

http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Erdbeben-Gefahrungsanalysen/Seismologie/Kernwaffenteststopp/Projekte/abgeschlossen/hufe_wka.html?nn=1558740

Der unhörbare Schall von Windkraftanlagen

Land / Region: Deutschland - Region Hannover

Projektanfang: 01.04.2004

Projektende: 31.12.2016

Projektstand: 31.12.2016

Einführung

Moderne Windkraftanlagen (WKA) mit Leistungen von Hunderten bis Tausenden von Kilowatt (kW) generieren aufgrund ihrer Größe und der geringen Rotationsgeschwindigkeit der Rotorblätter einen **Großteil ihrer akustischen Emissionen im Infraschallbereich unterhalb von 20 Hz**. In diesem nicht vom menschlichen Ohr wahrnehmbaren Frequenzbereich pflanzt sich der Schall deutlich weiter fort als im hörbaren Bereich und kann etliche Kilometer entfernt noch von empfindlichen Messgeräten wie etwa den Mikrobarometern der Infraschallstationen der BGR registriert werden.

Dabei beeinträchtigen regelmäßige akustische Signale nahegelegener WKA die direkten Stationsaufzeichnungen von Luftdruckvariationen im Infraschallbereich und damit auch die Leistungsfähigkeit betreffender Stationen zur Detektion von Infraschallereignissen. So etwa betrifft dies die Signaturen von Explosionen im Rahmen der Überwachung des Kernwaffenteststopps (CTBT). Für die BGR als Betreiber von CTBT-Infraschallstationen ist eine genaue Kenntnis und Quantifizierung der Einflüsse von Windkraftanlagen auf Infraschallmessungen von großer Bedeutung. Aus diesem Grund befasst sich die BGR auch schon seit nunmehr 2004 mit diesem Thema.

Feldmessung mit Mobilstationen (HUFÉ)

Die BGR betreibt hochempfindliche sowohl fest installierte als auch mobile Infraschallmessenanlagen und ist daran interessiert, eine Abschätzung der Stärke von Schallemissionen durch Windräder im Infraschall-Frequenzbereich vornehmen zu können. Zu diesem Zweck wurde erstmalig im Jahr 2004 eine mobile Infraschall-Messkampagne an einem einzelnen, frei stehendem 200 kW Windrad nahe dem Ort Hufe 20 km nördlich von Hannover durchgeführt. An acht Standorten entlang eines etwa 2 km langen West-Ost-Profiles wurden die akustischen Signale des Windrades mit Mikrobarometern gemessen (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Feldmessungen an einer 200 kW Windkraftanlage vom Typ Vestas V47 nördlich von Hannover. Die Registrierung mit MB2000 Mikrobarometern erfolgte entlang eines etwa 2 km langen Profils Quelle: BGR

Kontinuierliche Messungen mit einem Infreschall-Array (IGADE)

Seit dem Jahr 2005 betreibt die BGR neben den IMS-Infreschallstationen [I26DE](#) und [I27DE](#) zur Überwachung des Kernwaffenteststopp eine weitere Infreschallstation [IGADE](#) nördlich von Bremen. Diese Station mit vier fest installierten Mikrobarometern dient als Test- und Trainingsstation im CTBT-Kontext und erhebt seit mehr als 10 Jahren kontinuierlich Infreschalldaten. Aufgrund ihrer Lage in Norddeutschland befindet sich die Station in naher Umgebung zu einer wachsenden Anzahl von Windkraftanlagen (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Windkraftanlagen (hier: vier Enercon 1800 kW südwestlich von IGADE, in Betrieb seit 2005) in 4 km Umkreis zum Infreschall-Array IGADE nördlich von Bremen. Vier weitere Anlagen in südlicher Richtung wurden 2006 errichtet Quelle: BGR

Seit dem Aufbau der Station im Jahr 2005 hat sich die Anzahl der WKA in der näheren Umgebung stark erhöht, im Bereich von vier bis 20 Kilometern Entfernung beträgt die Anzahl der Windkraftanlagen Mitte 2016 bereits 120 (siehe Abbildung 3). Dabei sind Infreschallsignaturen dieser Anlagen kontinuierlich in den Aufzeichnungen der Mikrobarometer zu finden.

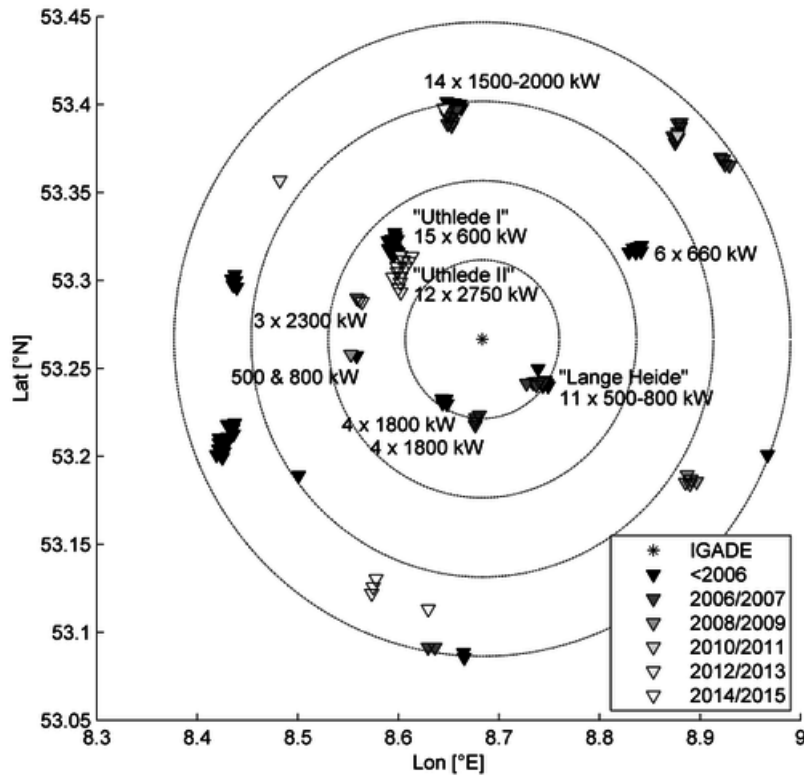


Abbildung 3: Windkraftanlagen in der Umgebung der Station IGAD (im Zentrum, konzentrische Kreise zeigen 5, 10, 15 und 20 km Abstände) mit Angaben zum Baujahr und zur Kilowattleistung Quelle: BGR/ Windatlas Niedersachsen

Beobachtungen und Auswertung

Infraschall an Windkraftanlagen entsteht durch eine regelmäßige Unterbrechung der winderzeugten Anströmung beim Passieren der einzelnen Rotorblätter am Turm. Die sich wiederholenden Signaturen beim Zusammenpressen der anströmenden Luft setzen sich aus einzelnen Tönen zusammen, die ein Vielfaches der sogenannten Flügelharmonischen sind, dem Produkt aus Umdrehungsgeschwindigkeit und Anzahl der Flügel. Regelmäßige Ausschläge in den Luftdruckaufzeichnungen im (Infraschall-)Bereich von 0.5 – 2 Hz spiegeln Signaturen dieser Flügelharmonischen wider (siehe Abbildung 4).

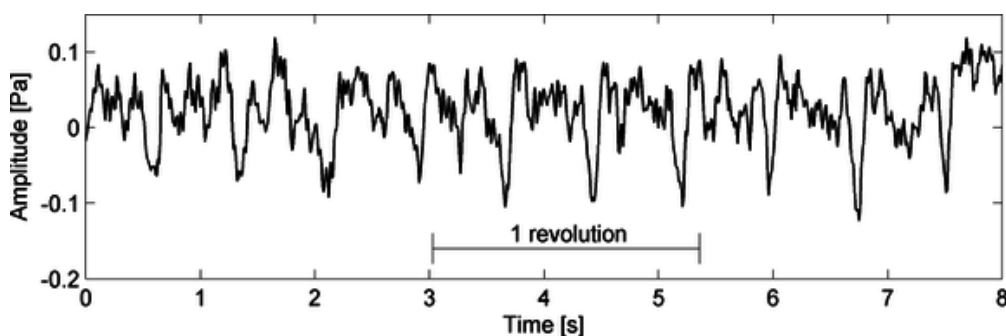


Abbildung 4: Luftdruckzeitreihe mit Infraschallsignaturen von Flügelharmonischen einer Windkraftanlage, erkennbar hier als regelmäßige Ausschläge nach unten Quelle: BGR

Insgesamt kann ein klarer Zusammenhang zwischen dem gemessenen Infraschall-druckpegel und der Windgeschwindigkeit hergestellt werden, wobei hierzu Messun-

gen im Rahmen der Feldkampagne sowohl bei Windstille als auch bei mittleren und höheren Windgeschwindigkeiten durchgeführt wurden. Im 2004 untersuchten Fall wurde das Windrad abhängig von der Windgeschwindigkeit mit zwei verschiedenen Umdrehungszahlen von 20 und 26 Umdrehungen pro Minute betrieben. Dies ermöglichte im Zusammenhang mit der Verfügbarkeit von Betriebsdaten des betreffenden Windrades Untersuchungen zur Windabhängigkeit der Infraschallsignaturen (siehe Abbildung 5).

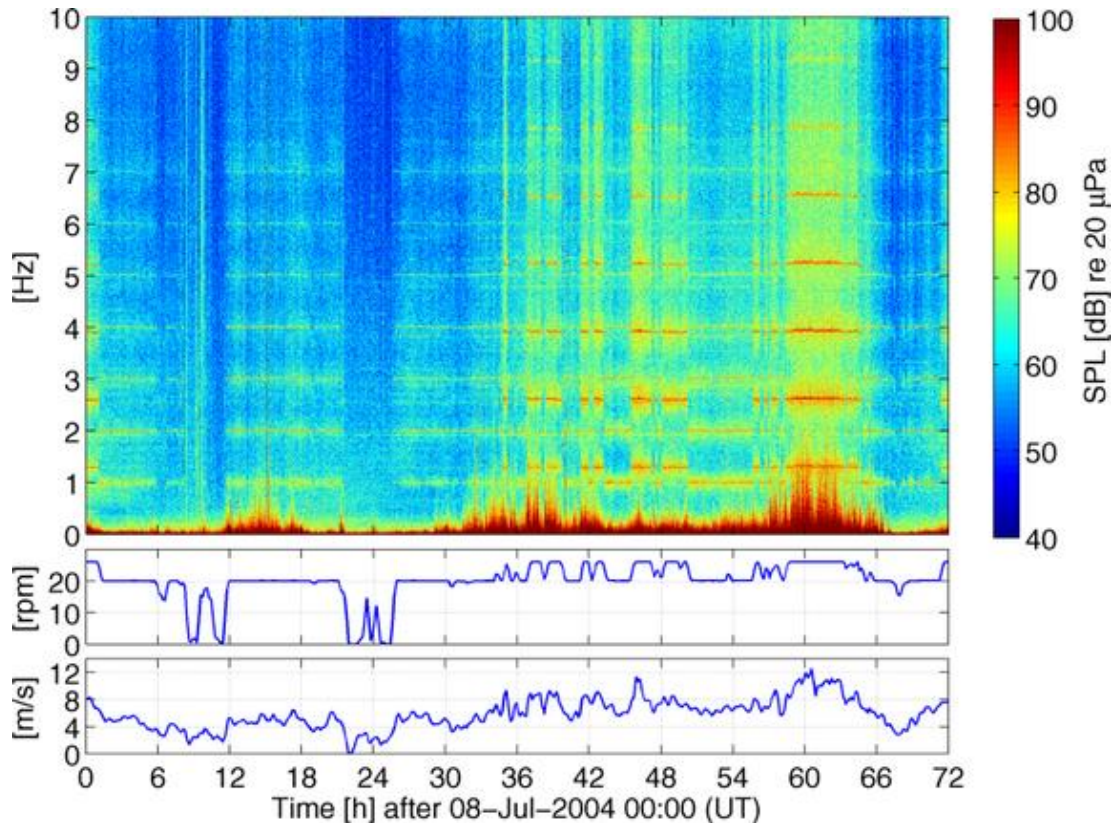


Abbildung 5: Zeit-Frequenz-Analyse über 72 Stunden (gemessen in 200 m Entfernung zu einer 200 kW Anlage), die deutlich den Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit (unten), Rotationsgeschwindigkeit (Mitte, Angaben in Umdrehungen pro Minute) und den Infraschallsignaturen des Windrades (oben, Angaben in Dezibel-Schalldruckpegeln) zeigt. Flügelharmonische mit den Grundfrequenzen von 1.0 bzw. 1.3 Hz und ihren Vielfachen sind besonders bei starkem Wind ausgeprägt Quelle: BGR

Der Einfluss auf Mikrobarometermessungen durch Infraschall von WKA konnte in den Daten der seit 2005 in Betrieb befindlichen Station IGADÉ bis zum heutigen Tag als kontinuierliches Phänomen nachgewiesen werden. Die Signaturen der Flügelharmonischen als regelmäßige Vielfache bestimmter Infraschallfrequenzen sind in Leistungsdichtespektren der Station durchgängig, aber in unterschiedlicher Intensität zu erkennen. Hinzu kommt die Registrierung von Windkraftanlagen als Infraschallquellen in Form von Tausenden von Detektionen in automatischen Korrelationsanalysen (siehe Abbildung 6).

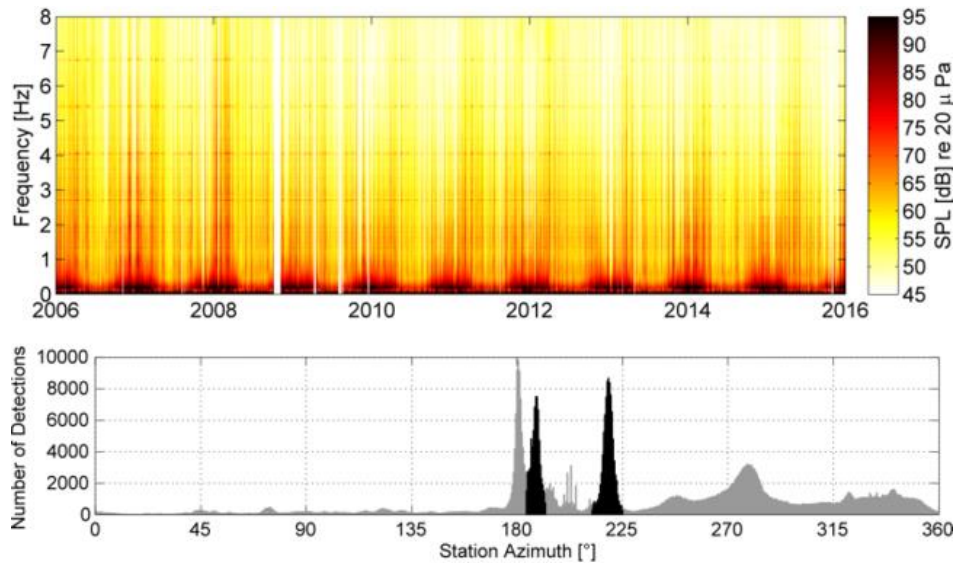


Abbildung 6: (Oben) Infraschallaufzeichnungen (2006-2016) an einem IGADÉ-Mikrobarometer. Die farbliche Darstellung der Schalldruckpegel zeigt Signaturen von Windkraftanlagen als horizontale Linien mit erhöhten Dezibel-Werten. (Unten) Herkunftsrichtung von Infraschallereignissen nach Korrelation aller IGADÉ-Elemente. Zwei schwarz eingefärbte Maxima sind auf nahe Windkraftanlagen in diesen Richtungen (siehe Abbildung 2) zurückzuführen Quelle: BGR

Damit beeinträchtigt der Infraschall aus Windkraftanlagen regelmäßig und kontinuierlich sowohl die Infraschallaufzeichnungen (regelmäßige Ausschläge im Luftdruck) als auch der prozessierten Datenprodukte (zusätzliche Detektionen von Infraschallereignissen aus der Richtung von Windkraftanlagen).

Infraschallstationen, die durch die akustische Emission von Windkraftanlagen beeinträchtigt werden, sind speziell in die Richtung dieser Anlagen praktisch blind für andere Ereignisse. Dabei sind Richtungssegmente von bis zu 20° pro nahegelegener Windkraftanlage betroffen und im Fall von IGADÉ sind mehr als 25% aller Detektionen dieser Station von WKA generiert.

Abhängig von Konstruktionsparametern, generierter Leistung und Anzahl nahe beieinander stehender Windkraftanlagen ist es möglich, den abgestrahlten Schall als Funktion der Entfernung zum Windrad zu berechnen. Die aus Modellen und Literatur theoretisch ermittelten Werte konnten dank der von der BGR durchgeführten Feldmessung 2004 und der kontinuierlichen Aufzeichnungen an IGADÉ seit 2005 für den Infraschallbereich überprüft werden. Dies wiederum erlaubt, einen Mindestabstand von einem Windrad oder einer Windfarm zu einer Infraschallmessanlage anzugeben, um Schwellwerte für eine Beeinträchtigung der Messungen durch die oben beschriebenen Flügelharmonischen von Windkraftanlagen zu quantifizieren (siehe Abbildung 7).

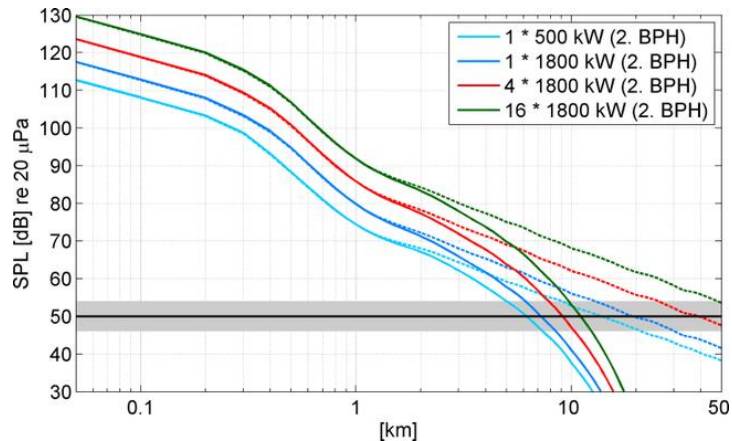


Abbildung 7: Schalldruckpegel der Emission von Windkraftanlagen in Abhängigkeit von Entfernung, Leistung und Anzahl. Durchgezogene Linien berücksichtigen hierbei normale Ausbreitungsbedingungen, gestrichelte Linien die Ausbreitung in einem troposphärischen Wellenleiter. Das mittlere Rauschniveau an der Infraschallstation I26DE (horizontale Linie) ist als Schwellwert für unbeeinträchtigte Messungen angegeben Quelle: BGR

Schlussfolgerungen

Die Berechnung der entfernungsbedingten, akustischen Einflüsse von Windkraftanlagen auf Infraschallstationen ist für die BGR als Betreiber der Infraschallstation I26DE im Bayerischen Wald, die Teil des internationalen Überwachungssystems zur Einhaltung des Kernwaffenteststoppabkommens ist, von großer Bedeutung, um eine ungestörte Registrierung an dieser Station zu gewährleisten. An Hand der theoretischen Abschätzung zeigt sich, dass die Schallemission moderner und großer Windkraftanlagen mit Leistungen von mehr als 500 kW Reichweiten von über 20 km hat. Diese Entfernung steigt im Falle von Windparks auf ein Vielfaches.

Dabei wurden die für eine Schallausbreitung günstigsten Atmosphärenbedingungen (eines stabilen troposphärischen Wellenleiters z.B. durch eine Inversionsschicht in der Temperatur) angenommen. Im häufiger auftretenden „Normalfall“ atmosphärischer Schallausbreitung reduziert sich der Mindestabstand zu Windkraftanlagen für unbeeinträchtigte Messungen einer Infraschallstation auf Werte von etwa 5 bis 15 km, je nach Hintergrund-Rauschbedingungen an der Station sowie Größe und Zusammensetzung eines Windparks aus mehreren WKA.

Material

Der vollständige Bericht zur BGR-Feldkampagne 2004 kann hier heruntergeladen werden: [Der unhörbare Lärm von Windkraftanlagen \(PDF, 1 MB\)](#)

Eine Posterpräsentation aktueller Ergebnisse 2014 in englischer Sprache ist hier verfügbar: [Infrasound emission generated by wind turbines \(PDF, 9 MB\)](#)

Neueste weiterführende Veröffentlichungen zu dem Thema sind:

Pilger & Ceranna 2016, "The influence of periodic wind turbine noise on infrasound array measurements", Journal of Sound and Vibration. doi: 10.1016/j.jsv.2016.10.027

Stammler & Ceranna 2016, "Influence of wind turbines on seismic records of the Graefenberg Array", Seismological Research Letters. doi: 10.1785/0220160049