

THE  
WIND &  
SITE  
EXPERTS.



Wir sind Pavana – Team Schall  
Erfahrungen Schallprognosen in Deutschland



THE  
WIND &  
SITE  
EXPERTS.



+ Akkreditiertes Prüflabor  
nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018

→ Schallimmissionsprognosen  
DIN ISO 9613-2 1999-10 und TA Lärm

→ Schattenwurfberechnung von  
Windenergieanlagen

+ Mitglied im FGW

→ Fachausschuss Lärm



### Windertragsgutachten

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung Ihres zukünftigen Windparks

Die Pavana-Experten bewerten den Einfluss äußerer Faktoren auf die Windverhältnisse Ihres konkreten Windparkstandortes.



### Schattenwurfgutachten

Anwohnerschutz = Projektschutz

Schlagschatten müssen berechnet und im Interesse aller Beteiligten ausgeschlossen werden.



### Vermietung

#### LiDAR-Geräte & Maste

Die den Wind messen

Um die höchst komplexen Windmessungen durchzuführen, ist spezielle, kostenintensive Messtechnik erforderlich. Wir vermieten Ihnen unsere brandaktuellen Apparaturen.



### Schallgutachten

Anwohnerschutz = Projektschutz

Windpark-Planer sind gut beraten, der Akzeptanz-Frage besonderes Augenmerk zu widmen. Wir messen und bewerten zuverlässig Immissionswerte.



### Windmessungen

Die Basis bankfähiger Energieertrags-Gutachten

PAVANA ist für die Planung, Durchführung und Auswertung von Windmessungen akkreditiert. Überblicksmessungen (3–6 Monate) und Langzeitmessungen (12–24 Monate).



### LiDAR-Verifizierung

Zuverlässige Technik

Hochkomplexe Messtechnik ist nach den Anforderungen der IEC sowie der FGW vor dem Messeinsatz zu testen.



Erfahrungen Schallprognosen Deutschland

## Vorstellung PAVANA GmbH – Team Schall

**Lars Levermann, Dipl.-Ing.:**

20 Jahre Erfahrung in gutachterlicher Tätigkeit,  
Aufbau der Abteilung Wind & Site Assessment der WKN AG,  
Geschäftsführer der PAVANA GmbH und Teamleiter Schall

**Cornelia Kitte, Dipl.-Geographin:**

ehemals Projektentwicklerin in der Windparkplanung  
jetzt GIS-Expertin und verantwortlich für Schall- und Schattengutachten

**Karsten Busch, Cand. M.Sc. Engineering Physics:**

B.Eng. Physics Sound and Vibration, Stud. M.Sc. Eng. Physics Renewable Energies  
mit Schwerpunkt CFD und verantwortlich für Schall-, Schattengutachten, CFD

**Offene Stellen (siehe [pavana-wind.com](http://pavana-wind.com))**

Teamleiter Schall & Immissionsschutz  
Schallgutachter/Experte Schallimmission

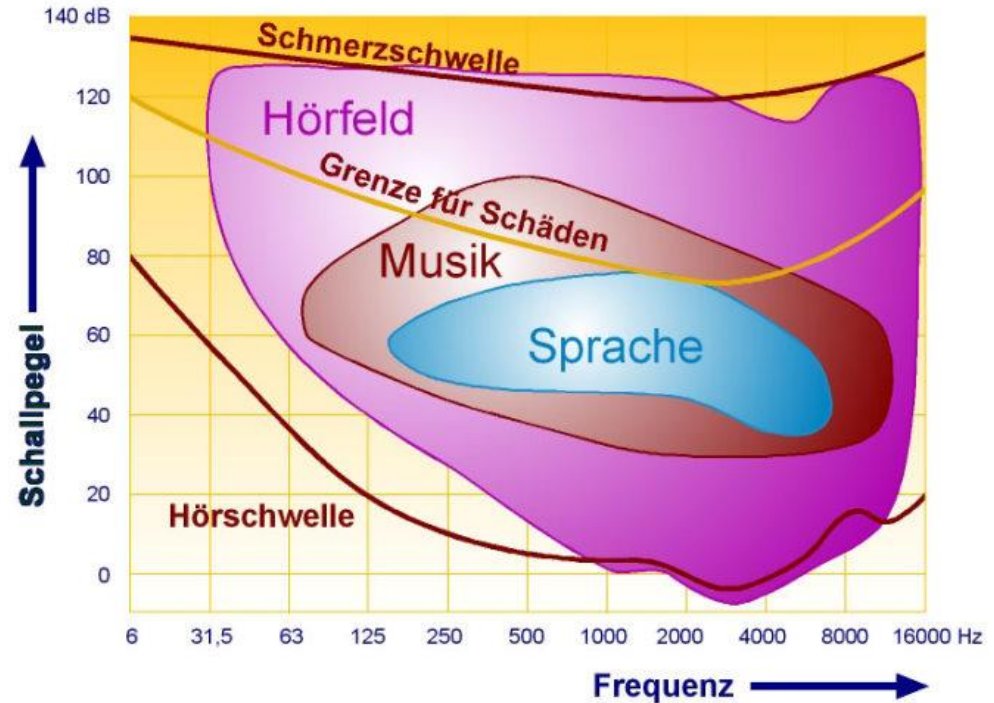
## Erfahrungen Schallprognosen Deutschland

### Worum geht's?

- + Schall wird von WEA emittiert.
- + Schutz des Anwohner nach BImSchG und TA Lärm
- + Prognose nach ISO 9613-2
  - Interimsverfahren LAI Hinweise 2016.06
  - Alternativen Verfahren  $NH < 50$  m bzw.  $h_m < 30$  m
- + WEA Lärm negativ in den Medien z.B. „Infraschall“



- + Hörfläche ca. 16 Hz .. 20 kHz
- Hörschwelle unten
- Schmerzgrenze oben
  - Unbehaglichkeitsschwelle
- Dynamikbereich schmäler an Frequenzrändern



„Hörfeld eines Guthörenden“ (<https://medienportal.siemens-stiftung.org/100256>), © Siemens Stiftung 2018, lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international (Lizenztext siehe <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>)



# Erfahrungen Schallprognosen Deutschland

## Emission

- + Zeitlich variant
- + weites Spektrum
  - gesamter Hörbereich
  - auch Infraschall
  - Geräusche > 4 kHz eher unwichtig
- + Abhängig von Anströmung

Referenzspektrum LAI 2016-06  $L_{wA,tot}$  100 dB(A)

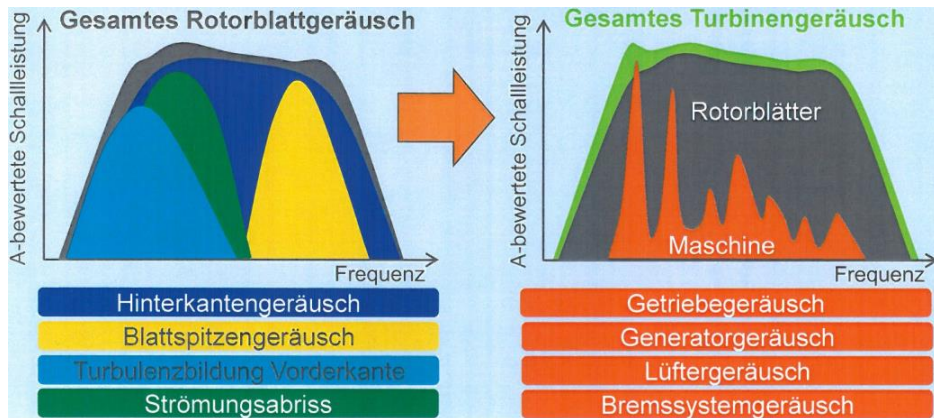
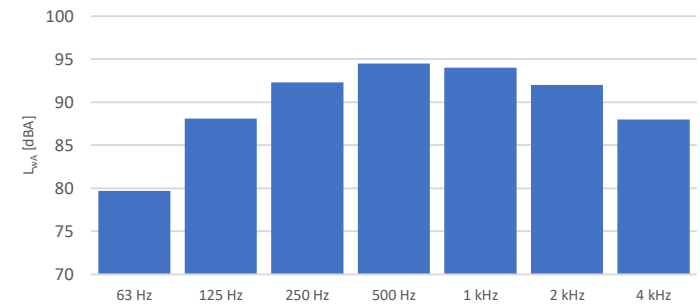


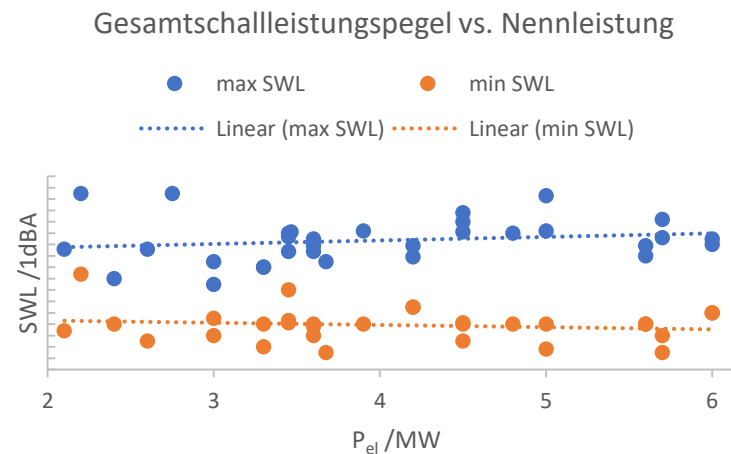
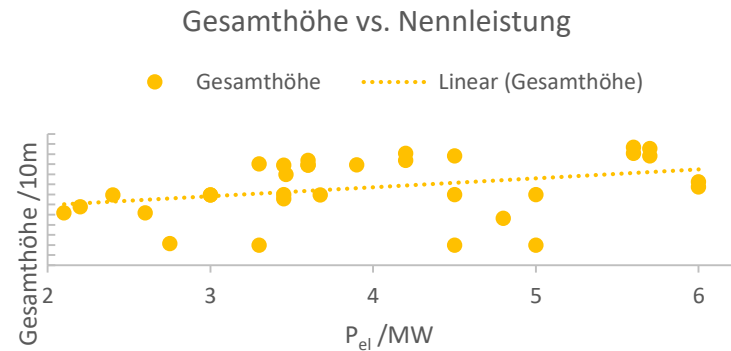
Bild 1.4-3: Zusammensetzung des Rotorlärms und des Gesamtgeräusches einer WEA  
Quelle: Dr. Roger Drobiez, Aeroakustische Technologien und Geräuschmanagement Optionen, GEWindEnergy GmbH, 7. RheinerWindenergie-Forum2013, Rheine

Aufnahme mit einer akustischen Kamera Quelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg LUBW

Am Beispiel Portfolios verschiedener Anlagenhersteller

- + Nennleistung  $\uparrow$
- + Gesamthöhe  $\uparrow$
- + Schallleistungspegel (SWL)  $\rightarrow$ 
  - max SWL  $\rightarrow$
  - min SWL  $\rightarrow$

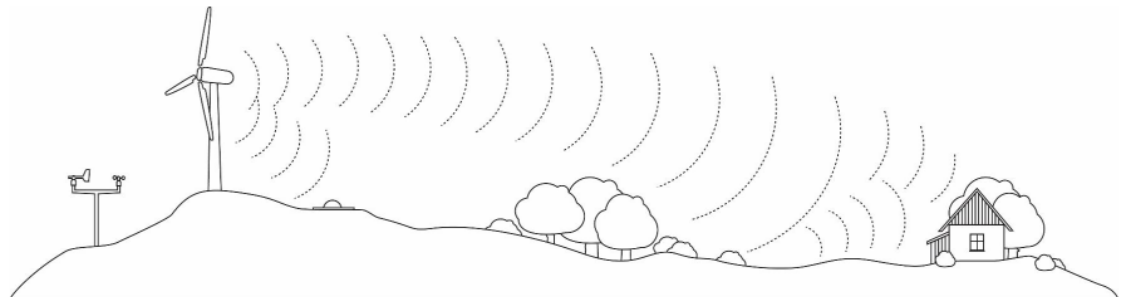
$\rightarrow$  Repowering akustisch unproblematisch





## Transmission → Immission

- + Energie des Schalls
  - Geometrische Ausbreitung -6 dB mit Abstandsverdoppelung
- + Atmosphärische Dämpfung
  - 0,1-117 dB/km 63Hz-8kHz
- + Interaktion mit Grenzflächen/Boden
  - Dämpfung
  - Reflektion bis zu 3 dB



Quelle: Lars S. Søndergaard (DELTA a part of FORCE Technology), Acoustic Day 2018, Risø, Danmark Measurement at neighbouring positions

Luftdämpfung [dB/km]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
10°C 70% rel. F.	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117

## Erfahrungen Schallprognosen Deutschland

### Genehmigung

#### Deutschland

- + Grundlage der Genehmigung (aus akustischer Sicht)
  - Gesamtbelastung
    - zunächst Prognose
    - z.T. auch mit Abnahmemessung

#### Frankreich/Italien

- + Prognose „nur“ zur Darstellung der Machbarkeit
- + Grundlage der Genehmigung (aus akustischer Sicht)
  - Zusatzbelastung zum gemessenen Hintergrundlärm
    - Abnahmemessung wenn Park steht



### + Rechtliche Grundlage

#### → BImSchG

- Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen
- Vermeidung/Verminderung schädlicher Umwelteinwirkungen

#### → Schutz/Vorsorge gegen

- Gefahren
- *Erhebliche* Nachteile
- *Erhebliche* Belästigungen

- zumutbare Belastung
- Kein Recht auf Nullbelastung

### Bundes- Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

#### § 1 Zweck des Gesetzes

- (1) Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter **vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen** und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen.
- (2) Soweit es sich um genehmigungsbedürftige Anlagen handelt, dient dieses Gesetz auch
  - der integrierten **Vermeidung und Verminderung schädlicher Umwelteinwirkungen** durch Emissionen in Luft, Wasser und Boden unter Einbeziehung der Abfallwirtschaft, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen, sowie
  - dem Schutz und der Vorsorge gegen Gefahren, **erhebliche Nachteile** und **erhebliche Belästigungen**, die auf andere Weise herbeigeführt werden.

#### [Hervorhebungen durch Autor]



- + Allgemeine Verwaltungsvorschrift
- TA Lärm
  - Schutz/Vorsorge
    - schädliche Umwelteinwirkung durch Geräusche
  - Immissionsrichtwerte (IRW)
  - Prognose ISO 9613-2

### Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm)

#### 1 Anwendungsbereich

Diese Technische Anleitung dient dem **Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche sowie der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche.**

Sie gilt für Anlagen, die als genehmigungsbedürftige oder nicht genehmigungsbedürftige Anlagen den Anforderungen des Zweiten Teils des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) unterliegen, mit **Ausnahme folgender Anlagen:**

- a) Sportanlagen, die der Sportanlagenlärmschutzverordnung (18. BImSchV) unterliegen,
- b) sonstige nicht genehmigungsbedürftige Freizeitanlagen sowie Freiluftgaststätten,
- c) nicht genehmigungsbedürftige landwirtschaftliche Anlagen,
- d) Schießplätze, auf denen mit Waffen ab Kaliber 20 mm geschossen wird,
- e) Tagebaue und die zum Betrieb eines Tagebaus erforderlichen Anlagen,
- f) Baustellen,
- g) Seehafenumschlagsanlagen,
- h) Anlagen für soziale Zwecke

[Hervorhebungen durch Autor]

### + Allgemeine Verwaltungsvorschrift

#### → TA Lärm

##### → Schutz/Vorsorge

- schädliche Umwelteinwirkung durch Geräusche

##### → Immissionsrichtwerte (IRW)

##### – Sonderfälle

- Gemengelagen u.a.

##### → Prognose ISO 9613-2

#### → Nächste Stufe

##### → Länderspezifische Erlasse

- Unsicherheiten
- Irrelevanz
- Referenzspektrum

**Einwirkungsbereich** (weniger als 10dB(A) unter IRW)

#### **Maßgeblicher Immissionsort**

(im Einwirkungsbereich, wo Überschreitungen am ehesten zu erwarten sind)

**Beurteilungspegel** (Mittelungspegel evtl. mit Zuschlägen)

**IRW nach TA Lärm 1998 (geändert 2017)**

a)	in Industrieanlagen		70 dB(A)
b)	in Gewerbegebieten	tags nachts	65 dB(A) 50 dB(A)
c)	in urbanen Gebieten	tags nachts	63 dB(A) 45 dB(A)
d)	<b>In Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten</b>	<b>tags nachts</b>	<b>60 dB(A) 45 dB(A)</b>
e)	<b>in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten</b>	<b>tags nachts</b>	<b>55 dB(A) 40 dB(A)</b>
f)	<b>in reinen Wohngebieten</b>	<b>tags nachts</b>	<b>50 dB(A) 35 dB(A)</b>
g)	in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten	tags nachts	45 dB(A) 35 dB(A)

[Hervorhebungen durch Autor]

$$L_P = L_{WA} - A_{div} - A_{atm} - A_{gr}$$

Geometrisch:

$$A_{div} = 20 \log(d/d_0) + 8$$

Luft (nicht spektral ):

$$A_{atm} = d \cdot \frac{\alpha_{500Hz}}{1000}, \alpha_{500Hz} = 1,9 \frac{dB}{km}$$

Boden („alternativ“):

$$A_{gr} = 0 \text{ bis } 4,8 \text{ dB}$$

Meteorol. Korrektur:

$$C_{met} = 0, \text{ wenn } d_p \leq 10(h_s + h_r) \\ \text{sonst } C_{met} = C_0 \left[ 1 - 10 \frac{h_s + h_r}{d_p} \right]$$



$$L_P = L_{WA} - A_{div} - A_{atm} - A_{gr} \quad \text{-3 dB Reflektion}$$

Geometrisch:

$$A_{div} = 20 \log(d/d_0) + 11$$

Luft (spektral):

$$A_{atm} = d \cdot \alpha / 1000, \quad 0,1 \leq \alpha \leq 117 \frac{dB}{km}$$

Boden („alternativ“):

$$A_{gr} = -3 \text{ dB}$$

Meteorol. Korrektur:

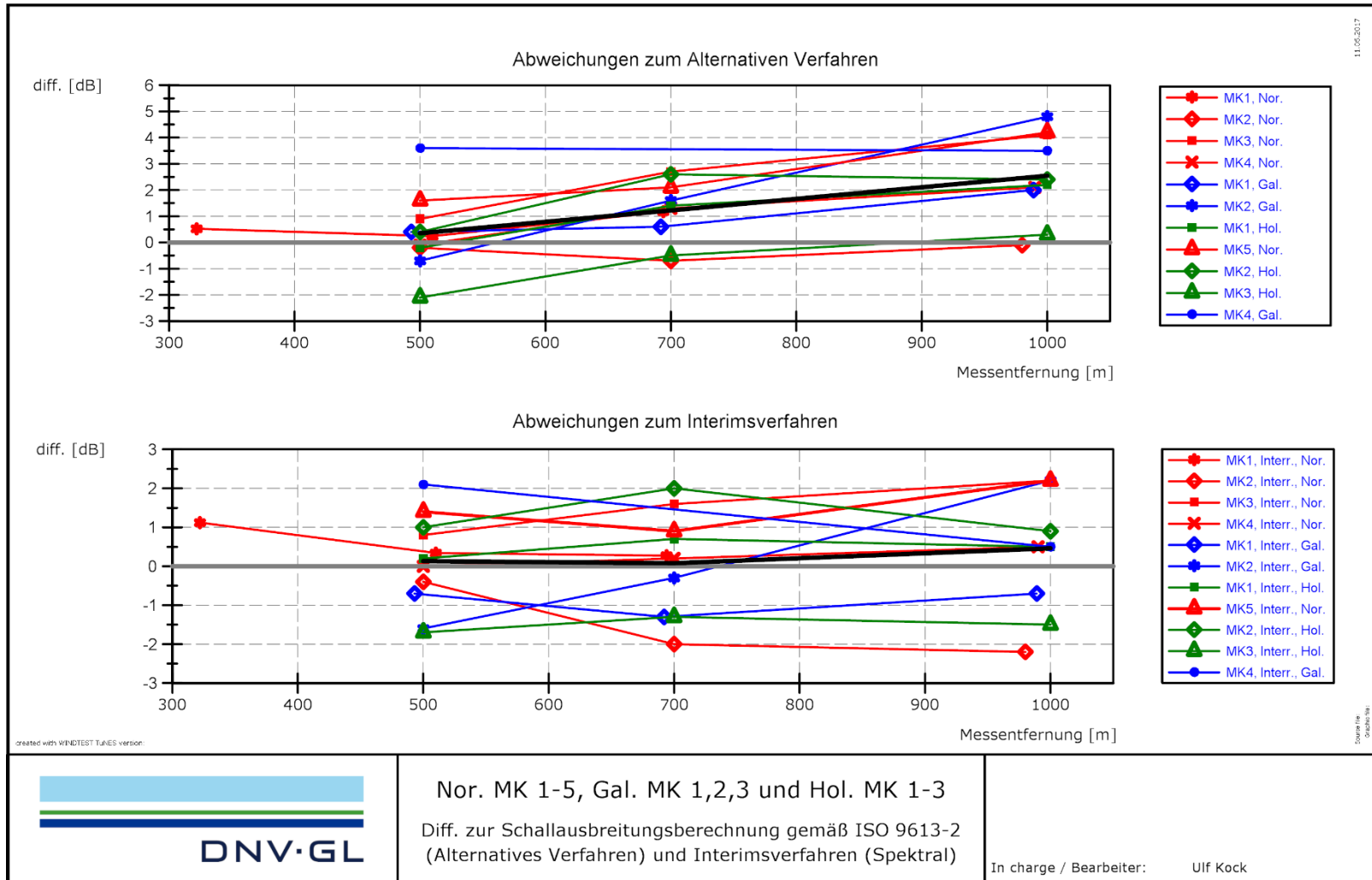
$$C_{met} = 0, \text{ da } C_0 = 0$$

Max. zul. Em.pegel:

$$L_{e \max} = L_W + 1,28 \cdot \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_P^2}$$

Unsicherheiten werden vorgegeben

Herstellerangabe, Ein- bzw. Dreifachvermessung

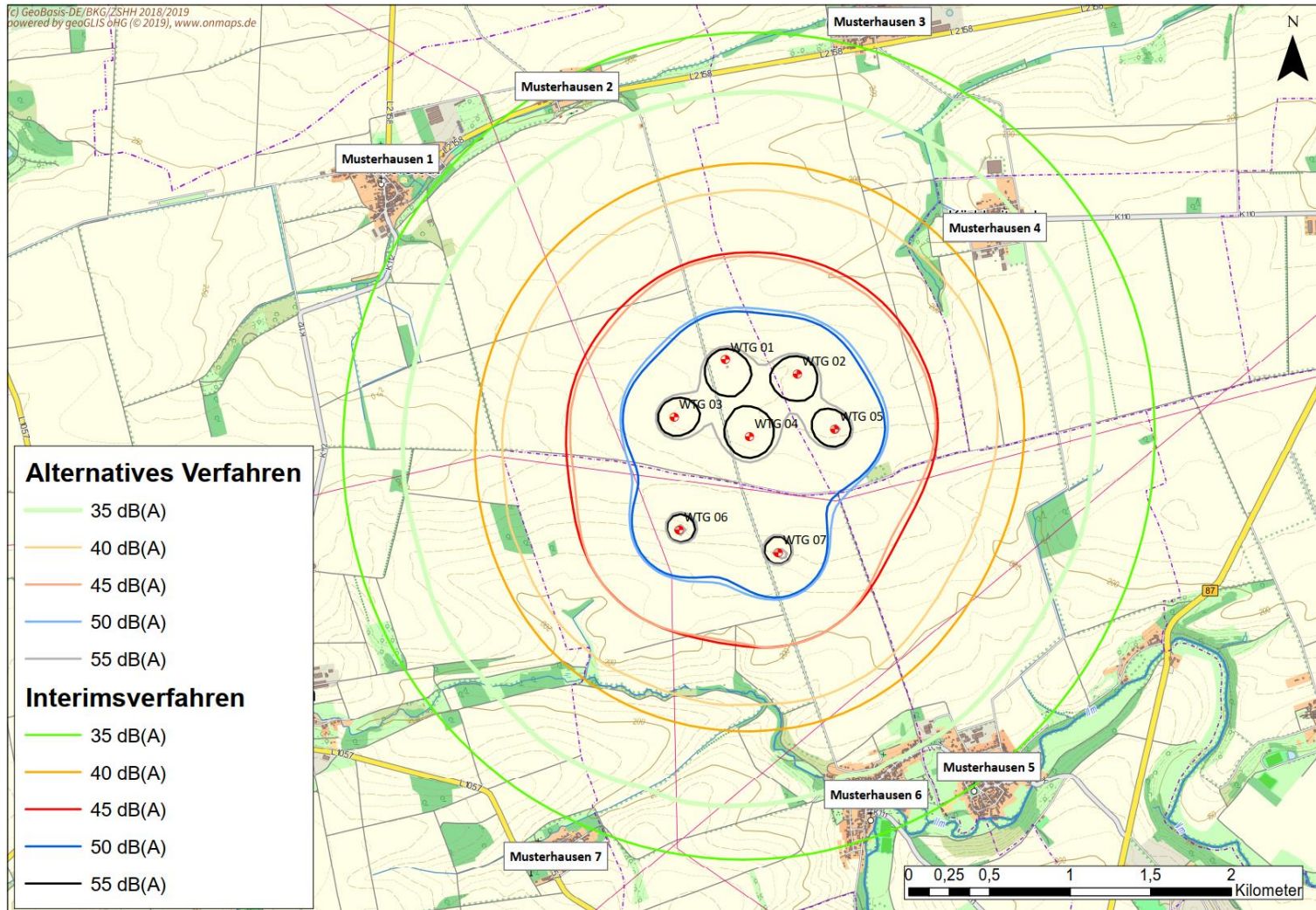


11.05.2017

Quelle: BWE







+ In fast allen Bundesländern sind die LAI Hinweise grundsätzlich eingeführt

+ Referenzspektren variieren

→ für Anlagen bis 2 MW gut geeignet

→ häufig Messberichte (von Behörden)

→ Irrelevanzkriterien variieren

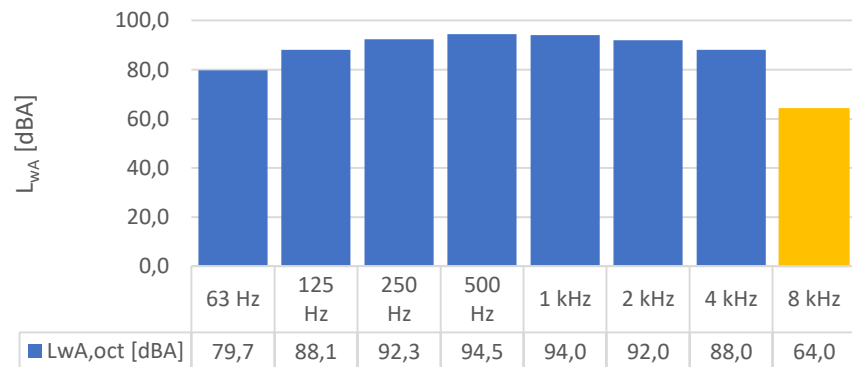
→ von 6 bis 15 dBA unter IRW

– Absprache mit Behördenmitarbeiter notwendig

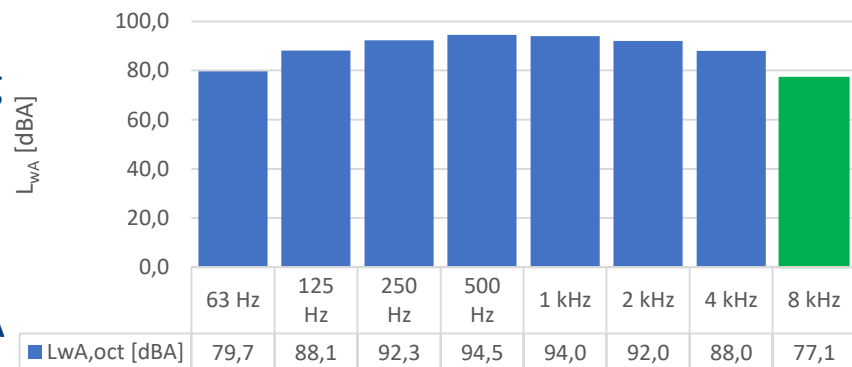
→ häufig Nachmessungen verlangt

→ Tieffrequenter Schall (BRB)  $L_p > 40\text{dBA}$

Referenzspektrum BRB 2019-01  $L_{wA,tot}$  100 dB(A)



Referenzspektrum LAI 2016-06  $L_{wA,tot}$  100 dB(A)



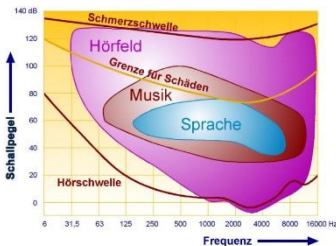
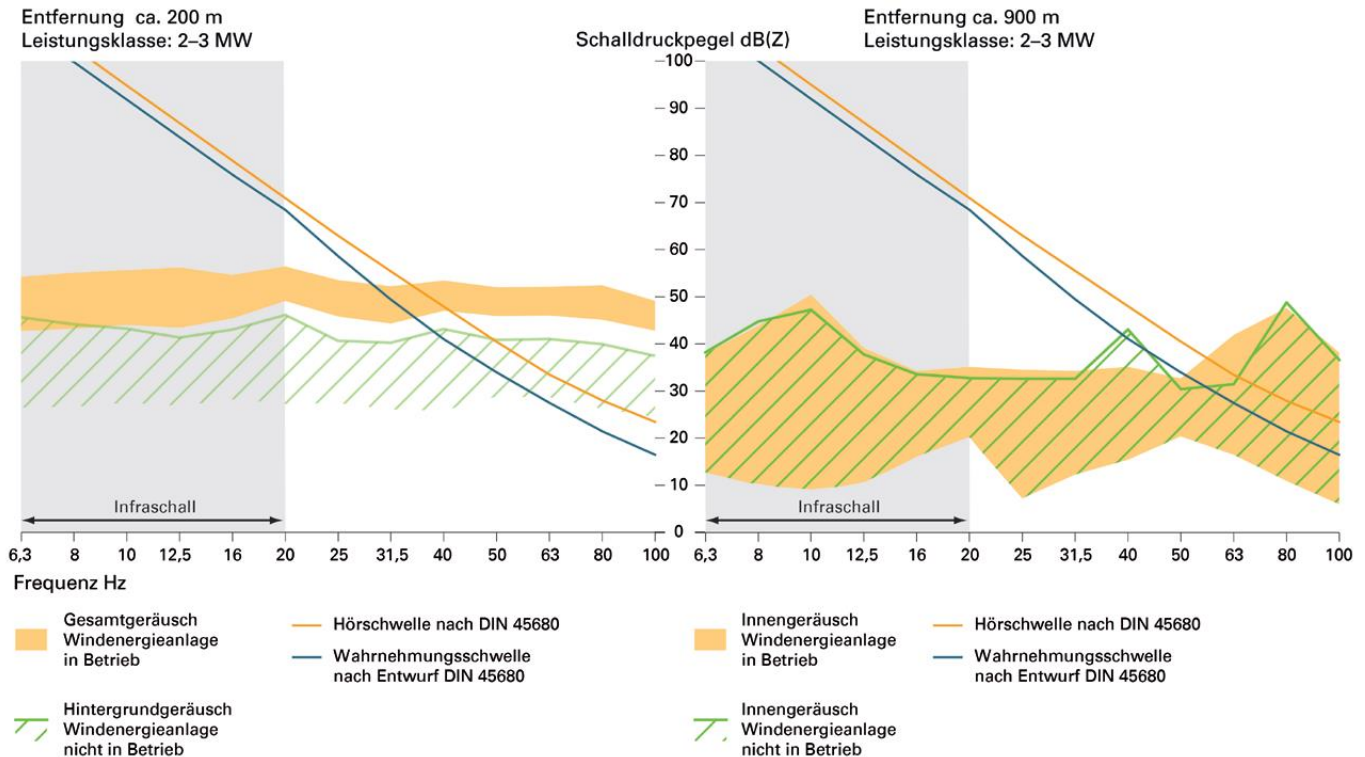
inkl. 8 kHz entsprechende Windenergiehandbuch 2018



# Erfahrungen Schallprognosen Deutschland

## Exkurs: Tieffrequenter Schall

- + Wahrnehmung
- Hören
- Fühlen
- +  $L_{WC} - L_{WA}$



Quelle: LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2014). *Windenergieanlagen - beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit?* Retrieved from [http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw\\_117\\_windkraftanlagen\\_infraschall\\_gesundheit.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_117_windkraftanlagen_infraschall_gesundheit.pdf)



Pavana GmbH  
Haus der Zukunftsenergien  
Otto-Hahn-Straße 12-16  
25813 Husum (Germany)  
Telefon: +49 4841 89 44 227  
info@pavana-wind.com  
www.pavana-wind.com

*Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen (WKA). (2016).*

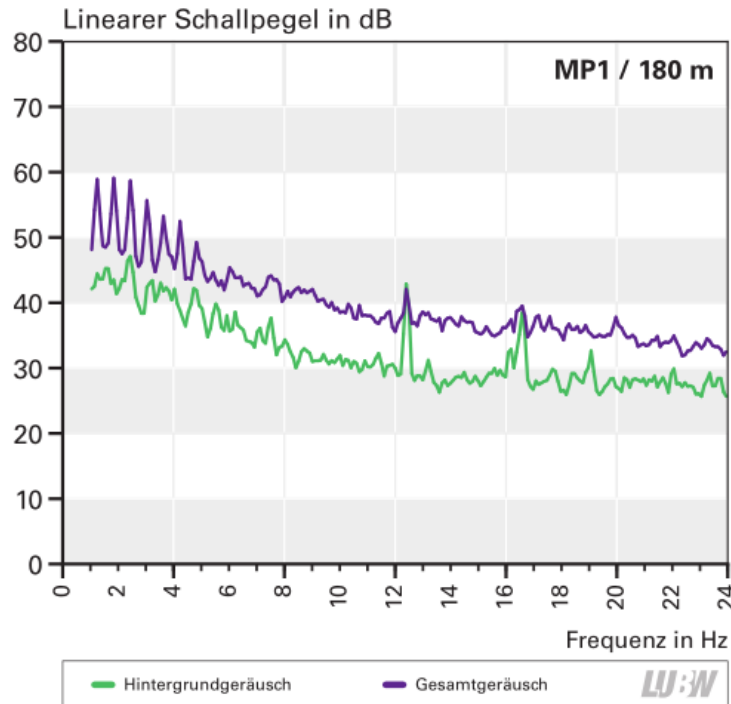
Retrieved from

[https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/20171201-top09\\_1\\_anlage\\_lai\\_hinweise\\_wka-stand\\_2016\\_06\\_30\\_veroeffentlicht\\_2\\_1512116255.pdf](https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/20171201-top09_1_anlage_lai_hinweise_wka-stand_2016_06_30_veroeffentlicht_2_1512116255.pdf)

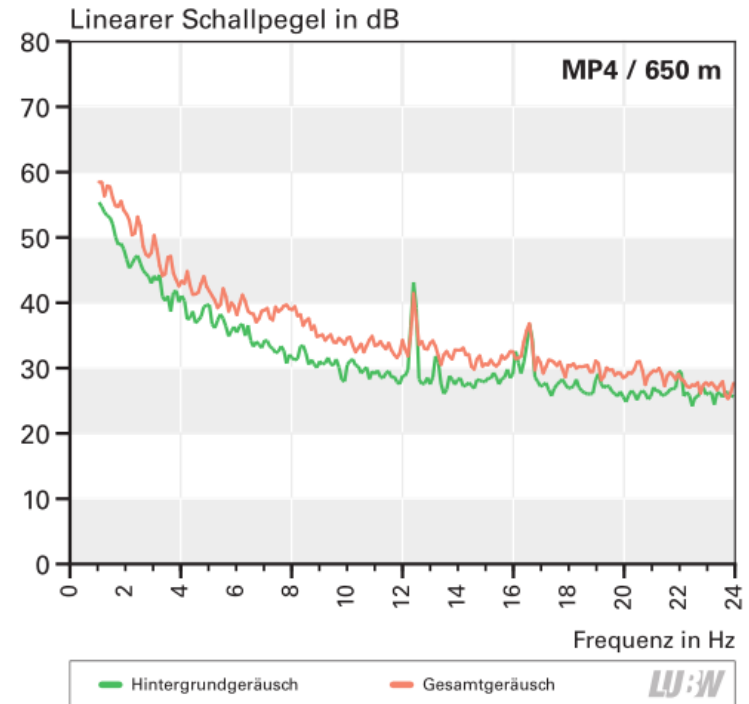
+ „Die durch die Drehbewegung der Rotorblätter erzeugte windkraft- anlagentypische Geräuschcharakteristik ist in der Regel weder als ton- noch als impulshaltig einzustufen. Die **Infraschallerzeugung moderner WKA liegt selbst im Nahbereich bei Abständen zwischen 150 und 300 m deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen [4, 5]**. Damit sind Gesundheitsschäden und erhebliche Belästigungen nach derzeitigem Erkenntnisstand nicht zu erwarten.“

- + „Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall“ LUBW 2013 Ratzel et al. Karlsruhe.
  - Example is biggest turbine in study 3.2M114
    - 0,6 Hz + Harmonics of rotor blade tower passage
    - mean wind speed 5,5 m/s
- + No significant difference to other observed turbines.

+ „Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall“ LUBW 2013 Ratzel et al. Karlsruhe.



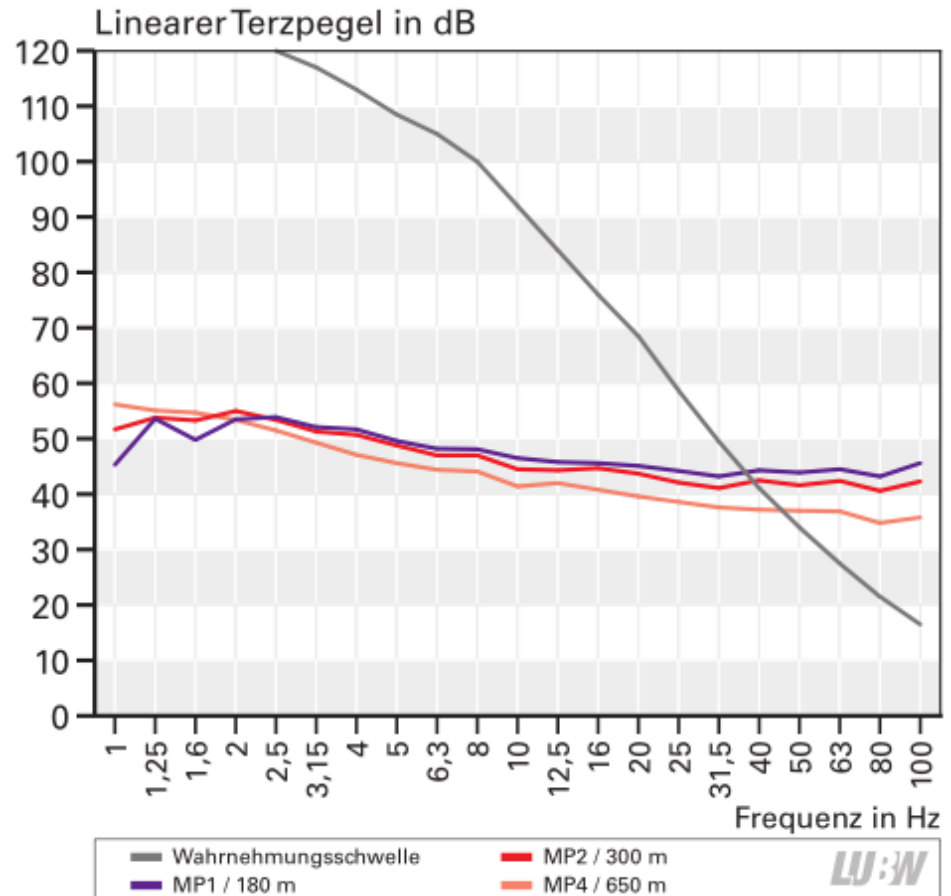
**Abbildung 4.5-6:** Schmalbandspektren von Hintergrundgeräusch und Gesamtgeräusch im Nahbereich der Windenergieanlage WEA 4 für den Frequenzbereich des Infraschalls



**Abbildung 4.5-7:** Schmalbandspektren von Hintergrundgeräusch und Gesamtgeräusch im Fernbereich der Windenergieanlage WEA 4 für den Frequenzbereich des Infraschalls

+ „Tiefrequente Geräusche inkl. Infraschall“ LUBW 2013  
Ratzel, U., Bayer, O., Brachat, P., Hoffmann, M., Jänke, K., Kiesel, K.-J., ... Scheck, C. (2015).  
Tiefrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen. Karlsruhe.  
→ WEA Infraschall unter Wahrnehmungsgrenze

+ turbine infrasound level between 180m and 300m clearly below perception threshold



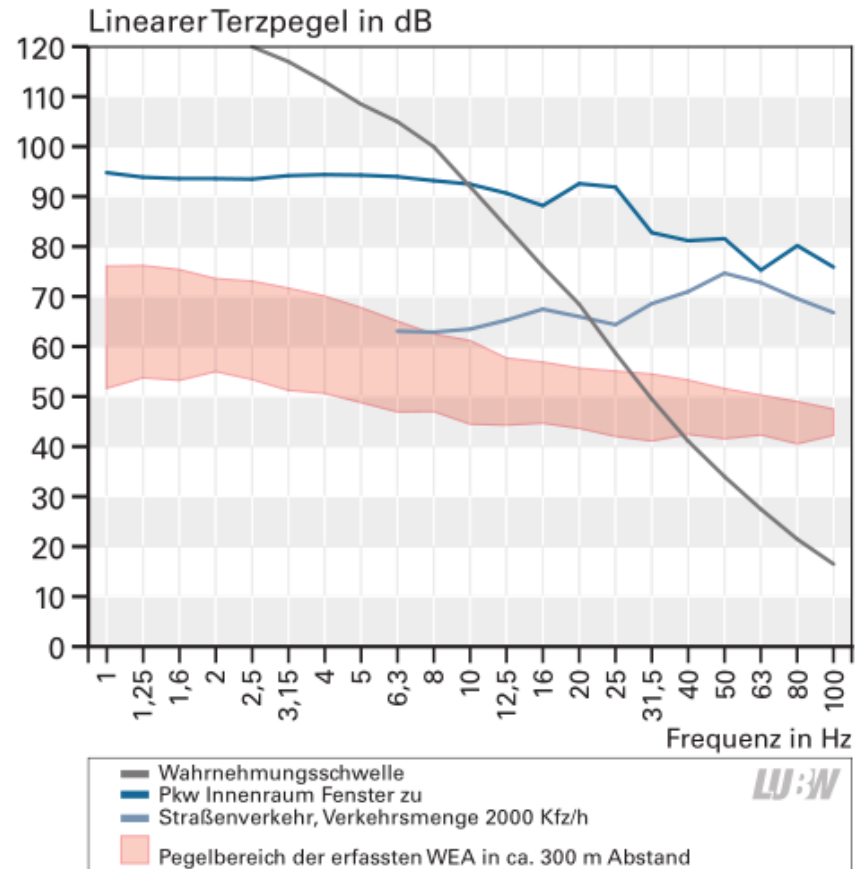
**Abbildung 4.5-11:** Terzspektren des Gesamtgeräuschs an den Messpunkten MP1 (180 m), MP2 (300 m) und MP4 (650 m) der WEA 4, Wahrnehmungsschwelle nach Tabelle A3-1 zum Vergleich. Die Messwerte wurden gemäß Abschnitt 4.1 korrigiert.





+ „Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall“ LUBW 2013  
Ratzel et al., *Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von  
Windkraftanlagen und anderen Quellen*. Karlsruhe.

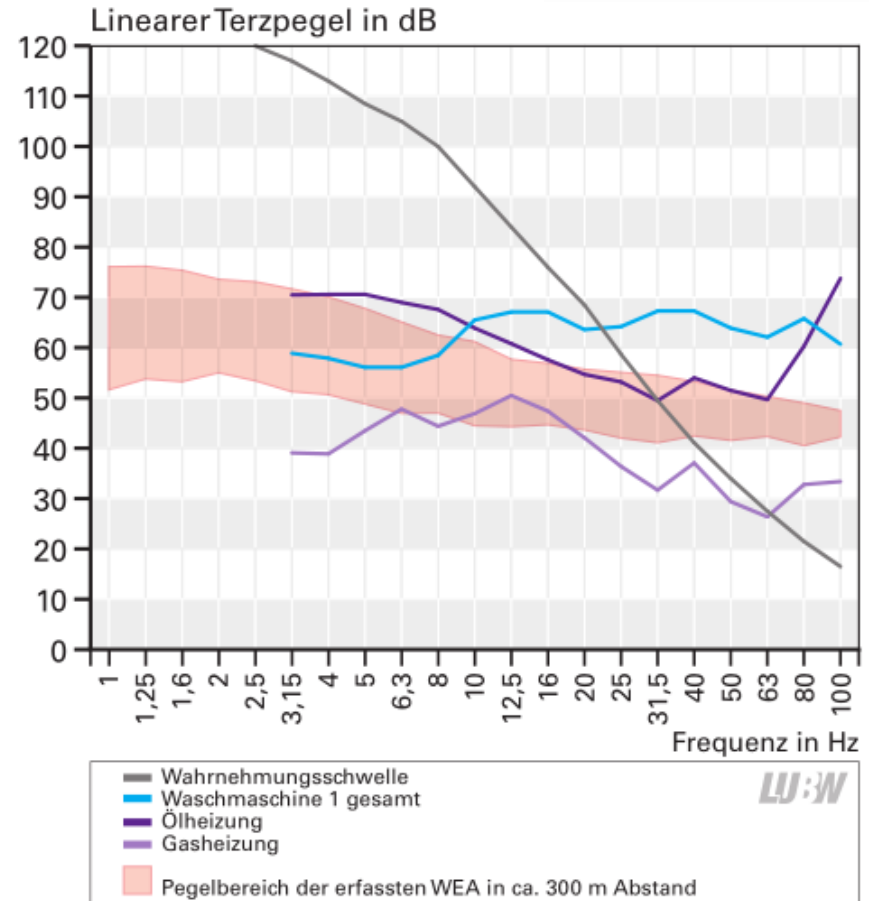
Comparison wind turbine with  
+ car cabin noise  
→ „common permanent load“  
+ Street with 2000 cars/h  
outdoors



**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.

+ „Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall“ LUBW 2013  
Ratzel et al., *Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von  
Windkraftanlagen und anderen Quellen*. Karlsruhe.

Comparison wind turbine with  
+ typical technical devices in  
residential building  
→ „common permanent load“



**Abbildung 2-4:** Vergleich der Geräusche von technischen Geräten in Wohngebäuden 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.