

Schallemissionsmessungen an Windenergieanlagen nach DIN EN 61400-11 Ein Vergleich zwischen Edition 2 und Edition 3

Michael Köhl

Müller-BBM GmbH, Am Bugapark 1, D-45899 Gelsenkirchen, E-Mail: michael.koehl@mbbm.com

Einleitung

Der immissionsrelevante Schalleistungspegel einer WEA hängt von einer Reihe von Betriebs- und Umgebungsparametern ab. Seine messtechnische Bestimmung ist mit einem gewissen Aufwand verbunden und erfordert angepasste Messgeräte und -methoden, mit denen die relevanten akustischen und nicht-akustischen Messgrößen zeitsynchron erfasst werden können.

DIN EN 61400-11 [1] und [2] in Verbindung mit der Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen, Teil 1 (FGW-Richtlinie) [3] stellt die entsprechenden Mess- und Auswerteverfahren zur Verfügung, mit deren Hilfe die von einer WEA ausgehende Schallemission bestimmt und beschrieben werden kann.

Seit ihrer Einführung im Jahre 2007 wurden die Edition 2 der DIN EN 61400-11 [1] und die FGW-Richtlinie [3] von unterschiedlichen Messinstitutionen in einer Vielzahl von WEA Schallemissionsmessungen erfolgreich angewendet. Die darin gestellten Anforderungen haben sich in der Praxis bewährt, um die Schallemission einer WEA einerseits messtechnisch auf praktikable Weise zu erfassen und andererseits hinreichend genau zu beschreiben.

Die Edition 3 der DIN EN 61400-11 [2] wurde im September 2013 bekannt gegeben, mit der sich sowohl das Vorgehen bei der messtechnischen Erfassung, als auch das Datenverarbeitungsverfahren zum Teil grundlegend geändert haben. Der vorliegende Beitrag fasst die wesentlichen Unterschiede der beiden Editionen kurz zusammen und zeigt anhand eines ausgewählten Beispiels, welche Ergebnisse sich bei Anwendung beider Editionen ergeben.

Allgemeines

Typischerweise haben die folgenden Projektbeteiligten - aus unterschiedlichen Motiven - ein Interesse an genauen und reproduzierbaren Geräuschemissionsdaten von Windenergieanlagen (WEA):

- Projektplaner
- Hersteller von WEA
- Genehmigungs- und Überwachungsbehörden
- Käufer und Betreiber von WEA

Um eine Vergleichbarkeit von ermittelten Schallemissionsdaten bestmöglich zu gewährleisten, wurden die in den Editionen 2 und 3 der DIN EN 61400-11 beschriebenen Schallmessverfahren entwickelt. Die erforderlichen Messungen werden sowohl bei Edition 2 als auch bei Edition 3 im Nahbereich einer WEA durchgeführt.

Im Nahbereich einer WEA sind die Messbeeinflussungen durch beispielsweise die Geländebeschaffenheit oder die atmosphärischen Bedingungen im Vergleich zu Schallimmissionsmessungen im Bereich von Wohngebäuden geringer. Aus diesem Grund haben sich im Rahmen der behördlich geforderten Abnahmemessungen an WEA die Schallemissionsmessungen gemäß DIN EN 61400-11 etabliert.

Vergleich zwischen Edition 2 und Edition 3

Messgeräte

In beiden Editionen der DIN EN 61400-11 werden Anforderungen an die Geräte zur Erfassung der akustischen und nicht-akustischen Messgrößen definiert, welche sich erwartungsgemäß nicht wesentlich unterscheiden.

Messaufbau

In beiden Editionen ist festgelegt, in welchen Mindestabständen die zur Messung verwendete schallharte Platte (Mikrofon mit dem primären und sekundären Windschirm) und das auf einem Mast montierte Anemometer (Erfassung der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe) zu positionieren sind und wie die Platte auszurichten ist. Ein Vergleich beider Editionen in diesen Punkten zeigt, dass sich in Edition 3 zum einen der Mindestabstand des Messmastes mit dem Anemometer auf einen Bereich zwischen $1D$ und $2D$ (D : Rotordurchmesser, siehe Abb. 1) verringert hat (Edition 2: $2D$ und $4D$) und zum anderen nun bei den akustischen Messungen eine maximale Toleranz von ± 30 m bei der Auswahl des Referenzmessabstandes R_0 zulässig ist (Edition 2: keine maximale Toleranz).

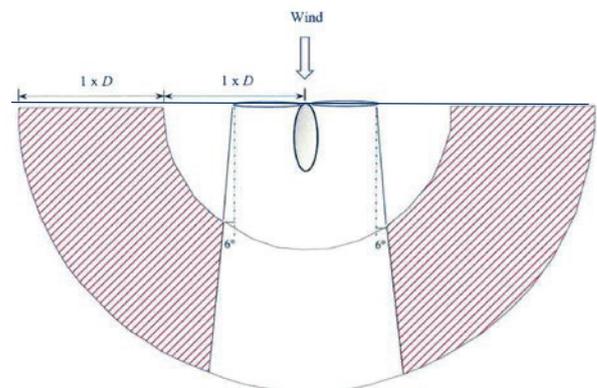


Abbildung 1: Zulässige Aufstellungsbereiche des Messmastes nach [2] (schraffierte Flächen).

Anforderungen an die akustischen und nicht-akustischen Messungen

Ziel der Schallemissionsmessungen nach DIN EN 61400-11 ist es, den immissionsrelevanten Schalleistungspegel einer WEA in Abhängigkeit einer normierten Windgeschwindigkeit zu bestimmen. Bei beiden Editionen wird zunächst von der erzeugten elektrischen Leistung auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe geschlossen. Nach der Edition 2 wird dann zur Bestimmung der immissionsrelevanten Schalleistungspegel die normierte Windgeschwindigkeit V_s in einer Höhe von 10 m verwendet, während bei der Edition 3 die normierte Windgeschwindigkeit $V_{H,n}$ in Nabenhöhe herangezogen wird. Zusätzlich ist in der Edition 3 auch eine Berechnungsmethode zur Bestimmung der Emissionswerte in einer Bezugshöhe für die normierte Windgeschwindigkeit von 10 m angegeben.

In der folgenden Abbildung 2 ist die für beide Editionen gültige prinzipielle Messdatenerfassung bei den Schallemissionsmessungen in der Übersicht dargestellt.

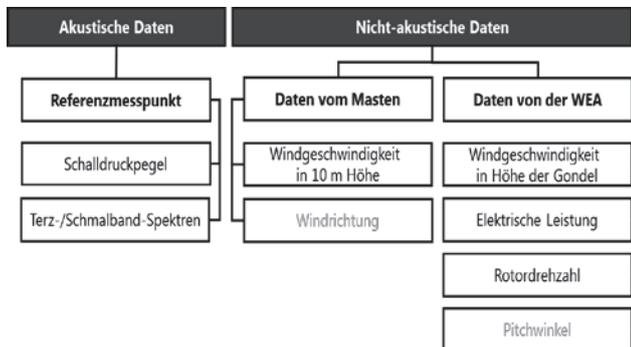


Abbildung 2: Zeitsynchrone Messdatenerfassung.

Die Unterschiede zwischen den beiden Editionen, hinsichtlich der Anforderungen bei den akustischen und nicht-akustischen Messungen, sind nachfolgend dargestellt.

In Tabelle 1 erfolgt zunächst eine Gegenüberstellung für die akustischen Messungen.

Tabelle 1: Anforderungen bei den akustischen Messungen.

Messanforderung	Edition 2	Edition 3
Mittelungszeit	1 min	10 s
Dauerschalldruckpegel L_{Aeq} :		
Wertepaare insgesamt	30	180
Wertepaare je Bin *	3	10
Terzspektren/Terzbandpegel:		
Anzahl der energetisch zu mittelenden Spektren je Bin	3	10
Schmalbandspektren:		
Anzahl der energetisch zu mittelenden Spektren je Bin	12	≥ 10

(*) Bin: Windgeschwindigkeitsklasse.

Die Bestimmung der normierten Windgeschwindigkeit ist nachfolgend für die beiden Editionen zum Vergleich beschrieben.

Dabei gilt:

$V_{H,n \text{ zul.}}$ Normierte Windgeschwindigkeit $V_{H,n}$ in Nabenhöhe für den „zulässigen“ Bereich der Leistungskennlinie (WEA in Betrieb).

$V_{H,n \text{ unzul.}}$ Analog für den „unzulässigen“ Bereich der Leistungskennlinie (WEA in Betrieb).

$V_{z,n} (V_s)$ (in Edition 2) bzw. $V_{B,n}$ (in Edition 3)
Normierte Windgeschwindigkeit bei der Stillstandsmessung (WEA außer Betrieb).

Edition 2:

- $V_{H,n \text{ zul.}}$: Ableitung der Windgeschwindigkeit aus der Leistungskennlinie (V_D) und Umrechnung auf meteorologische Standardbedingungen.
- $V_{H,n \text{ unzul.}}$: Korrektur der in Gondelhöhe gemessenen Windgeschwindigkeit $V_{nac,m}$ mit dem zu bestimmenden κ_{nac} -Faktor und dem Offset μ (Gondelanemometer-Methode).
- $V_{z,n} (V_s)$: Korrektur der in 10 m Höhe gemessenen Windgeschwindigkeit $V_{z,m}$ mit dem κ -Faktor.

Edition 3:

- $V_{H,n \text{ zul.}}$: Ableitung der Windgeschwindigkeit aus der auf Normbedingungen bezogenen Leistungskennlinie ($V_{P,n}$). Die so ermittelten Werte sind den Werten für $V_{H,n}$ gleichzusetzen.
- $V_{H,n \text{ unzul.}}$: Korrektur der in Gondelhöhe gemessenen Windgeschwindigkeit $V_{nac,m}$ mit dem zu bestimmenden κ_{nac} -Faktor.
- $V_{B,n}$: Korrektur der in 10-m-Höhe gemessenen Windgeschwindigkeit $V_{z,m}$ mit dem zu bestimmenden κ_z -Faktor. Die so ermittelten Werte sind den Werten für $V_{H,n}$ gleichzusetzen.

Auswertung

Nachfolgend sind die einzelnen Schritte bei der Auswertung der Messdaten für die beiden Editionen gegenübergestellt.

Edition 2:

1. Ermittlung der standardisierten Windgeschwindigkeit V_s in 10 m Höhe aus den Leistungsdaten und Anemometerdaten (Gesamt- und Fremdgeräusch).
2. Korrelation der klassierten Windgeschwindigkeitswerte V_s mit den in gleichen Zeitabschnitten erfassten Schalldruckpegeln (Gesamt- und Fremdgeräusch).
3. Ermittlung der Regressionsgleichungen und Berechnung der immissionsrelevanten Schalleistungspegel $L_{WA,im-rel.}$ für den Windklassenbereich (Bin-Bereich) von 6 m/s bis 10 m/s.

4. Tonhaltigkeitsanalyse
 - a. Ermittlung von 12 Spektren je Bin
 - b. Bestimmung der mittleren Tonhaltigkeit ΔL_k der 12 Spektren
 - c. Bestimmung der tonalen Wahrnehmbarkeit $\Delta L_{a,k}$
 - d. Werteangabe für die tonale Wahrnehmbarkeit, wenn $\Delta L_{a,k} \geq -3$ dB

Edition 3:

1. Normierung der gemessenen Schalldruckpegel in Terzbandbreite und Ermittlung der mittleren Terzbandpegel \bar{L}_k je Bin (6 m/s, 6,5 m/s usw.) und der Unsicherheiten Typ A und Typ B.
1. Ermittlung der mittleren Windgeschwindigkeit \bar{V}_k je Bin und der Unsicherheiten Typ A und Typ B.
2. Berechnung der Schallpegel $L_V(t)$ bei den Mittenwerten der Bins anhand eines t -Wertes und der Terzbandpegel in den Bins k bzw. $k + 1$ wie folgt:

$$L_V(t) = (1 - t) \cdot \bar{L}_k + \bar{L}_{k+1} \text{ dB(A)} \quad (1)$$

Der t -Wert wird wie folgt berechnet:

$$t = (V - \bar{V}_k) / (V - \bar{V}_{k+1}) \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

- \bar{L}_k : mittlerer Terzbandpegel im Bin k
- \bar{V}_k : mittlere Windgeschwindigkeit im Bin k
- \bar{L}_{k+1} : mittlerer Terzbandpegel im Bin $k + 1$
- \bar{V}_{k+1} : mittlere Windgeschwindigkeit im Bin $k + 1$
- V : ausgewählte Windgeschwindigkeit (im Intervall $\bar{V}_k \leq V < \bar{V}_{k+1}$)

Ergänzend erfolgt eine Berechnung der Messunsicherheiten u_{L_V} .

3. Berechnung der immissionsrelevanten Schallleistungspegel $L_{WA,im.-rel.}$ je Terzband für einen Bin-Bereich von $0,8 \cdot V_{H,n, 85\%-Pel}$ bis $1,3 V_{H,n, 85\%-Pel}$ der Windgeschwindigkeit $V_{H,n}$ bei Erreichen von 85 % der Maximalleistung $P_{el,max}$ der WEA und entsprechenden Messunsicherheiten $u_{L_{WA}}$.
4. Tonhaltigkeitsanalyse
 - a. Analyse von bis zu 30 Spektren je Bin
 - b. Bestimmung der mittleren Tonhaltigkeit ΔL_k der bis zu 30 Spektren
 - c. Bestimmung der tonalen Wahrnehmbarkeit $\Delta L_{a,k}$
 - d. Angabe der Werte für die tonale Wahrnehmbarkeit, wenn $\Delta L_{a,k} \geq -3$ dB

Beispielauswertung

Um zu zeigen, wie sich die Ergebnisse bei einer Auswertung mit den Auswerteverfahren nach Edition 2 und Edition 3 unterscheiden können, wurden nachfolgend Daten herangezogen, die an einer pitch-geregelten WEA mit horizontaler Achse und den nachfolgend aufgelisteten Anlagendaten und Messparametern gemessen wurden.

Anlagendaten:

– Maximalleistung:	2350 kW
– Nabenhöhe:	108,4 m
– Rotordurchmesser:	82,0 m
– Abstand Nabe-Turmachse:	4,6 m

Messparameter:

– Messabstand:	170,4 m
– Abstand Anemometer:	125,4 m (Höhe 12,5 m)

Messdaten

In der folgenden Abbildung ist dafür die Messaufzeichnung einer exemplarischen Messung für den Zustand „WEA in Betrieb“ dargestellt (Abb. 3).

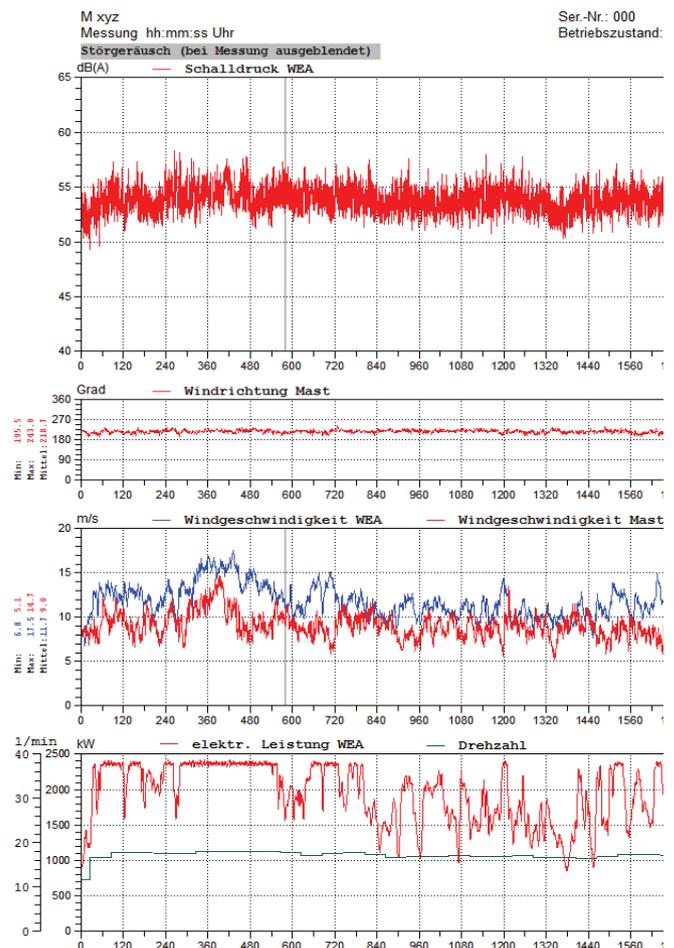


Abbildung 3: Beispiel einer Messaufzeichnung (WEA in Betrieb).

Ergebnisse

Edition 2:

In der nachfolgenden Abbildung 5 sind die in zeitgleichen Abschnitten gemessenen Schalldruckpegel L_{Aeq} in Abhängigkeit der normierten Windgeschwindigkeit V_S dargestellt.

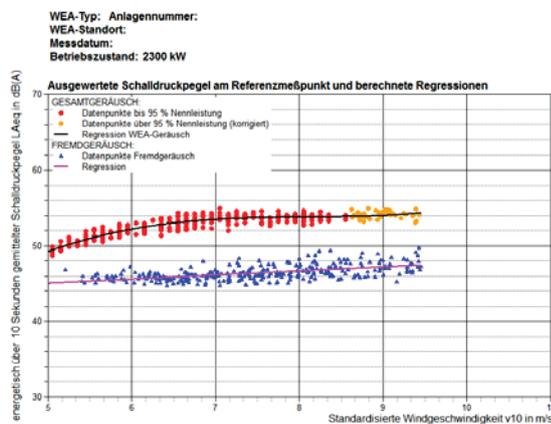


Abbildung 4: Scatterdiagramm (Edition 2).

Die wesentlichen Parameter der Auswertung nach Edition 2 sind:

- Leistungsbereich: 115 KW bis 2185 kW
- V_S bei 95 %: 8,7 m/s
- Zu analysierende Bins: 6,0 m/s bis 9,0 m/s
- κ_{nac} / κ_Z : 0,91 / 0,87
- μ : 0,68

Die zugehörigen Ergebnisse der Auswertung nach Edition 2 für die Beispielanlage sind in der nachfolgenden Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Ergebnisse nach Edition 2.

V_S [m/s]	P_n [MW]	L_{Aeq}	L_{Aeq}	L_{Aeq}	L_{WA} [dB(A)]
		Gesamt [dB(A)]	Fremd [dB(A)]	WEA [dB(A)]	
6,0	1,1	52,2	46,2	50,9	102,2
7,0	1,6	53,5	46,8	52,4	103,7
8,0	2,0	53,8	47,3	52,7	104,0
9,0	2,3	54,0	47,9	52,8	104,1
8,7 *	2,2	53,9	47,7	52,7	104,0

(*) Windgeschwindigkeit bei 95% Nennleistung.

Edition 3:

Für die Auswertung nach Edition 3 sind die in zeitgleichen Abschnitten gemessenen Schalldruckpegel L_{Aeq} in der nachfolgenden Abbildung 6 in Abhängigkeit der normierten Windgeschwindigkeit $V_{H,n}$ dargestellt.

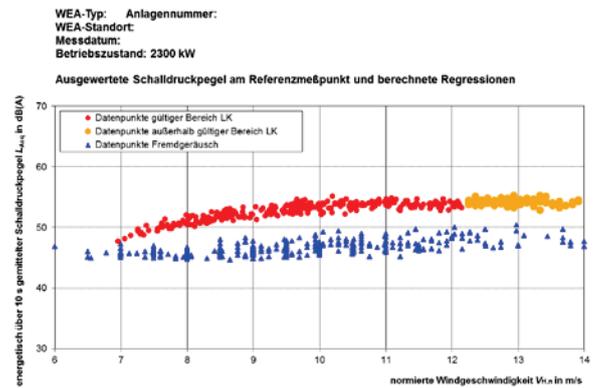


Abbildung 5: Scatterdiagramm (Edition 3).

In diesem Fall der Auswertung nach Edition 3 sind die wesentlichen Parameter:

- Leistungsbereich: 174 KW bis 2100 kW
- $V_{H,n}$ bei 85 %: 11,6 m/s
- Zu analysierende Bins: 9,5 m/s bis 15,0 m/s
- κ_{nac} / κ_Z : 0,98 / 1,17

Die nachfolgende Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Auswertung nach Edition 3 für die Beispielanlage.

Tabelle 3: Ergebnisse nach Edition 3.

$V_{H,n}$ [m/s]	P_n [MW]	L_{Aeq}	L_{Aeq}	L_{Aeq}	L_{WA} [dB(A)]
		Gesamt [dB(A)]	Fremd [dB(A)]	WEA [dB(A)]	
9,5	1,4	53,1	46,5	52,0	103,3
10,0	1,6	53,6	46,9	52,5	103,8
10,5	1,8	53,8	47,3	52,7	104,0
11,0	1,9	53,9	47,2	52,9	104,2
11,5	2,0	53,8	47,4	52,7	104,0
12,0	2,1	53,8	48,1	52,6	103,9

Schlussfolgerungen

Der vorgenommene Vergleich zwischen der Edition 2 und der Edition 3 hat aufgezeigt, dass der Mess- und Auswerteaufwand bei der Edition 3 nun größer geworden ist. Mit beiden Editionen lassen sich jedoch Schalleistungspegel in gleicher Größenordnung ermitteln, was die Ergebnisse der Beispielauswertung auch verdeutlichen.

Literatur

- [1] DIN EN 61400-11: Windenergieanlagen. Teil 11: Schallmessverfahren. 2007-03 – Edition 2(1) –
- [2] DIN EN 61400-11: Windenergieanlagen. Teil 11: Schallmessverfahren. 2013-09 – Edition 3 –
- [3] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen (FGW-Richtlinie), Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte, Revision 18, 2008-02.