



RENEWABLES MEASUREMENT GERMANY

Tieffrequente Geräusche und Infraschall

Grundlagen, Normen, Messungen

Inhalt

- Definitionen
- Frequenzbereiche und Wellenlängen
- Ausbreitung Infraschall mit Hindernis
- A-, C- und G- Bewertungskurven
- Pegel- /Frequenzdarstellung dokumentierter Infraschalleffekte
- Symptome auf den Menschen
- Einordnung des Infraschalls
- Eigene Messungen
- Untersuchungen und Forschungen
- Fazit

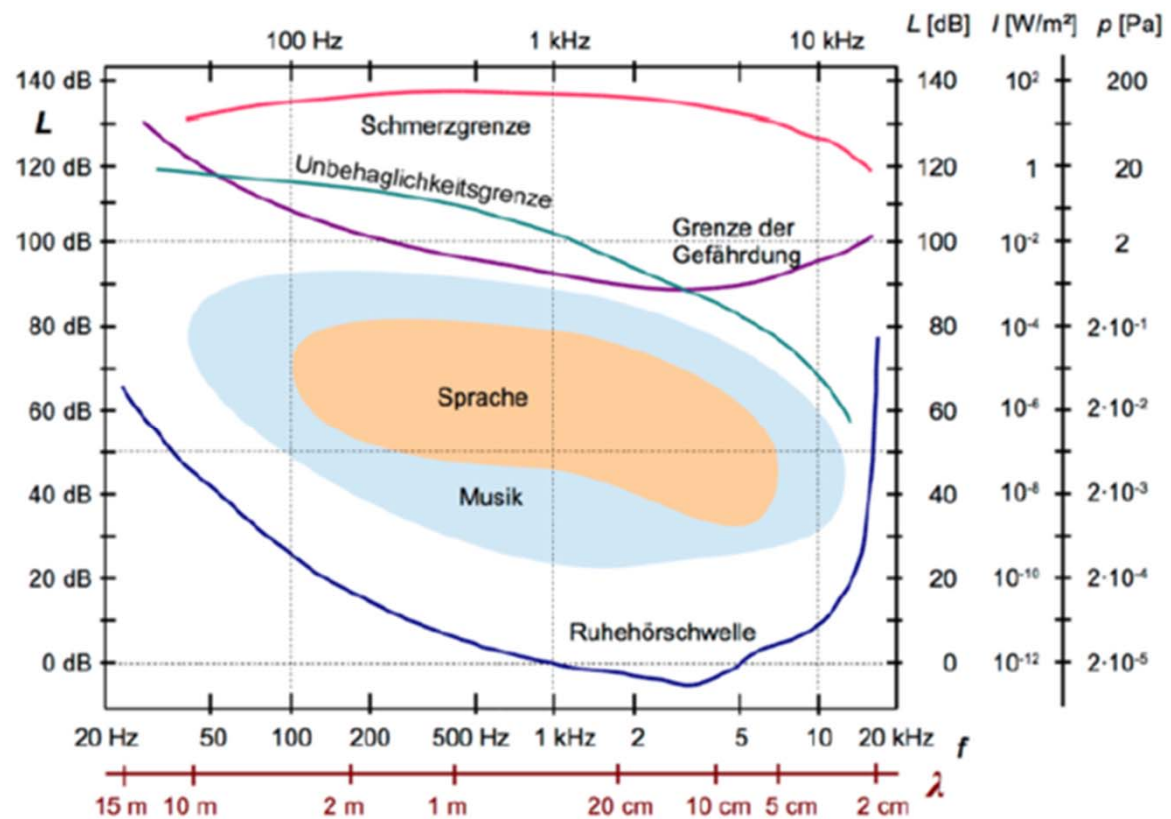
Definitionen

- **Tieffrequente Geräusche:** 8 Hz – 100 Hz (DIN 45680)
- **Infraschall:** Luftschallwellen im Frequenzbereich unterhalb des Hörempfindens eines Menschen 16 Hz bis 20 Hz

- Quellen:

- Maschinen/ Motoren
- Klimaanlage
- Flugzeuge

- Erdbeben
- Windverwirblungen
- Meeresbrandung
- Föhn

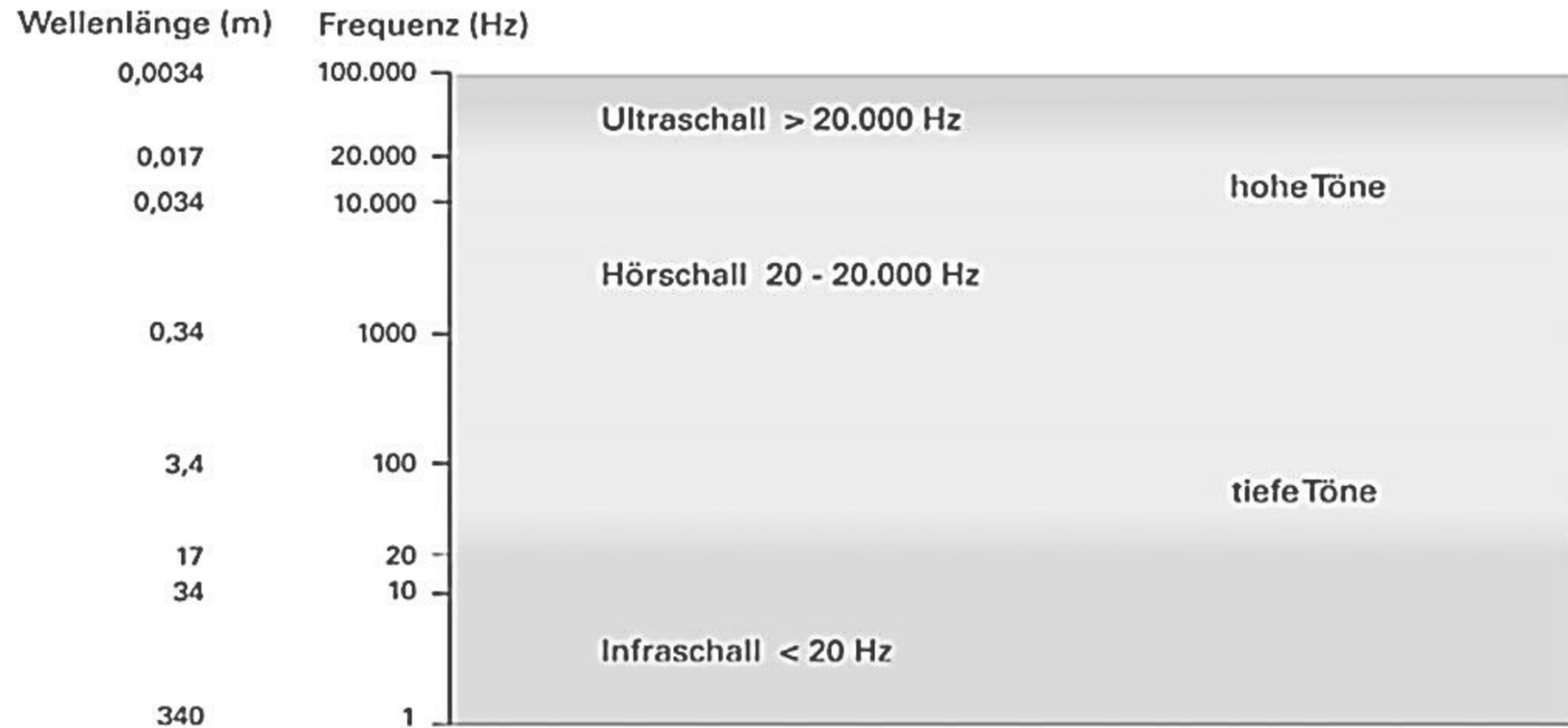


Definitionen

- Unter 20 Hz besteht keine ausgeprägte Hörempfindung mehr, weil die Tonhöhenempfindung fehlt, jedoch ist Infraschall nicht prinzipiell unhörbar.
- Überschwellige Immissionen werden überwiegend als Pulsationen und Vibrationen wahrgenommen.
- Die Vielzahl der möglichen Quellen von Infrascallemmissionen macht eine eindeutige Zuordnung zum Verursacher schwierig
- DIN 45680 (1997): Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen

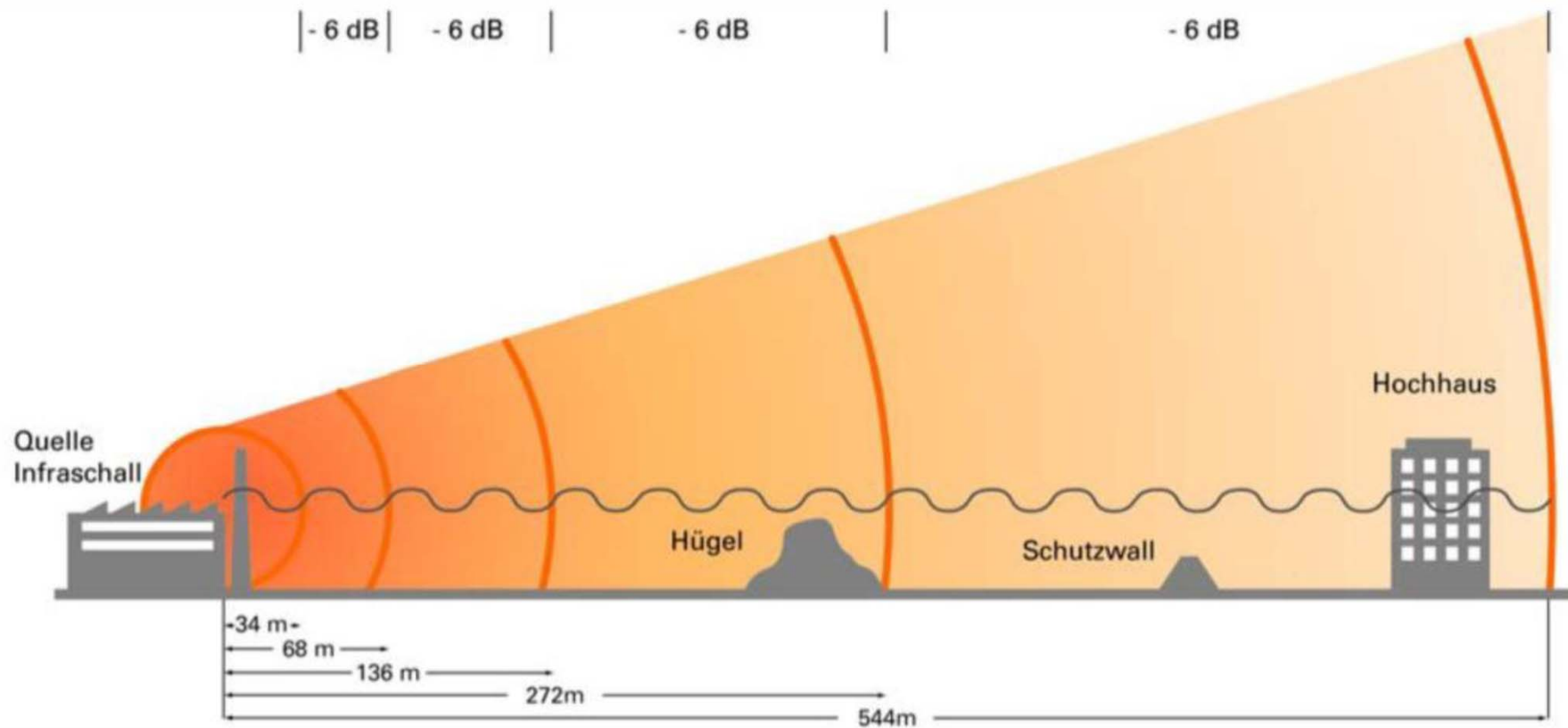
Frequenzbereiche und Wellenlängen

Die Wellenlänge von Infraschall liegt im Bereich von 17 m bis 340 m,



Quelle: Stroh, 2014

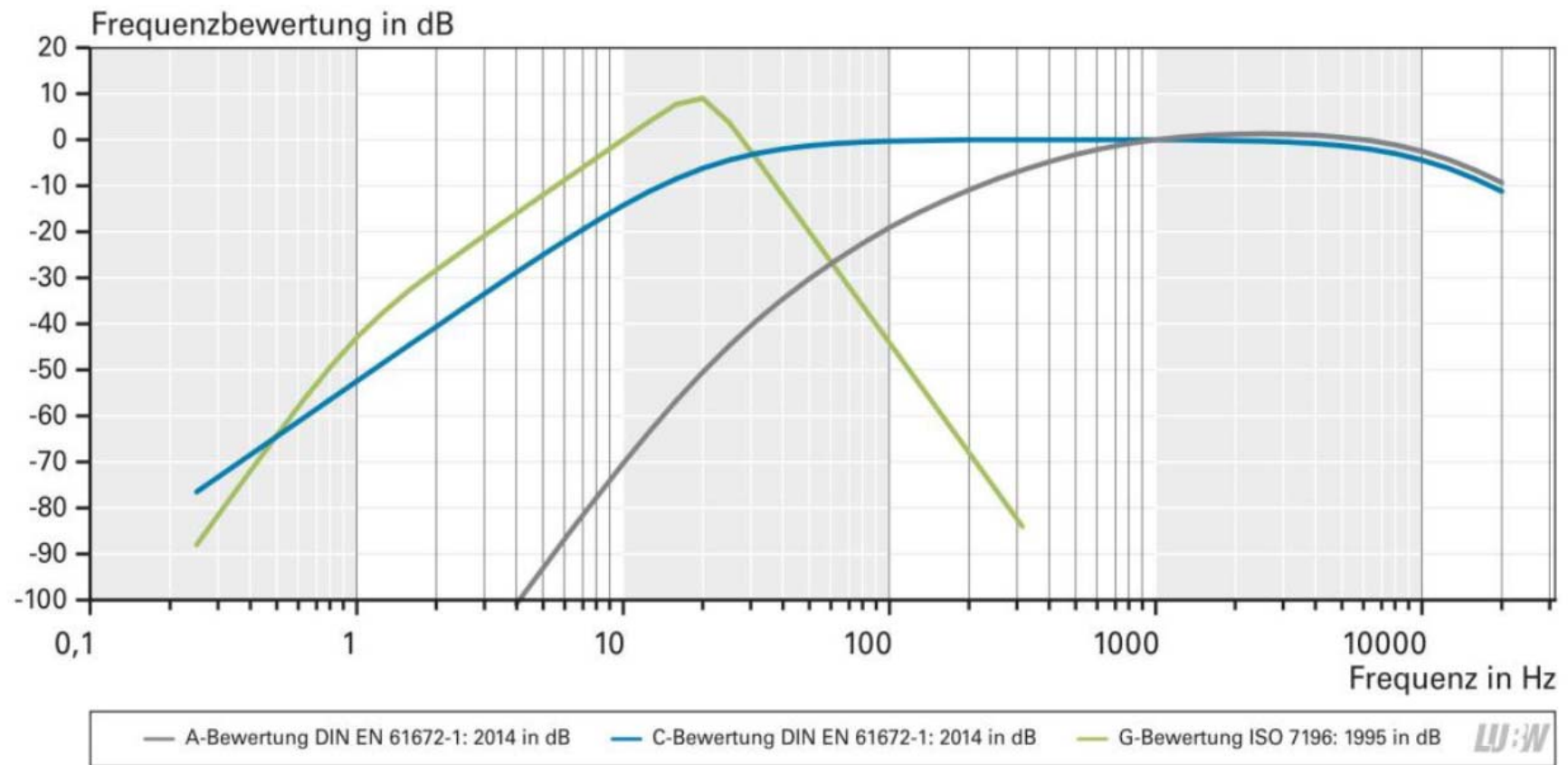
Ausbreitung Infrasschall mit Hindernis



Quelle: Stroh, 2014

A-, C- und G- Bewertungskurven

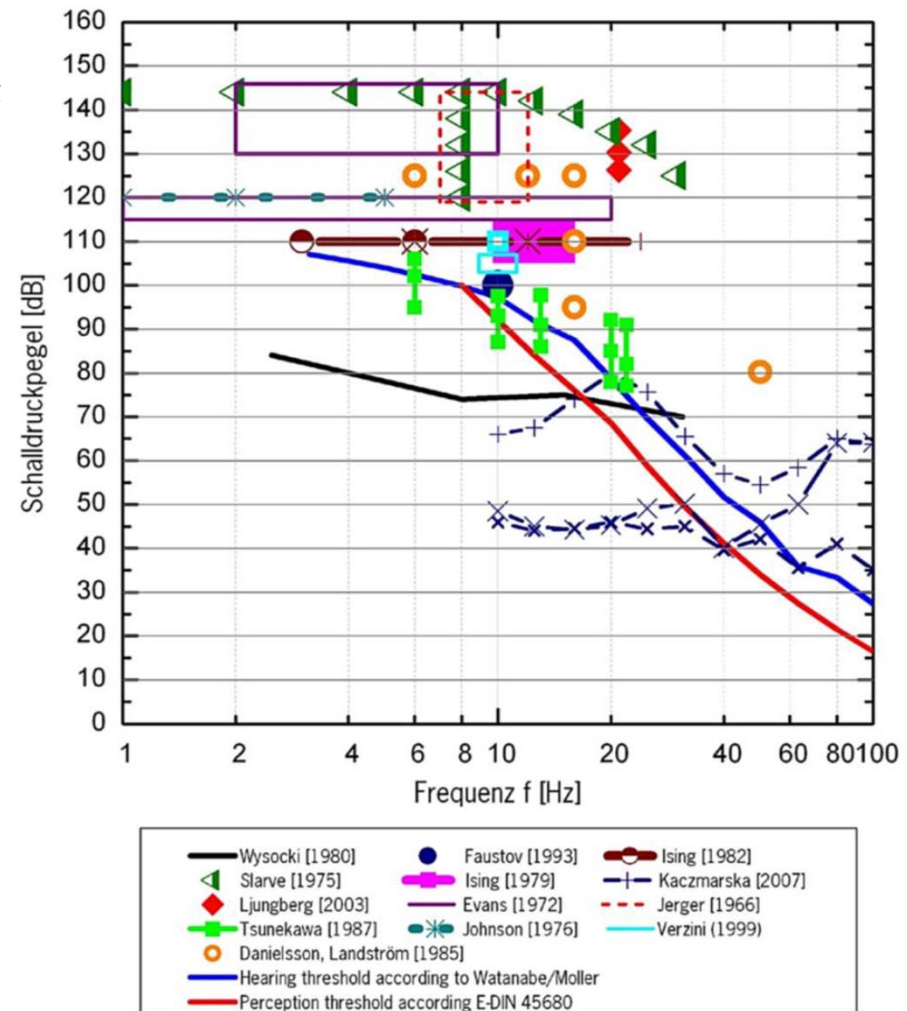
- Da das menschliche Ohr Töne mit gleichem Schalldruck in unterschiedlichen Tonhöhen unterschiedlich laut empfindet werden so genannte Frequenzbewertungskurven verwendet, die durch Filter mit empirisch angepassten Übertragungsfunktionen realisiert werden.
- A = gleicher Lautstärkepegel bei 20-40 phon, C bei 80-90 phon, G im Infraschallbereich (8 – 20 Hz)



Pegel-/ Frequenzdarstellung dokumentierter Infrasschalleffekte

Quelle: Umweltbundesamt, 2014, S. 63

Zusammenfassend schildert das Umweltbundesamt (2014), dass eine negative Auswirkung von Infrasschall ausschließlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle (engl. Perception threshold) bisher wissenschaftlich nicht belegt werden kann, obwohl diverse Forschungsbeiträge entsprechende Hypothesen liefern.

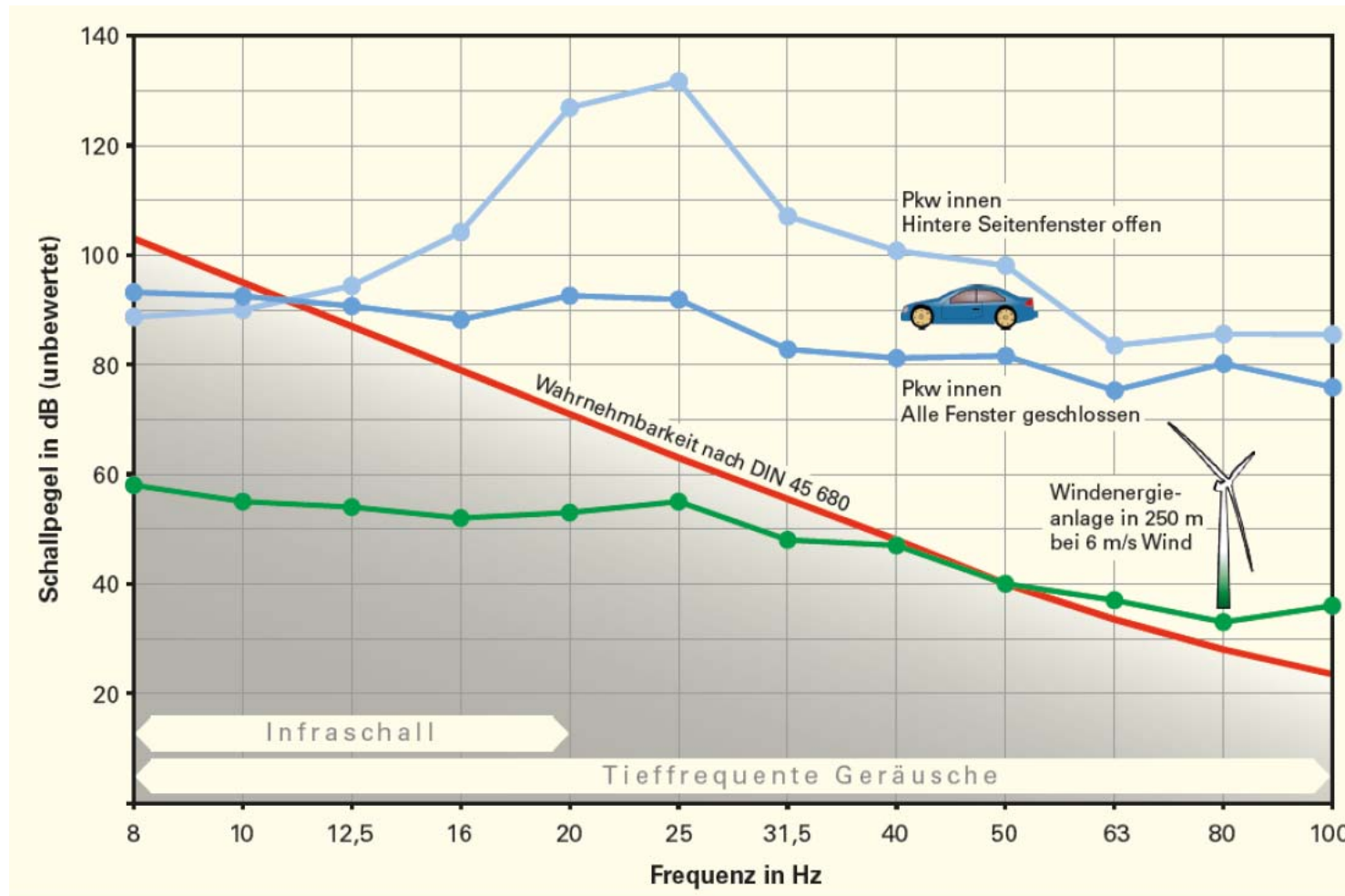


Symptome auf den Menschen

Es ist unstrittig, dass Infraschallimmissionen auf den Menschen unangenehm und gesundheitsschädlich einwirken können. Hierbei ist jedoch die **Intensität** und die **Einwirkzeit** zu berücksichtigen.

- Physiologische Schädigung bei Pegel von mehr als 170 dB
(Gehör, Gleichgewichtsorgane, Lunge und weitere innere Organe)
- Physiologische Einwirkung, psychologische Wahrnehmbarkeit
(Abnahme der Konzentrationsfähigkeit, Beklemmung, Unbehagen, Druck auf der Brust, Übelkeit, Reizbarkeit, Furcht, "Kalt den Rücken runterlaufen" sogar Traurigkeit)
- Physiologisch können auch erhöhte Blutdruckwerte gemessen werden.

Einordnung des Infraschalls



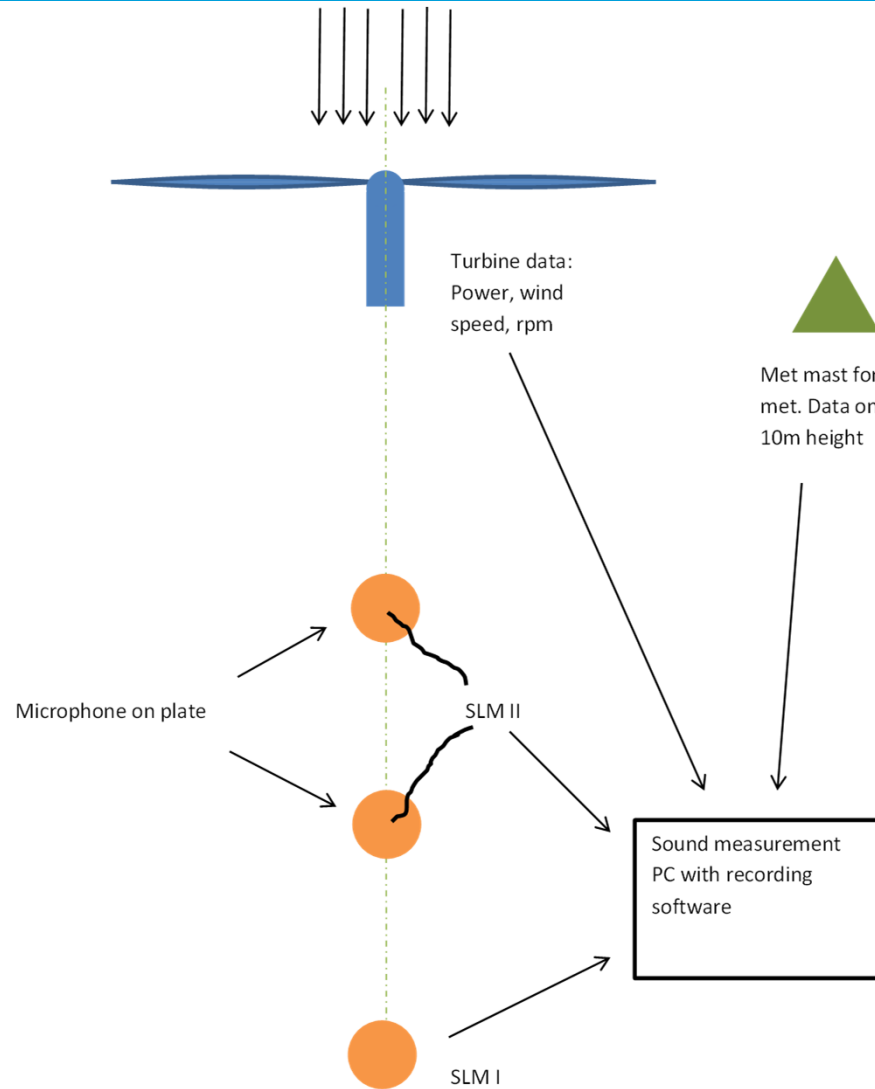
Quelle: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2013

Eigene Messungen

Aufgrund der zunehmenden Beschwerden wurden auch durch DNV GL Messungen durchgeführt. Diese Messungen wurden im Rahmen von Kundenaufträgen, Diplomarbeiten, Bachelor-Theses oder Master-Theses durchgeführt.

- Messung und Auswertung tieffrequenter Schallemission (Juli 2015)
- Vertiefende Untersuchung und Auswertung einer Infraschallmessung an einem Windpark (September 2015)
- Entwicklung eines Konzeptes zur messtechnischen Erfassung tieffrequenter Geräusche an Windenergieanlagen (Oktober 2016)

Infraschall: Eigene Messungen



Infraschall: Unterschiedliche Konzepte



Schwingungssensoren im Erdreich



Mikrofon im Erdreich

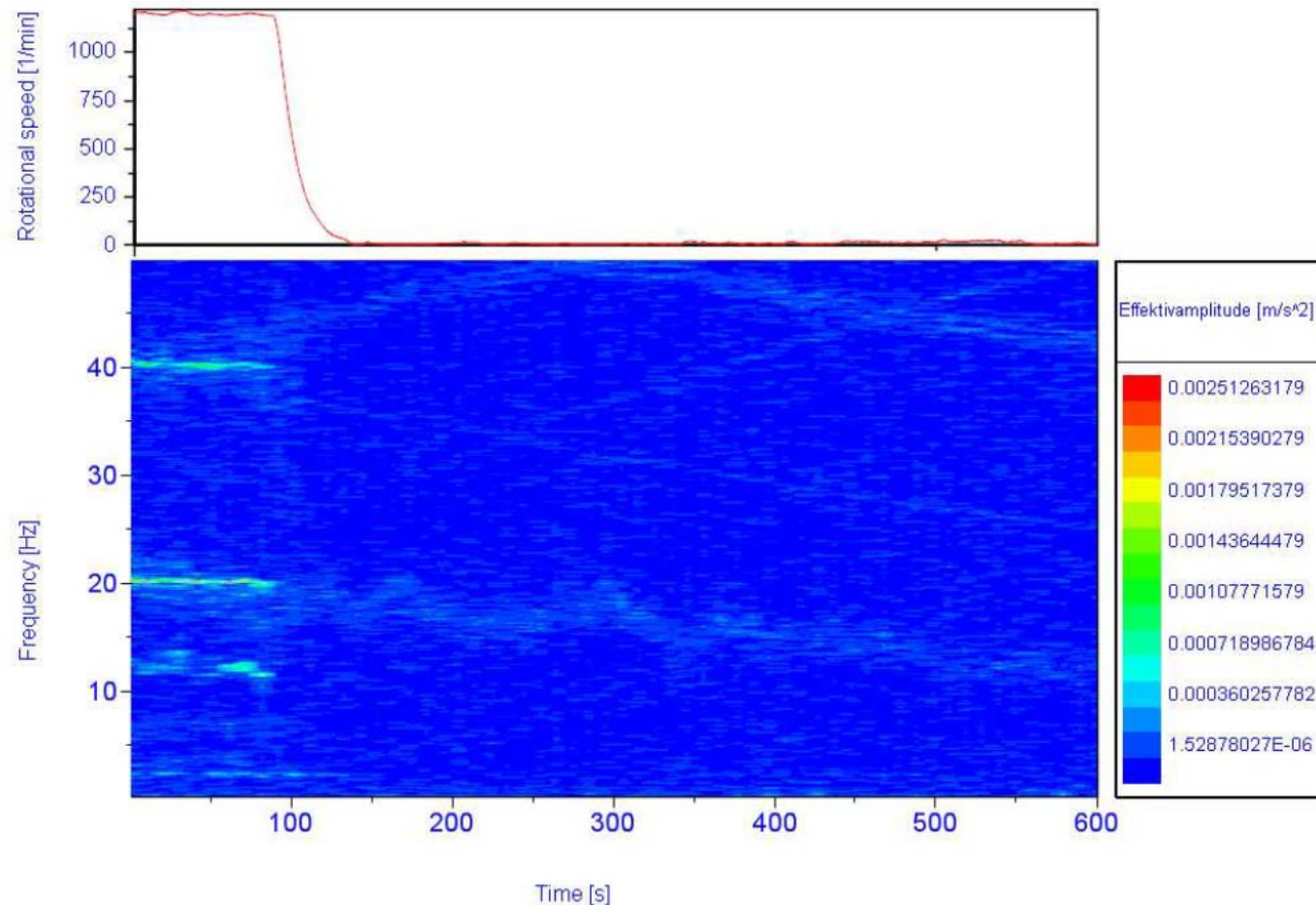


Entwickelte Windschirme



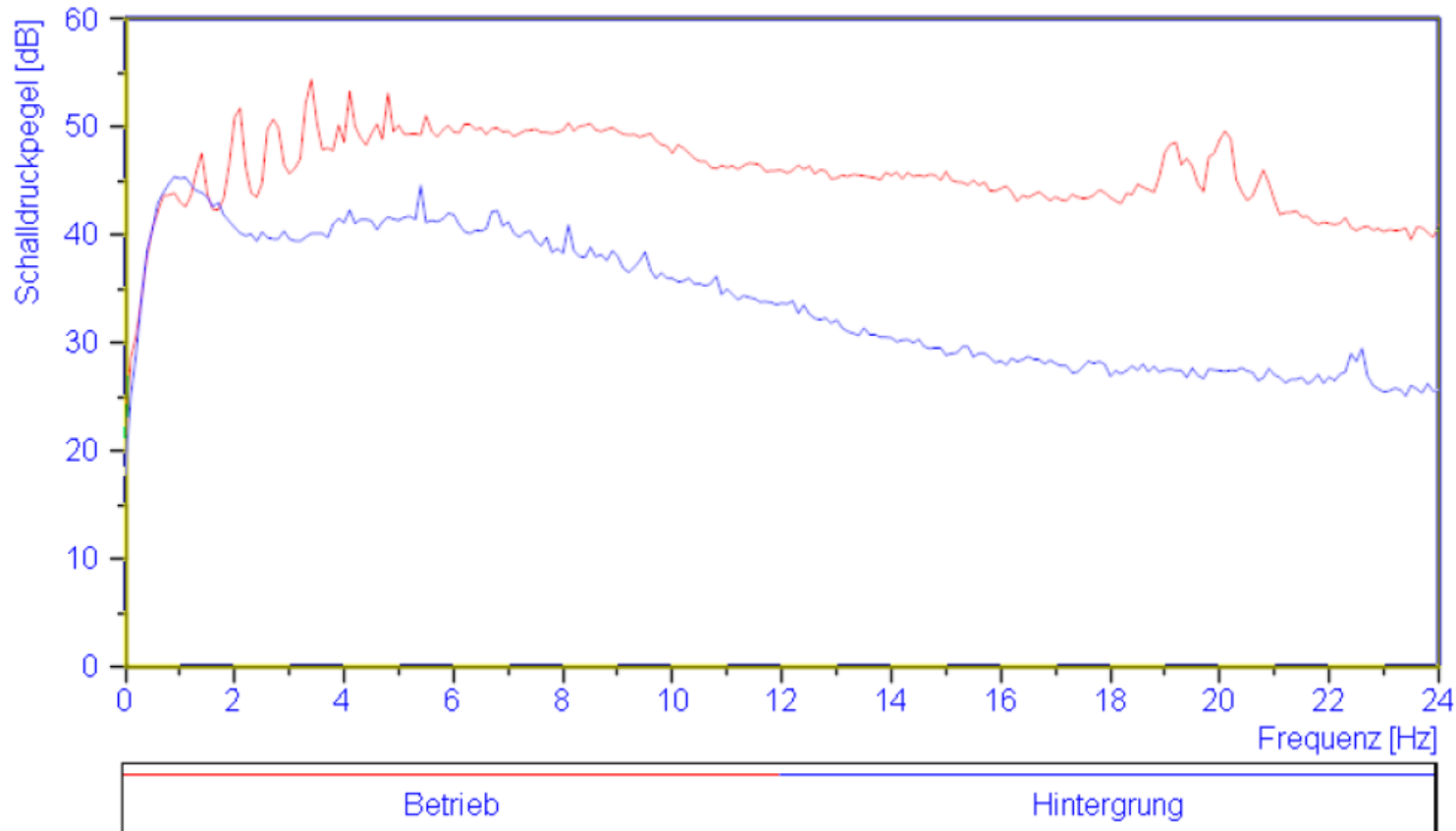
Auf dem Stativ (TA-Lärm)

Messwerte aus den Schwingungssensoren - FFT



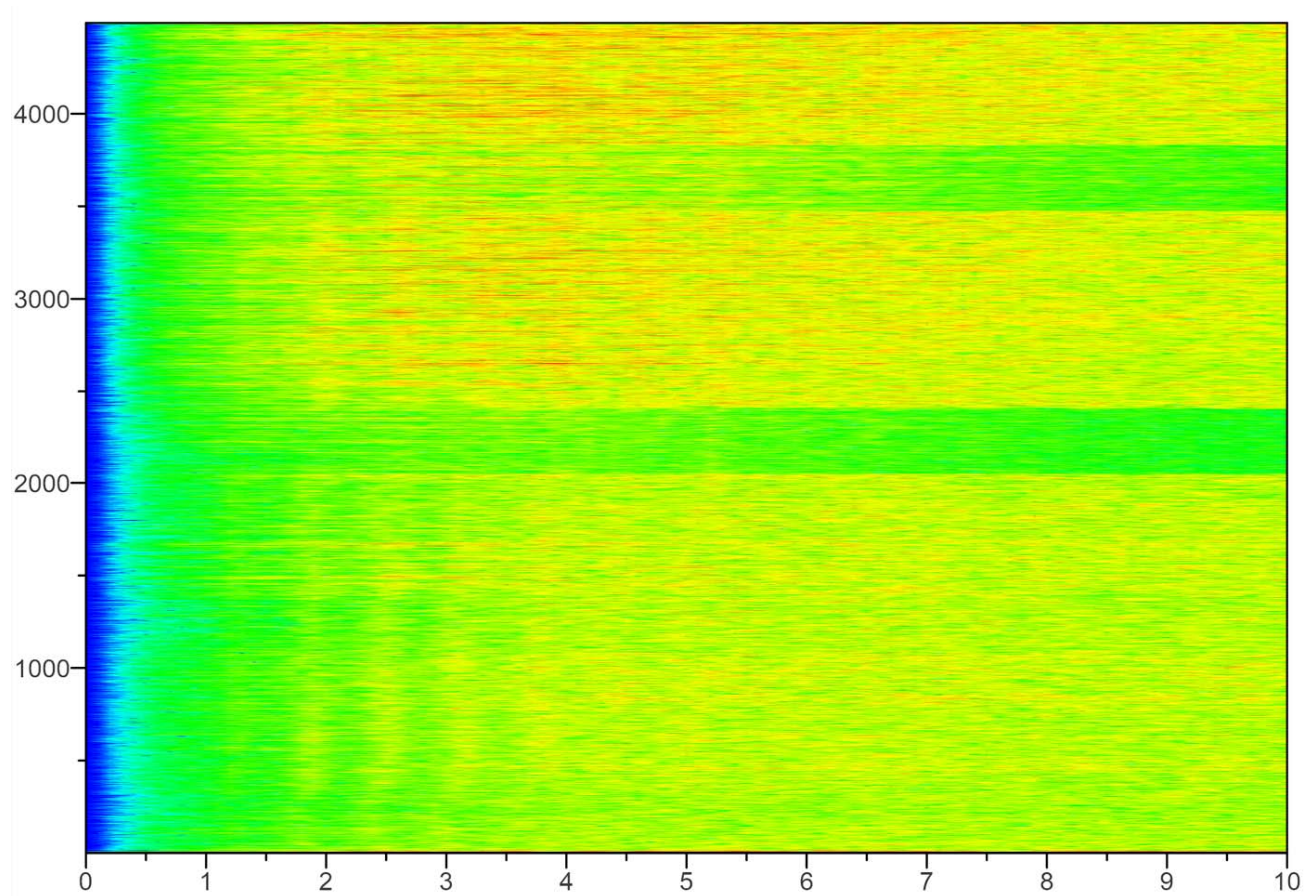
Zeitfrequenzanalysen und Drehzahl einer Abschaltung am 24.06.2015
in x-Richtung am Messpunkt 1 (ca. 70m zu WEA)

Messwerte – FFT - Mikrofon unter der Erde



Frequenzanalyse – gemessen bei ca. 12 m/s im Nahfeld der WEA

Messwerte – FFT - Mikrofon mit speziellen Windschirm



Frequenzanalyse – im Nahfeld der WEA

Schallemission – Terz - Mikrofon mit speziellen Windschirm

Anzahl der Messwerte / BIN
 times_{total} = 52
 times_{backg.} = 19

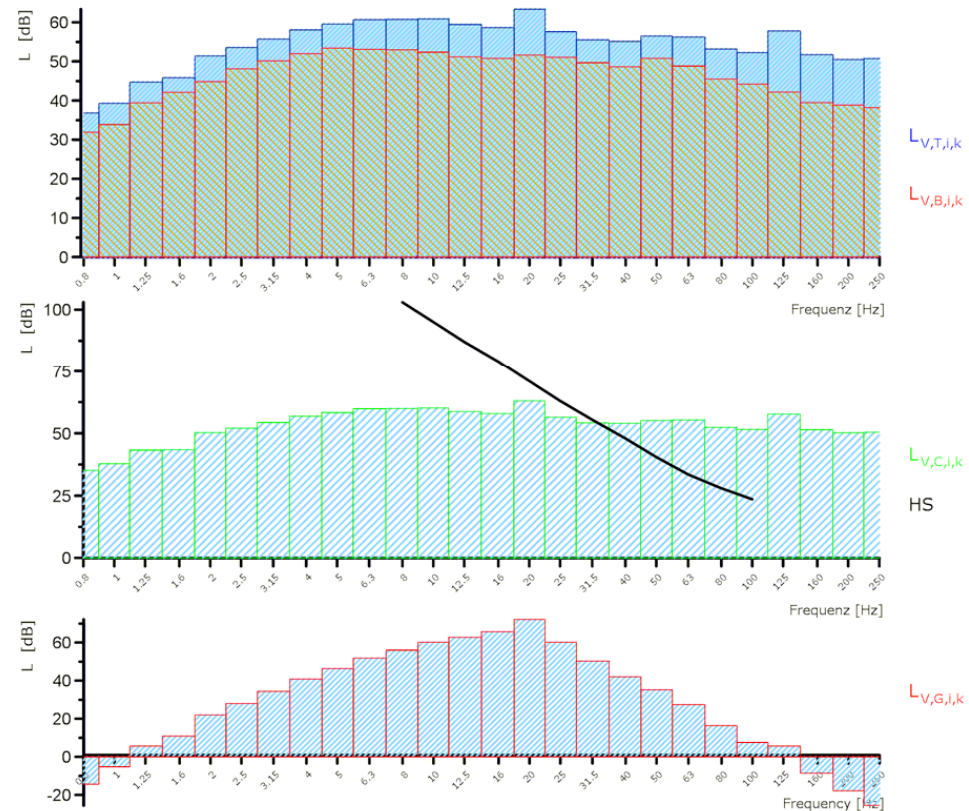
Referenzwindgeschwindigkeit:
 WS_{BIN} = 9.5 m/s ; WS_{BIN (10m)} = 6.5 m/s

Schalldruck (G):
 L_{V,G,k} = 73.8 dB

Schalldruck (Hörschwelle):
 L_{Ar,HS,k} = 35.9 dB

f [Hz]	L _{V,T,i,k} [dB]	s _{V,T,i,k} [dB]	L _{V,B,i,k} [dB]	s _{V,B,i,k} [dB]	L _{V,C,i,k} [dB]	L _{V,G,i,k} [dB]	L _{W,C,i,k} [dB]
0.8	36.8	0.7	31.9	1.4	35.1	-14.4	86.6
1	39.3	0.5	33.9	1.1	37.8	-5.2	89.3
1.25	44.7	0.4	39.4	0.8	43.2	5.7	94.7
1.6	45.9	0.4	42.1	0.6	43.5	10.9	95.0
2	51.4	0.3	44.8	0.6	50.3	22.0	101.8
2.5	53.6	0.3	48.1	0.5	52.1	28.0	103.6
3.15	55.7	0.2	50.2	0.5	54.3	34.3	105.8
4	58.1	0.2	52.0	0.5	56.8	40.8	108.3
5	59.5	0.2	53.4	0.5	58.3	46.3	109.8
6.3	60.7	0.2	53.1	0.4	59.8	51.8	111.3
8	60.7	0.2	53.0	0.4	59.9	55.9	111.4
10	60.8	0.2	52.4	0.4	60.2	60.2	111.7
12.5	59.4	0.1	51.2	0.4	58.7	62.7	110.2
16	58.7	0.1	50.8	0.3	57.9	65.6	109.4
20	63.3	0.1	51.6	0.3	63.0	72.0	114.5
25	57.6	0.1	51.1	0.4	56.5	60.2	108.0
31.5	55.5	0.1	49.7	0.4	54.2	50.2	105.7
40	55.1	0.1	48.7	0.4	54.0	42.0	105.5
50	56.5	0.1	50.8	0.4	55.1	35.1	106.6
63	56.2	0.1	48.8	0.4	55.4	27.4	106.9
80	53.2	0.1	45.5	0.4	52.3	16.3	103.8
100	52.3	0.1	44.2	0.4	51.5	7.5	103.0
125	57.8	0.1	42.2	0.4	57.7	5.7	109.2
160	51.7	0.1	39.5	0.4	51.5	-8.5	102.9
200	50.5	0.1	38.8	0.3	50.2	-17.8	101.7
250	50.7	0.1	38.2	0.3	50.5	-25.5	102.0

with OI Acoustic TUBS version: Rev. 15.1.1



Schallemissionsanalyse - Terzweise – im Nahfeld der WEA

Schallimmission – Terz - Mikrofon in 4m Höhe

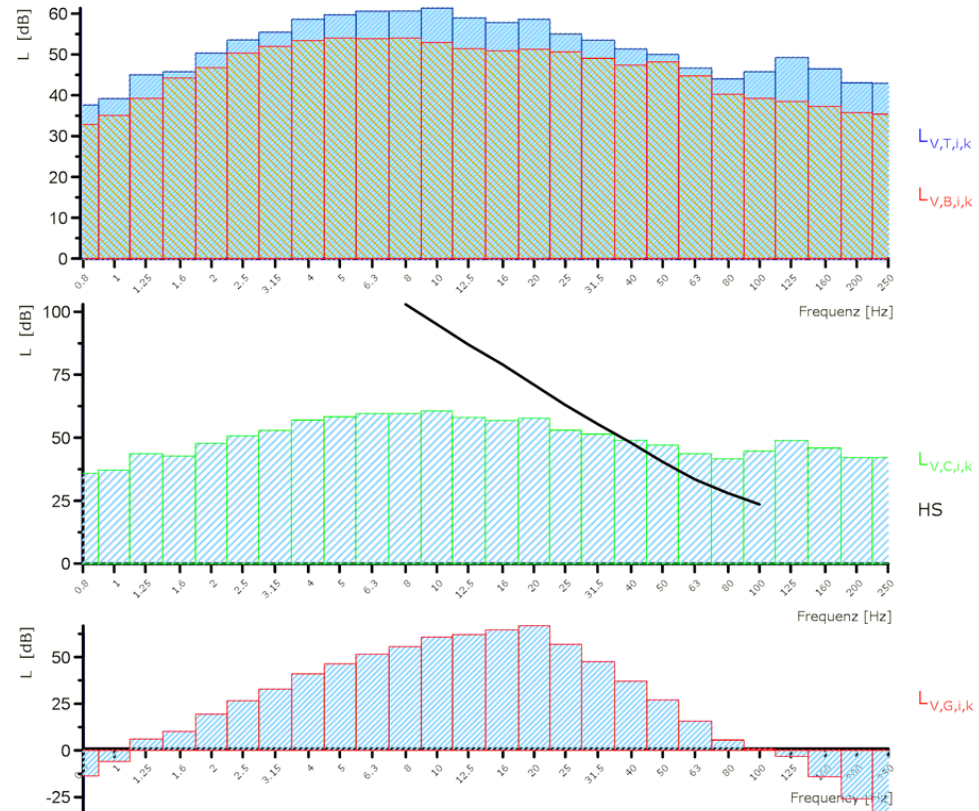
Anzahl der Messwerte / BIN
 times_{total} = 26
 times_{backg.} = 19

Referenzwindgeschwindigkeit:
 WS_{BIN} = 9.5 m/s ; WS_{BIN(10m)} = 6.5 m/s

Schalldruck (G):
 L_{V,G,k} = 70.5 dB

Schalldruck (Hörschwelle):
 L_{Ar,HS,k} = 27.6 dB

f [Hz]	L _{V,T,i,k} [dB]	s _{V,T,i,k} [dB]	L _{V,B,i,k} [dB]	s _{V,B,i,k} [dB]	L _{V,C,i,k} [dB]	L _{V,G,i,k} [dB]
0.8	37.6	1.2	32.9	1.3	35.8	-13.7
1	39.2	1.2	35.1	1.2	37.0	-6.0
1.25	45.0	0.8	39.3	0.9	43.7	6.2
1.6	45.8	0.7	44.3	1.0	[42.8]	10.2
2	50.3	0.6	46.8	0.7	47.7	19.4
2.5	53.5	0.5	50.3	1.0	50.7	26.6
3.15	55.5	0.4	51.9	0.7	52.9	32.9
4	58.6	0.3	53.4	0.7	57.0	41.0
5	59.7	0.3	54.0	0.5	58.3	46.3
6.3	60.6	0.2	53.8	0.4	59.6	51.6
8	60.6	0.2	54.0	0.5	59.6	55.6
10	61.3	0.2	52.9	0.5	60.6	60.6
12.5	58.9	0.2	51.4	0.4	58.0	62.0
16	57.8	0.2	50.9	0.4	56.8	64.5
20	58.6	0.2	51.3	0.3	57.7	66.7
25	55.0	0.1	50.7	0.6	53.0	56.7
31.5	53.5	0.1	49.1	0.5	51.5	47.5
40	51.3	0.1	47.4	0.5	49.0	37.0
50	50.0	0.2	48.2	0.6	[47.0]	27.0
63	46.6	0.1	44.8	0.6	[43.6]	15.6
80	44.0	0.2	40.2	0.6	41.6	5.6
100	45.8	0.2	39.2	0.6	44.7	0.7
125	49.2	0.2	38.5	0.6	48.8	-3.2
160	46.5	0.1	37.3	0.5	45.9	-14.1
200	43.0	0.1	35.8	0.5	42.1	-25.9
250	42.9	0.1	35.4	0.5	42.1	-33.9



Schallimmissionsanalyse - Terzweise – ISO 45 dB(A)

Untersuchungen im Auftrag des MELUND (S-H)

Schleswig-Holstein

- In Schleswig-Holstein beauftragte das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein, das akkreditierte Messinstitut **GL Garrad Hassan Deutschland GmbH**.
- Dabei wurden 2017 in 12 Messkampagnen drei Windparks mit Vestas V112, Siemens SWT 3.6-120 (-107) und Senvion 3.0M122 bei unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen vermessen.
- Die gemessenen und analysierten tieffrequenten Anteile im immitierten Geräusch des gemessenen kompletten Windparks wurden mittels geeigneter Mikrofone der Klasse 1 (0,5 Hz bis 20 kHz) in einer Höhe von 4 m gemessen. Zur Messung kamen sekundäre Windschirme zum Einsatz, welche in dem relevanten tieffrequenten Bereich kein Einfluss auf das Geräusch haben.
- Die Berechnung des immitierten tieffrequenten Anteils wurde in Anlehnung der DIN EN 61400-11 /7/ über Terzen und der Windgeschwindigkeit durchgeführt. Die Windgeschwindigkeitsklassen beziehen sich auf die Nabenhöhe der geprüften WEA.

Untersuchungen im Auftrag des MELUND (S-H)

Schleswig-Holstein

- Es wurde ein Frequenzbereich von 0,8 Hz bis zu 250 Hz unter der Verwendung von Terzen bezüglich des Schalldruckes untersucht. Im Regelfall waren die sehr tiefen Frequenzen vom Umgebungsgeräusch geprägt, so dass oftmals eine Bestimmung der Immission im unteren tieffrequenten Bereich nicht möglich war. Einzelne wenige Messungen konnten die immitierten Terzen bis in den unteren tiefen Frequenzbereich bestimmen. Diese sind aufgrund eines sehr geringen Störabstandes zum Umgebungsgeräusch mit einer erhöhten Unsicherheit zu betrachten.
- Weiterhin wurden auch zwei Messungen im Innenraum durchgeführt.
- Es konnte an keinem Messpunkt eine relevante tieffrequente Beeinflussung im Sinne der DIN 45680 festgestellt werden.
- Insbesondere im sehr niederfrequenten Frequenzbereich 0,8 Hz bis 10 Hz (Infraschall) lagen die festgestellten Schalldruckpegel weit unterhalb der Hörschwelle gemäß DIN 45680.

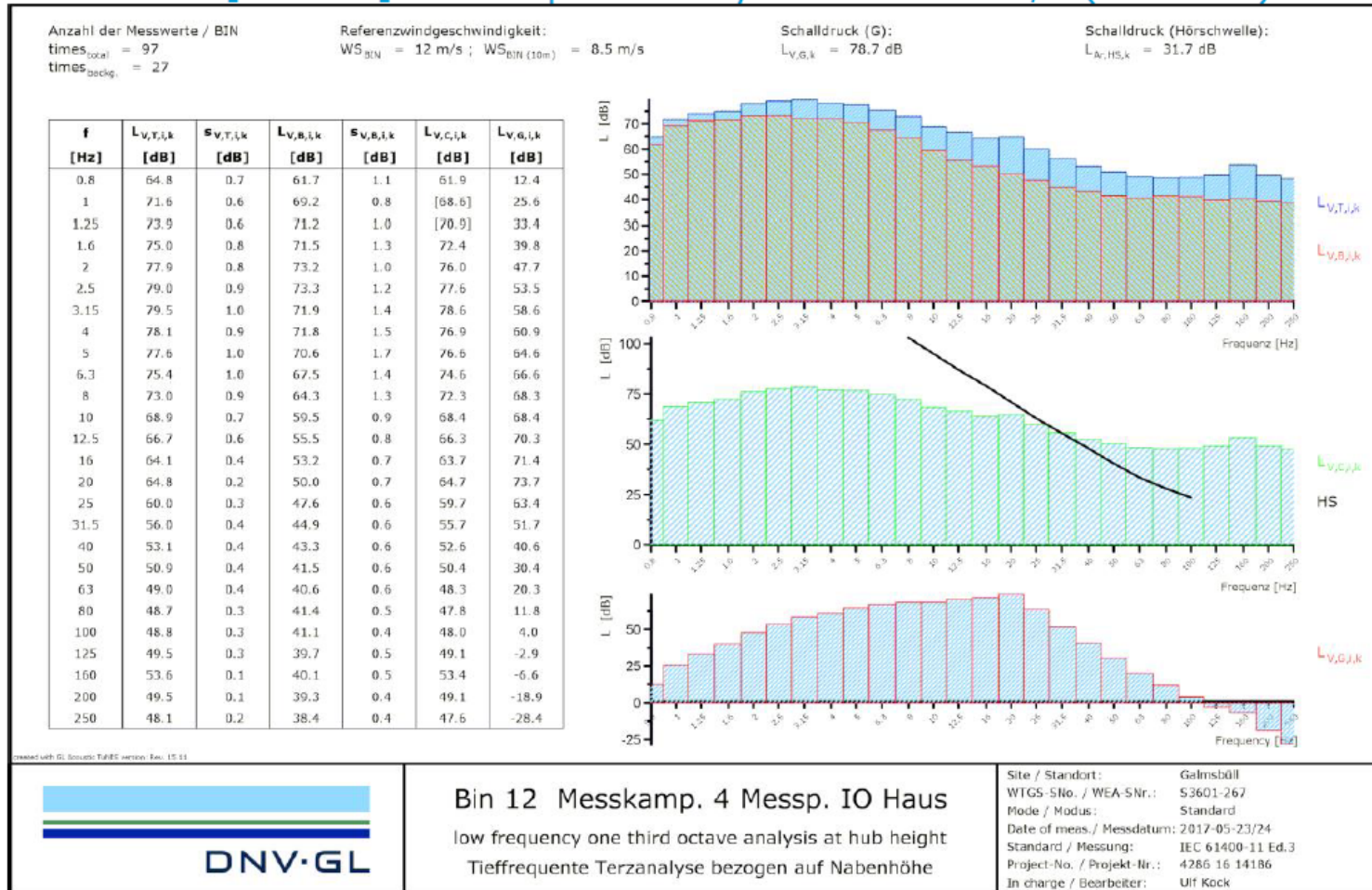
Untersuchungen im Auftrag des MELUND (S-H)

Schleswig-Holstein

- Unter Berücksichtigung aller Ergebnisse zu den tieffrequenten Anteilen konnte an keinem der Immissionsmesspunkte ein Ansatz für relevante tieffrequente Immission durch die Windenergieanlagen festgestellt werden.
- Die Relevanz bezieht sich auf die zur Überwachung von Industrieanlagen geltende Norm „DIN 45680“ inklusive des Beiblattes.

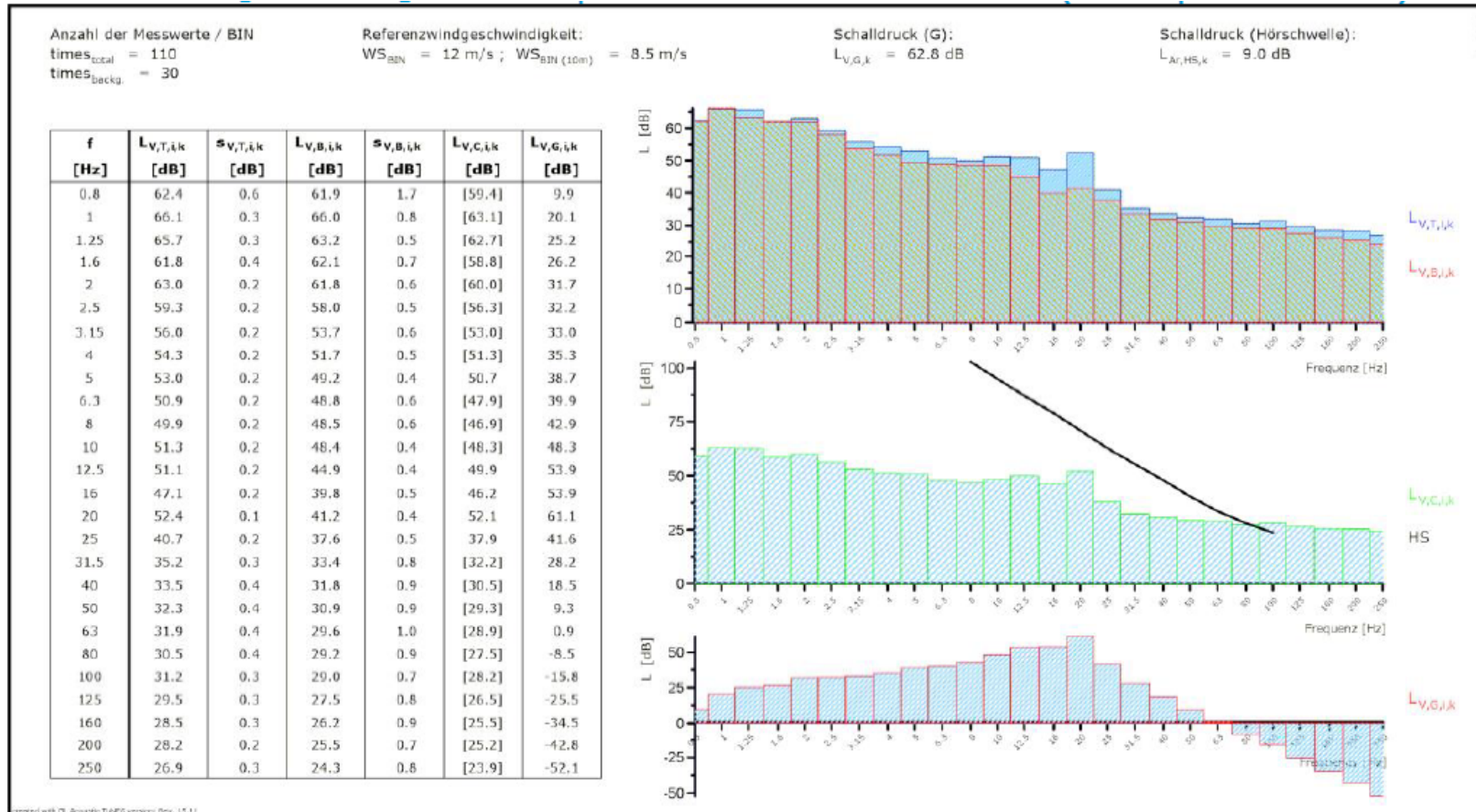
WG V_{NH} [m/s]	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5
WG V _{10m} [m/s]	6,1	6,5	6,8	7,2	7,5	7,8	8,2	8,5
Immissionspegel L _{Aeq,k} [dB]	40,8	41,1	42,8	44,5	45,1	45,8	45,7	45,1
Immissionspegel L _{Geq,k} [dB]	65,6	66,1	71,3	76,0	74,9	76,6	74,4	76,5
Immissionspegel L _{Ar,k} [dB]	19,2	19,3	23,2	27,5	27,3	27,7	26,9	28,1
Messdaten – Betriebsgeräusch (10s)	53	9	2	2	7	17	14	22
Messdaten – Fremdgeräusch (10s)	41	43	35	30	27	31	10	10

Schallimmission – Terz – am IO



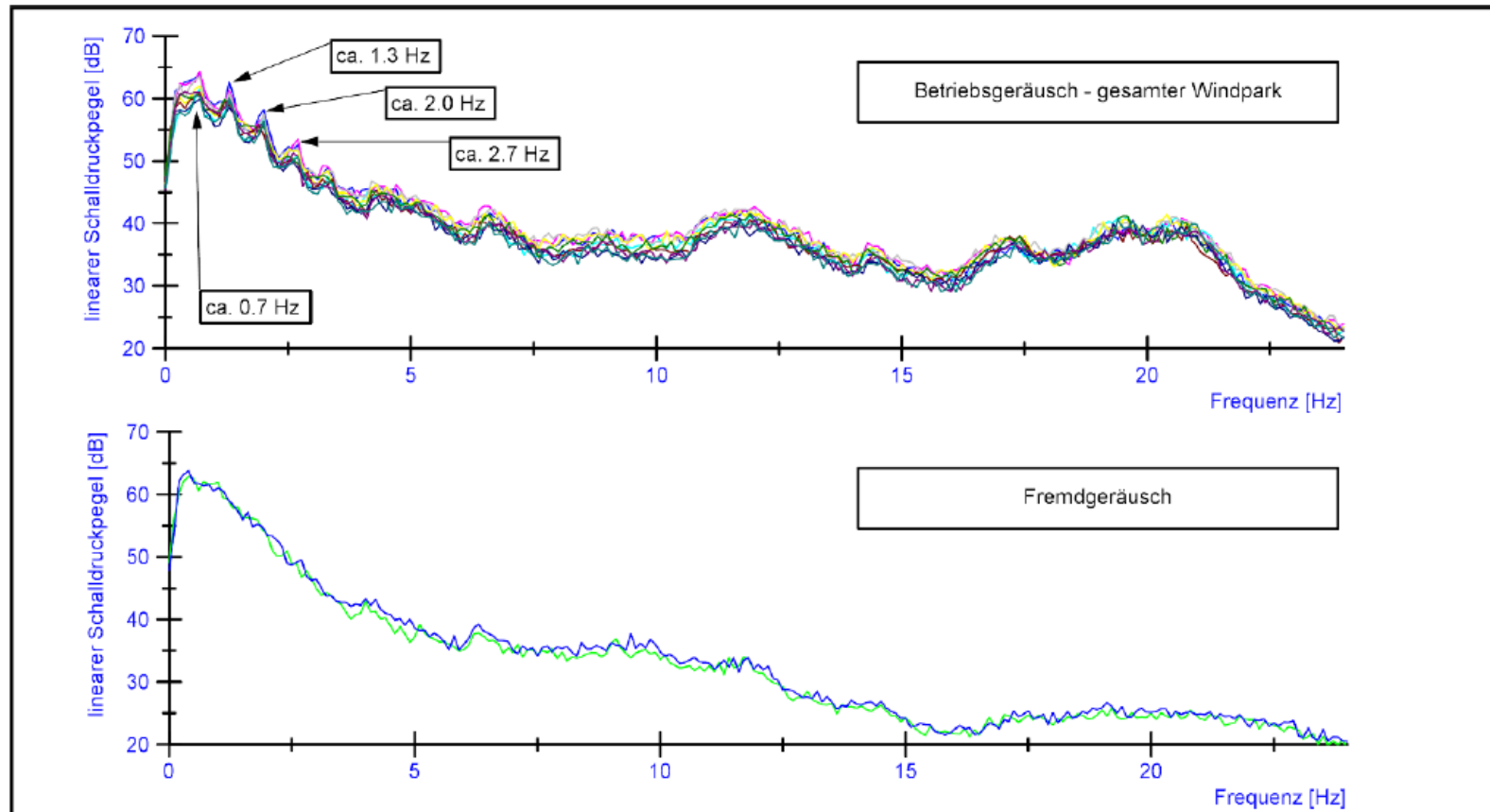
Schallimmissionsanalyse - Terzweise – am IO

Schallimmission – Terz – Im Raum



Schallimmissionsanalyse - Terzweise – Im Haus

Schallimmission – FFT – Im Raum



Schallimmissionsanalyse - schmalbandig – Im Haus

Mecklenburg-Vorpommern

- In Mecklenburg-Vorpommern beauftragte das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) die Firma Kötter Consulting Engineers, Emissions- und Immissionsmessungen an einem Windpark durchzuführen. Dabei wurde während 2005 und 2009 ein Windpark mit 14 Anlagen vermessen.
- Zusammengefasst kamen die Autoren zu der Schlussfolgerung, dass sich während der Emissionsmessung die **Betriebszustände im Infrschallbereich bis 10 Hz nicht voneinander unterscheiden lassen** und zudem die Streuung in diesem Frequenzbereich sehr hoch ist. Im tieffrequenten Bereich hingegen lassen sich Betriebszustände sehr gut feststellen, wohingegen am Immissionsort diese nicht vom Hintergrundgeräusch zu unterscheiden sind. Die Hörschwellenkurve nach DIN 45680:1997 wird im Infrschallbereich nicht überschritten (vgl. *Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern*, 2010).

Baden-Württemberg

- In Baden-Württemberg beauftragte das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) für das Messprojekt über tieffrequente Geräusch an WEA und anderen emittierenden Quellen. Dabei unterstützte das Messinstitut Wölfel Beratende Ingenieure GmbH zwischen 2013 und 2016 die Planung und Arbeiten.
- Das LUBW kam zu dem Fazit hinsichtlich der Messungen an WEA, dass der von den Anlagen ausgehende **Infraschall im Nahbereich prinzipiell gut gemessen werden kann, jedoch ab 700 m Entfernung zur WEA lässt sich das Einschalten nicht nennenswert von Infraschall-Pegel unterscheiden.** Demnach wurde der Infraschall im Wesentlichen vom Wind erzeugt. Außerdem wurde der Wind als Ursache für die hohe Streuung der Werte verantwortlich gemacht, die besonders unter 20 Hz stark schwankende Geräuschanteile hervorriefen (vgl. *U. Ratzel u. a., 2016*).

Die höchsten Pegel im Infraschallbereich wurden im Innenraum eines mit 130 km/h fahrenden Mittelklasse Pkw gemessen (vgl. *U. Ratzel u. a., 2016, S. 54*).

Untersuchungen - Bayern

Bayern

- In Bayern führte das Landesamt für Umwelt (LfU) in den Jahren 1998 bis 1999 eine immissionsseitige Langzeitmessung an einer 1-MW WEA des Typs Nordex N54 in Kempten durch.
- Die Studie kommt zu dem Schluss, dass die im Infrasschallbereich liegenden Immissionen weit unter der Wahrnehmungsschwelle nach DIN 45680:1997 liegen und daher nicht zu Belästigungen führen können. **Zudem wird festgestellt, dass der durch den Wind selbst verursachte Infrasschall wesentlich höher ist, als der durch die WEA** (vgl. *Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2000*).

Untersuchungen - Dänemark

- **Dänemark**
- In Dänemark wurde im Jahr 2010 eine Studie veröffentlicht, in der die Daten von 48 WEA aus unterschiedlichen Leistungsklassen ausgewertet und analysiert wurden. Dabei wurde Delta, eine Beratungsgesellschaft und offizielles Akustiklabor der dänischen Umweltagentur, zur Messung und Aufzeichnung der tieffrequenten Geräusche großer WEA beauftragt.
- Delta kommt zu dem Ergebnis, dass **WEA Infraschall emittieren, jedoch diese Pegel, verglichen mit der Empfindlichkeit des Menschen, nicht wahrnehmbar sind**. Daher wird der Infraschall von Anlagen derselben Konstruktion und Größe nicht als Problem angesehen. Außerdem kann der Unterschied der tieffrequenten Geräusche zwischen großen und kleinen WEA als Frequenzverschiebung in den niederfrequenten Bereich von etwa einem Terzband ausgedrückt werden (vgl. *Møller/Sejer Pedersen, 2010*).

Fazit - Infraschall durch Windenergieanlagen

- Infraschallimmissionen sind existent und messtechnisch eindeutig nachweisbar (bezogen auf Schalldruckpegel und Frequenzzusammensetzung)
- Von WEA stammende, immitierte Schalldruckpegel im unteren Frequenzbereich (<20Hz) liegen deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle (DIN 45680).
- Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Infraschall von Windenergieanlagen traten in den untersuchten Fällen nicht auf.
- Die komplexen Wirkungszusammenhänge zwischen psychischen und physiologischen Faktoren erschweren die Untersuchung möglicher lärmbedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen



Vielen Dank für Ihr Interesse!

RENEWABLES MEASUREMENT GERMANY

Axel Sachse, Dipl.-Ing. (FH)

+49 4856 901-38

axel.sachse@dnvgl.com

Kaiser-Wilhelm-Koog