

Wind turbines: Statistical parameters characterising noise emission and noise impact

Sergio Martinez

TÜV Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH, 51105 Köln, Email: Sergio.Martinez@de.tuv.com

Geräuschemissionen von WEA

Nach der Inbetriebnahme von Windenergieanlagen und insbesondere nach Erweiterung der Anlagenanzahl an einem Standort wird häufig zum Nachweis der Einhaltung der Immissionsrichtwerte nach TA Lärm [1] eine Nachmessung der Geräuschemission der neuen Anlagen durchgeführt.

Gemäß den messtechnisch erfassten Emissionen (Bestimmung des Schalleistungspegels) werden die Beurteilungspegel an den Immissionsorten rechnerisch ermittelt. Hierbei wird eine Schallausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-2 [2] durchgeführt.

Ausgangswert der Ermittlungen ist der Schalleistungspegel L_{WA} der Anlagen bei Nennlastbetrieb. In der Regel wird für L_{WA} der Schalleistungspegel herangezogen, der gemäß der FGW-Richtlinie Teil 1 [3] ermittelt wurde. Diese Richtlinie verweist im Einzelnen maßgebend auf normative Festlegungen in der DIN EN 61400-11 Windenergieanlagen, Teil 11: Schallmessverfahren (s. [4]).

Die Schallpegelmessungen werden so ausgeführt, dass am Referenzmesspunkt die Schalldruckpegel bei laufender WEA und die Fremdgeräusche ermittelt werden. Für die Auswertung werden Minutenmittelwerte des Schalldruckpegels herangezogen. Die Zuordnung der Messgröße Schalldruckpegel zur Windgeschwindigkeit $v_{S,Ref}$ ($h=10$ m) erfolgt während des WEA-Betriebes über die Leistungskurve der WEA und während der Fremdgeräuschmessungen über eigene Anemometermessungen am Standort der Anlage in einer Höhe von 10 m über Boden.

Die Messwerte des Schalldruckpegels am Referenzmesspunkt (Minutenmittelwerte) bilden aus statistischer Sicht eine Stichprobe zur Bestimmung des Messflächenpegels. Des Weiteren ist festzuhalten, dass der Messflächenpegel vorzugsweise über eine Regressionsanalyse (s. [3, 4]) der o.a. Messwerte der Stichprobe zu bestimmen ist. Damit wird formal keine energetische Mittelung der Messwerte im zugehörigen Regressionsintervall berechnet, sondern eher eine arithmetische Mittelung ausgeführt. Ähnlich wird bei der Bestimmung des Fremdgeräuschpegels vorgegangen.

Statistische Aspekte

Am Referenzmesspunkt kann also davon ausgegangen werden, dass eine 2-dimensionale Werteverteilung $F_W(v_H, L_{Aeq,w})$ vorliegt, die die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Schallpegel $L_{Aeq,w}$ am Referenzmesspunkt infolge des Windes v_H in Rotorhöhe innerhalb der Messdauer beschreibt. Die Kennung „W“ soll die Verteilung mit WEA in Betrieb kennzeichnen.

Analogerweise, ohne WEA Betrieb, erhält man eine 2-dimensionale Verteilung $F_0(v_H, L_{Aeq,0})$, wobei die Kennung „0“ die Verteilung ohne WEA Betrieb darstellt.

Werden nur Minutenmittelwerte verwendet, so reduzieren sich diese Verteilungsfunktionen auf jeweils eine diskrete Punktwolke in der Ebene v_H / L_{Aeq} , wobei jeder Punkt mit gleichem statistischen Gewicht zu versehen ist.

Es ist einleuchtend, dass bei diesem unvermeidlichen Prozess der Datenreduktion Informationen verloren gehen. Ein Weg, diese Informationen nicht gänzlich zu verlieren, besteht darin, zwar die Mittelung über die elektrische Leistung bzw. über v_H zu verwenden, aber die Information über die Verteilung der gemessenen Schalldruckpegel L_{Aeq} zum Beispiel durch Verzicht auf eine sofortige Mittelung über die Minuten beizubehalten.

Die Verteilungsfunktionen $F_{W,k}(L_{Aeq,w})$ und $F_{0,k}(L_{Aeq,0})$ können aus statistischer Sicht wie folgt interpretiert werden: Die Funktion $F_{W,k}(L_{Aeq,w})$ am Referenzmesspunkt entsteht durch die Überlagerung der Geräusche der WEA und des Fremdgeräusches $F_{0,k}(L_{Aeq,0})$. Letzteres muss von vergleichbarer Struktur in beiden Zeitabschnitten der Messungen sein.

Es ist erkennbar, dass eine weitere Verteilungsfunktion $F_{WEA,k}(L_{Aeq,WEA})$ (WEA alleine in Betrieb) anzunehmen ist, die den Schallpegelanteil der WEA alleine darstellt. Daraus können sowohl der fremdgeräuschkorrigierte Mittelungspegel $L_{Aeq,WEA}$ als auch weitere Parameter, wie z.B. die Varianz der dazugehörigen Verteilung ermittelt werden, d.h. man verfügt auch über eine Information über die Qualität der durchgeführten Mittelung.

Aus mathematischen Gründen ist bei der Überlagerung der statistisch definierten Größen eine Faltungsoperation der zugehörigen Verteilungen auszuführen.

Durch die Anwendung des Faltungssatzes, ist die o.a. Faltung der Verteilungen äquivalent zu einer Multiplikation im Frequenzbereich. In diesem Fall kann man schematisch

$$FFTI_{W,k} = FFTI_{WEA,k} * FFTI_{0,k} \quad (1)$$

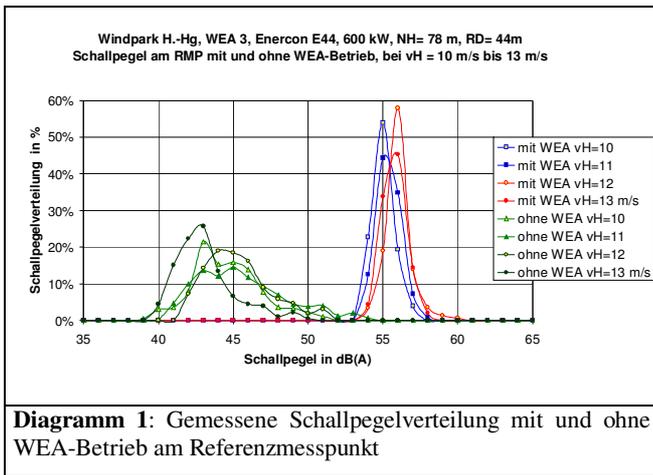
für die jeweilige fouriertransformierte (FFT) der Verteilungsfunktionen, die in der Faltungsoperation beteiligt sind, schreiben.

Durch eine Division im Frequenzbereich kann also gemäß Gl. (1) die fouriertransformierte $FFTI_{WEA,k}$ der gesuchten Verteilungsfunktion ermittelt werden und durch nachfolgende Anwendung der inversen Fourier-Transformation lässt sich die gesuchte Verteilung $L_{Aeq,WEA}$ rekonstruieren. Die Messaufgabe wird damit auf eine Umkehrung der Faltungsoperation bei verbundenen Verteilungen zurückgeführt.

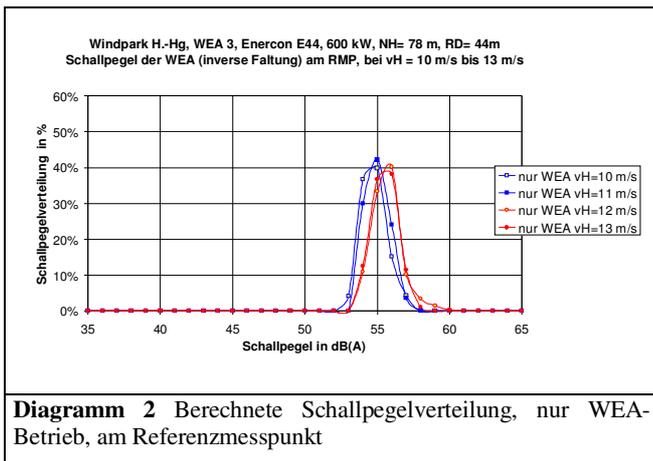
Anwendungen

In diesem Abschnitt werden typische Ergebnisse von Schallemissionsmessungen an WEA vorgestellt. Dabei werden die o.a. statistischen Methoden angewandt.

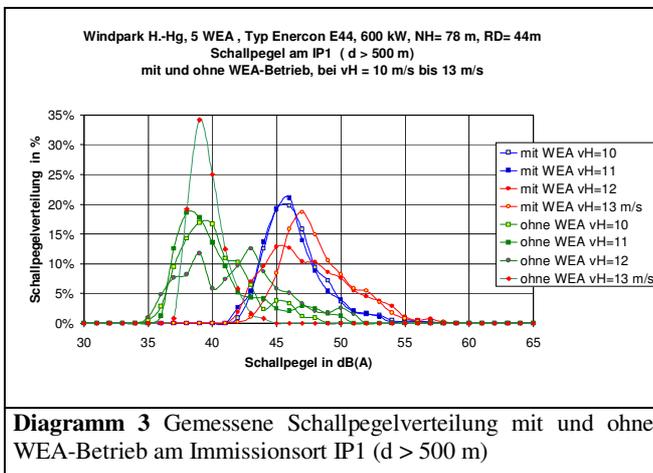
Zuerst werden Geräuschmessungen zur Bestimmung der Emissionen einer WEA vom Typ Enercon E44, Nennleistung 600 kW, Nabenhöhe $H = 78$ m, Rotordurchmesser $D = 44$ m angegeben.



Im **Diagramm 1** werden die statistischen Verteilungen der Einzelwerte, die zur Bildung der Minutenmittelwerte geführt haben, verwendet. Mit den angegebenen Verteilungen lassen sich paarweise inverse Faltungsoperationen durchführen. Das Ergebnis ist im **Diagramm 2** dargestellt. Mit diesen statistischen Mitteln kann auch erkannt werden, ob die Qualität der Emissionsmessung als ausreichend eingestuft werden kann und vor allem ob im konkreten Fall ein Standorteffekt bei der Messung vorliegt.

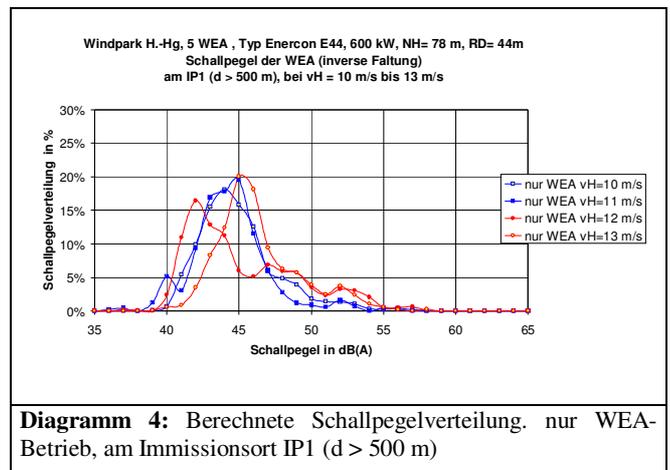


Bei Immissionsmessungen kann in vergleichbarer Art vorgegangen werden.



Die in **Diagramm 3** dargestellten Ergebnisse von Immissionsmessungen wurden zum Teil simultan zu den Messungen nach Diagramm 1 erzielt. Der Immissionsort befindet sich in einer Entfernung von rd. 500-800 m von 5 WEA vom gleichen Typ. Die Fremdgeräuschmessungen erfolgten bei vollständiger Abschaltung des Windparks. Es kann auch eine ähnliche statistische Auswertung der gemessenen Verteilungen durchgeführt werden. Sie führt zu den Verteilungen gemäß **Diagramm 4**.

Stellt man die Hypothese auf, dass die statistisch relativ enge Emissionsverteilung nach Diagramm 2 am Immissionsort nachvollziehbar sichtbar sein müsste, so liegt bei der gemessenen Verteilung der Immissionspegel, nach der verteilungsabhängigen Fremdgeräuschkorrektur, ein unerklärlich hoher Geräuschanteil über 47 dB(A) vor, der maßgebend den Pegel bestimmt und nach unserer Ansicht in diesem Fall nur durch lokale Effekte erzeugt wurde.



Eine Klärung des Sachverhalts könnte dadurch erfolgen, dass es gelingt, durch ein weiteres Verfahren zur Rekonstruktion des statistisch geprägten Schallausbreitungskanals, solche Nebeneffekte zu identifizieren und bei der Auswertung zu berücksichtigen.

Literatur

- [1] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) vom 26. August 1998, GMBI 1998, Nr. 26, S. 503-515
- [2] DIN ISO 9613-2 "Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren", Oktober 1999.
- [3] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte, Rev. 15, Stand 01.01.2004, Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie eV (FGW).
- [4] DIN EN 61400-11, Windenergieanlagen, Teil 11: Schallmessverfahren (November 2003)
- [5] VDI 3723, Blatt 1: „Anwendung statistischer Methoden bei der Kennzeichnung schwankender Geräuschimmissionen,“, Ausgabe Mai 1993