

Messung der Schallemission von Windenergieanlagen: Untersuchung der Vergleichbarkeit von Messergebnissen nach IEC 61400-11 Ed. 3 und IEC 61400-11 Ed. 2.1 / FGW TR 1 Rev. 18

Dipl.-Ing. (FH) Philip Schmiedel¹

¹ DNV GL, GL Garrad Hassan Deutschland GmbH, 25709 Kaiser-Wilhelm-Koog,
E-Mail: philip.schmiedel@dnvgl.com

Hintergrund

Die aktuell gültige Edition 3.0 der IEC 61400-11 [1] wurde bereits im November 2012 veröffentlicht und liegt seit September 2013 als DIN EN Variante (Übersetzung) [2] vor. Die in Deutschland von Herstellern verwendete und von den Genehmigungsbehörden anerkannte Technische Richtlinie 1 [3] der Fördergesellschaft für Windenergie (FGW) basiert maßgeblich auf der Edition 2.1 der IEC 61400-11 [4]. Bisher wurde vom Arbeitskreis Geräusche von Windenergieanlage der FGW noch kein Vorschlag für eine neue Revision der Technischen Richtlinie auf Basis der veränderten IEC-Norm vorgelegt. Dies wäre allerdings dringend angeraten, denn die aktuell verwendete FGW Richtlinie bezieht sich explizit auf die IEC- und nicht auf die DIN EN-Variante der 61400-11. IEC Normen sind ab Erscheinen umgehend abgelöst, es gibt im Gegensatz zur DIN EN Norm keine Übergangsfrist von 36 Monaten. Da die FGW Richtlinie maßgeblich für die akustische Beurteilung von Windenergieanlagen (WEA) in Deutschland ist, sollte wie auf dem internationalen Markt mit vergleichbaren Maßstäben bewertet werden. Des Weiteren ist zu prüfen inwiefern die Ergebnisse der Ed. 3.0 [1] gegebenenfalls besser geeignet sind die Schallemission von WEA zu beurteilen.

Warum kommt es nun zu diesen Verzögerungen bei der Umsetzung in Deutschland? In der IEC 614000 Ed. 3.0 [1] wurde das Auswerteverfahren grundlegend geändert. Bisher haben die beteiligten Parteien noch wenig Erfahrung mit den daraus resultierenden „neuen“ Ergebnissen, da es scheinbar schwierig ist diese in Relation zu den Ergebnissen der Vorgängernorm zu setzen. Zudem wähnt man mit der Ed. 2.1 [4] eine erprobtes und bewährtes Verfahren in der Hand zu haben. Hersteller müssen befürchten ihre aktuellen WEA neu vermessen und beurteilen zu lassen. Behörden werden sich fragen inwiefern Ergebnisse der Ed. 3.0 [1] mit der Vorgängerversion vergleichbar sind, insbesondere wenn Anträge mit unterschiedlichen Gutachten eingereicht werden. Dies sind sicherlich einige wichtige Gründe, warum die Umsetzung der Ed. 3.0 [1] in eine neue Revision der FGW TR1 [3] zögerlich voranschreitet.

Dies wurde von DNV GL zum Anlass genommen auf Basis des umfassenden Messdatenarchivs eine Vergleichsauswertung durchzuführen. Der Fokus liegt hierbei auf der Ermittlung des maximalen Schalleistungspegels und der maximalen Tonhaltigkeit einer WEA, da diese die Hauptkriterien bei der akustischen Beurteilung für den deutschen Markt darstellen. Es wird hier ausschließlich die IEC 61400-11 Ed. 2.1[4] mit der Ed. 3.0 [1] verglichen,

unter Berücksichtigung, dass die betrachteten Ergebnisse der Ed. 2.1 [4] nahezu identisch sind mit denen der FGW TR1 Rev. 18 [3].

Im Vergleich der beiden Editionen der IEC 61400-11 sind die Unterschiede in der Messdurchführung gering. Einzige maßgebliche Änderung ist die Positionierung des 10 m Messmastes. Dieser wird nun nicht mehr in einem Abstand von 2-4 Rotordurchmessern in Windrichtung vor der WEA, sondern in einem Abstand von 1-2 Rotordurchmesser seitlich der WEA angeordnet.

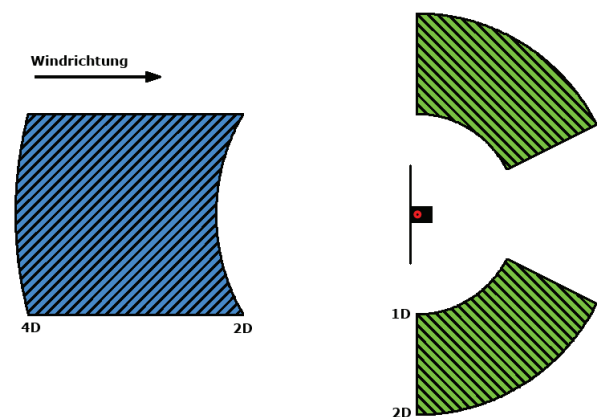


Abbildung 1: Bereiche zur Positionierung des Windmessmastes an einer WEA. Die blaue Schraffur zeigt den möglichen Bereich nach Ed. 2.1. Grün schraffiert ist der nun geforderte Bereich seitlich hinter der WEA gemäß Ed. 3.0. Dieser ist mit 1-2 Rotordurchmessern (D) Abstand wesentlich näher zu der WEA angeordnet.

Da bereits zuvor bei vielen Messungen auf Grund der aktuellen Rotorgrößen von weit über 100 m der Messmast an einer alternativen Position installiert wurde (ähnlich den Vorgaben der Ed. 3.0 [1]), ist hier eine gute Möglichkeit gegeben, die Messdaten sowohl nach Ed. 2.1 [4] als auch nach Ed. 3.0 [1] auszuwerten und in Relation zu setzen.

Die Datenbasis der zu vergleichenden Auswertungen basiert auf 22 repräsentativen Messungen an unterschiedlichen WEA der 2-3 MW Klasse. Diese spiegeln mit Nabenhöhen von 80-140m und Rotordurchmessern von 80-130m den typischen Stand der Technik bei den aktuell in der Bundesrepublik Deutschland errichteten WEA wieder.

Vergleich Schalleistungsanalyse

Die wichtigsten Neuerungen im Bereich der Schalleistungsanalyse nach Ed. 3.0 [1], die im Verdacht stehen einen maßgeblichen Unterschied in der Berechnung des Schalleistungspegel (L_{WA}) hervorzurufen, sind folgende:

- Ein Wind-BIN ist nur noch 0,5m/s breit und auf Nabenhöhen-Windgeschwindigkeit bezogen.
- Dynamischer Windgeschwindigkeitsmessbereich, der an Hand der individuellen Leistungskurve der WEA bestimmt wird. Die bei 85% Nennleistung anliegende Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe wird zur Bildung der unteren und oberen Grenzen des zu messenden Bereichs jeweils mit 0,8 und 1,3 multipliziert. Hierdurch wird typischerweise ein Bereich bestimmt, der den zuvor verwendeten 6-10m/s bezogen auf 10m Höhe ähnelt.
- Pro BIN werden zehn Datensätze bei einer Mittelungszeit von 10 s gefordert. Sollten bei der Tonanalyse mehr als 20 % der Messdaten des BINs, aber weniger als sechs Datensätze eine Tonhaltigkeit bei einer Frequenz aufweisen, so sind mehr Datensätze (bis zu 30) aufzuzeichnen.
- Der Schalldruckpegel $L_{A,eq}$ und der daraus resultierende Schalleistungspegel L_{WA} werden auf Basis der Terzspektren berechnet.
- Zur Bestimmung des Schalldruckpegels eines BINs werden die über der Windgeschwindigkeit aufgetragenen Schalldruckpegel (Terzspektren) gemittelt. Diese Mittelwerte eines BINs werden mit den benachbarten Mittelwerten der links und rechts liegenden BINs linear verbunden. An der Schnittstelle mit dem BIN Zentrum wird Schalldruckpegel für das jeweilige BIN ermittelt. Eine Polynominal-Regression entfällt daher.
- Zur Korrektur der Windgeschwindigkeiten bei Nennleistung wird nun das Gondelanemometer herangezogen. Das Anemometer am Messmast dient lediglich zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit des Hintergrundgeräusches.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden folgende Parameter angesetzt:

Es wird ein Windgeschwindigkeitsbereich von 6-10 m/s auf 10 m Höhe bezogen ausgewertet. Dies entspricht dem Standard der Ed. 2.1 [4]. In der Ed. 3.0 [1] sind die Schalleistungspegel für 10 m Höhe als Zusatz zu den Ergebnissen auf Nabenhöhe enthalten, so dass ein Vergleich recht leicht durchführbar ist. Bei der Auswertung nach Ed. 2.1 [4] wird stets die Regression 4. Ordnung von 5,5 - 10,5 m/s angesetzt. Sollte der Korrelationskoeffizient $\leq 0,8$ ausfallen, so wird auf die BIN-Analyse zurückgegriffen. Zusätzlich wird zwecks Ermittlung des maximalen L_{WA} Wertes einer jeden Messung auch der $L_{WA,95\%}$ ([4]) und der maximale L_{WA} der Ed. 3.0 [1] aus der Auswertung auf Nabenhöhenwindgeschwindigkeit mit berücksichtigt. Nach der Auswertung wurden die Abweichungen aus den Resultaten der beiden Editionen ermittelt. Ein positiver Wert sagt aus, dass die Ergebnisse der Ed. 3.0 [1] höher als die der Ed. 2.1 [4] ausfallen. Bei einer negativen Differenz sind die Schalleistungspegel der Ed. 3.0 [1] entsprechend niedriger ausgefallen. Die Abbildung 2 zeigt tabellarisch für die untersuchten BINs von 6 – 10 m/s die prozentuale

Häufigkeit der maximal ermittelten Abweichungen um $\pm 0,2$ dB und $\pm 0,5$ dB.

Bei den Windgeschwindigkeiten 7-8 m/s treten die geringsten Abweichungen auf. Da in diesem Bereich die WEA typischerweise ihre Nennleistung erreichen, liegen die Schalldruckpegel bei relativ konstanten Pegeln.

	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	max. L_{WA}
n Messwerte	22	22	22	21	17	22
Max. Abweichung $\pm 0,2$ dB	59,1%	90,9%	86,4%	66,7%	52,9%	68,2%
Max. Abweichung $\pm 0,5$ dB	77,3%	100%	95,5%	90,5%	88,2%	100%

Abbildung 2: Prozentuale Übersicht der Differenzen nach Wind-BINs sortiert und im max. L_{WA} der n Auswertungen.

Bei niedrigen und sehr hohen Windgeschwindigkeiten fallen die Abweichungen höher aus. Die Pegel sind hier auch nicht konstant, sondern einer starken Streuung unterworfen was in Zusammenspiel mit der neuen Auswertemethodik die ersichtlichen Unterschiede hervorruft.

Der wichtigste Wert, der maximale L_{WA} einer jeden Messung liegt in über 68 % der Fälle bei einer Abweichung kleiner gleich $\pm 0,2$ dB (Abbildung 3). Bei keiner einzigen Messung liegt Abweichung des maximalen L_{WA} über + 0,5 dB.

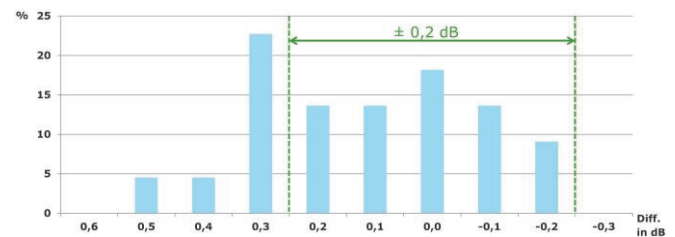


Abbildung 3: Prozentuale Verteilung der Differenzen im max. L_{WA} der untersuchten Auswertungen.

Auffällig ist eine Häufung der Abweichungen bei + 0,3 dB. Des Weiteren bemerkenswert ist, dass etwas über 20% der Auswertungen in der Ed. 3.0 einen geringeren maximalen L_{WA} aufweisen als die Auswertung der Ed.2.1. Der Mittelwert aller Abweichungen der maximalen Schalleistungspegel der 22 untersuchten Messungen beträgt + 0,1 dB.

Die Vergleichbarkeit des L_{WA} ist technisch gut möglich und zeigt auch in den untersuchten Ergebnissen, dass trotz veränderten Auswerteverfahrens die maximalen Schalleistungspegel im Mittel sehr ähnlich ausfallen. Größere Abweichungen bei den Schalleistungspegeln gibt es eher in den Windbereichen bei denen die Schalldruckpegel innerhalb eines BINs starker Variation unterliegen. Dies sind zum Beispiel Windgeschwindigkeiten unterhalb der Nennleistung, bei der die WEA auf Grund der sich verändernden Drehzahl akustisch äußerst dynamisch verhält. Zusätzlich führt die höhere Streuung der 10 s Mittelwerte zu größeren Abweichungen im resultierenden Schalleistungspegel beim Vergleich beider Editionen. Ein großer Vorteil der Ergebnisse der Edition 3.0 [1] ist, dass

durch die feinere Abtastung als Resultat aus den 0,5 m/s BINs auf Nabenhöhenwindgeschwindigkeit, sowie der 10 s Mittelungszeit, die Wahrscheinlichkeit geringer ist, dass abrupte Änderungen im Verlauf der Schalldruckpegel unzureichend erfasst werden. Da in der Ed. 3.0 [1] auf die Polynomalregression verzichtet wird, ist ein Über- oder Unterschwingen der Regressionskurve nicht mehr möglich. Das Hintergrundgeräusch wird nun nicht mehr mittels linearer Regression abgebildet, sondern identisch wie das Betriebsgeräusch, durch lineare Verbindung der Mittelwerte eines jeden BINs. Dadurch kann es zu schwankenden Pegeln über die ansteigende Windflanke kommen, die in Zusammenhang mit einem niedrigen Betriebsgeräuschpegel eine größere Abweichung im korrigierten Betriebsgeräusch ergeben können. Durch die terzweise Verrechnung der Betriebs- und Hintergrundgeräuschpegel wird die Präzision der Auswertung gegenüber der Ed.2.1 [4] weiter optimiert.

Vergleich Tonanalyse

Im Bereich der Tonanalyse zeigen sich Unterschiede erst auf dem zweiten Blick, da der eigentliche Algorithmus zur Bestimmung der Größe eines Tones nahezu identisch geblieben ist und das Bewertungskriterium der tonalen Wahrnehmbarkeit mit $\Delta L_{a,k} \geq -3$ dB ebenfalls dem der Edition 2.1 [4] entspricht. Interessant ist im Tonbewertungsalgorithmus, dass das Intervall für „Töne des gleichen Ursprungs“ aus unterschiedlichen Spektren des BINs von 10 % der kritischen Bandbreite auf 25 % angehoben wurde. Somit ist es besser möglich in der Frequenz leicht schwankende Peaks (potentielle Töne) zwischen den einzelnen Spektren einander zuzuordnen.

Die wichtigste Änderung erfolgt dadurch, dass nun nicht mehr zwei Minuten des Betriebsgeräusche um das BIN Zentrum analysiert und als repräsentativ für die Windgeschwindigkeit betrachtet werden. In der Ed. 3.0 [1] werden alle 10 s Datensätze der Messung auf Töne untersucht und gemäß ihrer Windgeschwindigkeit in BINs einsortiert. Die Tonhaltigkeit wird nun an Hand statischer Parameter bestimmt. Es liegt nur dann ein Ton bei einer spezifischen Frequenz vor, wenn mindestens 20% und 6 oder mehr Datensätze, eines BINs diesen aufweisen. Ist das 20 % Kriterium erfüllt und es liegen weniger als 6 Datensätze vor, so ist die Messung so zu verlängern, bis genug Messwerte im BIN enthalten sind um die geforderten Bedingungen zu erfüllen. Eine weitere Änderung gegenüber der Ed. 2.1 [4] besteht darin, dass Spektren, in denen eine zu untersuchende Frequenz nicht vorkommt, nicht zur Berechnung des Tonpegels der zu untersuchenden Frequenz herangezogen werden. Eine Senkung des Tonpegels durch Mittelwertbildung über große Datenmengen wird somit vermieden.

Die Untersuchung wurde auf 15 Auswertungen beschränkt, bei denen tonale Auffälligkeiten untersuchbar waren. Im Vergleich der Auswertungsergebnisse nach Ed.2.1 [4] und Ed. 3.0 [1] zeigte sich, dass bei 46,7 % der Auswertungen der resultierende tonale Wahrnehmbarkeit $\Delta L_{a,k}$ identisch oder geringer ausfiel, in 53,3 % höher ausfiel. Die Abweichung der Ergebnisse beträgt in 33,3% der Fälle

weniger als $\pm 0,25$ dB und in 53,3% der Fälle weniger als $\pm 0,5$ dB.

Der Mittelwert aller Differenzergebnisse der 15 Auswertungen beträgt 0,7 dB, womit die Ergebnisse der Ed. 3.0 [1] tendenziell etwas höher ausfallen als die der Ed. 2.1 [4]. Hierbei gilt allerdings zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse in der Tonanalyse gegenüber denen der Schalleleistungsanalyse größeren absoluten Schwankungen in dB unterliegen und eine, bedingt durch die Änderungen des Auswerteverfahrens, stark unterschiedliche Datenbasis zu Grunde liegt.

Der in Deutschland gemäß FGW Richtlinie zu vergebene Tonzuschlag im Nahfeld, K_{TN} , wird in 2 dB breiten Schritten beurteilt. Ein $\Delta L_{a,k}$ zwischen 0 und + 1,99 dB wird als $K_{TN} = 1$ dB eingestuft. Betrachtet man diese Einstufung bei den 15 untersuchten Auswertungen, so zeigt sich, dass in lediglich drei Fällen (20%) der Tonzuschlag im Nahfeld eine Stufe höher, in einem Fall (6,67%) sogar eine Stufe niedriger ausgefallen wäre. In den restlichen Fällen wäre die Einstufung unverändert geblieben.

Fazit

Bedingt durch die Veränderungen zwischen den verglichenen Editionen 2.1 [4] und 3.0 [1] der IEC 61400-11 lässt sich an Hand der durchgeführten Vergleichsauswertung zeigen, dass der Schalleleistungspegel sich nicht nur gut vergleichen lässt, sondern auch zu ähnlichen Ergebnissen führt. Die Ergebnisse der Tonauswertung lassen sich ebenfalls gut vergleichen, sind auf Grund der veränderten Datenbasis, die zur Auswertung herangezogen wird, jedoch größeren Schwankungen unterlegen. Die Auswertung berücksichtigt nun alle Messdaten (Tonauswertung) womit die Ergebnisse aus Sicht von DNV GL präziser und aussagekräftiger als die der Vorgängernorm sind. Im Sinne des Immissionsschutzes und der Akzeptanz von erneuerbaren Energien ist es wichtig mit den modernsten und genauesten Methoden zu arbeiten. Die Umsetzung der in der Ed. 3.0 [1] beschriebenen Auswerteverfahrens in eine neue Revision der FGW TR 1 sollte daher dringend forciert werden. Auf Grund der geringen Abweichungen im Endergebnis ist es empfehlenswert, dass Messinstitute ihre neu erstellte Auswertesoftware durch die Teilnahme an Ringversuchen der FGW oder MEASNET validieren um sicherzustellen, dass hier mit größtmöglicher Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit ausgewertet wird.

Literatur

- [1] IEC 61400-11 Ed. 3.0 Wind Turbines, Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques, 2012-11-07
- [2] DIN EN 61400-11 Ed. 3.0 Windenergieanlagen – Teil 11: Schallmessverfahren, 2013-09
- [3] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1, Rev. 18, Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie e. V., Stresemannplatz 4, 24103 Kiel, 2008-02-01
- [4] IEC 61400-11 Ed. 2.1 Wind Turbine Generator Systems, Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques, 2006-11-28