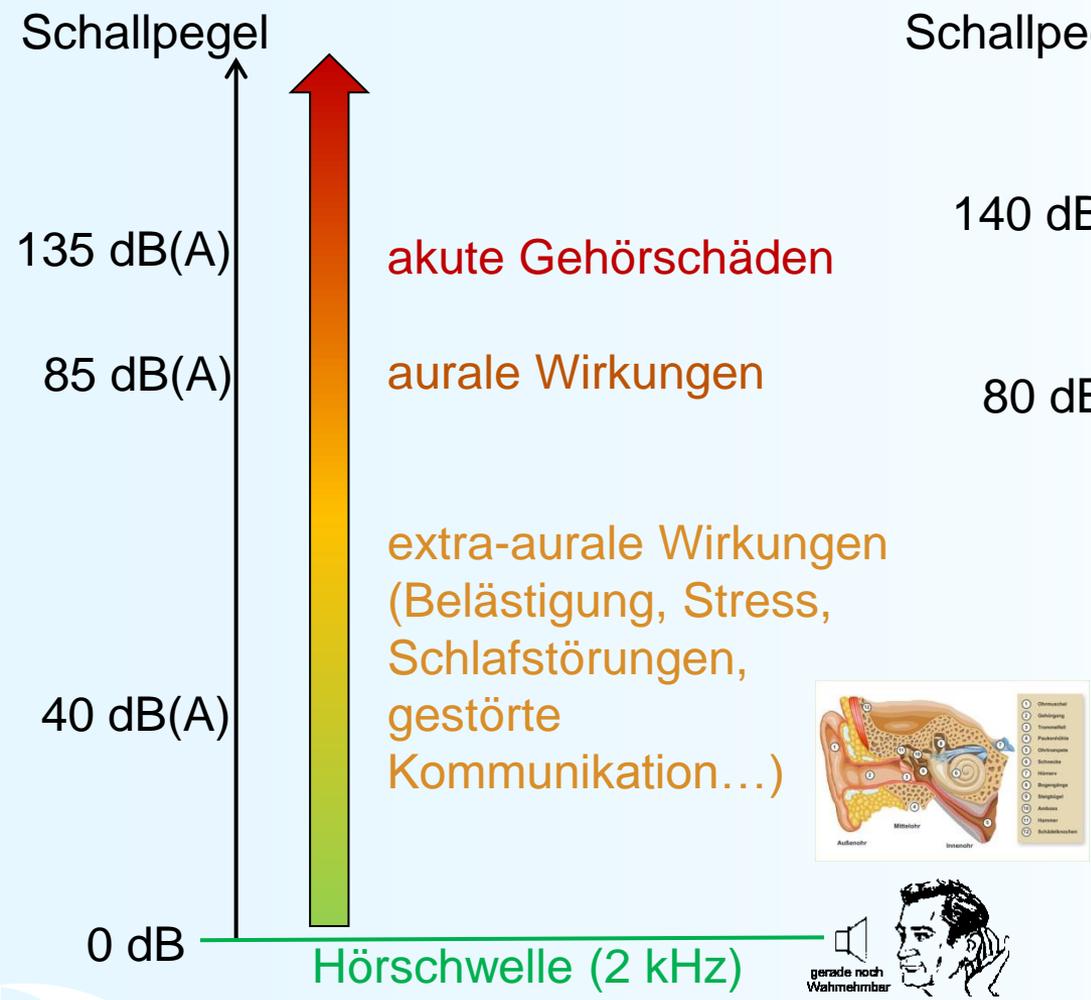
- **Zudem:**

- Kein systematischer Reviews
- Methodische Bewertung der Studien fehlt



# Wirkungen des Hörschalls

# Wirkungen des Infraschalls



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

[http://earaction.bayern.de/ohr/pic/ohr\\_legende.jpg](http://earaction.bayern.de/ohr/pic/ohr_legende.jpg)

# 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

Bild-Quelle: [http://www.netzausbau.de/cin\\_1431/DE/Verfahren/Bundesfachplanung/Bundesfachplanung-node.html](http://www.netzausbau.de/cin_1431/DE/Verfahren/Bundesfachplanung/Bundesfachplanung-node.html)

# Gesundheitliche Wirkungen von **Hör(!)**schall aus Windenergieanlagen *(Merlin et al. 2014)*



- Sieben Querschnittstudien
- Ergebnisse
  - Lärmbelästigung, stark beeinflusst von visueller Belästigung
  - Beeinträchtigungen des Schlafes
  - Inkonsistenzen hinsichtlich Lebensqualität und anderer gesundheitlicher Wirkungen
- Aussagekraft der Studien jedoch gering
  - mögliche Verzerrung der Studienergebnisse
  - niedriger Teilnahmeraten in den Studien (mögliche Selektionseffekte)

Bild-Quelle: [http://www.netzausbau.de/cdn\\_1431/DE/Verfahren/Bundesfachplanung/Bundesfachplanung-node.html](http://www.netzausbau.de/cdn_1431/DE/Verfahren/Bundesfachplanung/Bundesfachplanung-node.html)

# Genehmigung von Windenergieanlagen



Tab. 1: Vergleich Klein- und Großwindanlagen

	Kleinwindanlagen	Großwindanlagen
Leistung (kW)	bis ca. 70	bis 3.300
Durchschnittliche Leistung (kW)	10 bis 35	2.000 bis 3.000
Rotordurchmesser (m) vom Rotor überstrichene Fläche (m <sup>2</sup> )	bis 16 bis 200	bis 130 bis 13.000
Gesamthöhe (m)	bis 10 (genehmigungsfrei) bis 50 (baugenehmigungspflichtig)	> 50 bis 200 (immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig)

Bayerisches Landesamt für Umwelt 2013

3

- 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](#))

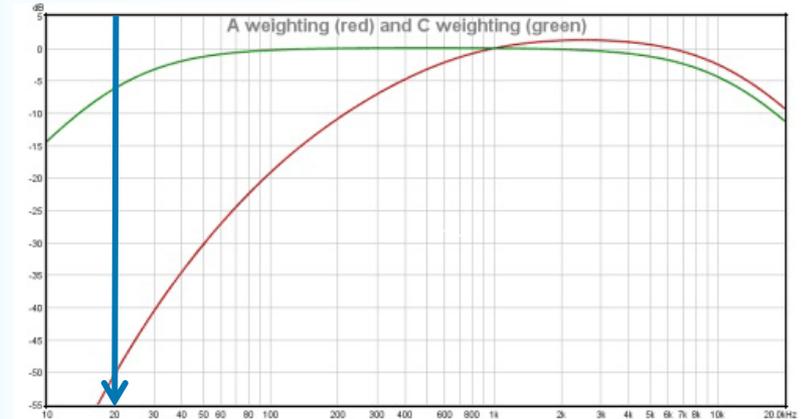
Bild-Quelle: [http://www.netzausbau.de/cfn\\_1431/DE/Verfahren/Bundesfachplanung/Bundesfachplanung-node.html](http://www.netzausbau.de/cfn_1431/DE/Verfahren/Bundesfachplanung/Bundesfachplanung-node.html)

# Abstandsbezogene Hörschall – Immissionen von WEA



## Beurteilungsgrundlage:

- A-Bewertung  
(d.h. Infraschall deutlich unterbewertet)
- 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

Bild-Quelle: Bundesverband Windenergie



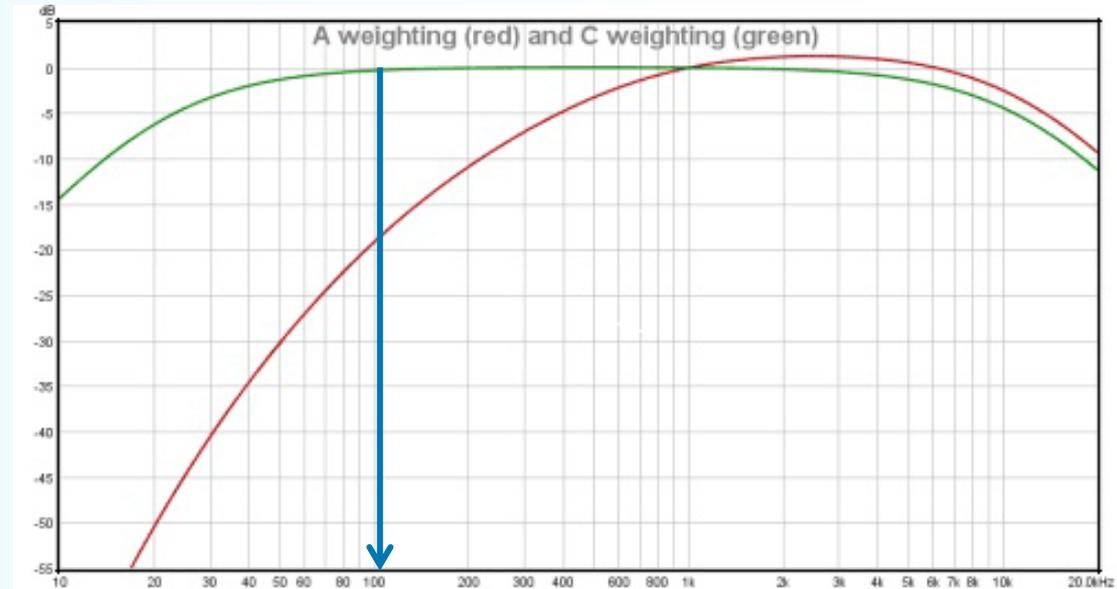
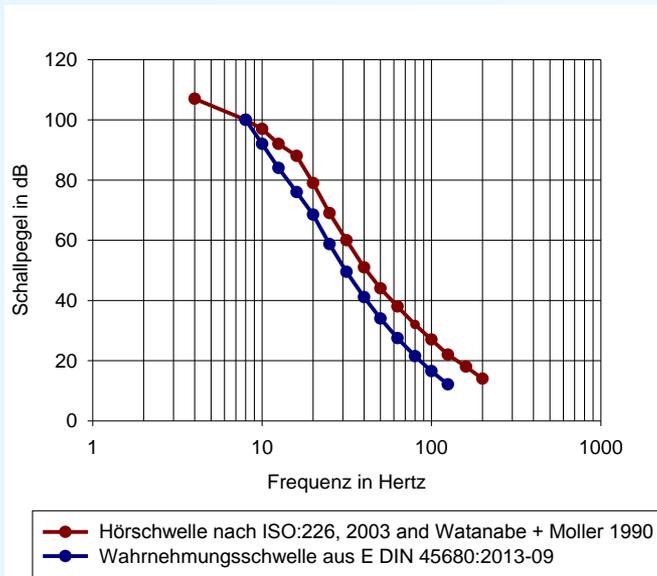
# Abstandsbezogene Hörschall – Immissionen von WEA

Tab. 3: Abstand zu Windenergieanlagen, bei dem die Richtwerte der TA Lärm erreicht werden (vgl. Abschnitt 3.1.2)

	45 dB(A)	40 dB(A)	35 dB(A)
Einzelanlage	280 m	410 m	620 m
Kleinerer Windpark (sieben Windräder mit drei dominierenden Anlagen)	440 m	740 m	1.100 m
Größerer Windpark (21 Windräder mit fünf dominierenden Anlagen)	500 m	830 m	1.300 m
Geräusche zum Vergleich	üblicher häuslicher Hintergrundschall z. B. Kühlschrank		Flüstern

Nennleistung heute üblicher Windenergieanlagen: 2 bis 3 MW

# Messung / Beurteilung tieffrequenter <100 Hz Immissionen



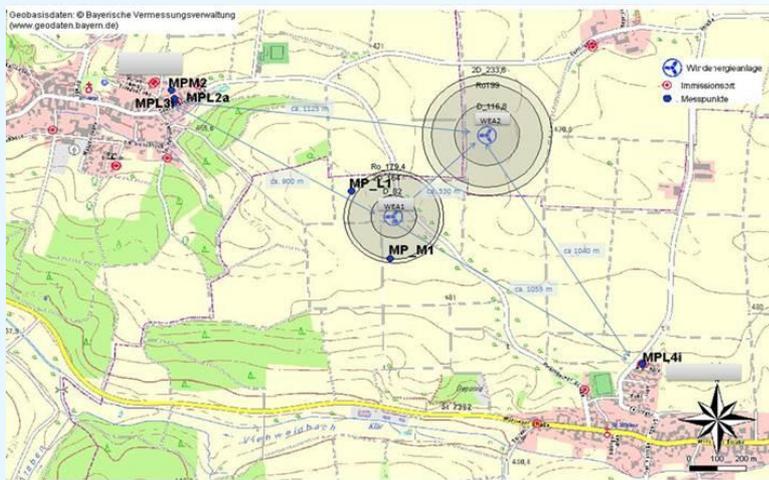
- TA Lärm wenn Differenz zwischen C- und A- bewerteten Pegel  $L_{CF} - L_{AF} > 20$  dB:  
→ nach Frequenzen differenzierte Beurteilung der Immissionen
- ➔ DIN 45680
- bisher nicht aufgetreten bei WEA

# 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).

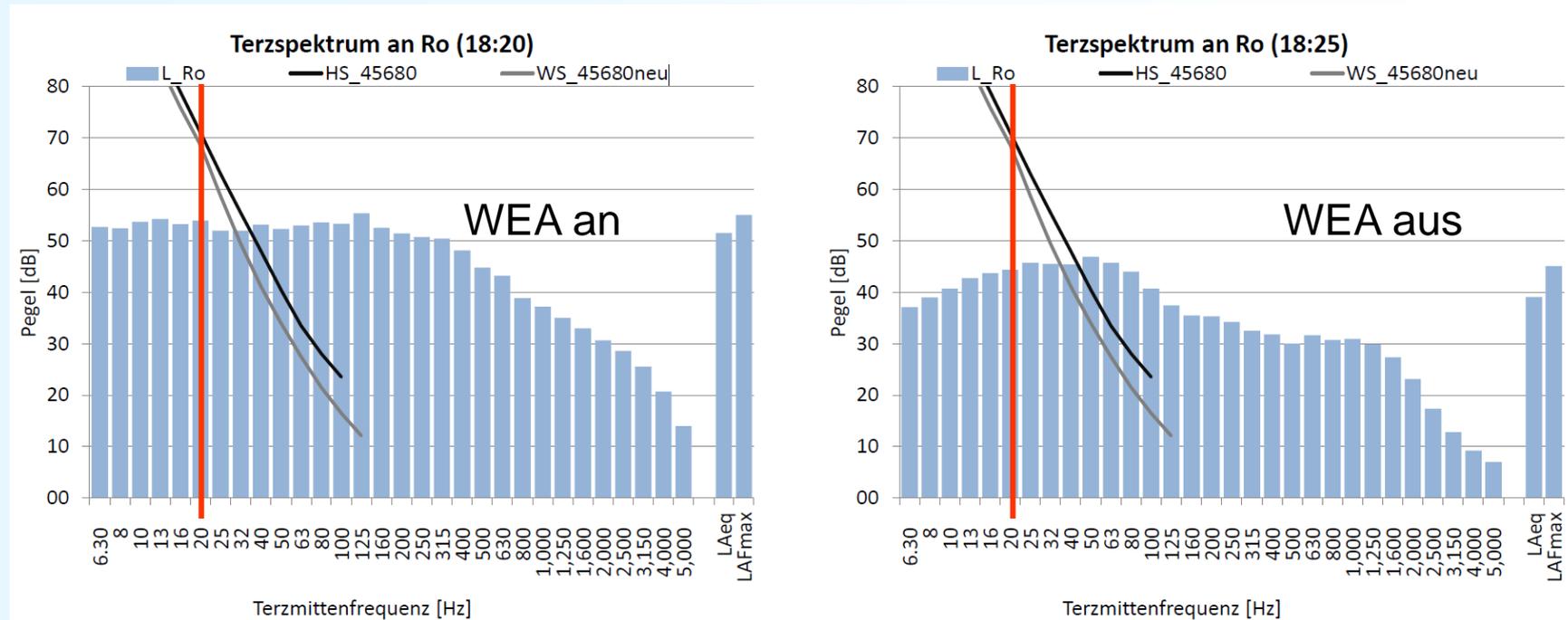


Legende zu den LfU - Messwerten (siehe nachfolgende Folien)

- 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.

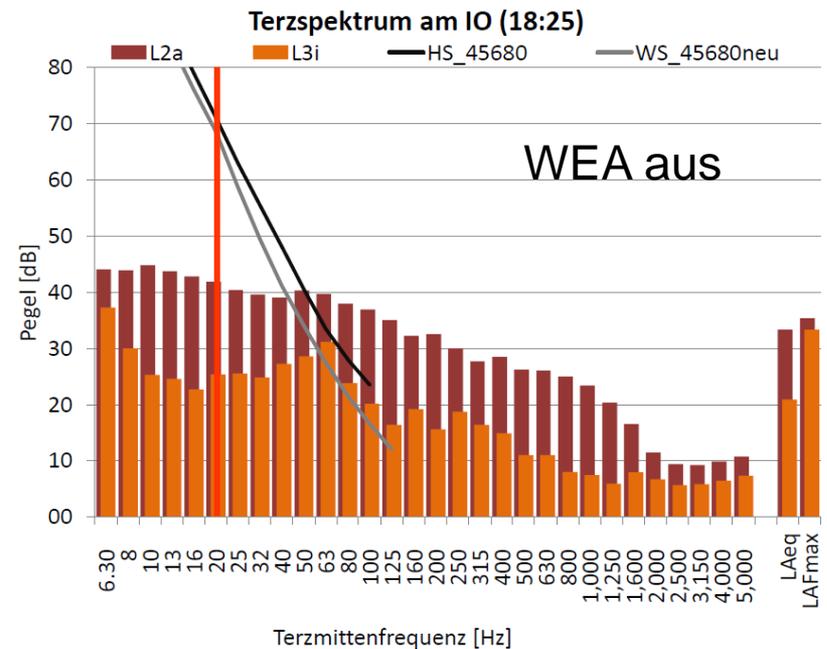
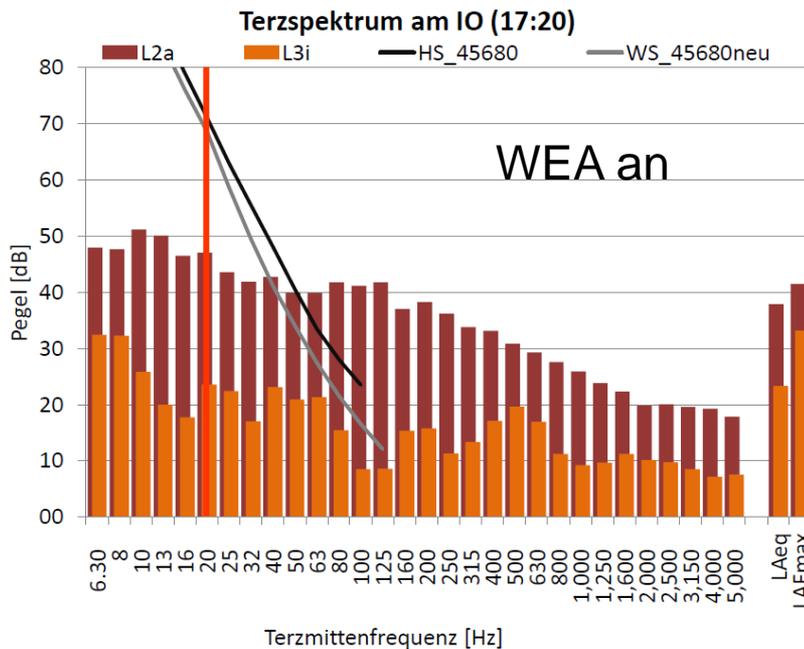
# Schall-Immissionen von Windenergieanlagen (WEA) - verschiedene Immissionsorte

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  $v = 10 \text{ m/s}$



# Schallpegelmessungen von Windenergieanlagen in BW

Normen für die Schallpegelmessungen in BW:

- DIN EN 61400-11
- Technische Richtlinie für Windenergieanlagen

Normen für die Bewertung von Infraschallpegeln in BW:

- DIN 45680
- ISO 7196:1995\*

Mit der verwendeten G-Bewertung nach ISO 7196:1995 wird ein Frequenzspektrum im Infraschallbereich mit einer einzigen Zahl charakterisiert. Vorteil gegenüber C-Bewertung: Frequenzen > 40 Hz werden untergewichtet

<http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=4B19sfxQk8zWbcAjKNreBBsNVNrF8hvU3VhpiweFVjQ.&d>

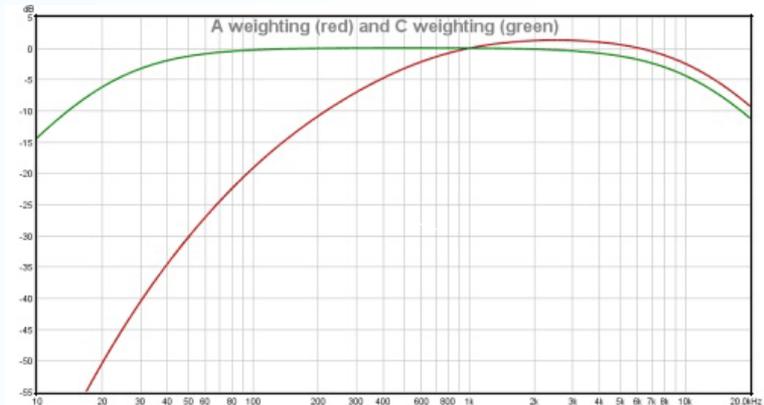
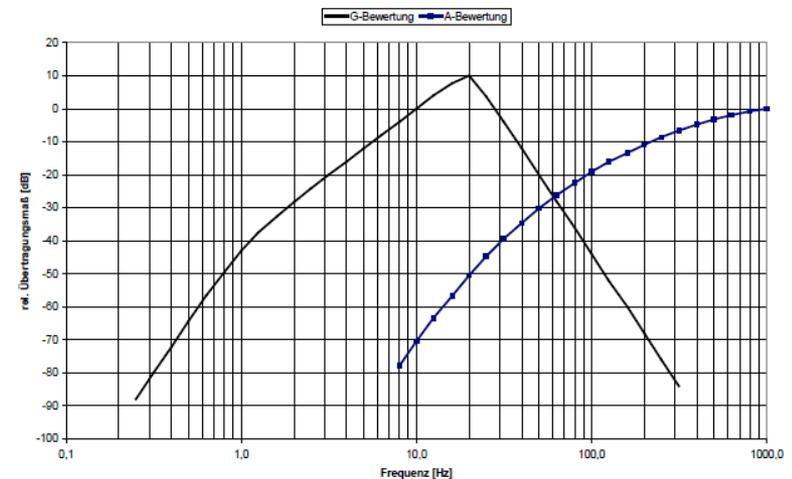


Abbildung 27: Frequenzbewertungskurven G nach ISO 7196:1995(E) und A, Ausschnitt bis 1.000 Hz



[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_40\\_2014\\_machbarkeitsstudie\\_zu\\_wirkungen\\_von\\_infraschall.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_40_2014_machbarkeitsstudie_zu_wirkungen_von_infraschall.pdf)

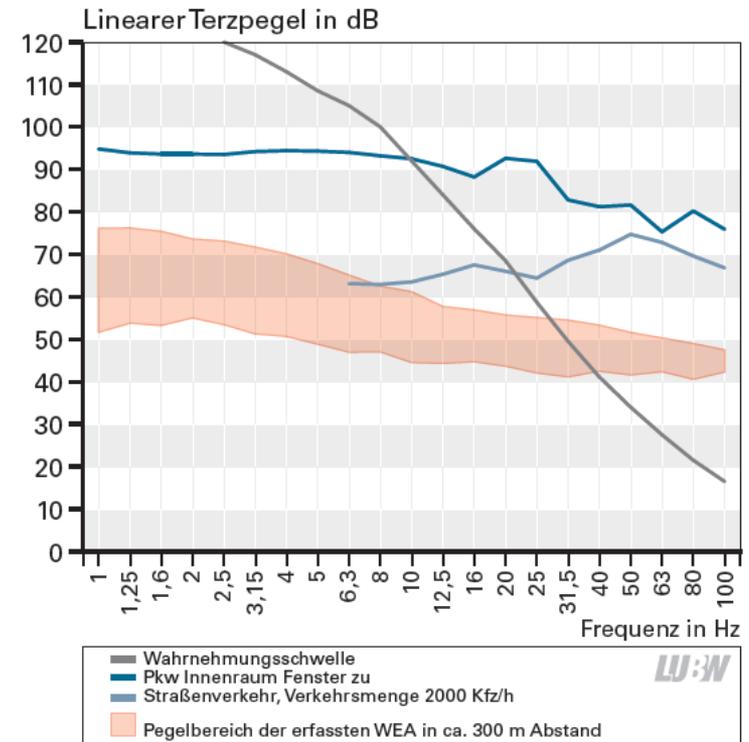
# Schall-Immissionen von Windenergieanlagen in BW

## Infraschallpegel

- im Nahbereich (120 - 300 m) unterhalb der Wahrnehmungsschwelle (DIN 45680)

- in 700 m Abstand erhöht sich beim Einschalten der Anlage nicht nennenswert (im Wesentlichen vom Wind erzeugt)

Die Pegel der tieffrequenten Geräusche des Straßenverkehrs liegen signifikant höher als in der Umgebung von Windenergieanlagen



**Abbildung 2-3:** Vergleich der Fahrgeräusche inner- und außerhalb von Kraftfahrzeugen mit dem Pegelbereich von WEA in etwa 300 m Abstand sowie der Wahrnehmungsschwelle nach Tabelle A3-1 hinsichtlich Infraschall und tieffrequenten Geräuschen. Zu Messkorrekturen siehe Abschnitt 4.1.

<http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=4B19sfxQk8zWbcAjKNreBBsNVNrF8hvU3VhpiweFVjQ.&d>

# Schall-Immissionen von Windenergieanlagen in BW

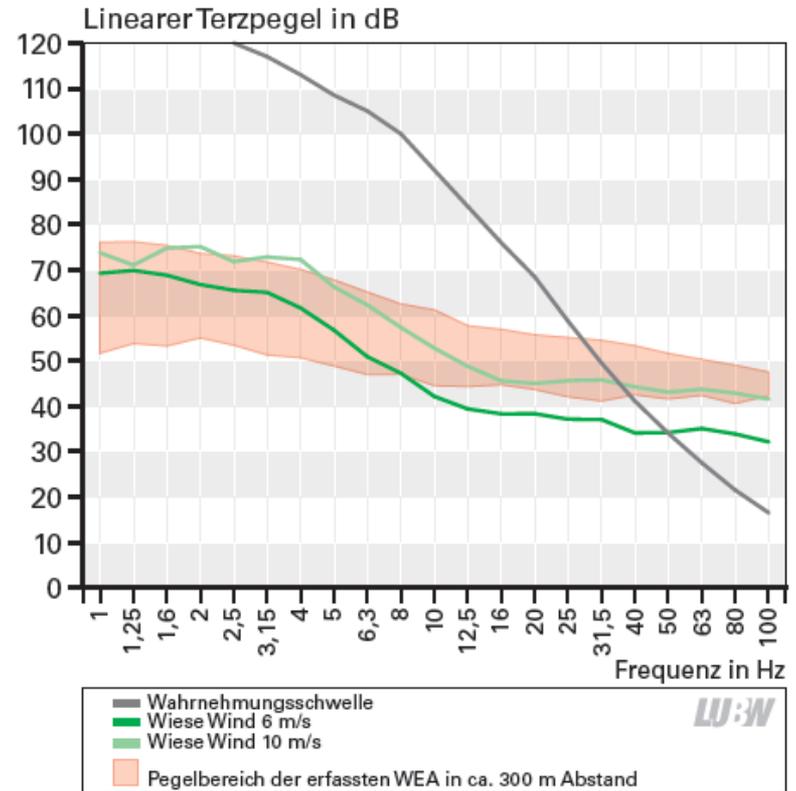
In ländlicher Umgebung:

- spektrale Verteilung der Geräusche (Wiese, Waldrand, Wald) bei Wind prinzipiell ähnlich wie in der Umgebung einer Windkraftanlage.

## FAZIT

Infraschall:

- viele natürliche/technische Quellen
  - alltäglich/überall vorhanden in der Umwelt.
  - Windkraftanlagen leisten hierzu keinen wesentlichen Beitrag
    - Infraschallpegel liegen deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwellen des Menschen.
- ➔ Keine Gesundheitliche Effekte



**Abbildung 2-5:** Vergleich der Geräuschsituation im freien Feld (ohne Quellenbezug) mit dem Pegelbereich von WEA in etwa 300 m Abstand sowie der Wahrnehmungsschwelle nach Tabelle A3-1 hinsichtlich Infraschall und tieffrequenten Geräuschen. Zu Messkorrekturen bei WEA siehe Abschnitt 4.1.