



Berechnung zu FAQ 1

„Wieviel Schallenergie erzeugt eine Windenergieanlage“

Berechnung der unbewerteten Schalleistung einer Windenergieanlage im Bereich des Infraschalls und des Hörschalls

1 Messung

Die LUBW hat im Zeitraum 2013 bis 2016 Infraschallmessungen an mehreren Windenergieanlagen durchgeführt.

Diese Berechnung beruht auf einer Infraschallmessung an einer 1,8 MW-Windenergieanlage (Enercon E-66) in 120 m Abstand zum Turm bei einer Windgeschwindigkeit von 9 m/s in zehn Metern Höhe über Grund.

Der Messbericht „Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen“ ist hier zum Download verfügbar:

<https://pd.lubw.de/84558>



Die zur Berechnung notwendigen linearen Terzpegel des Gesamtgeräuschs und des Hintergrundgeräuschs sind im Messbericht in der Abbildung 4.3-3 auf Seite 26 grafisch dargestellt:

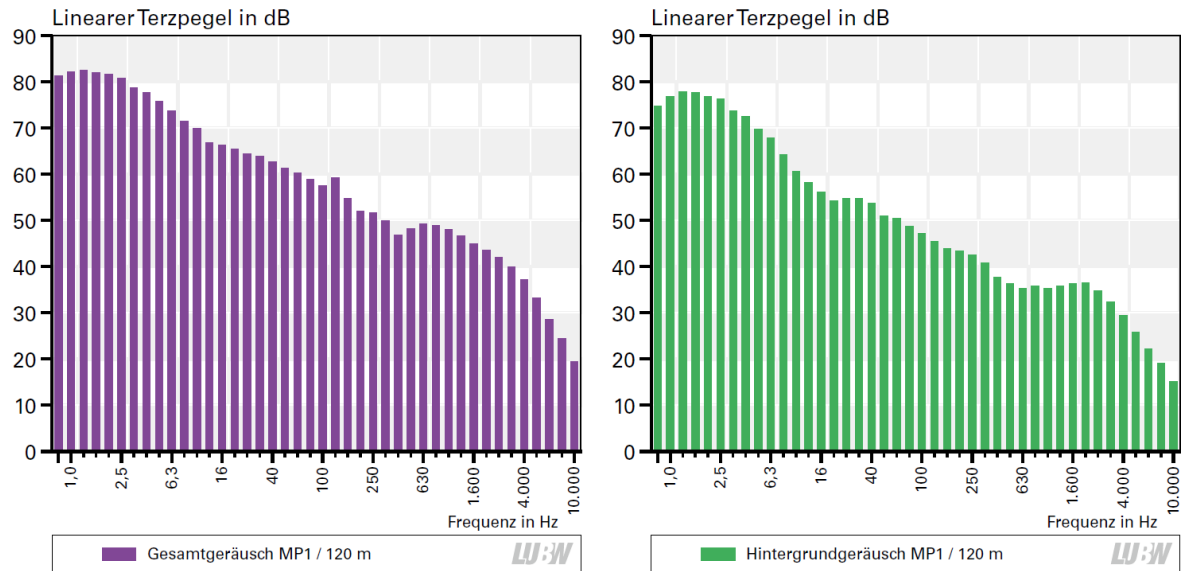


Abbildung 4.3-3: Terzspektren von Gesamtgeräusch und Hintergrundgeräusch im Nahbereich der Windenergieanlage WEA 2

2 Berechnung des Summenschallpegels

Berechnung des Anlagengeräuschs

$$L_{\text{Anlagengeräusch}} = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{L_{\text{Gesamtgeräusch}}}{10}} - 10^{\frac{L_{\text{Fremdgeräusch}}}{10}} \right) \text{ dB}$$

Das Anlagengeräusch ergibt sich aus der energetischen Differenz von Gesamtgeräusch und Fremd- bzw. Hintergrundgeräusch.

Berechnung des Summenschallpegels

$$L_{\text{Summe}} = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \text{ dB}$$

Zur Berechnung des Summenschallpegels werden die einzelnen Terzpegel zuerst in eine Energiegröße umgewandelt, aufaddiert und dann wieder in Pegeldarstellung umgerechnet.

Frequenz	Hz	Gesamt- geräusch dB(Z)	Fremd- geräusch dB(Z)	Anlagen- geräusch dB(Z)		Gesamt- geräusch pW/m²	Fremd- geräusch pW/m²	Anlagen- geräusch pW/m²
	0,8	81,3	74,8	80,3		136.272.868	30.240.283	106.032.585
	1	82,3	76,9	80,8		169.512.323	48.978.645	120.533.677
	1,25	82,5	78,0	80,7		179.764.712	62.569.932	117.194.780
	1,6	82,1	77,7	80,1		160.856.557	58.504.366	102.352.191
	2	81,8	76,9	80,1		149.988.534	48.516.016	101.472.519
	2,5	80,9	76,3	79,0		122.682.882	42.869.477	79.813.405
	3,15	78,7	73,8	77,1		74.779.979	24.029.139	50.750.840
	4	77,7	72,6	76,1		59.200.170	18.237.476	40.962.693
	5	75,9	69,8	74,6		38.537.872	9.529.128	29.008.744
	6,3	73,8	68,0	72,5		24.033.395	6.289.370	17.744.025
	8	71,6	64,3	70,7		14.459.519	2.692.321	11.767.198
	10	69,9	60,6	69,4		9.809.206	1.146.462	8.662.744
	12,5	66,8	58,2	66,2		4.802.808	662.713	4.140.095
	16	66,3	56,2	65,8		4.246.864	415.723	3.831.140
	20	65,4	54,3	65,1		3.500.001	272.153	3.227.848
	25	64,4	54,9	63,9		2.777.636	307.218	2.470.418
	31,5	64,0	54,9	63,4		2.497.790	306.456	2.191.334
	40	62,7	53,8	62,1		1.877.659	240.546	1.637.112
	50	61,4	51,0	61,0		1.390.625	125.509	1.265.116
	63	60,3	50,4	59,9		1.079.819	110.497	969.322
	80	59,0	48,8	58,6		793.516	76.499	717.017
	100	57,6	47,2	57,2		578.526	52.515	526.011
	125	59,3	45,5	59,1		858.126	35.891	822.236
	160	54,9	43,9	54,5		307.967	24.766	283.202
	200	52,1	43,4	51,5		163.217	21.664	141.553
	250	51,7	42,5	51,2		149.496	17.946	131.550
	315	50,0	40,8	49,5		100.072	11.917	88.155
	400	47,0	37,7	46,4		49.606	5.857	43.749
	500	48,2	36,3	47,9		66.253	4.251	62.002
	630	49,3	35,3	49,1		84.184	3.405	80.779
	800	49,0	35,8	48,8		78.955	3.775	75.179
	1000	48,1	35,3	47,9		64.795	3.371	61.425
	1250	46,7	35,9	46,4		47.203	3.868	43.335
	1600	44,9	36,4	44,3		31.038	4.340	26.698
	2000	43,6	36,5	42,7		23.096	4.425	18.671
	2500	42,0	34,9	41,1		15.992	3.077	12.915
	3150	40,0	32,5	39,2		10.091	1.759	8.332
	4000	37,2	29,4	36,4		5.244	871	4.374
	5000	33,2	25,9	32,3		2.089	391	1.699
	6300	28,5	22,1	27,4		715	164	552
	8000	24,4	19,2	22,9		278	83	195
	10000	19,5	15,2	17,4		88	33	56
Summenpegel Infraschall unbewertet (Leq,z)					Summe der unbewerteten Schalleistungen (Infraschall)	1.148.947.688	354.681.052	794.266.636
Summenpegel Hörschall unbewertet (Leq,z)					Summe der unbewerteten Schalleistungen (Infraschall)	16.554.079	1.643.246	14.910.833
Summenpegel gesamtes Spektrum unbewertet (Leq,z)					Summe der unbewerteten Schalleistungen (gesamtes Spektrum)	1.165.501.768	356.324.298	809.177.470

3 Berechnung unbewerteter Schallleistungspegel

$$L_W = L_{eq,z} + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi \cdot R_1^2}{S_0} \right) - 6$$

L_W Schallleistungspegel

$L_{eq,z}$ unbewerteter Summenpegel aus den Terzpegeln gebildet

R_1 Abstand vom Rotormittelpunkt zum Mikrofon in Meter

S_0 die Referenzfläche, $S_0 = 1 \text{ m}^2$

Die Konstante von 6 dB trägt der ungefähren Schalldruckverdoppelung Rechnung, die bei Geräuschmessungen auf einer Messplatte am Boden auftritt.

Der Schallleistungspegel ist eine absolute, ortsunabhängige Messgröße in der Akustik, die die gesamte von einer Schallquelle (zum Beispiel einer Windenergieanlage) pro Sekunde abgegebene Schallenergie in Dezibel (dB) angibt.

$$89\text{dB} + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi \cdot (147,63\text{m})^2}{1\text{m}^2} \right) \text{dB} - 6\text{dB} = 137,4\text{dB} \text{ qll}$$

Die Entfernung vom Messpunkt zum Rotormittelpunkt (Nabe) betrug bei dieser Messung 147,6 m. Die Entfernung zur Nabe ergibt sich über den Satz des Pythagoras ($a^2+b^2=c^2$) über die Entfernung des Messpunkts zum Turmfuß (120 m) und die Nabenhöhe (86 m).

4 Berechnung der unbewerteten Schallleistung

$$P = P_0 \cdot 10^{0,1 \cdot L_W} \text{ qll}$$

P Schallleistung in Watt; Bezugswert $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$

Die Schallleistung ist die gesamte Schallenergie, die eine Schallquelle pro Zeiteinheit in alle Richtungen abgibt. Ihre Maßeinheit ist Watt (W). Sie beschreibt die tatsächliche Quellstärke und ist unabhängig von der Entfernung.

$$10^{-12} \text{ W} \cdot 10^{0,1 \cdot 137,38} = 54,65 \text{ W}$$

5 Ergebnisse

Berechnung der unbewerteten Schalleistung	
$L_{eq,z}$ Infraschall (aus Abschnitt 2)	89,00 dB(Z)
$L_{eq,z}$ Hörschall (aus Abschnitt 2)	71,74 dB(Z)
$L_{eq,z}$ gesamtes Spektrum (aus Abschnitt 2)	89,08 dB(Z)
Nabenhöhe	86,00 m
Abstand Messpunkt vom Turmfuß	120,00 m
Abstand Messpunkt von der Nabe (R_1)	147,63 m
unbewerteter Schallleistungspegel Infraschall	137,38 dB(Z)
unbewerteter Schallleistungspegel Hörschall	120,11 dB(Z)
unbewerteter Schallleistungspegel Gesamtspektrum	137,46 dB(Z)
Unbewertete Schalleistung Infraschall	54,65 W
Unbewertete Schalleistung Hörschall	1,03 W
Unbewertete Schalleistung gesamt	55,67 W

Die unbewertete Schalleistung im Infraschallbereich liegt bei 55 Watt.

Die unbewertete Schalleistung im Hörschallbereich liegt bei 1 Watt.

Die gesamte unbewertete Schalleistung liegt bei 56 Watt.



Baden-Württemberg
Landesanstalt
für Umwelt

Impressum

Herausgeber

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
Postfach 10 01 63 · 76231 Karlsruhe
www.lubw.baden-wuerttemberg.de

Bearbeitung

Kompetenzzentrum Windenergie · Referat 34 – Technischer Arbeitsschutz, Lärmschutz

Bezug

<https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/erneuerbare-energien/windenergie-und-schall>

Danksagung

Wir danken dem Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen (LANUK) für seinen Beitrag und den fachlichen Austausch zu diesem Infoblatt.