

Bisherige Arbeiten: Feldmessung mit Mobilstationen im Jahr 2004 (HUFE)

Die BGR betreibt hochempfindliche sowohl fest installierte als auch mobile Infraschall-Messanlagen und ist daran interessiert, eine Abschätzung der Stärke von Schallemissionen durch Windenergieanlagen (WEA) im Infraschall-Frequenzbereich vornehmen zu können.

Zu diesem Zweck wurde erstmalig im Jahr 2004 eine mobile Infraschall-Messkampagne an einer einzelnen, freistehenden Vestas V47 Windenergieanlage 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 der WEA mit Mikrobarometern gemessen (siehe Abbildung 1).



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

Bisherige Arbeiten: Kontinuierliche Messungen mit einem Infrasschall-Array (IGADE)

Seit dem Jahr 2005 betreibt die BGR neben den IMS-Infrasschall-Stationen [I26DE](#) und [I27DE](#) zur Überwachung des CTBT eine weitere Infrasschall-Station IGADE nördlich von Bremen. Diese Station mit vier fest installierten Mikrobarometern dient als Test- und Trainingsstation im CTBT-Kontext und erhebt seit mehr als 15 Jahren kontinuierlich Infrasschall-Daten. Aufgrund ihrer Lage in Norddeutschland befindet sich die Station in naher Umgebung zu einer wachsenden Anzahl von Windenergieanlagen (siehe Abbildung 2).



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

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

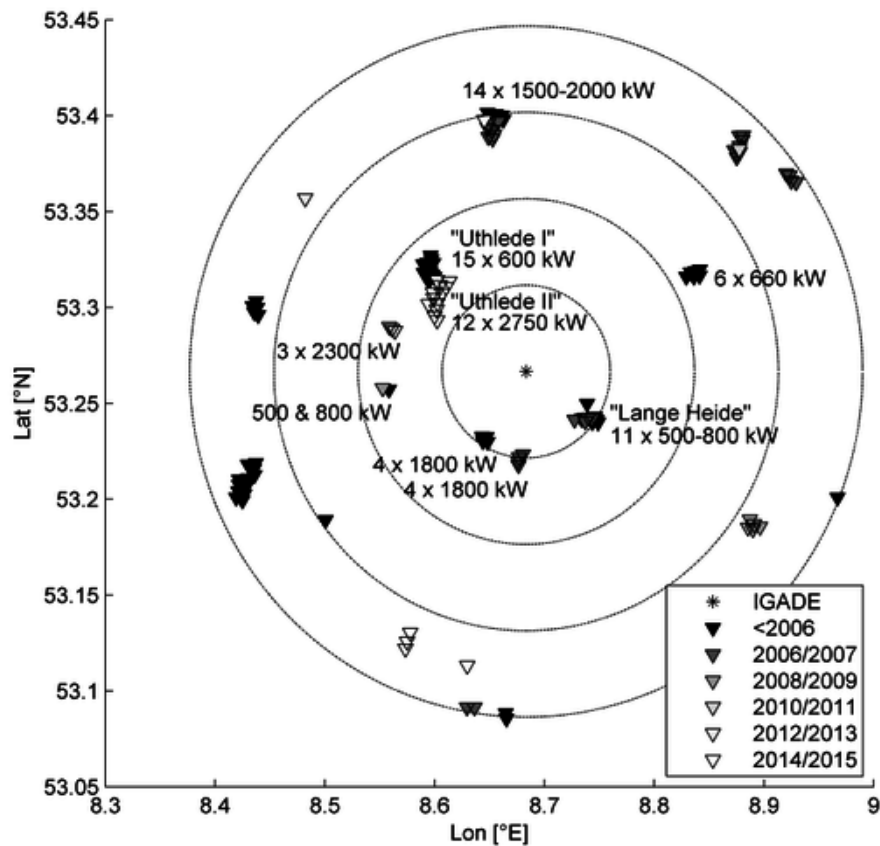


Abbildung 3: Windenergieanlagen in der Umgebung der Station IGADE (im Zentrum, konzentrische Kreise zeigen 5, 10, 15 und 20 km Abstände) mit Angaben zum Baujahr und zur Kilowattleistung (Quelle: *Windatlas Niedersachsen, 2016*)

Bisherige Arbeiten: Beobachtungen und Auswertung

Infraschall an Windenergieanlagen 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).

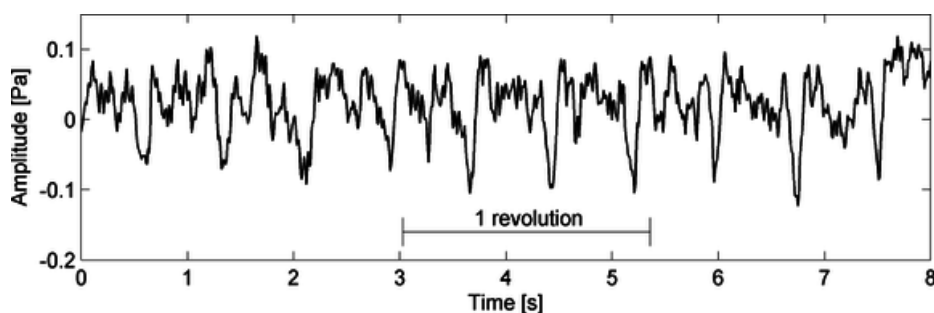


Abbildung 4: Luftdruckzeitreihe mit Infraschall-Signaturen von Flügelharmonischen einer Windenergieanlage, erkennbar hier als regelmäßige Ausschläge nach unten.

Insgesamt kann ein klarer Zusammenhang zwischen dem gemessenen Infraschall und der Windgeschwindigkeit hergestellt werden, wobei hierzu Messungen im Rahmen der Feldkampagne sowohl bei Windstille als auch bei mittleren und höheren Windgeschwindigkeiten durchgeführt wurden. Im 2004 untersuchten Fall wurde die WEA 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 der betreffenden WEA Untersuchungen zur Windabhängigkeit der Infraschall-Signaturen (siehe Abbildung 5).

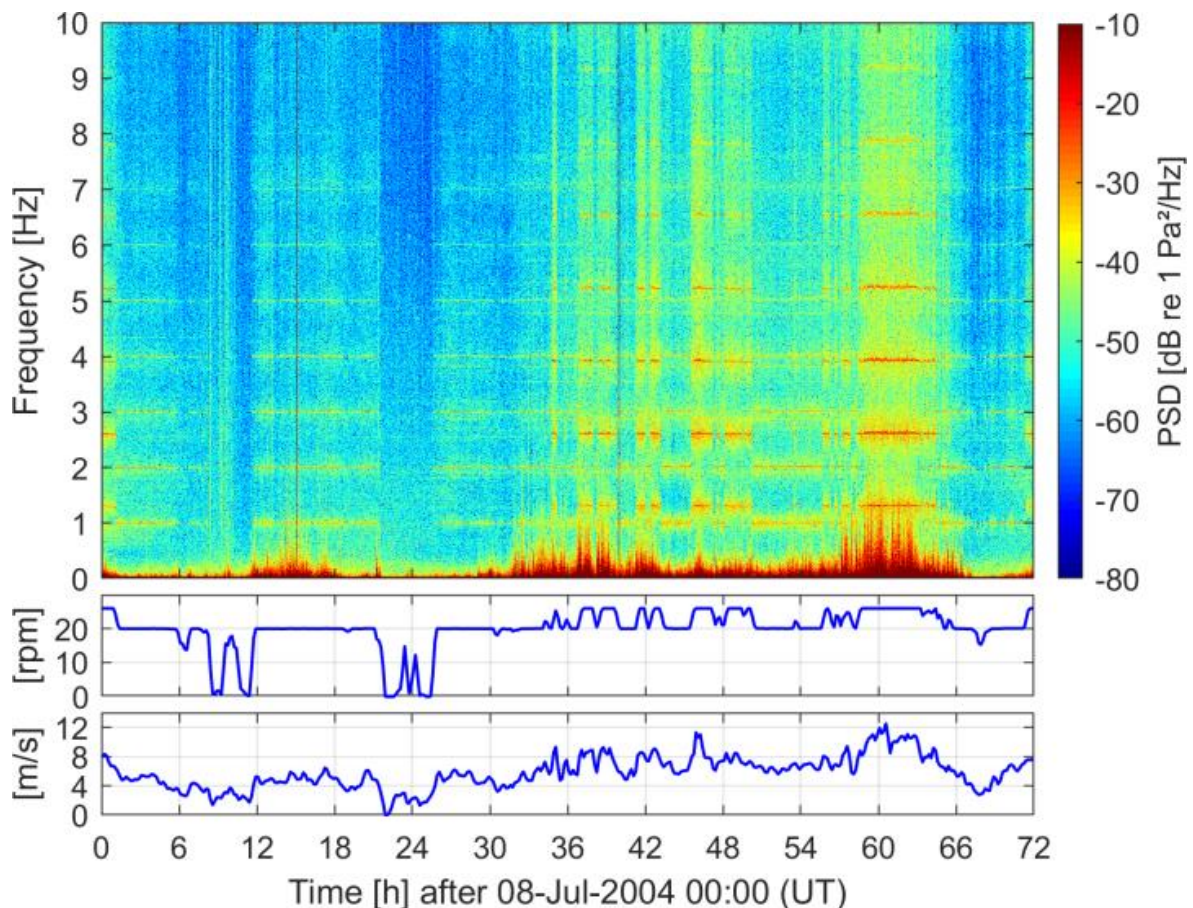


Abbildung 5: Zeit-Frequenz-Analyse über 72 Stunden (gemessen in 200 m Entfernung zu einer WEA vom Typ Vestas V47/660), die deutlich den Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit (unten), Rotationsgeschwindigkeit (Mitte, Angaben in Umdrehungen pro Minute) und den Infraschall-Signaturen der Windenergieanlage (oben, Angaben als Dezibel-Leistungsdichtespektrum) zeigt. Flügelharmonische mit den Grundfrequenzen von 1.0 bzw. 1.3 Hz und ihren Vielfachen sind besonders bei starkem Wind ausgeprägt.

Der Einfluss auf Mikrobarometermessungen durch Infraschall von WEA 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 Infraschall-Frequenzen sind in Leistungsdichtespektren der Station durchgängig, aber in unterschiedlicher Intensität zu erkennen. Hinzu kommt die Registrierung von Windenergieanlagen als Infraschall-Quellen in Form von Tausenden von Detektionen in automatischen Korrelationsanalysen (siehe Abbildung 6).

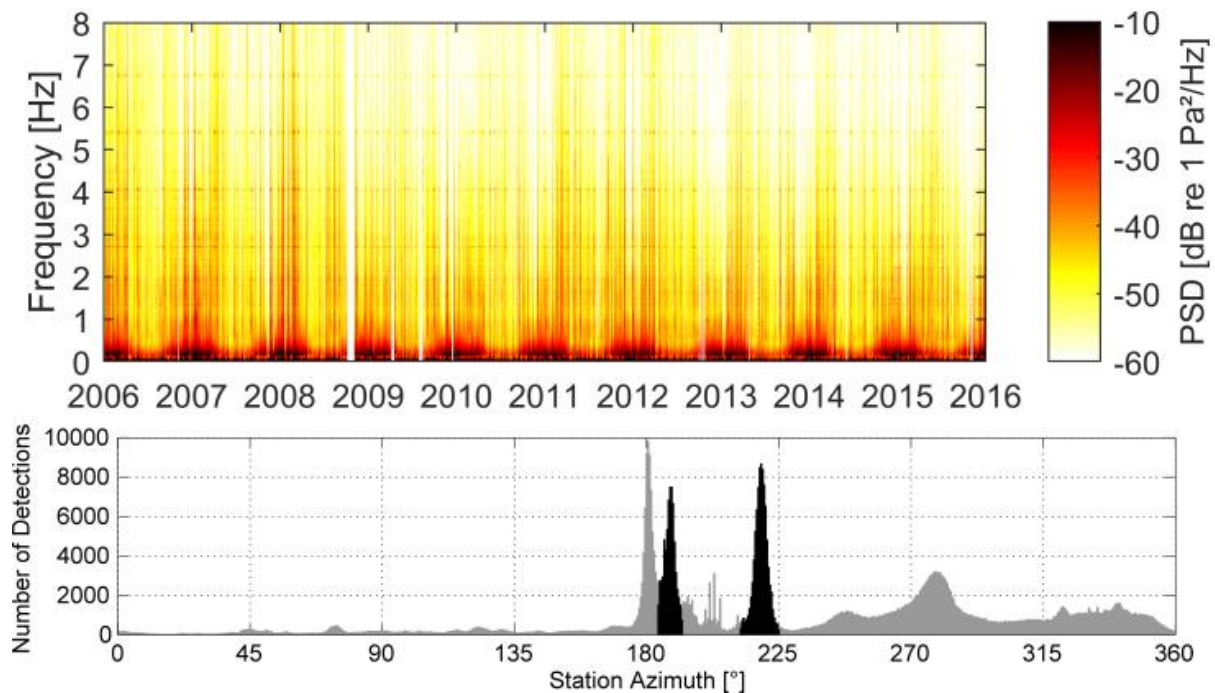


Abbildung 6: (Oben) Leistungsdichtespektrum von 10 Jahren Infraschallaufzeichnung an einem IGADE-Mikrobarometer. Signaturen von Windenergieanlagen zeigen sich als horizontale Linien mit erhöhten Dezibel-Werten. (Unten) Herkunftsrichtung (in Grad im Uhrzeigersinn von Norden) von Ereignisdetektionen nach der Auswertung mit Korrelationsanalysen aller IGADE-Elemente. Schwarz eingefärbte Maxima sind auf die nächstliegenden Windenergieanlagen in diesen Richtungen (siehe Abbildung 2) zurückzuführen.

Damit beeinträchtigt der Infraschall aus Windenergieanlagen regelmäßig und kontinuierlich sowohl die Infraschall-Aufzeichnungen (regelmäßige Ausschläge im Luftdruck) als auch die prozessierten Datenprodukte (zusätzliche Detektionen von Infraschall-Ereignissen aus der Richtung von Windenergieanlagen).

Infraschall-Stationen, die durch die akustische Emission von WEA beeinträchtigt werden, sind speziell in die Richtung dieser Anlagen praktisch blind für andere Ereignisse. Dabei sind Richtungssegmente von bis zu 20° pro nahegelegener Windenergieanlage betroffen und im Fall von IGADE sind mehr als 25% aller Detektionen dieser Station von WEA generiert. Abhängig von Konstruktionsparametern, generierter Leistung und Anzahl nahe beieinanderstehender WEA ist es möglich, den abgestrahlten Schall als Funktion der Entfernung zur WEA zu berechnen. Die aus Modellen und Literatur theoretisch ermittelten Werte konnten dank der von der BGR durchgeführten Feldmessung 2004 und der kontinuierlichen Aufzeichnungen an IGADE seit 2005 für den Infraschall-Bereich überprüft werden. Dies wiederum erlaubt, einen Mindestabstand von einer einzelnen WEA oder einem Windpark zu einer Infraschall-Messanlage anzugeben, um Schwellwerte für eine Beeinträchtigung der Messungen durch die oben beschriebenen Flügelharmonischen von Windenergieanlagen zu quantifizieren (siehe Abbildung 7).

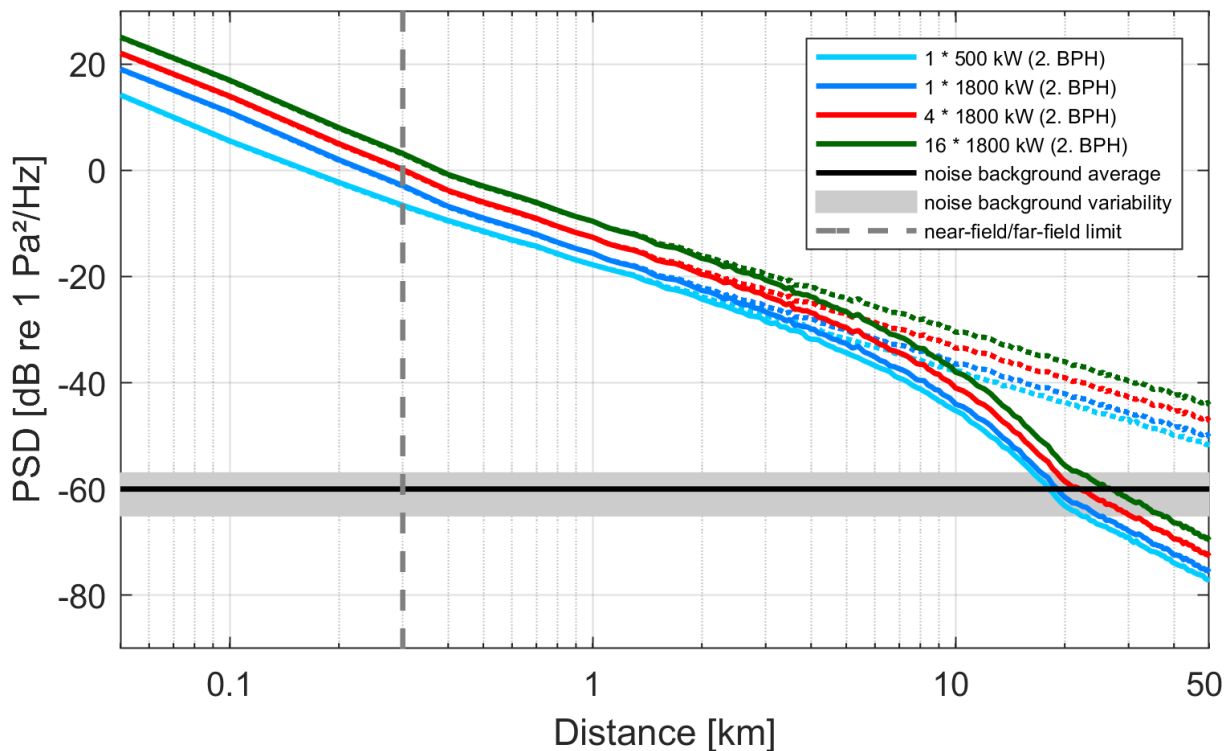


Abbildung 7: Leistungsdichtespektrum der modellierten, maximalen Emission von Windenergieanlagen in Abhängigkeit von Entfernung, Leistung und Anzahl. Durchgezogene Linien berücksichtigen hierbei normale Ausbreitungsbedingungen, gepunktete Linien die Ausbreitung in einem troposphärischen Wellenleiter. Das mittlere Rauschniveau an der Infraschall-Station I26DE (horizontale Linie) ist als Schwellwert (grau für Variabilität) für unbeeinträchtigte Messungen angegeben.

Zusammenfassung bisheriger Arbeiten

Die Berechnung der entfernungsbedingten, akustischen Einflüsse von Windenergieanlagen auf Infraschall-Stationen ist für die BGR als Betreiber der Infraschall-Station I26DE im Bayerischen Wald, die Teil des internationalen Überwachungssystems zur Einhaltung des CTBT ist, von großer Bedeutung, um eine ungestörte Registrierung an dieser Station zu gewährleisten. An Hand theoretischer Abschätzungen und experimenteller Beobachtungen zeigt sich, dass die Schallemission moderner und großer Windenergieanlagen mit Leistungen im MW-Bereich Reichweiten von 50 km und mehr haben. Dabei wurden die für eine Schallausbreitung günstigsten Atmosphärenbedingungen (eines stabilen troposphärischen Wellenleiters z.B. durch eine Inversionsschicht in der Temperatur) angenommen. Im dagegen häufiger auftretenden „Normalfall“ atmosphärischer Schallausbreitung ohne troposphärischen Wellenleiter reduziert sich der Mindestabstand zu Windenergieanlagen für unbeeinträchtigte Messungen einer Infraschall-Station auf Werte von etwa 15 bis 25 km, je nach Hintergrund-Rauschbedingungen an der Station sowie Größe und Zusammensetzung eines Windparks aus mehreren WEA.