

Messverfahren zur Bestimmung der Geräuschemission von Windenergieanlagen

Zheng Hu, Sergio Martinez, Wilhelm Kurtz
TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH, Köln

Einleitung

Diese Untersuchung erfolgte in einer Zusammenarbeit der FH Bingen (Prof. Dr. G. – R. Sinambari) und dem TÜV Rheinland. Das Ziel war, das Messverfahren zur Bestimmung des immissionsrelevanten Schalleistungspegels L_{WA} von Windenergieanlagen (WEA) nach DIN EN 61400-11 zu vereinfachen. Hierzu wurde der Schalleistungspegel L_{WA} einer Windenergieanlage (Turmhöhe 100m, Leistungsklasse 1,5 MW) simultan nach DIN EN 61400-11 [1] (Grenzflächenmikrofon mit harter Platte) und in Anlehnung an DIN ISO 9613-2 [2] (Freifeldmikrofone auf Stativ, Mikrofonhöhe 2m und 4m über Boden) an der gleichen Messposition bestimmt. Der Standort der WEA ist ein ebenes Gelände mit Ackerboden und (zur Zeit der Schallpegelmessungen) niedrigem Bewuchs (Wintergetreide).

Messergebnisse und Auswerteverfahren

Der immissionswirksame Schalleistungspegel nach [1] einer Windenergieanlage $L_{WA,k}$ je Windklasse k – bzw. $L_{WA,95}$ bei 95% der elektrischen Leistung – wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$L_{WA,k} = L_{Aeq,c,k} - 6 + 10 \log \left[\frac{4\pi R_1^2}{S_0} \right] \quad (1)$$

Hierbei bedeuten nach [1]:

- $L_{WA,k}$ der immissionswirksame Schalleistungspegel einer Windenergieanlage in dB(A)
- $L_{Aeq,c,k}$ der unter Referenzbedingungen gemessene, fremdgeräuschkorrigierte und A-bewertete Schalldruckpegel bei den ganzzahligen Windgeschwindigkeitsklassen k
- R_1 der diagonale Messabstand zum Rotormittelpunkt
- S_0 die Bezugsfläche $S_0 = 1 \text{ m}^2$

Korrelation L_{eq} mit V_s beim Referenzmikrofon mit / ohne WEA-Betrieb auf schallharter Platte

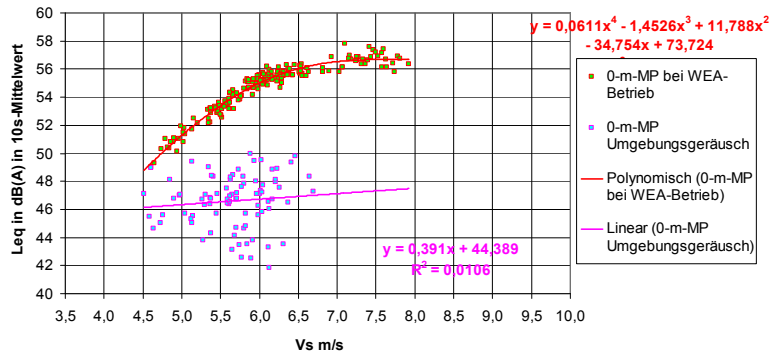


Bild 1: Messungen am Referenzmikrofon nach [1]

Die Gleichung (1) entspricht der Annahme, dass die Geräuschemissionen durch die Rotorbewegung der Windenergieanlage als Punktschallquelle in großer Höhe zu betrachten sei.

Damit liegt hier eine spezielle Anwendung der Norm DIN ISO 9613-2 [2] vor, wenn man die implizit eingerechnete kohärente Schalldrucküberlagerung nach Gl. (1) in eine inkohärente Überlagerung umwandelt, die in der Norm [2] stets angenommen wird.

Grund hierzu ist das im Modell nach [2] geltende Reziprozitätsprinzip, welches die Austauschbarkeit von Quelle- und Empfängerposition ermöglicht. Dieses Prinzip erlaubt also gedanklich die Windenergieanlage als Punktschallquelle in Bodennähe (in 0 m Höhe, oder auch in 2 m oder 4 m Höhe) zu positionieren und das Mikrofon entsprechend in 100 m Höhe. So entsteht eine inkohärente Überlagerung gemäß [2] des Direktschalls und des Schalls der Spiegelschallquelle.

Tabelle 1: Ergebnisse der Messungen zur Bestimmung des Schalleistungspegels L_{WA} der WEA

V_s (m/s)	L_{s+n} (dB(A))	L_n (dB(A))	dL (dB)	$L_{Aeq,c,k}$ (dB(A))	$L_{WA,k}$ (dB(A))	$U_{A_{s+n}}$ (dB(A))
0 m-Mikrofon (Gl. (1))						
6	55,0	46,7	8,3	54,3	102,7	0,04
7	56,5	47,1	9,4	56,0	104,4	0,08
8	56,7	47,5	9,1	56,1	104,5	0,16
2 m-Mikrofon (Gl. (2))						
6	52,3	45,5	6,8	51,3	102,6	0,04
7	53,7	45,5	8,1	52,9	104,3	0,07
8	53,6	45,6	8,0	52,8	104,2	0,11
4 m-Mikrofon (Gl. (2))						
6	52,7	46,8	5,9	51,5	102,9	0,04
7	54,1	46,9	7,1	53,1	104,6	0,08
8	54,1	47,1	7,0	53,1	104,5	0,16

- V_s Standardisierter Windgeschwindigkeit [1] in 10 m Höhe
- L_{s+n} Schalldruckpegel mit Fremdgeräusch (L_n)
- dL Fremdgeräuschabstand
- $L_{Aeq,c,k}$ Fremdgeräuschkorrigierter WEA-Geräusch je Windklasse k
- $L_{WA,k}$ Schalleistungspegel der WEA je Windklasse

Tabelle 2: Schalldruckpegeldifferenzen (Gesamtpegel) zwischen den Mikrofonen

Versuchsbedingungen		Schalldruckpegel-Differenzen zwischen den Mikrofonpositionen in dB			Anzahl 10s Werte	Messdauer	Elevations-Winkel
	(*)	0 m – 2 m	0 m – 4 m	2 m – 4 m	n		Grad
WEA Betrieb 110m	dL	2,7	2,3	-0,4	193	32 Min 10 Sek.	40-41
	s	0,24	0,40	0,25	193		
Hintergrundpegel, WEA in 325 m Abstand	dL	1,2	-0,1	-1,3	93	15 Min 30 Sek.	17
	s	0,99	1,38	0,62	93		
Lautsprecher H= 2m, d= 104 m	dL	0,2	0,1	-0,1	63	10 Min 30 Sek..	±1
	s	1,64	1,89	1,13	63		

(*) dL = mittlere Schalldruckpegel-Differenzen; s = Standardabweichung

Daraus ergibt sich eine Pegelerhöhung von rd. 3 dB, wie es Gl. (2) angibt:

$$L_{WA,k} = L_{Aeq,c,k} - 3 + 10 \log \left[\frac{4\pi R_1^2}{S_0} \right] \quad (2).$$

Aus Tabelle 1 erkennt man, dass innerhalb einer Toleranz von weniger als 0,5 dB mit allen Mikrofonen gleiche Ergebnisse erhält und dass der Fremdgeräuschabstand etwa 6 bis 9 dB ist. Am 4 m Mikrofon ergibt sich systematisch der niedrigere Fremdgeräuschabstand. Im Spektrum sind keine Auffälligkeiten festzustellen.

Das Messsystem mit dem 2 m-Mikrofon liefert statistisch signifikant andere Schalldruckpegel als das 0 m-Mikrofon, welches Referenzsystem nach DIN EN 61400-11 [1] ist. Außerdem entspricht es physikalisch-akustisch den Gesetzmäßigkeiten nach DIN ISO 9613-2 [2]. Im Ergebnis aber liefert es innerhalb der üblichen Toleranz identische Ergebnisse wie das Referenzsystem nach [1] und ist in der Praxis bequemer zu verwenden.

Das Messsystem mit dem 4 m-Mikrofon weist eine ähnliche Qualität wie das 2 m-Mikrofon auf, zeigt aber einen etwas geringeren Fremdgeräuschabstand. Nach Tabelle 2 zeigt sich, dass bereits bei einem Elevationswinkel von nur 17 Grad die o.a. besondere Eigenschaft des Grenzflächenmikrofons nicht mehr gilt. Das Mikrofon in 2 m Höhe liefert etwas niedrigere Schalldruckpegel, aber keineswegs aber um ca. 3 dB als Grenzflächenmikrofon (Bild 2). Das Mikrofon bei 4 m Höhe zeigt im Mittel gleiche Ergebnisse wie das 0 m-Mikrofon. Dieses Verhalten steht im Widerspruch mit den Erwartungen nach [1], ist aber im Mittel verträglich mit DIN ISO 9613-2 [2]. Diese Ergebnisse bedeuten auch, dass bei den „Immissions-Messmethoden“, wonach eine berechnete Schalldruckpegel-Isolinie in der Umgebung eines Windparks „gesucht“ wird, um z.B. einen Schallimmissions- oder Emissionsnachweis zu führen, keineswegs mit einem Grenzflächenmikrofon nach [1] als Messsonde arbeiten sollte. Die Messungen nach Bild 3 wurden mit einem Lautsprecher in der gleicher Messkonfiguration gewonnen. Aus Bild 2 und Bild 3 erkennt man, dass bei streifendem Schalleinfall das Grenzflächenmikrofon keine geeignete Messsonde ist. (vgl. auch Tabelle 2)

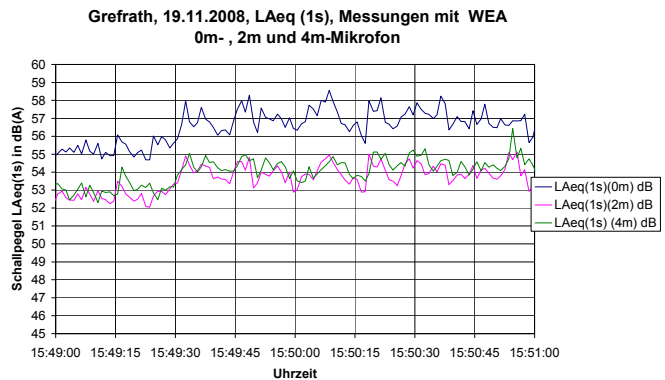


Bild 2: Messwerte mit WEA H = 100m, d=110 m
3 Mikrofone simultan: 0m, 2m, 4m Höhe

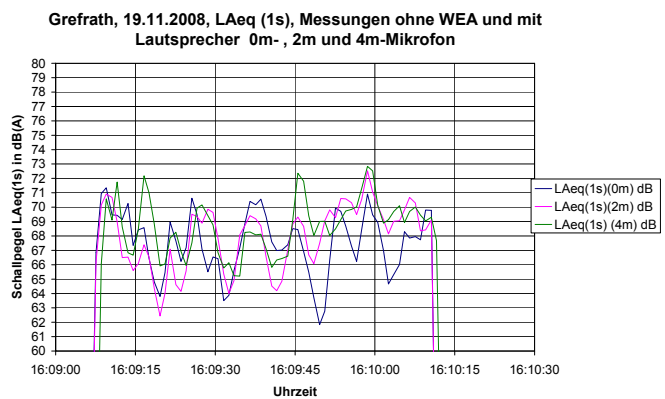


Bild 3: Messwerte mit Lautsprecher (h=2 m, d = 105 m), 3 Mikrofone simultan, wie bei Bild 2

Literatur

- [1] DIN EN 61400-11 (VDE 0127-11) Windenergieanlagen – Teil 11 : Schallmessverfahren (IEC 61400-11 :2002+ A1 :2006), März 2007
- [2] DIN ISO 9613-2 „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien“, Teil 2: „Allgemeines Berechnungsverfahren“, Ausgabe Oktober 1999