

Infraschall von Windenergieanlagen – Viel Lärm um nichts

Stefan Holzheu

Infraschall hat es schon immer gegeben und Infraschall ist ungefährlich. Trotzdem war Infraschall lange Zeit eines der Hauptargumente von Windkraftgegnern, um Stimmung gegen neue Windkraftprojekte zu machen. Ausgehend von einigen physikalischen Grundlagen der Schallphysik wird die Entstehung und Intensität von Infraschall an Windenergieanlagen beleuchtet. Es wird geklärt, warum Infraschall zu einem Hauptargument der Windkraftgegner werden konnte und warum es inzwischen wieder deutlich ruhiger um das Thema geworden ist.

Einleitung

Infraschall von Windenergieanlagen war über viele Jahre ein hochemotionales The-

ma. Es ist nicht bekannt, wie viele Windkraftprojekte mit diesem Argument verhindert wurden. Aus eigener privater Erfahrung und meinen Recherchen kann ich zumindest mit Sicherheit sagen, dass mir keine einzige lokale Bürgerinitiative gegen Windkraft bekannt ist, die nicht mit dem Infraschall-Argument gearbeitet hat.

Das Besondere an diesem Argument war, dass damit Angst bei den Anwohnern erzeugt werden konnte – Angst vor schweren gesundheitlichen Beeinträchtigungen bis hin zu Krebs und Selbstmord. Bild 1 zeigt zwei Beispielfolien aus einem Vortrag des Windkraftgegners und Arztes Dr. T.C. Stiller. Dr. Stiller stellt darin den Infraschall von Windenergieanlagen auf eine Stufe mit Radioaktivität, Kohlenmonoxid oder harter UV-Strahlung. Er schürt gezielt Ängste bei Anwohnern. Inzwischen ist es deutlich ruhiger um das Thema geworden. Ein Versuch der Aufarbeitung.

Physikalische Grundlagen

Schall ist eine Longitudinalwelle, die sich im Medium Luft kugelförmig ausbreitet. Diese Welle wird durch die physikalischen Größen Schalldruck, Schallschnelle und Frequenz beschrieben. Da Schalldruck und Schall-

schnelle in größerem Abstand von der Schallquelle in Phase sind, genügt es in der Regel, die Druckschwankungen zu messen.

Das Produkt aus Schalldruck und Schallschnelle wird als Schallintensität bezeichnet und ist ein Maß für den Energiefluss in der Einheit W/m^2 . Wie die Leistung bei Wechselspannung nimmt die Schallintensität mit dem Quadrat des Schalldrucks zu.

In Luft äußert sich der Schalldruck durch eine periodische Variation des Luftdrucks um einen konstanten Wert. Erfolgen diese Variationen mit einer Frequenz größer 20.000 Hz, so spricht man von Ultraschall, zwischen 20 Hz und 20.000 Hz von Hörschall und unter 20 Hz von Infraschall.

Die dB-Skala

Die Amplitude von Schallwellen kann um mehrere Größenordnungen variieren. Typisch sind $20 \mu Pa$ bis mehrere Pa. Schalldrücke gibt man daher meist in Form eines Schalldruckpegels (L_p) an:

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{\bar{p}^2}{p_0^2} \right) dB = 20 \log_{10} \left(\frac{\bar{p}}{p_0} \right) dB \quad (1)$$

\bar{p} ist dabei der Effektivwert des Schalldrucks. Der Bezugswert p_0 wurde Anfang

Autor

Dr. Stefan Holzheu
Bayreuth Center of Ecology and
Environmental Research BayCEER
Universität Bayreuth
Bayreuth, Deutschland



Bild 1. Beispielfolien aus einem Vortrag des Windkraftgegners Dr. T.C. Stiller von der Organisation „Ärzte für Immissionschutz“ (AEFIS). Die Veröffentlichung der Folien erfolgt ohne Zustimmung von Dr. Stiller auf Grundlage von § 51 UrhG. Die Folien belegen, wie systematisch Windkraftgegner Ängste vor völlig harmlosen Infraschall von Windenergieanlagen geschürt haben.

Tab. 1. Zahlen-Zusammenhang verschiedener Kenngrößen der Schallphysik.

Effektivwert des Schalldrucks \bar{p}	Schalldruckpegel L_p	Schallintensität bei Schallkennimpedanz $400 \text{ N}^*s/m^3$	Schallintensitätspegel L_I
20 μPa	0 dB	10^{-12} W/m^2	0 dB
200 μPa	20 dB	10^{-10} W/m^2	20 dB
2 mPa	40 dB	10^{-8} W/m^2	40 dB
20 mPa	60 dB	$1 \mu\text{W/m}^2$	60 dB
200 mPa	80 dB	$100 \mu\text{W/m}^2$	80 dB
2 Pa	100 dB	10 mW/m^2	100 dB
20 Pa	120 dB	1 W/m^2	120 dB

des 20. Jahrhunderts für Luftschall auf 20 μPa festgelegt. L_p wird in der Hilfseinheit Dezibel (dB) angegeben.

Auch für die Schallintensität (W/m^2) gibt es eine Pegelgröße (Schallintensitätspegel L_I) in dB-Skala:

$$L_I = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{dB} \quad (2)$$

Üblicher Bezugswert I_0 ist 10^{-12} W/m^2 . Schallintensität und Schalldruck sind über die Schallkennimpedanz Z verknüpft:

$$I = \frac{p^2}{Z} \quad (3)$$

In Luft beträgt diese etwas mehr als $400 \text{ N}^*s/m^3$. Wenn man genau $400 \text{ N}^*s/m^3$ nutzt ergeben L_p und L_I den gleichen dB-Wert.

„dB“ ist nicht gleich „dB“ – bewertete Pegel

Die Einteilung in Ultra-, Hör- und Infraschall orientiert sich am menschlichen Hörvermögen. Die Grenzen sind jedoch nicht scharf und auch bei Hörschall ist das Hörvermögen stark unterschiedlich (Bild 2).

Um Geräusche unterschiedlicher Frequenzzusammensetzung vergleichen zu können,

werden die Intensitäten aller Frequenzanteile mit einem frequenzspezifischen Gewichtungsfaktor multipliziert und energetisch aufsummiert. Der Gewichtungsfaktor orientiert sich am frequenzspezifischen Lautstärkeempfinden des menschlichen Gehörs. Es gibt verschiedene Bewertungskurven. Am gebräuchlichsten ist die A-Bewertung.

Dazu ein kleines Beispiel: Ein Geräusch besteht aus einem 125 Hz/50 dB und einem 2 kHz/40 dB Sinus-Einzelton. In der A-Bewertung bekommt der 2 kHz Bestandteil einen Zuschlag um 1,2 dB (Faktor 1,3), der 125 Hz Bestandteil eine Abwertung um -16,2 dB (Faktor 0,024). Der Gesamtpegel L_{IA} beträgt:

$$L_{IA} = 10 \log_{10} \sum 10^{\frac{L_I(f) + BF(f)}{10}} \quad (4)$$

$BF(f)$ in Gleichung 4 ist der frequenzabhängige Bewertungsfaktor der A-Bewertung in dB. Im Beispiel ergibt sich ein A-bewerteter Gesamtpegel von 42 dB. In der Praxis wird oft auch dBA oder dB(A) geschrieben, um auf die A-Bewertung hinzuweisen. Werden die Intensitäten ohne Bewertung addiert, spricht man von einem unbewerteten oder linearen Pegel. Dieser wird zur Unterscheidung

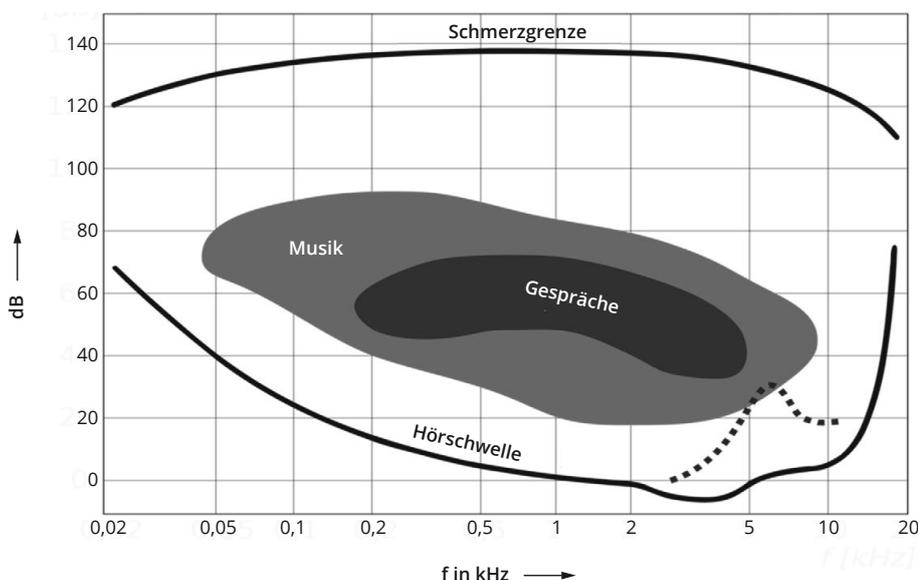


Bild 2. Hörfläche des (normalhörenden) Menschen als Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Frequenz. Untere Linie zeigt Hörschwelle, gestrichelter Anteil beschreibt mögliche Hörkurvenveränderung durch übermäßige Hörbelastung (z.B. laute Musik). Grafik aus Wikipedia (<https://de.wikipedia.org/wiki/H%C3%B6rschwelle#/media/Datei:H%C3%B6rf%C3%A4che.svg>).

mit dBZ oder dB(Z) bezeichnet. Summenpegel, Einzelpegel, dB(A) und dB(Z) dürfen auf keinen Fall verwechselt werden. Wer das tut, vergleicht sinnlos Äpfel mit Birnen. Erschwerend kommt für den Laien hinzu, dass der Zusatz oft weggelassen wird, weil sich die Bedeutung aus dem Zusammenhang ergibt.

Genau eine solche Verwechslung von dB(A) und dB(Z) ist Prof. Thess und Dr. Lengsfeld in ihrer windkraftkritischen Publikation [1] unterlaufen (Bild 3). Durch die Verwechslung ist die gesamte Argumentation der beiden Autoren zum Thema Infraschall und Windkraftanlagen hinfällig. Die Veröffentlichung von Thess/Lengsfeld erfolgte zu einem Zeitpunkt, als das Infraschall-Argument aus der öffentlichen Diskussion weitgehend verschwunden war. Doch das Beispiel zeigt: Die Physik des Schalls ist komplex, und gerade diese Komplexität bietet „Pseudo“-Experten vielfältige Möglichkeiten, gegenüber Laien als „kompetent“ aufzutreten und nach Belieben zu verunsichern.

Infraschall von Windenergieanlagen:

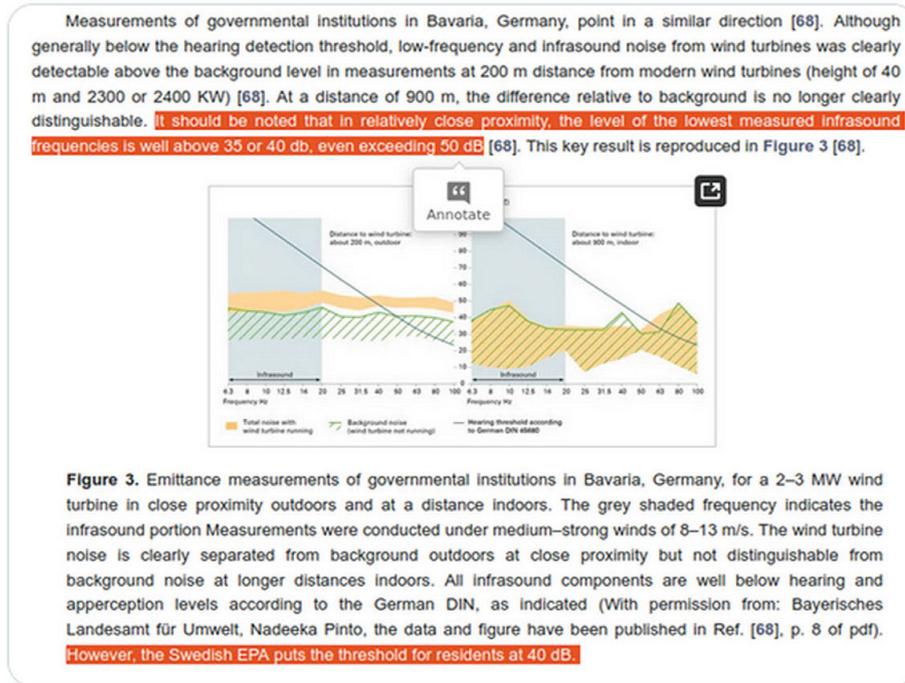
Windenergieanlagen erzeugen Infraschall. Allerdings nicht, wie man vermuten könnte, durch Schwingungen des Turms oder der Rotorblätter, sondern allein durch den Vorbeiflug der Rotorblätter. Wenn der Flügel am Mast vorbeistreicht, entsteht eine kleine Druckänderung, die sich als Druckwelle in der Umgebung ausbreitet. Bild 4a zeigt das gemessene Drucksignal in 300 m Entfernung von einer Enercon E66 in Oberfranken. Die Druckänderung beträgt ca. 0,05 Pa. Wandelt man dieses Zeitsignal in ein Frequenzspektrum um, so erhält man das typische Signal mehrerer Flügelharmonischer. Dabei handelt es sich jedoch nicht um eigenständige Schwingungen, sondern lediglich um die Frequenzdarstellung des Druckimpulses, der beim Flügeldurchgang entsteht.

Das dargestellte Frequenzspektrum hat eine Pegelbandbreite von 0,01 Hz. Summiert man die Schmalbandpegel in den Frequenzbereichen der einzelnen Terzen, so erhält man das Terzspektrum. Dieses ist relevant für die Entscheidung, ob ein Ton hörbar ist oder nicht. Der höchste Terzpegel im Spektrum bei 3,15 Hz beträgt 51 dB(Z). Die Hörschwelle für diese Frequenz beträgt 117 dB(Z). Das ist ein Unterschied in der Schallintensität um mehr als den Faktor 1.000.000. Bis 8 Hz sind die Flügeldurchgangsharmonischen weitgehend abgeklungen. Die Wahrnehmungsschwelle bei 8 Hz liegt immer noch bei 100 dB(Z). Eine Wahrnehmung kann daher völlig ausgeschlossen werden. Dies bestätigen auch alle Doppelblindversuche, wie z.B. des finnischen VTT [2], bei denen die Versuchspersonen nicht unterscheiden konnten, ob das vorgespielte Tonsample Infraschall enthielt oder nicht. Für die Tonsamples wurden dabei gezielt Aufnahmen aus einem 17x3 MW Wind-



Stefan Holzheu
@HolzheuStefan

Und um was inhaltliches anzuhängen. Die zwei "Experten" kennen offenbar den Unterschied zwischen dB(Z) und dB(A) nicht. 🤔



8:47 vorm. · 8. Dez. 2022

Post-Interaktionen anzeigen

5 9 107

Bild 3. Twitterdiskussion um Publikation Thess/Lengsfeld. Bei den oben markierten Werten handelt es sich um dB(Z) Terzpegel. Der unten zitierte Grenzwert ist jedoch ein dB(A) Summenpegel. Auf diesem sinnfreien Vergleich fußt die komplette Argumentation der Autoren, weshalb WEA-Infraschall doch schädlich sein könnte. <https://twitter.com/HolzheuStefan/status/1600758901913550848>.

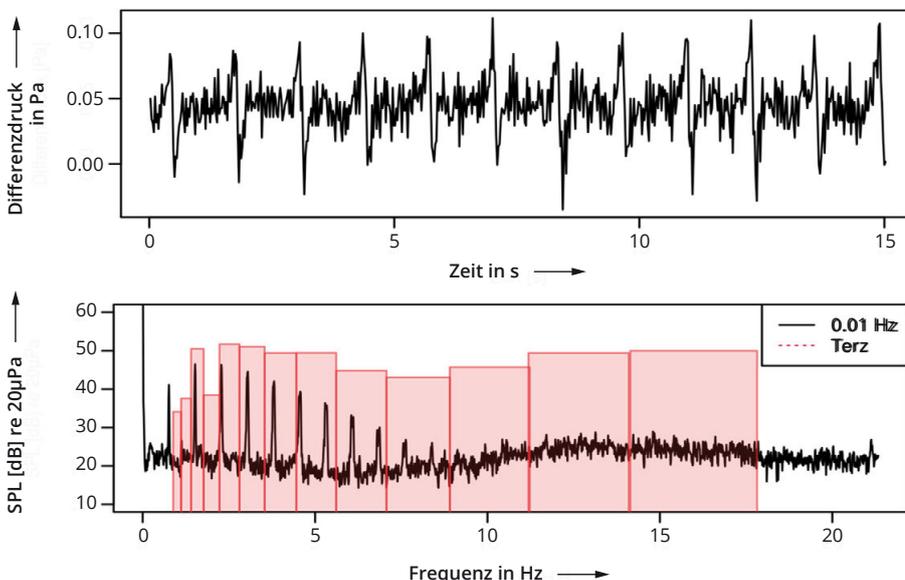


Bild 4. a) Ausschnitt aus dem Drucksignal des Differenzdrucksensors (30.05.2020 00:30:00-00:30:15). b) Frequenzspektrum mit Terzpegeln eines 10 Minuten Abschnitts (30.05.2020 00:30:00-00:40). Die mittlere elektrische Erzeugung der Windenergieanlage betrug in dieser Zeit ca. 300 kW. Abstand Messstandort – Sensor: 300 m.

park mit den höchsten Infraschallpegeln ausgewählt.

Die Amplituden und die Frequenz der Pegel ändern sich mit der Leistung und der Drehfrequenz der Windenergieanlage. Bild 5 zeigt ein Spektrogramm über einen Zeitraum von 8 Stunden. Die weißen Linien sind die theoretischen Verläufe der 1. bis 4. Harmonischen, wie sie sich aus den 10-Minuten-Mittelwerten der Drehfrequenz aus den Betriebsdaten der Windenergieanlage ergeben. Darüber hinaus sind jedoch weitere Infraschallsignale zu erkennen. Die beiden horizontalen Linien zwischen 8 und 10 Hz stammen von einer ca. 2 km entfernten Mälzerei. Die weiteren horizontalen, teilweise unterbrochenen Linien zwischen 0 und 4 Hz sind unbekanntem Ursprungs.

Alle dargestellten Infraschallsignale liegen weit unterhalb der Wahrnehmungsschwelle. Das Spannende: Die Mälzerei steht mitten im Ort und existiert seit vielen Jahrzehnten. Dennoch war Infraschall in all der Zeit kein Thema.

Vergleich zu anderen Infraschallquellen

Die dargestellten Druckpulse der Windkraftanlagen liegen in der Größenordnung von einigen hundert mPa. Das ist sehr wenig. Der Luftdruck liegt bei 100.000 Pa. Der Druckgradient in der Atmosphäre auf Meereshöhe ist 12 Pa/m. Die in Bild 4 gezeigten Druckpulse der Windenergieanlage entsprechen somit einem Wippen mit Höhenänderung von einem Zentimeter.

Alle Lebewesen auf der Welt sind daher schon ganz ohne Windenergieanlagen regelmäßig deutlich stärkerem Infraschall ausgesetzt. Natürlicher Wind erzeugt schnell Druckänderungen im Pascal-Bereich. Gleiches gilt für das Öffnen und Schließen von Türen oder Fenstern. Auch in fahrenden Autos oder Zügen werden diese Größenordnungen erreicht. Ausnahmen sind Tunneldurchfahrten, bei denen die Druckpulse sogar 100 Pa überschreiten können. Das ist dann schon oberhalb der Wahrnehmungsschwelle und wir können diesen „extrem lauten“ Infraschall mit dem Ohr als leisen „Flop“ wahrnehmen. Abgesehen von diesem leisen „Flop“ sind aber selbst solche Druckimpulse für den menschlichen Organismus völlig unbedenklich. Bei einer Tunneldurchfahrt ist man etwa der 1.000.000-fachen Infraschallintensität ausgesetzt als in 300 m Entfernung von einer Windenergieanlage [3] (vgl. auch Bild 6). 10 Minuten Tunneldurchfahrt entsprechen somit der Infraschallenergie von 20 Jahren Aufenthalt in der Nähe einer Windenergieanlage.

Infraschall Hypothese

Angesichts der oben skizzierten Faktenlage ist es völlig abwegig anzunehmen, dass Infraschall von Windenergieanlagen eine Gesundheitsgefahr für den Menschen darstellt.

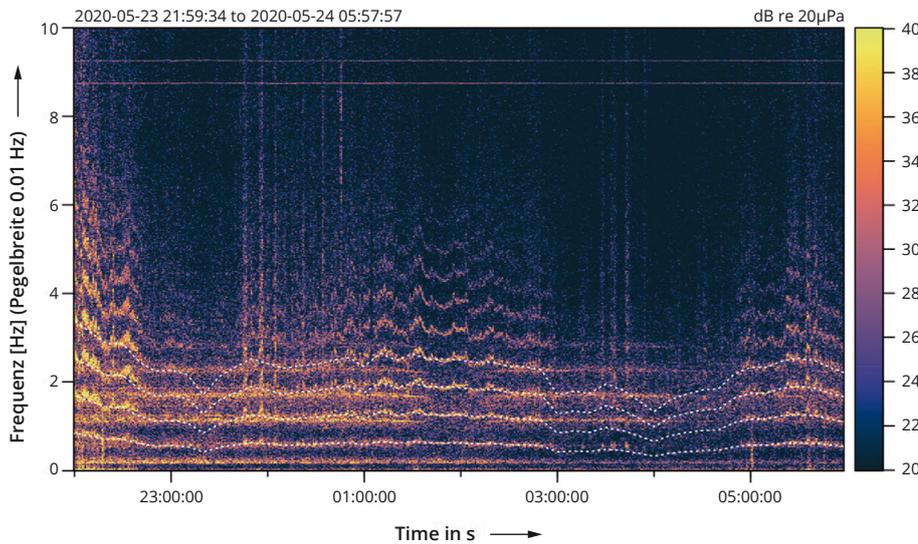


Bild 5. Spektrogramm einer Infraschallmessung einer Enercon E66 im Abstand von 300 m. Die elektrische Leistung betrug zu Beginn der Messung knapp 500 kW und sank auf Maximalwerte von 150 kW in der Mitte bzw. am Ende des Messzeitraums.

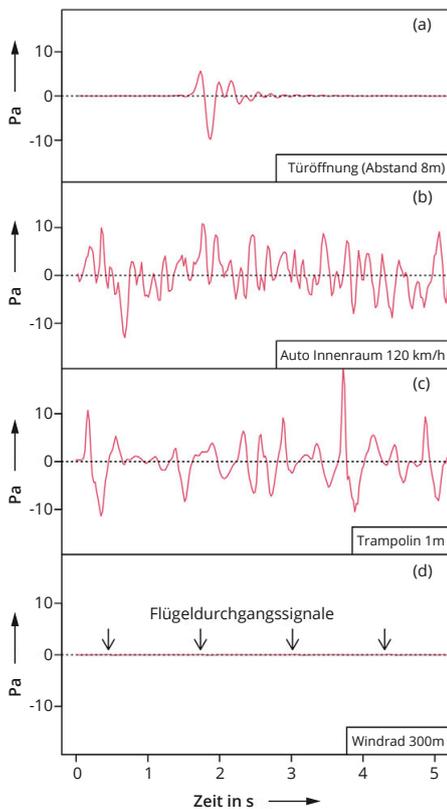


Bild 6. Verschiedene Infraschall-Messungen mit dem SDP610-25Pa Differenzdrucksensor. Alle Messungen sind in der gleichen Druck- und Zeitauflösung dargestellt.

len könnte. Dennoch wurde und wird diese These geäußert und verbreitet. Aufgestellt wurde die Infraschallhypothese von der Kinderärztin Dr. Nina Piermont in ihrem 294 Seiten starken Buch „Wind Turbine Syndrome“. Das Buch wurde im Eigenverlag veröffentlicht und basiert auf Telefoninterviews mit 23 ausgewählten Personen, die angeben, an verschiedenen Symptomen zu leiden, die durch Windenergieanlagen verursacht würden. Also keine repräsentative Stichprobe, keine Schallmessungen, kein Doppelbildansatz, keine Ursache-Wirkungs-Analyse und

natürlich auch kein Peer-Review, das dieses Buch kaum passiert hätte.

Dennoch verbreitete sich die These weltweit unter Windkraftgegnern. Einen großen Anteil an der schnellen Verbreitung hatten auch Organisationen wie Heartland auf deren Webseiten regelmäßig Stimmung gegen Erneuerbare Energien gemacht wird. Auch die Infraschall-These wurde ausgiebig genutzt. Ein Argument, das die Menschen in Angst und Schrecken versetzen konnte, eignete sich hervorragend, um den Ausbau der Windenergie zu verzögern.

Deutsche Landesämter versuchen aufzuklären – Deutsche Wissenschaft ist kaum existent

In allen Ländern, in denen die Windenergie ausgebaut wurde, haben verschiedene Organisationen versucht, das Infraschall-Argument der Windkraftgegner sachlich zu entkräften. In Deutschland tat sich dabei insbesondere das Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) hervor. In einem umfangreichen Messprogramm wurde von 2013 bis

2015 Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quelle gemessen und die Ergebnisse für die Öffentlichkeit in verschiedenen Messberichten, Broschüren, FAQs und Webseiten aufbereitet [4].

Aus der deutschen Wissenschaft kam dagegen vergleichsweise wenig. Das lag auch daran, dass das Thema wissenschaftlich nicht sonderlich interessant war, da schon damals wissenschaftlicher Konsens war, dass der Infraschall von Windenergieanlagen viel zu schwach ist, um mit gesundheitlichen Auswirkungen in Verbindung gebracht zu werden.

Trotz der Bemühungen des LUBW hat das Thema im Jahr 2018 noch einmal einen großen Schub bekommen. Zentral war dabei der ZDF-Film von Birgit Hermes „Infraschall – Unerhörter Lärm“ aus der Reihe „Planet e“. In einer einseitigen Darstellung werden die Messergebnisse des LUBW als fehlerhaft „geframed“. Kronzeuge für diese Aussage ist Dr. Ceranna von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Über den Fernsehbildschirm flimmern berechnete Kurven, die Schalldruckpegel von bis zu 120 dB und Reichweiten von über 20 km zeigen. Eine Sprecherin kommentiert: „20 km? Hatte man beim Umweltbundesamt nicht argumentiert, dass der Infraschallemissionen von Windenergieanlagen schon ab einer Distanz von 700 m im Hintergrund untergehen?“

Im weiteren Verlauf des Films kommen verschiedene Akteure der Windkraftgegner-Szene zu Wort. Am Ende hat Univ. Prof. Dr. med. Christian Vahl seinen Auftritt. Mit besorgter Stimme berichtet er von seinen Infraschallversuchen, die belegen sollen, dass Infraschall das Herz schwächt. Herzzellen, die selbst Druckpulse von 16.000 Pa erzeugen, sollen durch schwache Druckpulse von mPa, deren Energie aufgrund des Impedanzsprungs und der großen Wellenlänge gar nicht erst in den Körper eindringt, geschwächt werden? Das ganze Experiment von Prof. Vahl ist physikalisch nicht haltbar. Sein undichter Plexiglastkasten erzeugte massive Luftbewegungen und Vibrationen,

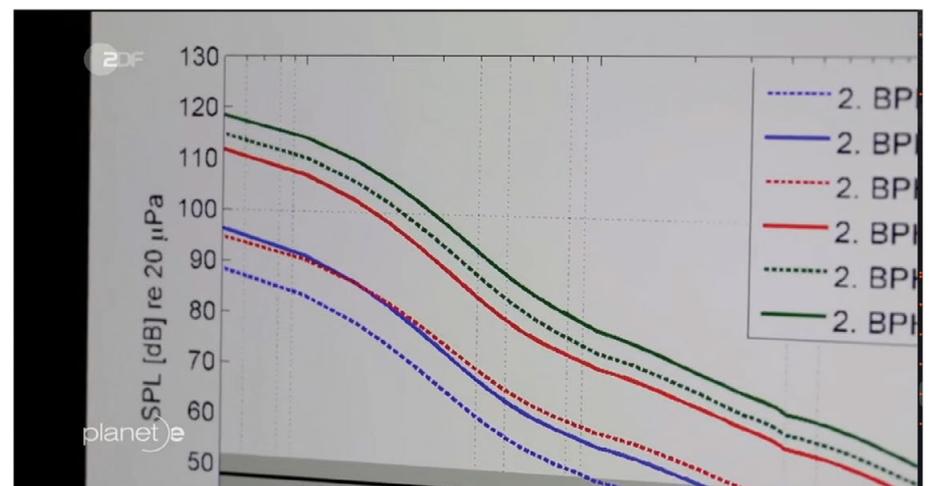


Bild 7. Ausschnitt aus dem Planet e. Film des ZDF mit den Schalldruckpegel Berechnungen der BGR.

die über die Pinzetten mechanisch auf die isolierten Herzzellen übertragen wurden. Diese mechanische Reizung verursachte die beobachteten Effekte, nicht der Infraschall. Seine einzige peer-reviewte Publikation [5] wurde mit zwei sehr deutlichen Kommentaren [6, 7] bedacht.

Der ZDF-Film¹ war Wasser auf die Mühlen von Anti-Windkraftakteuren. Zwei staatliche Organisationen (Landesämter vs. BGR), die sich in ihren Aussagen eindeutig widersprechen! Und natürlich wurden die Landesämter, insbesondere das LUBW, verdächtigt, die Messungen geschönt oder gar manipuliert zu haben, um den staatlich gewollten Windkraftausbau nicht zu gefährden. Und besonders absurd: Prof. Vahl, ein Herzchirurg zu diesem Zeitpunkt ohne eine einzige wissenschaftliche Publikation zum Thema Infraschall, wurde plötzlich in Presse und Öffentlichkeit als der deutsche Infraschall-Experte behandelt.

Die Aufarbeitung

Ich bin von meiner Ausbildung und Tätigkeit her kein Akustiker und hatte bis 2019 auch nichts mit Infraschall zu tun. Ich bin Umweltwissenschaftler. Als Umweltwissenschaftler beobachte ich die Entwicklung des Klimawandels seit nunmehr 30 Jahren mit großer Sorge. Es ist absoluter wissenschaftlicher Konsens, dass wir schnell aus der Nutzung von Öl, Kohle und Gas aussteigen müssen. Die Windenergie ist dabei eine unserer Schlüsseltechnologien. Umso unverständlicher war es für mich, dass sie mit einem so unsinnigen Argument wie Infraschall verhindert werden sollte.

Meinen ersten Kontakt mit dem Thema hatte ich 2012, als in meinem Heimatdorf in Bayerisch-Schwaben ein Windpark geplant wurde. Schon damals war Infraschall einer der Hauptkritikpunkte. Der Windpark wurde aber trotzdem gebaut, weil das Argument Infraschall rechtlich keine Bedeutung hatte. Trotzdem führten auch damals der Widerstand und die Emotionen vor Ort zu einer Verkleinerung des Parks. Noch schlimmer endete die Geschichte 2019/2020, als in der Nähe von Bayreuth ein Windparkprojekt mit dem Infraschallargument komplett zu Fall gebracht wurde. Diese Erfahrung und der katastrophale ZDF-Film waren für mich der entscheidende Auslöser, mich wissenschaftlich mit dem Thema zu beschäftigen.

Infraschall ist keine Raketenwissenschaft. Jeder gute Naturwissenschaftler kann sich in das Thema einarbeiten. Ich begann auf einer Webseite², verschiedene wissenschaftliche Informationen zu Infraschall und Windenergie zusammenzutragen. Parallel dazu entwickelte ich ein einfaches kosten-

günstiges Messgerät, das nach dem Funktionsprinzip eines Mikrobarometers funktioniert. Erstes Ziel war es, die Diskrepanz zwischen den Messungen der BGR und des LUBW zu klären. Wer hatte Recht? Die BGR mit ihren bis zu 120 dB oder das LUBW (und alle anderen) mit Pegeln von max. 70 dB? Als das Messsystem stand, begann ich mit Messungen an der Windkraftanlage an meinem Wohnort. Die oben gezeigten Kurven sind Ausschnitte aus diesen Messungen. Sehr vorteilhaft war, dass auch der Betreiber der Windkraftanlage höchst kooperativ war und mir alle gewünschten Betriebsdaten der Anlage zur Verfügung gestellt hat.

Das Ergebnis der Messungen war eindeutig. Die Pegelangaben der BGR konnten nicht stimmen. Eine Abweichung von 30–50 dB entspricht einem Schallintensitätsunterschied von Faktor 1000–100.000. Das ist physikalisch absolut unmöglich. Mit dieser Erkenntnis wandte ich mich im April 2020 an den zuständigen Wissenschaftler der BGR. Ich wollte, dass die BGR ihre Aussagen im ZDF-Film korrigiert und damit das LUBW rehabilitiert. Denn das LUBW sah sich nach dem ZDF-Film massiven Anfeindungen ausgesetzt.

Doch entgegen meiner Erwartung, das Thema schnell und sachlich klären zu können, entwickelte sich ein Vorgang wie in Kafkas Roman „Das Schloss“ – in diesem Fall glücklicherweise mit Happy End. Nach anfänglich schnellen Antworten kamen die Mails auf Nachfragen immer langsamer und wurden ausweichend. Als ich im Juni 2020 schließlich ankündigte, eine Diskussionsseite³ ins Netz zu stellen, um das Thema mit einer größeren wissenschaftlichen Community zu diskutieren, wurde mir indirekt mit der Rechtsabteilung der BGR gedroht. Ich stellte die Seite trotzdem online, die Rechtsabteilung blieb. Inzwischen hatte ich auch eine klare Hypothese, wie es zu der Diskrepanz kam: Ein banaler Rechenfehler⁴. Doch selbst als ich im Januar 2021 die Rohdaten der BGR erhielt und eine Rechnung präsentierte⁵, die zeigte, dass die Pegel der BGR falsch berechnet waren, bedurfte es noch der Intervention weiterer Wissenschaftler (insbesondere Prof. Hundhausen) bis die BGR im April 2021 mit einer Presseerklärung den Fehler einräumte⁶. Die berechneten Pegel waren um 36 dB (genauer 36,1 dB = Faktor $2^{12} = 4096$) zu hoch. Minister Altmaier entschuldigte sich am 27.04.2021 in der Bundespresskonferenz öffentlich für den massiven Rechenfehler der ihm unterstellten BGR⁷.

Etwas bedauerlich finde ich, dass die BGR nur den Rechenfehler korrigiert hat und nicht die Aussagen zur Störung ihrer Messgeräte durch Windenergieanlagen. Nach Ansicht von Martin Hundhausen und mir sind die 15 km Schutzabstand von Windenergieanlagen zu Infraschall-Messstationen wis-

senschaftlich nicht gerechtfertigt. Details würden hier zu weit führen. Wir haben dazu einen Kommentar in JSV veröffentlicht [8].

Die Korrektur der falschen Schalldruckpegel war dennoch ein wichtiger Erfolg und auch der entscheidende Punkt für die Öffentlichkeit und die Argumentationslinien der Windkraftgegner. Denn diese hatten dem LUBW jahrelang vorgeworfen, falsch gemessen zu haben, weil die BGR andere Ergebnisse veröffentlicht hatte. Und nun hatte das LUBW richtig gemessen und die BGR falsch.

Für Prof. Vahl war die Korrektur der BGR ein massives Problem. Sieht man von der physikalischen Unsinnigkeit seiner Experimente ab, hatte er nachgewiesen, dass Herzzellen erst ab 110 dB reagieren. Bei 100 dB war schon nichts mehr zu sehen. Nun war klar, dass Windkraftanlagen kaum über 60 dB hinauskommen. Faktor 10.000 bis zu seiner selbst „ermittelten“ Wirkschwelle und immer noch Faktor 100 bis zu seinem „Grenzwert“ von 80 dB, den er in abenteuerlicher Herleitung und ohne jede Frequenzangabe in seiner einzigen Peer-Review-Publikation gefordert hatte. Gleichzeitig hätte die Korrektur auch eine Chance sein können, sich gesichtswahrend aus dem Thema zurückzuziehen. Doch weit gefehlt...

In verschiedenen Interviews u.a. der Welt erklärte Prof. Vahl: „Die Korrektur der BGR ändert nicht die grundsätzlichen Stresswirkungen von Infraschall, die auf verschiedenen Ebenen des Organismus gefunden wurden“⁸. Einen Beleg für diese These liefert er nicht. Jeder Naturwissenschaftler lernt in seiner Grundausbildung, dass man aus einer Korrelation niemals eine Kausalität ableiten kann. Alle Versuche, Infraschall im Sinne eines kausalen Zusammenhangs als Auslöser für die Beschwerden der Menschen zu identifizieren, sind gescheitert. Es gab nicht einmal mehr eine physikalisch denkbare Wirkungshypothese. Gleichzeitig gab es gute wissenschaftliche Experimente, die zeigten, dass allein negative Erwartungen Symptome hervorrufen können [9]. Der Nocebo-Effekt ist der böse Bruder des Placebo-Effekts. Das Perfide daran: Nicht der Infraschall von Windkraftanlagen verursacht die Beschwerden der Anwohner, sondern Aussagen, die Betroffenen mit wissenschaft-

³ https://www.bayceer.uni-bayreuth.de/infraschall/de/windenergi/gru/html.php?id_obj=156886

⁴ https://www.bayceer.uni-bayreuth.de/infraschall/de/windenergi/gru/html.php?id_obj=157380

⁵ https://www.bayceer.uni-bayreuth.de/infraschall/de/windenergi/gru/html.php?id_obj=159126

⁶ https://www.bayceer.uni-bayreuth.de/infraschall/de/windenergi/gru/html.php?id_obj=160162

⁷ https://www.spiegel.de/wirtschaft/altmaier-entschuldigt-sich-fuer-rechenfehler-bei-windkraft-schallbelastung-a-9d8ed560-395e-4fd9-8c58-e0d4c3ecd011?sara_ecid=soci_upd_KsBF0AFjflf0DZCxpPYDCQgO1dEMph

¹ <https://www.zdf.de/dokumentation/planet-e/planet-e-infraschall--unerhoerter-laerm-100.html>

² <https://www.bayceer.uni-bayreuth.de/infraschall/>

lich nicht haltbaren Geschichten Angst machen. Ich selbst konnte dies eindrucksvoll erleben, als am Ende einer Veranstaltung pro Windenergie an der Universität Bayreuth drei Personen das Wort ergriffen und sehr emotional vor der Gefährlichkeit des Infraschalls von Windenergieanlagen warnen. Eine der drei war von dem Thema so aufgewühlt, dass sie weinend den Saal verließ.

All diese Erkenntnisse müssten auch Prof. Vahl bekannt sein. Trotzdem veröffentlichte er zusammen mit dem bekannten Windkraftgegner und Vorstand von Gegenwind Schwarzwald Prof. Roos noch im Juli 2021 in der ASU (Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Umweltmedizin) einen Beitrag „Infraschall aus technischen Anlagen“ [10]. Obwohl im Titel von technischen Anlagen die Rede ist, geht es in der Veröffentlichung ausschließlich um Windenergieanlagen.

Die Veröffentlichung ist derart fehlerhaft, dass die ASU in Folge drei Gegendarstellungen veröffentlicht [3,11,12]. Besonders deutlich wird der gelernte Akustiker Dr. Swen Müller. In seiner Replik „Die wunderliche Infraschallwelt von C.Vahl und W.Roos“ widerlegt er Aussagen von C.Vahl und W.Roos. Im Absatz „Ist das noch Wissenschaft?“ schreibt er:

Der Text von V/R ist zwar als wissenschaftliche Review camoufliert, missachtet aber permanent die gute wissenschaftliche Praxis sowie elementare „Standards der experimentellen Medizin und Pharmakologie“, deren Zugrundelegung V/R anfänglich versprochen, „wo immer möglich“. So ziehen sie zur Untermauerung ihrer unglaubwürdigen Hypothesen ungeeignete Literatur heran, in der teilweise tierquälerische oder waghalsige Experimente bei extremen Schallintensitäten beschrieben werden, die bis zu 100 Millionen Mal über typischen WEA-Immissionen liegen. Diese schillernde Collage von für die Thematik völlig irrelevanten oder sogar fiktiven Forschungsergebnissen, die in keinem einzigen Fall eine Belästigung oder gar ein „latentes Gesundheitsrisiko für Anwohnende“ durch WEA-Infraschall auch nur ansatzweise vermuten lassen, ist mit einer schier unüberschaubaren Vielzahl von Fehlinterpretationen und Falschaussagen gespickt. Dabei offenbaren V/R erhebliche Wissensdefizite in elementarer Schallphysik, Signaltheorie und Gehörphysiologie. Sie benutzen Luftschall, Beschleunigung, Vibration und Volumenverdrängung in arbiträrer Weise und halten die radikalen Unterschiede in deren Wirkmechanismen auf den Körper für „unerheblich“. Schalldruck und Schallintensität werden laufend verwechselt, Logarithmenrechnung nicht beherrscht und außerdem Zeitsignale und Spektren sowie deren signaltheoretische Begrifflichkeiten durcheinandergebracht. Das Wesen der Fourier-Analyse und -Synthese ist ihnen nicht bekannt. Der Schalldruckpegel

⁸ <https://www.welt.de/wirtschaft/artikel230800405/Windkraft-Gesundheitsrisiko-steigt-durch-den-Schall.html>

wird als unmaßgeblich eingestuft, ein Gespür für die Größenordnungen der involvierten physikalischen Größen ist nicht vorhanden. Logische Gedankengänge bereiten ihnen Schwierigkeiten.

Doubt is their product

Manch einer mag sich über die sehr deutliche Sprache von Swen Müller wundern. Ich halte sie aber für völlig angemessen. Die Beteiligung des Windkraftgegners Roos legt nahe, dass es sich bei diesem Artikel nicht um eine neutrale wissenschaftliche Publikation handelt. Das hat die seriöse Wissenschaft bitter lernen müssen. Es gibt wissenschaftlich anmutende Publikationen, die nie um der wissenschaftlichen Erkenntnis willen geschrieben wurden, sondern nur um Zweifel zu säen. Dies geschieht oft aus handfesten wirtschaftlichen Interessen, und zwar immer dann, wenn wissenschaftliche Erkenntnisse ein lukratives Geschäftsmodell bedrohen. Erstmals massiv eingesetzt wurde dies von der Tabakindustrie [13]. Die damaligen Methoden wurden 1:1 von der übernommen, teilweise sind es sogar die gleichen handelnden Personen. „Zweifel ist ihr Produkt.“ Zweifel werden geschürt am Klimawandel, an der Klimabilanz des Elektroautos, der Wärmepumpe und auch an der Unbedenklichkeit des Infraschalls von Windkraftanlagen. Zweifel sind ein perfektes Werkzeug, um die Transformation zu verzögern. In diese Kategorie würde ich auch die Publikation von Vahl und Roos einordnen. Weitere Beispiele sind die eingangs erwähnte Publikation von Thess und Lengsfeld [1] oder die jüngste Publikation von der Allgemeinmedizinerin und Anti-Windkraft-Aktivistin der sog. „Deutschen Schutzgemeinschaft Schall (DSGS)“ Frau Bellut-Steack [14].“ In einem echten Peer-Review hätten diese Publikationen nie veröffentlicht werden dürfen. Doch inzwischen gibt es Verlage (Predatory Publishing – Raubjournale), die gegen Geld mehr oder weniger alles publizieren. Wissenschaftlich finden diese Publikationen keine Beachtung, weil sie offen fehlerhaft sind. Doch diese Publikationen sind ja – wie ausgeführt – gar nicht für die Wissenschaft bestimmt, sondern für die breite Öffentlichkeit und die Presse. Diese können die Fehler nicht erkennen und auch Raubjournale nicht von seriösen wissenschaftlichen Zeitschriften unterscheiden. Und genau aus diesem Grund wäre es ein Fehler, auf solche Publikationen mit einer wissenschaftlich vorsichtigen Sprache zu reagieren. Wer das tut, ist bereits in die Falle getappt.

Fazit

Auch wenn es viel (private) Zeit und einige Nerven gekostet hat, war die lange Blockade der BGR im Nachhinein vielleicht ein Glücksfall. Erst dadurch entstand ein hohes Medieninteresse und breite Bevölkerungsschichten wissen nun: „Infraschall? Da hat sich doch eine Bundesbehörde um mehr als den Faktor 1000 verrechnet!“.

Windkraftgegner vermeiden heute dieses Argument, weil man sich damit pauschal unglaubwürdig macht. Das kann man gut erkennen, wenn man Website von Vernunftkraft verfolgt. Eine Seite zum Thema Infraschall wurde nach meinem Faktencheck komplett gelöscht⁹ (Bild 8). Die andere wurde stillschweigend überarbeitet. In der von mir archivierten Version von 2020 ist Infraschall das zentrale Argument für eine Gesundheitsgefährdung des Menschen durch Windenergieanlagen¹⁰. Insgesamt 39-mal fand sich das Wort Infraschall auf der Webseite. Auf der aktuellen Seite kommt „Infraschall“ dagegen gerade mal viermal vor und ist nur noch eine Randbemerkung¹¹. Dies ist eine sehr erfreuliche Entwicklung.

„Humans Evolved with Infrasound and It's Harmless“

Michael Barnard hat in einem Blogbeitrag¹² das Thema bereits 2019 sehr treffend auf dem Punkt gebracht: „Humans Evolved with Infrasound and It's Harmless“. Ja, Infraschall gibt es seit der Entstehung der Uratmosphäre der Erde vor vielen Millionen Jahren. Seit es Menschen gibt, sind sie Infraschallpegeln ausgesetzt, die weit über dem liegen, was Windenergieanlagen jemals erzeugen können. Infraschall gibt es immer und überall und Infraschall ist harmlos. Deshalb zum Schluss eine meiner Lieblingsmessungen. Meine Frau und ich geben ehrenamtlich Tanzkurse für unseren Sportverein. Das Spektrum in Bild 9 zeigt den Infraschall im Saal. Zu Beginn der Messung wurde noch nicht getanzt. Man erkennt schwach verschiedene horizontale Linien der örtlichen Mälzerei. Mit Beginn des Tanzes steigen die Pegel deutlich an. Die breiten Bänder um 6 und 20 Hz sind Raummoden (stehende Wellen im Raum), die durch die Bewegung angeregt werden. Unten erkennt man für jedes Musikstück eine scharfe horizontale Linie, die der Taktfrequenz der Musik entspricht. Besonders ausgeprägt ist sie beim Jive. Dort übersteigt der Terzpegel der Beats Per Minute Frequenz (BPM) sogar 70 dB und damit die Infraschallpegel der Windenergieanlagen. Vielleicht sollte ich jetzt sagen, dass diese 70 dB maßgeblich für das gute Gefühl beim Tanzen verantwortlich sind – „guter Infraschall“ sozusagen :-). Aber das wäre der gleiche Unsinn wie der „böse Infraschall“ von Windkraftanlagen. Diese 70 dB sind weder mit dem Ohr und schon gar nicht mit dem Körper wahrnehmbar. Was wir hören und ggf. spüren, ist Hörschall, dessen Amplitude mit Infraschallfrequenzen moduliert ist.

⁹ https://www.bayceer.uni-bayreuth.de/infraschall/de/windenergi/gru/html.php?id_obj=157722

¹⁰ https://www.bayceer.uni-bayreuth.de/infraschall/de/windenergi/gru/html.php?id_obj=157855

¹¹ <https://www.vernunftkraft.de/mythos-8/>

¹² <https://medium.com/the-future-is-electric/humans-evolved-with-infrasound-and-its-harmless-50d42fbc7377>



Bild 8. Vernunftkraft-Webseite 27.09.2020 (links) und 05.02.2024 (rechts). 2020 war Infraschall noch das zentrale Argument für eine Gesundheitsgefährdung durch Windenergieanlagen. Der Begriff Infraschall tauchte auf der Seite 39 Mal auf. In der aktuellen Version ist Infraschall nur noch ein Randargument. Der Begriff wird nur noch vier mal genannt.

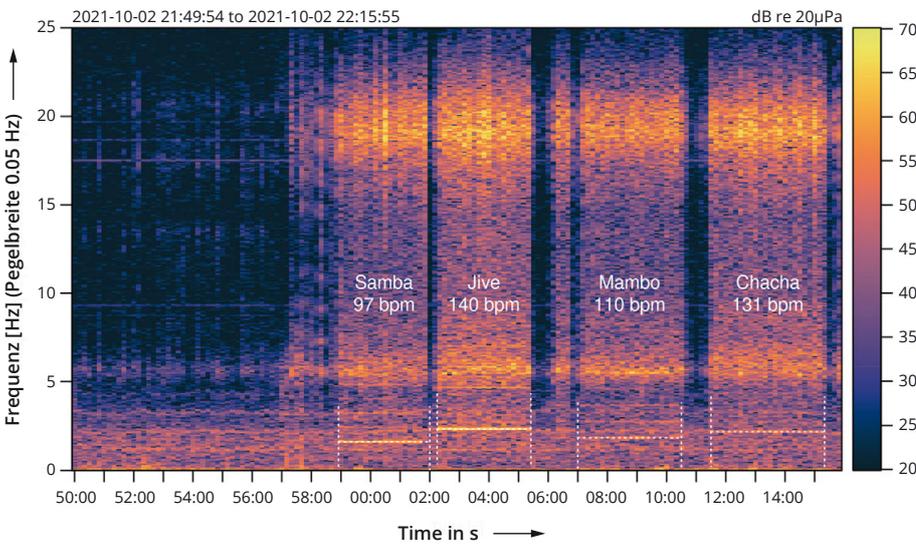


Bild 9. Infraschallmessung in einem Tanzsaal. Zu Beginn der Messung wird noch nicht getanzt. Die weißen Markierungen entsprechen der Taktfrequenz der gewählten Musikstücke.

Literatur

[1] Thess, A.D.; Lengsfeld, P. *Side Effects of Wind Energy: Review of Three Topics – Status and Open Questions*. Sustainability 2022, 14 (23), 16186. <https://doi.org/10.3390/su142316186>.

[2] Majjala, P.; Turunen, A.; Kurki, I.; Vainio, L.; Pakarinen, S.; Kaukinen, C.; Lukander, K.; Tiittanen, P.; Yli-Tuomi, T.; Taimisto, P.; Lanki, T.; Tiippana, K.; Virkkala, J.; Sticker, E.; Sainio, M. *Publications of the Government’s Analysis, Assessment and Research Activities 2020: 34 Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines; Publications of the Government’s analysis, assessment and research activities; 34; Helsinki, 2020; p 155*. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-907-3>.

[3] Müller, S. *Die wunderliche Infraschallwelt von C. Vahl und W. Roos*. ASU 2022, 57.

[4] Bayer, O.; Mehnert, C.; Hoffmann, M.; Ratzel, U.; Westerhausen, C.; Scheck, C.; Brachat, P.; Jänke, K.; Kiesel, K.-J.; Krapf, K.-G.; Herrmann, L.; Blaul, J. *Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen; Kompetenzzentrum Windenergie LUBW Referat 34 – Technischer Arbeitsschutz, Lärmschutz; Karlsruhe, 2020; p 104*. <https://pd.lubw.de/84558>.

[5] Chaban, R.; Ghazy, A.; Georgiade, E.; Stumpf, N.; Vahl, C.-F. *Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility: In-Vitro Controlled Experiment*. Noise and Health 2021, 23 (109).

[6] Swen, M.; Stefan, H.; Martin, H.; Susanne, K. *Can Infrasound from Wind Turbines Affect Myocardial Contractility? A Critical Review*. Noise and Health 2022, 24 (113).

[7] van den Berg, F. *Comments on the Article “Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility: In Vitro Controlled Experiment” by Chaban R.: Et al.* (Noise Health 2021;23:57-66). Noise and Health 2022, 24 (112).

[8] Holzheu, S.; Hundhausen, M. *Additional Comments Regarding the Main Article and the Comment of “Pilger and Ceranna: The Influence of Periodic Wind Turbine Noise on Infrasound Array Measurements”* (JSV, Vol. 388, Pp. 188–200, 2017). Journal of Sound and Vibration 2024, 568, 117960. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2023.117960>.

[9] Crichton, F.; Dodd, G.; Schmid, G.; Gamble, G.; Petrie, K.J. *Can Expectations Produce Symptoms from Infrasound Associated with Wind Turbines?* Health Psychology 2014, 33 (4), 360-364. <https://doi.org/10.1037/a0031760>.

[10] Roos, W.; Vahl, C. *Infraschall aus technischen Anlagen*. ASU 2021, 56 (07). <https://doi.org/10.17147/asu-2107-7953>.

[11] Holzheu, S.; Koch, S.; Hundhausen, M. *Infraschall von Windenergieanlagen: keine Gefahr für die Gesundheit der Bevölkerung*. ASU 2021, 56 (11). <https://doi.org/10.17147/asu-2111-9354>.

[12] Bauer, S.; Schertz, F. „*Infraschall aus technischen Anlagen*“ – eine Replik. ASU 2021, 56 (01).

[13] Michaels, D. *Doubt Is Their Product: How Industry’s Assault on Science Threatens Your Health*; Oxford University Press: Oxford; New York, 2008.

[14] Bellut-Staeck, U.M. *Impairment of the Endothelium and Disorder of Microcirculation in Humans and Animals Exposed to Infrasound Due to Irregular Mechano-Transduction*. JBM 2023, 11 (06), 30–56. <https://doi.org/10.4236/jbm.2023.116003>.

Abstract

Infrasound from wind turbines – much ado about nothing

Humans evolved with infrasound and it is harmless. Nevertheless, for a long time infrasound was one of the main arguments used by wind power opponents to create a favourable mood against new wind power projects. Based on some physical principles of sound physics, the origin and intensity of infrasound from wind turbines is analysed. The article explains why infrasound has become one of the main arguments used by wind power opponents and why the issue has become much quieter in the meantime. |