

Vibroakustische Messungen an Windkraftanlagen

Dejan Arsić¹, Philipp Grams²

¹ Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH, 82152 Planegg, Deutschland, DArsic@muellerbbm-vas.de

² Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH, 82152 Planegg, Deutschland, PGrams@muellerbbm-vas.de

Einleitung

Die Windenergie gilt als einer der Schlüsselfaktoren für eine erfolgreiche Energiewende. In dicht besiedelten Gebieten muss neben einem hohen Wirkungsgrad auch eine möglichst niedrige akustische Emission der Windenergieanlage gewährleistet werden. Beeinflussende Größen sind dabei insbesondere die Tonhaltigkeit, die Schalleistung und die Amplitudenmodulation. Zur Bewertung einer Anlage wird im Allgemeinen die IEC 61400-11 Ed. 2 bzw. 3 eingesetzt, welche allerdings nicht die Ursache eines akustischen Phänomens beschreiben kann.

Zur genaueren vibroakustischen Untersuchung einer Anlage ist daher ein vielkanaliges System einzusetzen, um möglichst viele potenzielle Quellpositionen abzudecken. Darüber hinaus müssen technische Hürden, wie Kabellängen, Übertragungsraten, aber auch topographische Hindernisse (z. B. Flüsse und Straßen) beim Aufbau des Messsystems in Betracht gezogen werden. Aus diesem Grund ist ein kabelloses Messdatenerfassungssystem, das phasensynchron autonom Daten aufzeichnet, zu verwenden.

Es soll aufgezeigt werden, wie ein idealtypischer Aufbau aussieht, der ein nahezu störungsfreies Erfassen und Auswerten von relevanten Parametern ermöglicht.



Abbildung 1: Typische Lage von Windparks. Mehrere WEAs nebeneinander in der Nähe von Straßen und anderen potentiell störenden Objekten

Motivation

Die nach IEC 64100 vorgeschriebene Abnahmemessung sieht derzeit vor, Messungen am Immissionspunkt mit einem Mikrofon in etwa 150 m Entfernung von der Anlage selbst vorzunehmen. Es werden in allen WindBins (typischerweise auftretende Windgeschwindigkeiten) Analysen zur Bestimmung von Tonhaltigkeit [3] und Schalleistungspegel durchgeführt. Somit kann berechnet werden, ob gesetzlich festgelegte Grenzwerte eingehalten werden.

Anhand der Messung kann aber keinerlei Aussage über mögliche Ursachen bzw. Quellen von Störgeräuschen getroffen werden. Daher müssen neben den vorgeschriebenen Messpunkten auch weitere

Sensorpositionen, Messgrößen und weiterführende Analysen in Betracht gezogen werden.

Ein mögliches Mess-Setup

Um mögliche Quellen zu detektieren, sind weitere Sensorpositionen notwendig. In dem vorliegenden Fall wurde folgender Aufbau gewählt:

- 70 triaxiale Beschleunigungsaufnehmer,
- 12 Mikrofone innerhalb und außerhalb des Turms,
- 168 Mikrofone in einem Array zur Schallortung,
- 3 Drehzahlsensoren am Getriebe und
- 2 Wetterstationen.

Alle Sensoren wurden für weiterführende Analysen ausgewählt und entsprechend positioniert. Hierbei wurden Positionen an Nabe, Gondel, Rotorblättern, Turm, Getriebe und Generator berücksichtigt.

Technische Herausforderungen

Der Messaufbau an Windkraftanlagen ist meist aufwendig. Einerseits ist die Anlagengröße zu beachten, die häufig sehr lange Sensorkabel erfordert [2]. Neben den Kosten für hochwertige Kabel und dem aufwendigen Verlegen, sind auch technische Limitierungen zu beachten.

Zum Beispiel sind für Dehnmessstreifen maximal fünf Meter sinnvoll, so dass ein zentrales Messfrontend nicht eingesetzt werden kann. Andererseits müssen Umgebungsbedingungen mit einbezogen werden, da insbesondere Messstellen außerhalb der Anlage oft nicht mit einfachen Mitteln erreicht werden können. Wie in **Abb. 1** dargestellt, sind Straßen, Bäume, Bäche oder auch Tiere zu beachten.

Ein kabelloser Aufbau

Abb. 2 zeigt einen möglichen kabellosen Aufbau mit vier verteilten Messsystemen. Die Frontends zur Datenerfassung befinden sich jeweils in unmittelbarer Nähe der möglichen Messpunkte, so dass eine aufwendige Verkabelung weitestgehend entfallen kann. Während der Erfassung werden die Daten entweder auf der Local Storage Disc (SSD) des Frontends oder auf einem zentralen Rechner gespeichert. Für letzteres wird eine Datenübertragung über WLAN genutzt. Da die Frontends vollkommen autark laufen und keinerlei Verbindung untereinander aufbauen müssen, verwenden diese keine gemeinsame Clock zur Datensynchronisation. Um nach wie vor Phasenbeziehungen zwischen Signalen erhalten und Transferfunktionen berechnen zu können, wird jedes der Frontends mit einem GPS-Modul ausgestattet. Über die hochgenaue Clock des GPS-Signals und ein einfaches Re-Sampling wird eine Phasengenauigkeit von 0.5° bei 10.000 Hz erreicht.

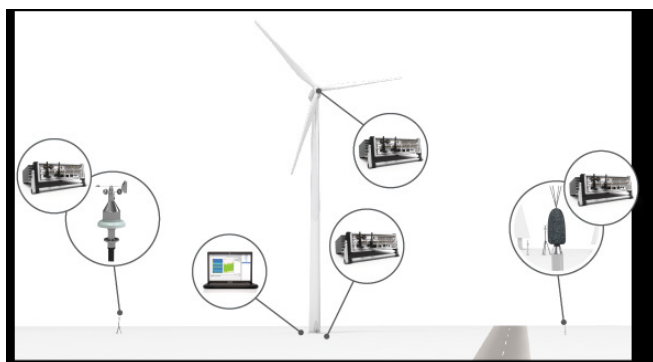


Abbildung 2: Kabelloser Messaufbau mit verteilten Messstellen

Mögliche Analysen

Der in **Abb. 4** dargestellte Messaufbau zur Schallortung [6][7] wurde zunächst verwendet, um eine grobe Lokalisierung der Schallquellen zu erreichen. Hier können insbesondere die Rotorblätter und die Gondel als Quellen hervorragend getrennt werden. Wie in **Abb. 3** dargestellt, ist leider auch bei großen Arrays die Ortsauflösung bei tiefen Frequenzen nicht ausreichend, um die Quelle innerhalb der Gondel genau zu identifizieren. Aus diesem Grund sind weitere Analysen erforderlich. Da ein hoher Beitrag vom Getriebe der Anlage zu erwarten ist, sollte hier analog zur Fahrzeugakustik ebenfalls eine Ordnungsanalyse [5] verwendet werden, um einen Zusammenhang zwischen wahrgenommenen Frequenzen und den vorhandenen Drehzahlen und Zahneingriffsfrequenzen herstellen zu können. Bei Windkraftanlagen spielen verschiedene große Komponenten und der Wind, der die Anlage anregt, eine dominante Rolle.

Neben einer Betriebsschwingungsanalyse [8], kommt bei der Untersuchung der angeregten Struktur insbesondere die Transferpfadanalyse [9] zum Tragen, da so die verschiedenen Übertragungswege von möglichen Schallquellen zum Beobachtungspunkt (im vorliegenden Fall ein Mikrofon, das zur Normmessung verwendet wird) im Detail analysiert und entsprechend Anteile mit hohem Beitrag zum Gesamtgeräusch gezielt gesucht werden können. Somit können Windenergieanlagen während des Entwicklungsprozesses gezielt akustisch optimiert werden.



Abbildung 3: Das Resultat einer Schallquellenortung mit dem Getriebe als Quelle. Eine exakte Lokalisierung ist aufgrund der Ortsauflösung nicht möglich.



Abbildung 4: Möglicher Messaufbau für ein Mikrofonarray mit 170 Mikrofonen. Aufgrund der Größe ist ein liegender Aufbau vorzuziehen.

Literatur

- [1] "Wind Turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques" IEC 61400-11 Ed.2 (International Electrotechnical Commission, The Netherlands, 2007-03)
- [2] D. Arsić, J. Huff, J. Putner "Efficient Evaluation of Wind Turbine Noise". Proc. Noise-Con 2013, Denver, Colorado, USA, 2013
- [3] "Acoustics - Determination of tonal components of noise and determination of a tone adjustment for the assessment of noise emissions" DIN 45681: 3 (Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Germany, 2005)
- [4] D. Arsić, J. Huff "Highly Distributed Data Acquisition on Wind Turbines with PAK" Proc. WindTurbineNoise 2013, Denver, Colorado, USA, 2013
- [5] P. Zeller "Handbuch Fahrzeugakustik: Grundlagen, Auslegung, Berechnung, Versuch", Vieweg + Teubner Verlag, ISBN 9783834806512, 2009
- [6] R. Ramachandran and R. Dougherty "Wind Turbine Field Measurements With Compact Microphone Array Using Advanced Beamforming Methods", Proc. 18th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (33rd AIAA Aeroacoustics Conference), Colorado Springs, USA, 2012
- [7] S. Oerlemans, P. Sijtsma, B. Mendez Lopez "Location and quantification of noise sources on a wind turbine", Journal of Sound and Vibration 299(4-5), 2007
- [8] M. Lohrmann and T. Hohenberger "Operational transfer path analysis: comparison with conventional methods." Journal of the Acoustical Society of America 123.5 (2008): 3534
- [9] J. Putner, H. Fastl, M. Lohrmann, A. Kaltenhauser and F. Ullrich "Operational transfer path analysis predicting contributions to the vehicle interior noise for different excitations from the same sound source" Proc. Internoise 2012 (New York City, USA, 2012)