

Infraschall aus Windenergieanlagen - was man heute dazu wissen sollte

In den letzten Monaten wurde der Druck zur Planung und Aufstellung von Windenergieanlagen auf vielen Ebenen erheblich verstärkt. Bundesregierung, Landesregierungen und Windindustrie räumen bisherige Rücksichten auf Menschen und Naturräume aus dem Weg, um eine extreme Flächendichte dieser Anlagen zu erreichen, wie sie in solcher "Gründlichkeit" in keinem anderen Land Europas verwirklicht wird. Ein wesentlicher Teil dieser Strategie besteht darin, die potentielle Gefahr des von Windanlagen ausgehenden Infraschalls für die Anwohner zu verharmlosen. Dabei wird die Tatsache genutzt, dass auf diesem Gebiet wissenschaftlich haltbare Daten nur unzureichend vorhanden sind und stattdessen häufig oberflächliche bzw. eng begrenzte Informationen in Umlauf gebracht werden.

Bereits 2016 wurde durch die LUBW verbreitet, Infraschall aus Windanlagen sei nicht problematischer als die Emission von Haushaltsgeräten oder fahrender PKW (LUBW, 2016). Dabei wurden im kritischen Frequenzbereich unterhalb von 8 Hz nur wenige und technisch unzureichende Messungen publiziert, insbesondere wurde das Infraschall-Rauschen des Hintergrunds nicht klar von der Emission der Anlagen getrennt. Bis heute wird an der widerlegten These festgehalten, Infraschall-Intensitäten unterhalb der Wahrnehmungsschwelle (das sind Schalldrucke, die 90 % der Menschen nicht mehr hören) seien nach aktuellem Wissen unschädlich. Spätestens seit 2017 ist bekannt, dass Infraschall unterhalb der individuellen Hörschwelle wahrgenommen werden kann und definierte Gehirn-Areale aktiviert (Weichenberger et al. 2017). Ein aktuelles Beispiel für die Verbreitung einer sehr engen Wahrnehmung des Infraschall-Problems ist eine von der Uni Bayreuth verantwortete website (Uni Bayreuth, website 2020), die offenbar Verdachtsmomente für negative Wirkungen der Infraschall-Emissionen aus Windanlagen falsifizieren will und dazu Schalldrucke zwischen verschiedenen Windanlagen und in Experimenten benutzte Schalldrucke formal vergleicht.

In dieser Situation erscheint es sinnvoll, sich der Charakteristika des von Windanlagen ausgehenden Infraschalls zu erinnern und auf wesentliche Aspekte ihrer Wirkung auf den Menschen hinzuweisen.

1. Die wichtigste Evidenz: erkrankte Anwohner

Es ist unbestritten, dass manche Anwohner von Windanlagen unter einem Stress-Syndrom leiden, welches mit hochgradigem Schlafmangel beginnt und zu Angstreaktionen, Depressionen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen führt. Die Anzahl der Betroffenen in Deutschland steigt mit der Anlagen-Dichte und wird auf Grund der Befunde von Praxis-Ärzten auf mindestens 180 000 geschätzt (Kaula, 2019). Viele der Betroffenen haben ihre Gesundheitsprobleme und den Bezug zu benachbarten Windanlagen auch per Video dokumentiert (<https://www.dsgs.info/VIDEOS/DSGS-e-V-Betroffenen-Videos/index.php/>). Der Anteil von Erkrankten an der Gesamtzahl der exponierten Menschen ist schwer abschätzbar, weil die einzelnen Symptome (Schlafstörungen, Schwindelanfälle, Atemnot, Angstzustände etc.) für sich allein wenig spezifisch sind und auch von Ärzten oft nicht den benachbarten Windanlagen zugerechnet werden. Außerdem wirken lokale Gegebenheiten wie Geländestruktur, Vegetation, Windrichtung und -aufkommen etc. stark modifizierend. Die häufig genannte Zahl

von 10 - 30 % Erkrankten ist eine auf ärztlicher Erfahrung beruhende, grobe Abschätzung. Vieles spricht heute dafür, dass individuell unterschiedliche Empfindlichkeiten eine erhebliche Rolle spielen: bei sensiblen Patienten erfolgt die unbewusste Wahrnehmung der Druckschwankungen offenbar bei wesentlich geringeren Intensitäten als bei anderen, mit steigender Intensität reagieren aber sehr wahrscheinlich alle Anwohner. Wenn also bisher keine gesicherte Prozentzahl von Betroffenen genannt werden kann, ist das Fehlen solcher Zahlen keinesfalls ein Beleg für eine geringe oder fehlende Gesundheitsgefahr von Windanlagen. Es kommt heute mehr denn je darauf an, Bewohnern aus der Umgebung von Windanlagen eine vorurteilsfreie Diagnostik und ggf. Behandlung zukommen zu lassen. Dies wird auch die aktuell hohe Dunkelziffer reduzieren und eine verlässliche Abschätzung der durch Windanlagen verursachten Erkrankungen ermöglichen. Immerhin wird in der Neufassung der DIN 45680, welche eine Grundlage für die immisionsrechtliche Beurteilung von Windanlagen bildet, auf die reale Gefahr von Infraschall aus Windanlagen für die menschliche Gesundheit zumindest hingewiesen.

2. Die Charakteristika der Emission aus Windanlagen - steile Pulse des Schalldrucks

Seit langem ist bekannt, dass der von Windanlagen ausgehende Infraschall eine besondere Signatur aufweist, die ihn vom Infraschall-Rauschen der natürlichen Quellen (Wind im Wald, Brandung, Gewitter etc.) unterscheidet. Es handelt sich dabei um steile peaks des Schalldrucks, die offensichtlich bei der Passage der Flügel vor dem Mast entstehen. Bei 1 Flügelpassage pro Sekunde (also 20 rpm) liefern 3-flügelige Anlagen Druckimpulse mit der Grundfrequenz von 1 Hz und den zugehörigen Oberschwingungen (Harmonischen) im Bereich bis ca. 8 Hz. Der Nachweis und die spektrale Darstellung dieser pulsierenden Emission wurde in Deutschland m. W. erstmals 2008 publiziert (Ceranna et al. 2008). Der Zusammenhang zwischen Drehzahl und Frequenz der emittierten Druckpulse wurde seither mehrfach bestätigt (NCE 2015, BGR 2017, Palmer 2017).

Die Flankensteilheit der peaks bedingt, dass sie nur bei einer hoch aufgelösten spektralen Messung und Darstellung sichtbar werden, die meist als Schmalbandspektrum bezeichnet wird. Abb. 1 zeigt dazu Spektren der US-Firma Noise Control Engineering. Häufig werden Schall-Analysen jedoch in Form von Terz- oder Oktavspektren durchgeführt: ein Frequenzbereich wird in mathematisch definierte Bänder (Segmente) von der Breite einer Oktave oder einer Terz eingeteilt. Für jedes Band wird der gesamte Schalldruck erfasst und bei der mittleren Frequenz dieses Bandes in das Spektrum eingetragen. Bei diesem Verfahren hat ein peak, also ein herausragender Wert des Schalldrucks in einem sehr engen Frequenzbereich, nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis. Er trägt umso weniger dazu bei, je steiler er ist, d.h. je mehr andere, niedrigere Schalldrucke miterfasst werden. Daraus resultiert eine Glättung der Druckschwankungen mit der Folge, dass die Pulse des Infraschalls aus Windanlagen schon in Terzspektren kaum mehr erkennbar sind (Abb. 2). Die Notwendigkeit hoch aufgelöster spektraler Messungen zur Charakterisierung pulshaltiger Emissionen ist seit langem anerkannt (z.B. The Acoustic Group, 2014).

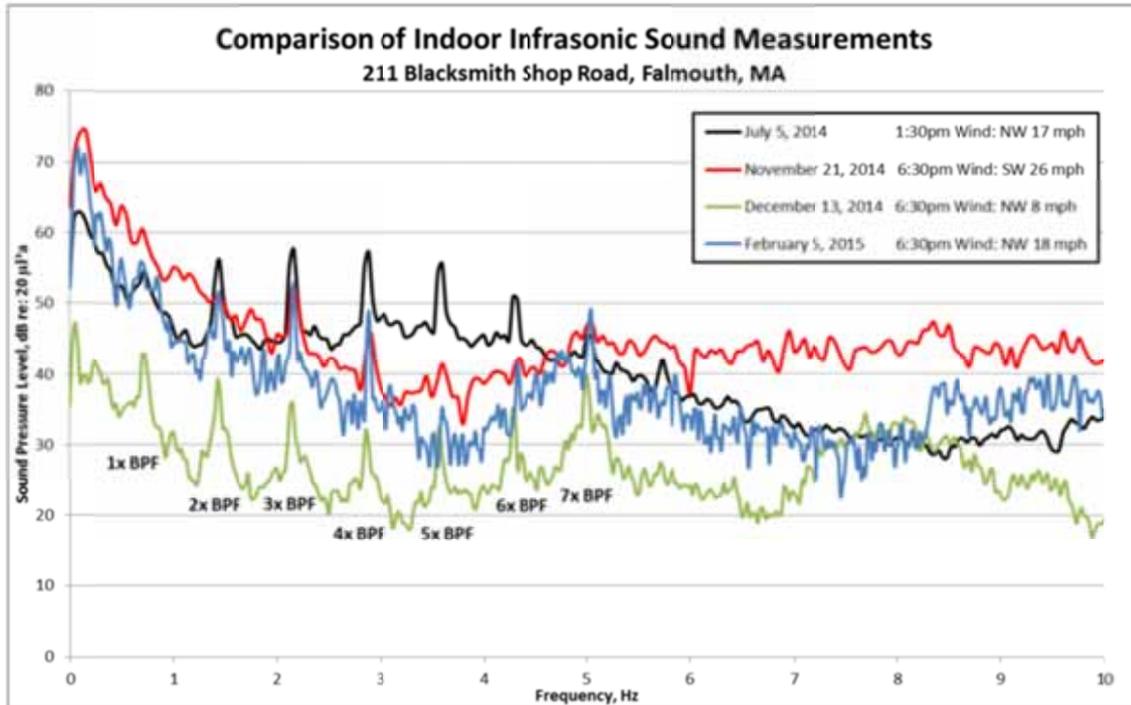


Abb. 1 Schmalbandspektren von 2 Windanlagen mit konstanter Drehzahl bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten (Insert). Die Grundfrequenz (1xBPF) beträgt 0,72 Hz. Der Schalldruck des Windes erzeugt die Unterschiede zwischen den Messungen, die Frequenzmaxima aus den Anlagen ändern sich kaum (gut erkennbar an den Oberschwingungen, 2 x BPF...6 x BPF). Mit steigendem Gesamtdruck, etwa unter 1 Hz, verschwindet der peak der Grundfrequenz. Quelle: NCE 2015, Fig. 6.

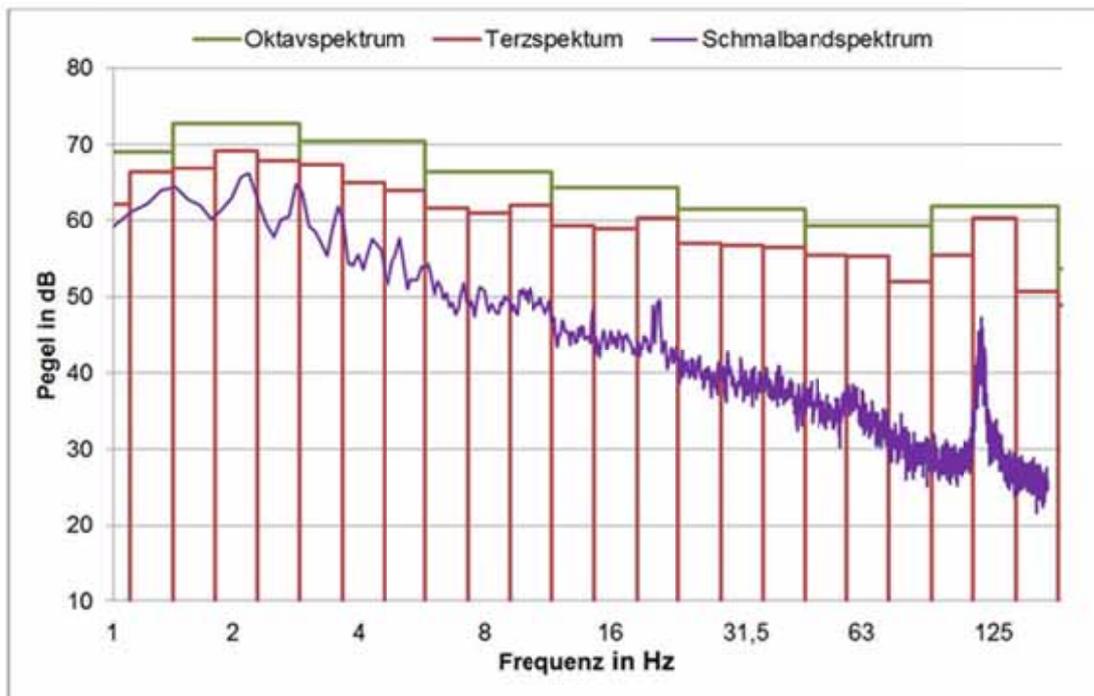


Abb. 2 Vergleich von Schmalbandspektrum (blau), Terzspektrum (rot) und Oktavspektrum (grün) für einen identischen Messzeitraum an derselben Windanlage. Erklärung im Text. Quelle: LUBW, 2019 <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/erneuerbare-energien/messbericht-infraschall>, Abb.2

Terzspektren sind ein nützliches und oft verwendetes Mittel, größere Frequenzbereiche von Schallemissionen abzubilden, aber als physikalische Grundlage zur Erfassung von Infraschall-Wirkungen aus Windanlagen ungeeignet. So kommt z.B. eine jüngst veröffentlichte Studie im Auftrag der finnischen Regierung zu dem Schluss, die von Anwohnern einiger Windparks geäußerten Beschwerden seien nicht mit der Infraschall-Emission der Anlagen korreliert (Maijala et al. 2020). Da jedoch die Emissionen ausschließlich als Terzspektren gemessen wurden, blieben die Druck-Pulse aus den Windanlagen bei der Analyse unberücksichtigt, die insofern am Problem vorbei ging. Gleiches gilt für begleitende Experimente, bei denen aus diesen Terzspektren gewonnene Tonkonserven auf Testpersonen einwirkten.

Leider haben auch andere, im Regierungsauftrag durchgeführte Studien die Pulse des Infraschalls aus Windanlagen "ausgeblendet". Eine Serie von 6 Publikationen aus Dänemark (Poulsen et al. 2018 und 2019) beruht auf A-bewerteten Schalldrücken, d.h. auf Frequenzen oberhalb von 20 Hz. Die jüngst veröffentlichte Studie des UBA ("Eggebek-Studie") hat puls-freien Infraschall in Form von Sinus-Wellen auf (wache) Testpersonen einwirken lassen.

3. Quantitative Vergleiche von Emissionen aus Windanlagen erfordern besondere Sorgfalt

Die Stärke der Emissionen verschiedener Windanlagen lässt sich nicht auf einfache Weise vergleichen. Als Messgröße wird üblicherweise der Schalldruck in Pascal verwendet und in der logarithmischen Einheit Dezibel angegeben. Der lokal wirksame Schalldruck widerspiegelt nicht nur die von der Anlage tatsächlich ausgehende Schallleistung, sondern wird wesentlich von der Entfernung und räumlich-topografischen sowie meteorologischen Gegebenheiten beeinflusst. Wesentlich ist auch, über welchen Frequenzbereich und mit welcher Methode die Messung erfolgte (s.o.). Insbesondere sind die Schallleistung einer Anlage und der entfernt davon messbare Schalldruck stark abhängig von der Länge der Rotorflügel und der Windgeschwindigkeit, auch wenn die Drehzahl der Anlage auf einen konstanten Wert eingestellt ist.

Als Beispiel sollen Messungen an Windanlagen aus Deutschland (BGR 2017) und den USA (NCE 2015) vorgestellt werden. Im Abstand von etwa 400 m wurde der Schalldruck bei der Frequenz der "zweiten Harmonischen" gemessen (2 fache Grundfrequenz: 1,4 Hz bei NCE und 2,6 Hz bei BGR). Publierte Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

NCE, 2015 Vestas V82		BGR, 2017 Vestas V47	
Wind m/s (Drehzahl)	Schalldruck dB	Wind m/s, (Drehzahl)	Schalldruck dB
3,6 (14,4 rpm)	52	5 (20 rpm)	77
8 (14,4 rpm)	73	10 (26 rpm)	86

Der starke Einfluss der Windgeschwindigkeit ist ersichtlich. Zunächst unerwartet, werden von der NCE bei fixierter Drehzahl (und daher bei gleicher Frequenz) erhebliche Unterschiede des Schalldrucks gemessen (52 dB und 73 dB). Die Höhe der Pulse (peak zu Basis) bleibt jedoch etwa gleich (Abb.1). Dies zeigt, dass der messbare Schalldruck erheblich vom Infraschall des Windes beeinflusst wird und die spezifische Emission der rotierenden Anlage eine von der Drehzahl abhängige Puls-Komponente hinzufügt. In Abb. 1 wird sichtbar, dass diese

Komponente nur bei hoher Frequenzauflösung messbar ist und bei hohem Winddruck im Hintergrundschall verschwindet.

Die jeweils höchsten Schalldrucke der von der Firma NCE und der BGR untersuchten Anlagen (73 dB und 86 dB) unterscheiden sich um mehr als das 4 fache. Dieser Abstand liegt im unteren Bereich der durch o.g. Faktoren auslösbaren Unterschiede. Selbst innerhalb eines Hauses treten aufgrund von Wechselwirkungen an baulichen Strukturen Unterschiede von bis zu 20 dB auf, d.h. 10 fache Schalldrucke (Hansen et al. 2013). Es erscheint nicht verwunderlich, wenn auch an derselben Anlage und bei fixierter Drehzahl aufeinanderfolgende Messungen deutliche Unterschiede ergeben: die BGR-Autoren messen z.B. Pulse des Schalldrucks zwischen +0,1 und - 0,1 Pa, also maximal 0,2 Pa und 80 dB. Bei einer (vermutet) weiteren Messung in derselben Entfernung ergeben sich etwa 90 dB (Pilger et al. 2017, Fig. 4a und 6). Dies bedeutet einen mehr als 3 fach höheren Schalldruck, liegt aber im Bereich von Schwankungen des Windes selbst (s.o.) und äußerer Einflussfaktoren. Die hohe Variabilität und problematische Vergleichbarkeit von dB-Angaben führt zu schwer erkennbaren Fehlerquellen und erfordert besondere Sachkenntnis und Sorgfalt. Es besteht daher kein Anlass, der BGR-Studie (Ceranna et al.) pauschal "falsche Daten" zu unterstellen, wie es auf der o.g. website geschieht.

4. Empfang und Wirkung von Infraschall im Menschen - auf die Änderungen kommt es an

Auch wenn die Erfassung von Infraschall-Wirkungen auf den Menschen erst am Anfang einer wachsenden Aufmerksamkeit steht, sind bereits Rahmenbedingungen erkennbar. Entscheidend ist, dass die für Schall sensiblen Rezeptoren von Mensch und Säugetier sich an einen extrem breiten Bereich von Schalldrucken anpassen. Für das Hören ist bekannt, dass sich die Wahrnehmung in Cochlea und Gehirn auf Schalldrucke zwischen 0 dB (2×10^{-5} Pa, Hörschwelle bei 1 kHz) und 120 dB (20 Pa, menschliche Schmerzgrenze) einstellen kann, also bis zum Millionenfachen der unteren Schwelle. In diesem extrem breiten Druckbereich werden - nach Anpassung an ein gegebenes Basisniveau - vergleichsweise winzige Druckunterschiede als Hörschall wahrgenommen. Es sei daran erinnert, dass der ungefähre Schalldruck eines Gesprächs in Zimmerlautstärke (ca. 60 dB oder 0,02 Pa) etwa 5 Millionen mal geringer ist als der durchschnittliche Luftdruck auf Meereshöhe (1 Bar, 101 325 Pa). Für Infraschall fehlen bisher analoge Angaben, es gibt jedoch Hinweise, dass dort ähnliche Verhältnisse gelten.

-Unser Gleichgewichtssystem registriert Schritte und Bewegungen durch otolithische Sensorzellen im Innenohr. Diese erfassen mittels der Trägheit von CaCO_3 -Kristallen winzige Druckunterschiede im Frequenzbereich des Infraschalls (Referenzen bei Roos, 2019). Dabei arbeiten sie weitgehend unabhängig vom aktuellen Luftdruck, sind also beim Wandern im Himalaya ebenso sensibel wie beim Klettern im Elbsandsteingebirge.

- Anwohner von Windenergieanlagen haben mehrfach dokumentiert, dass die negativen Symptome beim Ausschalten der Anlage verschwinden (z.B. Kaula 2019). Die Schalldrucke des Hintergrunds, die als Rauschen ohne deutliche Pulse auftreten und z.B. bei ruhender Anlage messbar sind, werden offenbar nicht als störend empfunden, obwohl sie je nach Windstärke erhebliche Unterschiede annehmen können, z.B. um das Hundertfache (NCE 2015). Zusammen mit anderen Beobachtungen (u.a. bei Palmer 2017) weist dies darauf hin,

dass die steilen Druckänderungen der Infraschall-Pulse das eigentliche Gesundheitsproblem darstellen und weniger der Absolutwert des Schalldrucks. Das Fehlen einer Korrelation zwischen einem Schallspektrum ohne Infraschall-Pulse und den dokumentierten Beschwerden der Anwohner, wie in der o.g. finnischen Studie geschehen, spricht ebenfalls für diese Annahme, wenn auch indirekt.

5. Fazit

Die Beurteilung der gesundheitsgefährdenden Wirkung von Infraschall aus Windanlagen sollte nicht zu einem Dezibel-Fetischismus führen. Nicht die Absolutwerte des messbaren Schalldrucks verursachen negative Wirkungen im Menschen (solange sie unterhalb individueller Grenzen bleiben), sondern höchstwahrscheinlich die peaks des Luftdrucks, die bei der Flügelpassage am Mast entstehen. Hinzu kommt, dass diese Pulse auf einer ähnlichen Zeitskala auftreten wie periodische Abläufe im menschlichen Körper, vor allem die Frequenz des Herzschlags.

Experimentell angewandte Infraschall-Drucke bei Untersuchungen an Testpersonen oder Versuchstieren sind im Rahmen der bisher benutzten Versuchsanstellungen nicht geeignet, die Stress-Symptome der Anwohner als Infraschall-Wirkung zu beweisen. Sie haben dennoch einen hohen Wert für die Suche nach Angriffspunkten, gefährdeten Signalwegen und Organismen. Der Nachweis einer lokalisierbaren Infraschall-Wahrnehmung im Unterbewusstsein (Weichenberger et al. 2017) ermöglicht die Gestaltung von Tests zur Wirkung von Infraschall als Störsignal. Andererseits zeigt der experimentelle Nachweis einer durch Infraschall verminderten Kontraktionskraft isolierter Herzmuskelzellen (Chaban et al. 2020) neue Ansätze zur Untersuchung direkter Wirkungen von Infraschall auf Körperorgane.

Es liegt auf der Hand, dass folgendes Experiment viele derzeit offene Fragen beantworten könnte: der von einer konkreten Windanlage oder einem Windpark emittierte Infraschall wird frequenzgenau aufgezeichnet und als Schallkonserve an schlafende Testpersonen im doppelten Blindversuch appliziert. Leider hat keine der bisher mit großem Aufwand betriebenen Studien diese naheliegenden Kriterien erfüllt (s.o.). Einer der Gründe ist sicher das technische Problem, Infraschall-Pulse von Windanlagen über ein Lautsprechersystem o.ä. adäquat wiederzugeben. Ohne kausale Zusammenhänge aus solchen oder ähnlichen Experimenten werden die derzeit vorliegenden Teilergebnisse wohl noch einige Zeit Stückwerk bleiben.

Auch wenn die gemessenen Eigenschaften und biologischen Wirkungen von Infraschall aus Windanlagen bisher keine geschlossenen Kausalketten ergeben, begründen sie starke Verdachtsmomente für Infraschall-Pulse als krankmachendes Agens. Sie müssen deshalb in doppelter Hinsicht ernst genommen werden: als Grundlage für das Schutzbedürfnis von Anwohnern bei der Standort-Planung von Windenergieanlagen und als ultimative Aufforderung zu gezielter, vorurteilsfreier Forschung.

Prof. Dr. Werner Roos

Oktober 2020

(Der Autor dankt Herrn Prof. Dr. Kühlke für konstruktives Korrekturlesen.)

Zitierte Literatur

BGR, 2017: Pilger Ch., Ceranna L. (2017), The influence of periodic windturbine noise on infrasound array measurements. J. Sound Vibr. 88, 188.

Ceranna L., Hartmann G., Henger M. (2008): Der unhörbare Lärm von Windkraftanlagen – Infraschallmessungen an einem Windrad nördlich von Hannover. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Referat B3.11, Seismologie.

Hansen K., Zajamsek B., Hansen C. (2013): Analysis of Unweighted Low Frequency Noise and Infrasound Measured at a Residence in the Vicinity of a Wind Farm. Proceedings of Acoustics 2013, Victor Harbor, Australia.

Kaula, S. (2019): Untersuchung zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen von Anwohnern durch den Betrieb von Windenergieanlagen in Deutschland anhand von Falldokumentationen. <https://dsgs.info/.cm4all/mediadb/Aktuelles/DSGS%20e.V.%20Studie.pdf>

LUBW, 2016: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen. Februar 2016. www.lubw.baden-wuerttemberg.de (2016)

Maijala et al. (2020): Infrasound does not explain symptoms related to wind turbines. Publications of the Government's analysis, assessment and research activities, Helsinki 2020:34. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-907-3>

NCE, 2015: Noise Control Engineering (NCE), LLC, Billerica, MA 01821, USA: Infrasound Measurements of Falmouth Wind Turbines Wind #1 and Wind #2. By M. Bahtiarian and A. Beaudry. Technical Memo 2015 - 004, 2015.

Palmer WKG (2017): Why wind turbine sounds are annoying, and why it matters. Global Environment, Health and Safety, Vol.1, 1 - 17.

Pilger Ch., Ceranna L. (2017): The influence of periodic windturbine noise on infrasound array measurements. J. Sound Vibr. 88, 188

Roos W. (2019): Infraschall aus Windenergieanlagen - ein verkanntes Gesundheitsproblem. Naturwiss. Rundschau Bd. 72, 343-350.

The Acoustic Group (2014): Report 44.5100.R7, MSC 26th November, 2014: The Results of an Acoustic Testing Program - Cape Bridgewater Wind Farm.

Uni Bayreuth, website 2020 : http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/infraschall/de/wind-energi/gru/html.php?id_obj=155855

Weichenberger M. et al. (2017): Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold: Evidence from fMRI. PLoS ONE 12, 1 –19.