

Die wunderliche Infraschallwelt von C. Vahl und W. Roos

08.03.2022

Eine Einordnung aus Akustiker-Sicht des Artikels „Infraschall aus technischen Anlagen“ von W. Roos und C. Vahl in ASU Ausgabe 07-2021 und ihrer Antworten auf die beiden Repliken von S. Holzheu, S. Koch und M. Hundhausen in Ausgabe 11-2021 und von S. Bauer und F. Schertz in Ausgabe 01-2022.

Inhalt

Einleitung

Innovative Interpretation von Schalldruckpegel-Spektren

Geht Infraschall nun ungedämpft durch Wände oder nicht?

The Tale of Mr. Todd

Ist das Vestibularsystem empfindlich für Infraschall?

Wer nimmt Infraschall besser wahr, Messgeräte oder wir?

Infraschall ist überall

Resonanzphänomene mit Afterburner

Wahrheiten zur Wahrnehmungsschwelle

Die Aktivierung distinkter Gehirnregionen durch Infraschall

Problemloser Schlaf mit Infraschall

Irritieren interferierende „Infraschallpulse“ den Herzschlag?

Hochsignifikanter, negativ inotroper Effekt beim Schwimmen?

Die inflatierten Kaninchenherzen von Campbell

Materialermüdungsversuche mit Industrieb vibrator

In-vitro-Myokardbeschallung aus 30 cm Tieftöner

Kränkeln Kardiomyozyten durch Infraschall?

Virtual Reality mit V/R

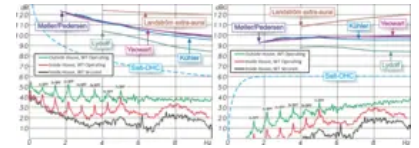
Corpus Delicti: die berühmten BGR-Messungen

Vahl beweist: WEA sind kein „Störsender fürs Herz“

Weniger ist mehr

Weg mit dem Dezibel-Fetischismus!

Vergleich zu Schallintensitäten bei der Ultraschalldiagnostik



© Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Fig. 4 in (28), Kurven-Daten freundlicherweise von B/S (86) zur Verfügung gestellt.

Abb. 1: Eigentlich eine klare Sache: Der außen gemessene Infraschall (grünes Spektrum) ist im Haus um bis zu 17 dB gedämpft (rote Kurve darunter) und liegt dort nur noch knapp über dem Noise floor bei stehender Anlage (schwarze Kurve). Darüber gestrichelt in türkis: Alec Salt's hypothetisches OHC-Aktivitätslimit (58). Darüber folgende Wahrnehmungsschwellen: dunkelgrün: außerordentlich infraschall-empfindliche Person (Lydolf, 14), blau: Kühler et al. (63), dunkelblau: Møller und Pedersen (14), violett: Yeowart (65), braun: Vibrotaktile Wahrnehmungsschwelle für Normalhörende (66). Links: Unbewertete SPL-Spektren, rechts: mit gehör richtiger G-Bewertung. Die Summenpegel können leider nicht gebildet werden, da die Original-Frequenzauflösung nicht bekannt ist.

S. Müller, NTI Audio AG, Schaan, Liechtenstein

s.mueller@nti-audio.com

Einleitung

Im Juli 2021 erschien in ASU ein Artikel mit dem allgemein gehaltenen Titel „Infraschall aus technischen Anlagen“ von C. Vahl und W. Roos (in Folge mit V/R abgekürzt), der jedoch ausschließlich auf den von Windenergieanlagen (WEA) erzeugten, tief subliminalen Infraschall abzielt, dem sie mannigfaltiges „pathogenes Potential“ auf molekularer, zellulärer, organischer und neurologischer Ebene zuschreiben. Den unerschütterlichen Glauben daran vertreten die Autoren mit außergewöhnlicher Überzeugung und subjektiver Gewissheit, trotz der Unvereinbarkeit mit der objektiv nachprüfbaren Realität und gegenteiligen Beweisen.

In einer ersten Replik (85) ging das Autorenteam S. Holzheu, S. Koch und M. Hundhausen (in Folge H/K/H abgekürzt) auf zahlreiche Falschaussagen und Fehlschlüsse ein und stellte eigene Messungen sowie deren Einordnung im Vergleich zu alltäglichen, vielfach deutlich stärkeren Infraschallquellen vor. Sie zeigten in anschaulicher und fachlich korrekter Weise, dass die Schalldruckamplituden von WEA in nur wenigen hundert Metern Abstand in Relation zu den natürlichen Luftdruckfluktuationen im Infraschall-Frequenzbereich vernachlässigbar klein und in der zeitlichen Darstellung kaum noch zu erkennen sind.

In einer weiteren Replik (86) widmete sich das Autorenteam S. Bauer und F. Schertz (in Folge B/S abgekürzt) der - trotz Richtigstellung durch H/K/H - weiterhin aufrecht erhaltenen, absurd anmutenden Fehlinterpretation von Schalldruck-Spektren durch V/R, aus denen sie grotesk falsche Schlüsse ziehen. Darüber hinaus unterzogen B/S die von V/R angeführten Literatur-Referenzen einer gründlichen Analyse und stellten dabei fest, dass nicht nur deren Inhalt vielfach falsch wiedergegeben wurde oder Infraschall gar nicht zum Thema hatte, sondern dass sogar Pegelangaben grob manipuliert und schwere organische Schäden frei hinzuerfunden wurden.

In ihren beiden Antworten zeigten sich V/R nicht nur uneinsichtig gegenüber der fachlich fundierten kritischen Argumentation und leugneten die zahlreichen von ihnen begangenen Fehler, sondern offenbarten auch erhebliche schallphysikalische sowie signaltheoretische Wissenslücken und reicherten ihre Erklärungen mit zusätzlichen Falschaussagen, Fehlinterpretationen und ungeeigneten Literatur-Referenzen an.

Die folgende Abhandlung soll ohne Anspruch auf Vollständigkeit einige der markantesten Falschinformationen und Fehlinterpretationen beleuchten, die nach dem initialen Artikel und den beiden Antworten von V/R auf die Repliken immer noch im Raum stehen. Es geht dabei ausschließlich um den durch die Flügel-Mast-Passage von WEA erzeugten Infraschall, nicht um Hörschall, der auch nicht Bestandteil des Artikels von V/R war.

Innovative Interpretation von Schalldruckpegel-Spektren

V/R schreiben, ein „wesentliches Ergebnis“ ihrer „Recherche“ sei die ihrer Meinung nach „wohlbegründete Vermutung, dass nicht die absolute Höhe des IS-Schalldrucks ausschlaggebend für seine biologische Wirkung sei, sondern das Ausmaß kurzzeitiger Änderungen“. Zum Kronzeugen dieser Aussage machen sie eine von ihnen schon öfters benutzte, aber offenbar immer noch nicht begriffene Grafik (aus 28) der Messung einer WEA des Typs Vestas V82 in Falmouth, Massachusetts, die von einigen Anwohnern erfolgreich gerichtlich bekämpft und mittlerweile stillgelegt wurde. Sie zeigt Schalldruckpegel in Form von hochaufgelösten FFT-Spektren innerhalb und außerhalb eines Wohnhauses, die in Abb. 1 zusammen mit einigen Wahrnehmungsschwellen reproduziert sind. Es ist sofort eindeutig und unzweifelhaft zu erkennen, dass im Haus die Immission im Frequenzbereich der Flügelharmonischen um bis zu 17 dB gedämpft ist.

Die eigenwillige Interpretation von V/R fällt freilich anders aus. Zur größten Verblüffung der geneigten Leserinnen und Leser erklären sie: „Der durch den Wind selbst verursachte Schalldruck ist im Gebäude vermindert, nicht aber die von der Anlage emittierten Pulse“. Welch kühner Gedankengang die beiden ausgewiesenen Signaltheoriespezialisten zu dieser verwegenen Aussage bewog, wird erst in ihrer uneinsichtigen Antwort auf die erste Replik deutlich:

„Die Druckdifferenz zwischen dem Messwert *vor* dem Peak und der Peakspitze beträgt z.B. 16 dB bei der Harmonischen „3 x BPF“, sowohl outdoor als auch in-house“. Hier wird klar: V/R wissen zwar, dass es sich bei der Abbildung um ein Spektrum handelt, aber sie wissen offenbar gar nicht, was ein Spektrum eigentlich ist. Die abgebildeten Kurven halten sie offenbar für eine Art alternative Pegel-Darstellung des Zeitsignals mit einer Abfolge von sieben oder acht „Druckpeaks“. Der Verdacht dieser grotesken Fehlinterpretation erhärtet sich in der Antwort auf die Replik von B/S, wo sie über den Anstieg besagter 3x BPF Komponente über den Noise floor schreiben: „Etwa um diesen Faktor steigt also der Schalldruck bei *Ankunft eines Druckpeaks*, unabhängig von seinem jeweiligen *Anfangswert*, der meist nahe am Hintergrundschall liegt.“ (kursive Hervorhebungen von mir). Hier wird zeitbezogenes Vokabular auf ein Leistungsspektrum angewandt. Bedingt durch diese offenkundige Orientierungslosigkeit zwischen Zeit- und Frequenzbereich sind V/R zwangsläufig nicht befähigt, aus den Spektren sinnvolle Informationen zu extrahieren. So glauben sie denn auch, aus der Schmalheit der Frequenzkomponenten auf die Steilheit der „Druckpeaks“ (und somit sicherlich auf ihr „pathogenes Potenzial“) schließen zu können. Diese fatale Fehlinterpretation und ihre weiteren wirren schallphysikalischen und signaltheoretischen Vorstellungen gipfeln schließlich in der folgenden formvollendeten Stilblüte:

„Die Höhe der Druckpeaks (in dB) über dem jeweiligen Hintergrundschaall ist etwa gleich im Haus und im Freien. Damit entsteht bei jedem Flügeldurchgang am Mast etwa dieselbe Verstärkung (Vervielfachung) des momentanen Luftdrucks“.

Die Variation des Luftdrucks, die sich beim Flügeldurchgang ergibt, liegt bei den Falmouth-Messungen „outside house“ mit weniger als $\pm 0,1$ Pa Peak nicht einmal bei einem Millionstel des Luftdrucks. Wenn Letzterer tatsächlich eine „Vervielfachung“ erleiden würde, müsste man sich wohl tatsächlich Sorgen um Anrainer von WEA machen, die ihre Anwesen nur noch mit Astronauten-Druckanzügen betreten könnten.

V/R bedauern: „In einigen Fällen ist es uns offenbar nicht gelungen, das Gemeinte für Laien verständlich zu machen“. Vielmehr ist es aber hier offenbar Laien nicht gelungen, elementarste schallphysikalische und signaltheoretische Zusammenhänge zu verstehen. Dazu seien einige interessante Aspekte erwähnt:

- Über die konkrete zeitliche Beschaffenheit der „zugrunde liegenden Zeit-Druck-Kurven“, die laut V/R „die unmittelbar wahrnehmbare Emission abbilden“ lässt sich aus den Amplitudenspektren gar keine Aussage treffen, da hierzu die Phasenspektren (welches den zeitlichen Versatz der einzelnen Sinusschwingungen aus der Fourier-Analyse abbildet) fehlen.
- Eine indirekte qualitative Information über das maximal mögliche „Ausmaß kurzzeitiger Änderungen“ des Zeitsignals kann ein Fachmann aber aus den schnell abfallenden Amplituden der Oberwellen und ihrem zügigen Untergehen in den Noise floor noch unter 10 Hz ziehen. Sie deuten darauf hin, dass die Pulse *nicht* sonderlich steil sein können und außerdem weit unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle liegen.
- Das einzige, was sich aus der Schärfe der Peaks im Spektrum herauslesen lässt, ist die Konstanz, mit der die Turbine im Analyse-Intervall ihre Drehzahl gehalten hat, wobei allerdings auch Signalverarbeitungsschritte wie z.B. die Fensterung des Zeitsignals die Spitzen verbreitern.
- Frequenzkonstante Sinusschwingungen würden über einen langen Zeitraum analysiert im Spektrum scharfe Nadeln mit fast unendlicher Steilheit erzeugen und damit nach Lesart von V/R auch nahezu unendlich „pathogen“ wirken. Infraschall-Wahrnehmbarkeitstests mit einzelnen Sinustönen lehnen sie andererseits in Ermangelung von „Druckpeaks“ als untauglich ab.
- Ein einzelner und tatsächlich nahezu unendlich steiler Druckpeak würde hingegen im Spektrum eine horizontale Linie erzeugen, also unendlich flach sein und damit nach V/R-Kriterien null „pathogenes Potenzial“ aufweisen.

V/R schreiben: „Der zentrale Dissens zwischen unserer Auffassung und den Einwendungen von Bauer/Schertz besteht in der Interpretation der Druckpeaks, die im Infraschallbereich emittiert werden“. Dem ist durchaus beizupflichten, wobei B/S auf der korrekten Seite fahren, während V/R in der Welt der Schallphysik und Signaltheorie als Geisterfahrer unterwegs sind.

Geht Infraschall nun ungedämpft durch Wände oder nicht?

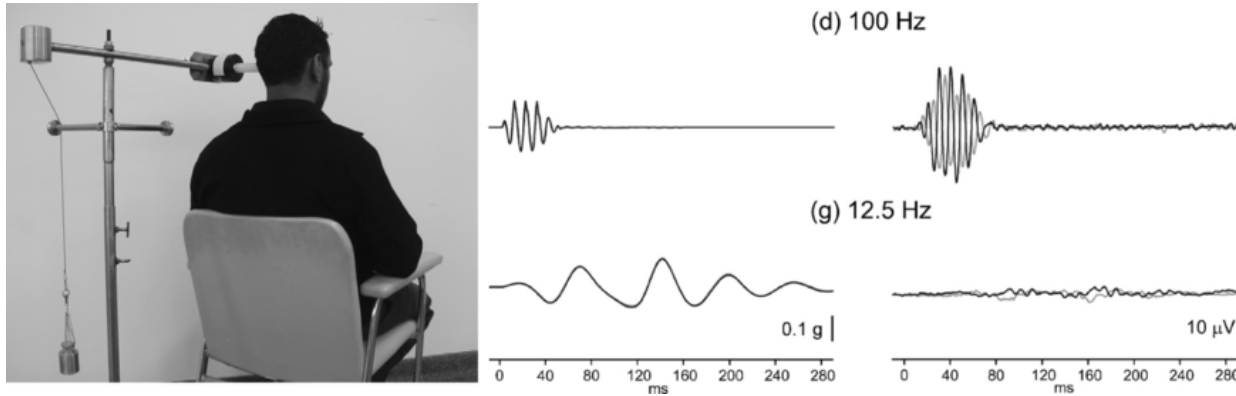
Trotz der für sie offenbar überraschenden Tatsache, dass die Flügelharmonischen durch die Gebäudehülle hindurch nicht nur ihre Frequenz beibehalten, sondern auch ebenso stark gedämpft werden wie unmittelbare Nachbarfrequenzen, behaupten V/R: „Die Peaks werden also durch das Gebäude kaum gedämpft, wie für Infraschallemissionen seit langem bekannt“. Sie „folgen nicht der schon von Holzheu et al. geäußerten Auffassung (Holzheu et al., ASU 2021; 56(11)), die Differenz der Frequenzkurven zeige die Dämmung durch das Gebäude“.

V/R hätten allerdings nur in weitere Veröffentlichungen des von ihnen zitierten kanadischen Messingenieurs Andy Metelka schauen müssen, z.B. (32). Er bestimmte *explizit* mit dieser Methode die Infraschall-Dämmung verschiedener Häuser und verwendete dafür mehrere infraschallfähige Mikrofone mit GRAS 40AZ Kapseln, mit denen er simultan innen und außen maß (was windbedingte Unterschiede ausschließt) und dabei im Vergleich zu Abb. 1. ähnliche bis höhere Pegelunterschiede zwischen innen und außen registrierte.

Aufgrund seiner großen Wellenlängen wird Infraschall zwar über Schallschutzwände gebeugt, von einer geschlossenen Gebäudehülle aber tatsächlich merklich gedämpft, wie H/K/H korrekt ausführen. Bei mittleren und hohen Frequenzen erzielen Häuserwände ihre hohe Dämmung durch die Massenträgheit, die sie der mit der Frequenz steigenden periodischen *Beschleunigung* der Luftmoleküle entgegensetzen. Bei tiefen Frequenzen ist die Dämmwirkung gering. Zu tiefsten Frequenzen hinab steigt sie aber wieder mit 6 dB/Oktave an und zwar diesmal aufgrund der Steifigkeit, welche die Wände der mit fallender Frequenz steigenden *Auslenkung* der Luftmoleküle entgegensetzen. Bei luftdichten Hüllen (wie z.B. der von Druckkammern und Passagierflugzeugen) erreicht die Dämmung theoretisch unendliche hohe Werte bei statischen Druckdifferenzen (0 Hz). In der Praxis begrenzen viele kleine Lecks den Wert. Geschlossene Türen und Fenster haben deshalb tatsächlich einen erheblichen Einfluss auf die Infraschallpegel in Räumen, insbesondere in energieeffizienten luftdichten Bauten. Metelka selber konstatiert übrigens (etwas optimistisch), dass moderne energieeffiziente Häuser mit geschlossenen Fenstern und Türen eine Dämmung der Flügelharmonischen von 30 – 40 dB erreichen können (32).

The Tale of Mr. Todd

V/R schreiben: "Die Sensoren des menschlichen Gleichgewichtssystems können Infraschallvibrationen registrieren, deren Intensität weniger als 1/1000 der vor Ort wirksamen Schwerkraft beträgt (Artikel, Todd et al. 2008)" (40) und meinen, daraus folgern zu können: „Das Vestibularsystem ist damit empfindlicher für Druckänderungen als die Cochlea für tieffrequenten Hörschall.“ Leider versteigen V/R sich hier aber zu einem unsinnigen Äpfel-mit-Birnen-Vergleich zwischen Beschleunigung und Luftschall. Beschleunigung wird durch mechanisch eingeleitete Kraft induziert, die also eine Richtung aufweist (Vektor), während Luftdruck (auch dynamischer, also „Druckänderungen“) einen Skalar darstellt, also isotrop wirkt. In den Versuchen von Todd wurde mit einem Brüel & Kjær 4810 Shaker eine periodische Wechselkraft direkt in das Schläfenbein oberhalb des Ohrs eingeleitet und damit der gesamte Schädel in translatorische Schwingungen versetzt. Das hat nichts mit luftgetragenen Infraschall zu tun, der aufgrund der großen Wellenlänge homogen von allen Seiten auf den Kopf einwirkt und ihn deswegen quasi nicht bewegt. Den Unterschied zwischen Knochenleitung und Luftschall kennt jeder Audiologe und nutzt ihn täglich zur Differenzialdiagnostik zwischen Schalleitungs- und Empfindungsstörungen bei Hörschäden.



© Quelle: Nachdruck von (40), mit Erlaubnis von Elsevier.

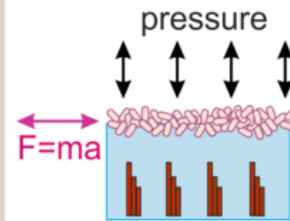
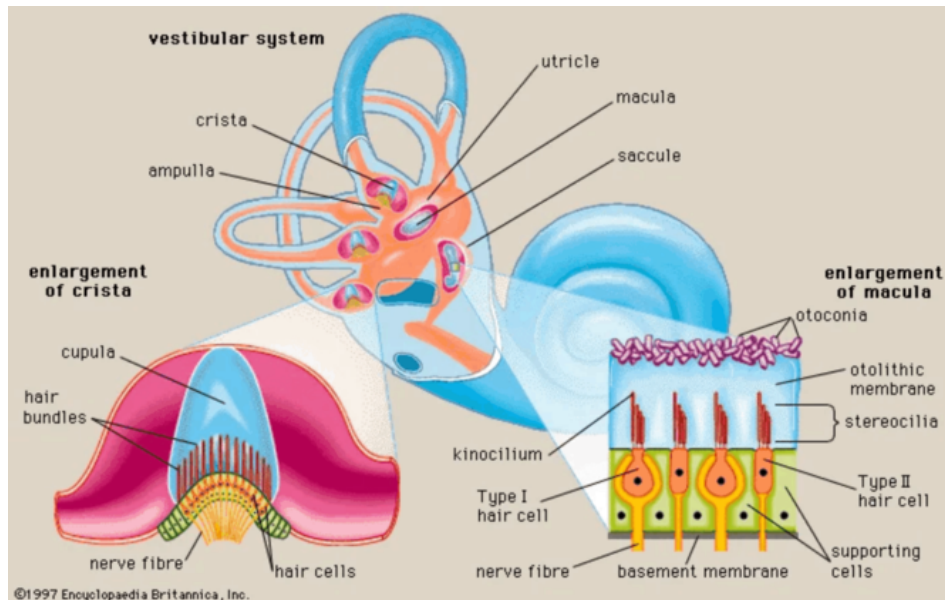
Abb. 2: Kein Luftschall: Vibrationseinleitung am Mastoid mit Shaker in den Versuchen von Todd et al. Mit 0.1 g Amplitude der Schädelbeschleunigung (linke Wellenformen) ergaben sich die höchsten oVEMPs (rechte Wellenformen) bei 100 Hz. Bei 12.5 Hz waren sie bereits 20 dB schwächer.

Todd ging es allerdings um die normale Reaktion des Vestibularsystems auf Beschleunigung, nicht auf Luftschall. Diese wurde von seinem Team mithilfe der vestibulo-okulären Reflexe (VOR) ermittelt, die der Hirnstamm bei detektierten Bewegungen an die Augenmuskulatur zur Stabilisierung des Bildes auf der Netzhaut sendet und die sich an den Augen mit Elektroden in Form von oVEMPs (okulär-vestibulär evozierte myogene Potenziale (38, 39, 40)) abnehmen lassen. Dabei ergab sich ein Maximum bei 100 Hz, auf das sich auch die hohe Empfindlichkeitsangabe bezieht. Darüber und darunter sanken die Amplituden beträchtlich und lagen bei 12,5 Hz bereits 20 dB unter dem Maximum, so dass sie sich kaum noch vom Rauschen abhoben, obwohl die bei allen Testfrequenzen konstant gehaltene Beschleunigung des Schädels mit 0,1 g (ein Zehntel der Erdbeschleunigung) erheblich war.

Die Empfindlichkeit des Vestibularsystems für über das Mastoid eingeleitete Vibrationen nimmt also zu tiefen Frequenzen ebenso ab wie die des Hörsinns für Luftschall. Die beiden Dinge haben allerdings nichts miteinander zu tun. Schon Nina Pierpont, die Erfinderin des in der medizinischen Fachwelt nicht anerkannten „Wind Turbine Syndrome“, vermochte nicht zwischen Luftschall und Vibrationen zu unterscheiden und zitierte die Arbeit von Todd zur unbemerkten Untermauerung ihrer festen Überzeugung, das Vestibularsystem reagiere auf WEA-Infraschall. Ihr im Selbstverlag herausgegebenes gleichnamiges Buch wurde vom renommierten Schallexperten Geoff Leventhall scharf kritisiert (47). Todd verwahrte sich demzufolge bereits im Jahr 2009 öffentlich gegen Pierpont's Fehlinterpretation seiner Ergebnisse. Diese Episode sollte Infraschall-Veteranen wie V/R eigentlich bekannt sein und es ist verblüffend, dass sie Todd et al. trotz seines persönlichen Dementis noch für ihre ungültigen Behauptungen missbrauchen.

Ist das Vestibularsystem empfindlich für Infraschall?

Die Otolithen-Organen des Gleichgewichtssinns registrieren Beschleunigung durch die Trägheitskraft, die *lateral* auf die schweren Kalziumkarbonat-Kristalle wirkt, die in der Statolithenmembran eingebettet sind. Dies führt zu einer seitlichen Auslenkung der Stereozilien und damit zur Änderung der Aktionspotenziale, was vom Gehirn registriert wird. Im Gegensatz dazu wirkt tieffrequenter Schalldruck, der anders als mittlere Frequenzen vom Mittelohr unverstärkt über das ovale Fenster in das Innenohr eingeleitet wird, *senkrecht* auf die Statolithenmembran. Da sie wie alle Flüssigkeiten und Gewebe quasi inkompressibel ist und im Gegensatz zur Cochlea im Labyrinth eines gesunden Innenohrs keine druckinduzierte Volumenbewegungen stattfinden (das verhindert das harte Schläfenbein, in das es eingebettet ist), findet so gut wie keine Auslenkung der Haarzellen statt. Sie reagieren nur bei sehr hohen Pegeln im mittleren Frequenzbereich um 1 kHz aufgrund der hohen Verstärkung durch das Mittelohr von ca. 25 dB (73). Zu tieferen Frequenzen nimmt die Empfindlichkeit deutlich ab (51). Unter 100 Hz fällt die Verstärkung des Mittelohrs auf Werte unter 0 dB.



© Quellen: links mit freundlicher Genehmigung von Encyclopædia Britannica, Inc., Copyright 2009; Nutzung mit Erlaubnis, rechts: eigene Darstellung.

Abb. 3: Beschleunigungskräfte bewirken durch die entgegen gesetzte Trägheitskraft der in der gallertartigen Statolithen-Membran eingebetteten CaCO_3 Kristalle (Otoconia) eine laterale Auslenkung der Stereozilien. Schall drückt hingegen senkrecht auf die Membran, die aufgrund ihrer Inkompressibilität praktisch keine Bewegung der Stereozilien auslöst.

Ganz im Gegensatz zur Behauptung von V/R ist das Vestibularsystem gegenüber „Druckschwingungen“ im Infraschallbereich sogar *ausgesprochen immun*. Das weiß auch der von V/R referenzierte HNO-Arzt Alec Salt (23): „auditory stimulus coupling to the structures of the vestibular system is inefficient so that they are unlikely to be influenced by airborne infrasound“ und „as people do not become unsteady and the visual field does not blur when exposed to high level infrasound, it can be concluded that sensitivity is extremely low“. Würde das Vestibularsystem empfindlich auf Infraschall reagieren, würde uns in der Tat bei jeder Annäherung an starke Infraschallquellen wie z.B. Wasserfälle oder die Meeresbrandung schwindelig werden. Jeder leichte Windstoß würde eine Störung des Gleichgewichts bewirken – ein ganz offensichtlicher Nachteil in der Evolution, die uns längst vom Planeten gefegt hätte, wenn sich nicht eine sehr hohe sensorische Trennung bei der Wahrnehmung von Beschleunigungskräften und luftgetragenen Druckschwankungen in unserem Innenohr entwickelt hätte.

Wie ausgesprochen resistent das Vestibularsystem tatsächlich gegen Infraschall im Frequenzbereich der Flügelharmonischen ist, haben Jurado und Marquardt (18) in ihrer Arbeit gezeigt. Bei 4 Hz reichten selbst 132 dB nicht aus (die kein normaler Kopfhörer zu erzeugen in der Lage ist und die deswegen dem Ohr über einen Schlauch aus dem Inneren eines potenten Subwoofers zugeführt werden mussten), um bei den Versuchspersonen einen messbaren vestibulocollicischen Reflex auszulösen.

Die Theorie der Triggerung des Vestibularsystems durch schwachen Infraschall von WEA ist also sowohl empirisch als auch wissenschaftlich gründlich widerlegt. Im Frequenzbereich der Flügelharmonischen führen selbst Schallintensitäten, die hunderttausendfach über typischen Immissionen von WEA liegen, in einem gesunden Innenohr zu keinerlei Gleichgewichtsstörungen und mit ihnen assoziierter Kinetose. Selbst bei pathologischen Innenohr-Konditionen wie der SCD (superior semicircular canal dehiscence, (35),(36),(37),(48)) bei der ein Teil der vom ovalen Fenster induzierten Volumenschnelle (welche normalerweise vollständig die Cochlea durchläuft, (60)) durch das Vestibularsystem abgezweigt wird (54), reicht WEA-Infraschall dazu nicht aus.

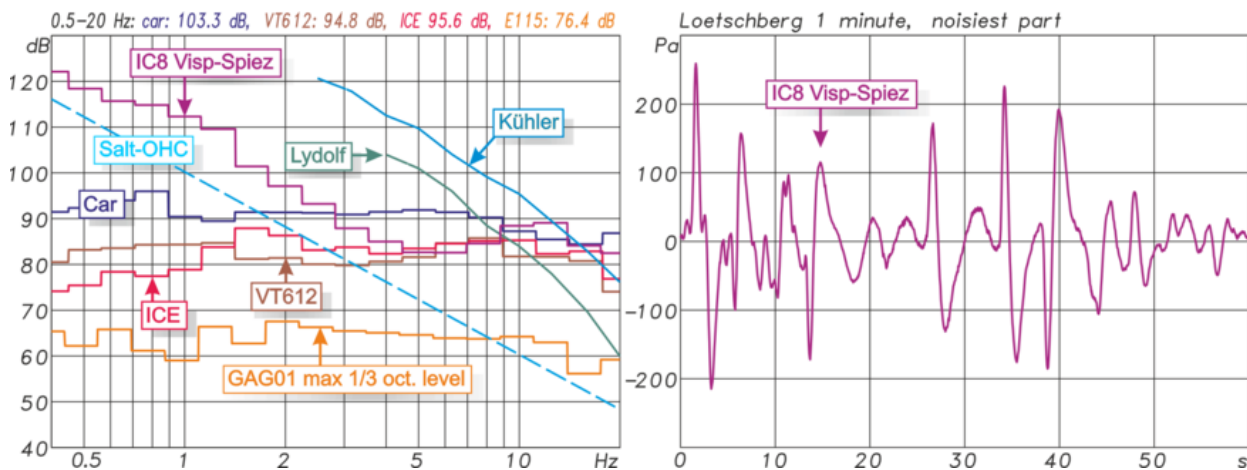
Wer nimmt Infraschall besser wahr, Messgeräte oder wir?

Die schwachen „Druckpulse“ von WEA, die in Frequenz und Pegel in etwa dem äußerst geringen Unterschied des atmosphärischen Drucks entsprechen, der beim Gehen an den Ohren entsteht (nur ± 1 cm vertikale Bewegung des Kopfs ergeben immerhin 75 dB SPL), verlieren sich in den „zugrunde liegenden Zeit-Druck-Kurven“, die, wie V/R uns kenntnisreich lehren, „die unmittelbar wahrnehmbare Emission abbilden“, bereits nach wenigen 100 m im allgemeinen Infraschall-Getöse und sind dort überhaupt nur noch durch FFT oder Schmalbandfilterung sichtbar zu machen. Genau diese Fähigkeiten besitzt unser Ohr aber nicht – unter 30 Hz geht jegliche Tonhöhenempfindung verloren. Außerdem steigt die Wahrnehmbarkeitsschwelle extrem an und liegt bei 2 Hz bereits über 120 dB.

Diese Einschränkungen gelten für Infraschall-Messtechnik nicht. V/R werfen H/K/H vor: „Generell gehen die Kritiker offenbar davon aus, dass die Perzeption der Infraschallpulse im Menschen mit gleicher Empfindlichkeit, Frequenzauflösung und Bandbreite erfolgt wie durch das von ihnen verwendete Messgerät (das nicht näher spezifiziert wird). Dies kann keinesfalls vorausgesetzt werden.“ Das kann es in der Tat nicht und die Kritiker gehen mitnichten davon aus. Sowohl die Empfindlichkeit des verwendeten Differenzdrucksensors SDP610 (der mit sehr guten Ergebnissen auch in der jüngsten Messkampagne (31) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im Sommer 2021 eingesetzt wurde) als auch die Frequenzauflösung, die sich durch FFT über lange Zeitabschnitte erzielen lässt, sind nämlich um viele Zehnerpotenzen höher als die „Perzeption der Infraschallpulse im Menschen“. Die Technik erlaubt überhaupt erst die hochselektive Visualisierung der weit unter der Wahrnehmbarkeitsschwelle liegenden Infraschall-Frequenzkomponenten. Ohne diese Technik hätten Windkraftgegner die Flügelharmonischen nie für sich entdecken und als Angst-Faktor mit der infamen Behauptung aufbauen können, sie mache Anrainer krank.

Infraschall ist überall

Infraschallapologeten wie V/R sind sich der Tatsache durchaus bewusst, dass viele natürliche und anthropogene Infraschallquellen (vor allem Fahrzeuge) erheblich höhere Immissionen erzeugen und selbst physiologischer Infraschall (Herzschlag, Atmung, Verdauung, Muskelbewegung), der z.B. über den Aquaeductus cochleae abgeschwächt in das Innenohr gelangt (87), stärker ist. Um diesem Dilemma zu entkommen, ersannen sie die phantasiereiche Theorie, dass nur die ganz spezielle „Signatur“ bzw. die „Druckpeaks eine Stressorwirkung erlangen“, um so ihr ganzes „pathogenes Potential“ entfalten zu können. Das ist unplausibles, unlogisches und unsinniges Wunschenken angesichts der riesigen Pegelunterschiede zu viel stärkeren, aber auch von V/R als unkritisch anerkannten Infraschallquellen.

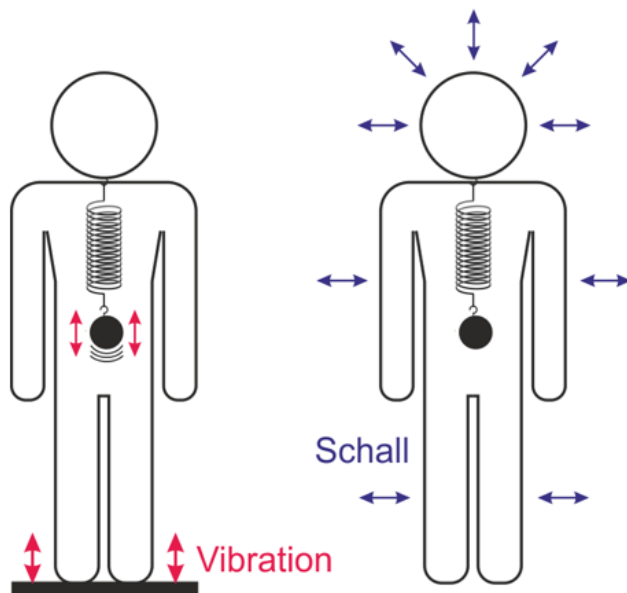


© Abb. 4 - Quelle: eigene Darstellung.

Abb. 4: Links: Vergleich der Terzpegel in vier Verkehrsmitteln (Auto in dunkelblau, VT612 Nahverkehrs-Dieseltriebwagen in braun, ICE in rot, IC im Lötschberg-Basistunnel in violett) zur Worst Case Infraschall-Immission während 48 Tagen in 500 m Abstand zu einer E115 des Windparks Gagel (Rohdaten: BGR). Blau: Hörschwelle nach Kühler (PTB), Grün: Hörschwelle von besonders infraschallsensibler Person (Lydolf), hellblau gestrichelt: Alec Salt's hypothetische OHC-Schwelle. Die Summenpegel in der Kopfzeile der Grafik sind unbewertet im Bereich 0.5 Hz – 20 Hz. Rechts: Minute mit höchsten Infraschalldruckamplituden im IC8 Visp-Spiez durch den Lötschberg-Basistunnel (peak: 260 Pa).

Resonanzphänomene mit Afterburner

Resonanzen einzelner Körperpartien sind unter normalen Umständen nur für eingeleitete mechanische *Vibrationen* (zum Beispiel beim Sitzen in einem Verkehrsmittel) relevant. Bei tieffrequenten Luftschall treten sie durch die homogene Einwirkung von allen Seiten nur bei extrem hohen Pegeln und anderen Frequenzen in Erscheinung.

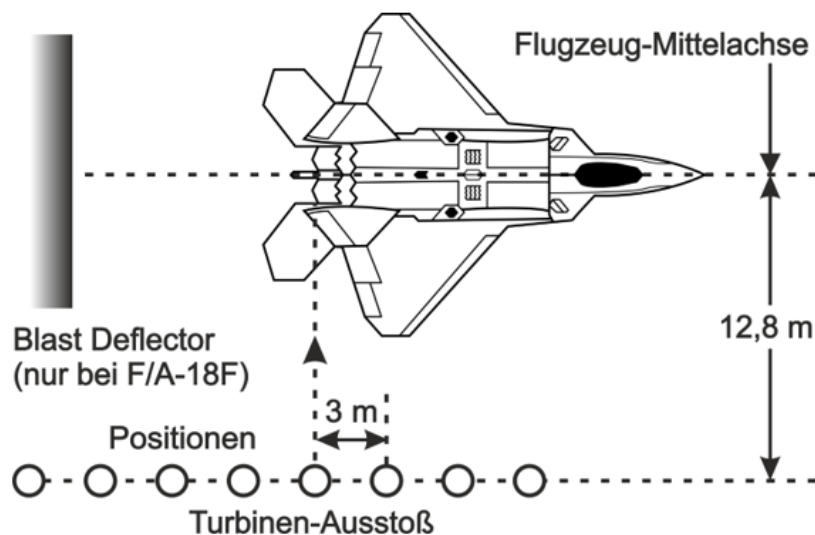


© Quelle: eigene Darstellung.

Abb. 5: Bei axialer Einleitung von Vibrationen erfährt der ganze Körper periodische Beschleunigungskräfte und elastisch aufgehängte Organe könnten in Schwingungen geraten. Tieffrequenter Schall drückt hingegen von allen Seiten gleichmäßig auf den Körper, die Kräfte heben sich dabei nahezu auf und der Körper und seine Innereien bleiben bis zu hohen Pegeln in Ruhe.

Nichtdestotrotz werden dem kardiovaskulären System von V/R realitätsfern „Resonanzphänomene“ unterstellt, „das heißt eine Vibration von Zell- und Gewebeverbänden durch Einwirkung von luftgetragenen Infraschall“, was ihr Unverständnis von selbigen und ihre Unfähigkeit zur Einordnung seiner Stärke bei alltäglichen Schallquellen ein weiteres Mal offenlegt. Zum vorgeblichen Beleg ihrer Behauptung geben sie vier Referenzen an. Vinokur 2004 (44) beschreibt aber gar nicht Körperresonanzen, sondern Helmholtz-Resonanzen von Wohnräumen (kleiner Unterschied). Das Paper von Randall (46) bezieht sich *ausschließlich* auf axial in die Füße eingeleitete vertikale Vibrationen. Der RKI 2007 Bericht wiederum beinhaltet ein mechanisches Modell stehender bzw. sitzender Personen aus der Firmenschrift BG 0063-12 der Firma Brüel & Kjær, welches ebenfalls ausschließlich für axial eingeleitete Vibrationen gilt.

Einzig in der Veröffentlichung von Smith (45) geht es *tatsächlich* um Resonanzen des Brustkorbs durch luftgetragenen Schall, und zwar bei Ramp-up Turbinentests von Militärjets am Boden, was bei zwei Modellen (F-14A und F/A-18C) sogar die Nutzung des Afterburners umfasste. Die mutige Testperson befand sich dabei auf einer zur Längsachse des Jets parallelen Linie mit einem seitlichen Abstand von nur 12,8 m. Bei Schalldruckpegeln von bis zu 147 dB ergab sich eine Erhöhung der Beschleunigungswerte im Bereich 63 Hz bis 100 Hz auf der Brust der furchtlosen Versuchsperson, allerdings schlossen die Autoren nicht aus, dass der heiße Luftausstoß mit Böen von 30 bis 40 Knoten, welche es ihr schwer machten, still zu stehen, die Messergebnisse verfälschte. Die Zusammenfassung beginnt übrigens mit: *„Infrasound occurring at 40 Hz and below did not appear to be a problem for ground operation and maintenance personnel working with the tested aircraft“*.



© Abb 6 - eigene Darstellung nach Angaben in (45)

Abb. 6: Volle Dröhnung: Beim Hochfahren der Turbine mit Afterburner registrierten Beschleunigungsaufnehmer an den „Positionen“ befindlichen Testperson erhöhte Vibrationen im Bereich bei 63 Hz – 100 Hz. Infraschall war aber kein Problem.

In wie weit Vollgas-Turbinen-Tests in nur wenigen Metern Abstand zu überschallfähigen Hochleistungs-Kampfflugzeugen mit Schallintensitäten, die ca. 100 Millionen Mal über der Infraschallimmission von modernen WEAs liegen, dazu geeignet sind, eine Gesundheitsgefährdung durch letztere herzuleiten, dazu seien V/R höchstselbst zitiert: „Wir vertrauen auch hier auf das Urteilsvermögen der ASU-Leser“.

Wahrheiten zur Wahrnehmungsschwelle

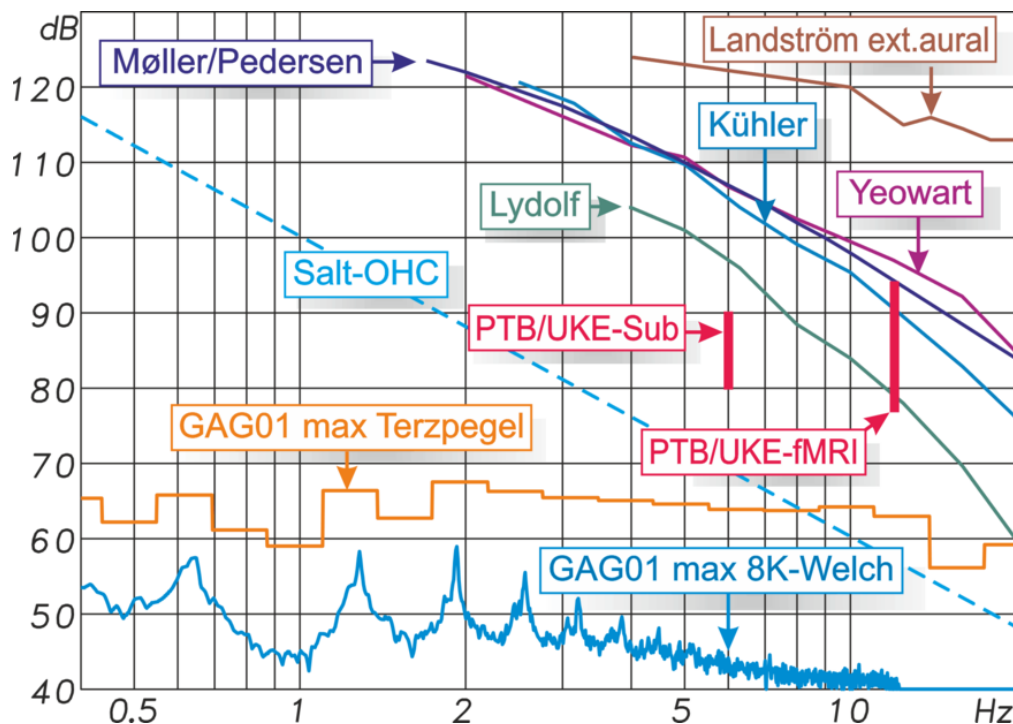
V/R werfen H/K/H die Benutzung des ihrer fachmännischen Meinung nach „überholten“ Begriffs „Wahrnehmungsschwelle“ vor, welche den frequenzabhängigen Schalldruckpegel kennzeichnet, unterhalb dessen 90 % der Menschen Einzeltöne nicht mehr wahrnehmen können. Sie behaupten diesbezüglich: „Wie hier gezeigt, erfolgen Infraschall-bedingte Schädigungen und Stressantworten über grundsätzlich andere Strukturen und Mechanismen“. Genau das haben sie *eben nicht* gezeigt. Die gesamte in ihrer „Recherche“ zusammengetragene Literatur zum Beleg des angeblich „pathogenen Potenzials von Infraschall“ bezieht sich überwiegend auf brachiale Schallpegel, die mitunter nicht nur millionenfach über den Intensitäten von WEA-Immissionen liegen, sondern stets auch weit *oberhalb* der Hörschwelle und teilweise sogar über der *Schmerzschwelle*. Daraus abzuleiten, dass auch millionenfach schwächerer, subliminaler Infraschall „auf mehreren Ebenen des Säugetierorganismus Stressantworten auslöst“ oder gar „Schädigungen“ hervorruft ist so unlogisch wie manipulativ. Diese unzulässigen, unseriösen Behauptungen sind deshalb mit aller Entschiedenheit zurückzuweisen.

Die Behauptung von V/R, die Hörschwelle sei „für die Perzeption von Infraschall“ nicht relevant, steht im Widerspruch zur etablierten Wissenschaft. Diese besagt einhellig und zweifelsfrei, dass auch für sehr tieffrequenten Infraschall unsere Ohren die empfindlichsten Rezeptoren sind (13),(14). Aufwändige Versuchsreihen zu den Wahrnehmbarkeitsschwellen von Infraschall wurden bereits seit den 70er Jahren (als es noch keinen Grund gab, „staatlich veranlassten“ Untersuchungen zu misstrauen) z.B. von Yeowart (65) und Watanabe (67) unternommen und seither von vielen anderen Forschungseinrichtungen wiederholt. Es ergaben sich dabei keine signifikanten Unterschiede zwischen Ganzkörper-Beschallung und Zuführung alleine über die Ohren. Landström (66) untersuchte zusätzlich die vibrotaktile, also über die Mechanorezeptoren der Haut (64) erfolgende Wahrnehmbarkeit für Taube und Normalhörende im Bereich von 4 Hz – 25 Hz. Sie lag durchschnittlich 15 dB *über* der Hörschwelle der Normalhörenden. Beide Untersuchungen und viele weitere beweisen eindeutig und unzweifelhaft, dass keine anderen „Strukturen und Mechanismen“ zur „Perzeption von Infraschall“ unter der Hörschwelle existieren. Auch die von V/R zitierten und im Anschluss besprochenen fMRI-Untersuchungen (68) knapp unterhalb der Hörschwelle widersprechen diesem Befund nicht, denn dabei wurde der Schall von vornherein nur aural zugeführt. Der RMS-Infraschalldruck der Flügelharmonischen liegt aushäusig typischerweise im Bereich von 60 dB bis maximal 75 dB und selbst V/R erkennen an, „dass die Infraschallemissionen von Windanlagen meist deutlich unter der Wahrnehmungsschwelle des Menschen liegen“. Außerdem müssen sie betrübt eingestehen: „Die Gesundheitsschäden von Anwohnenden durch den gepulsten Infraschall aus WEA sind bisher nicht durch staatlich zertifizierte Studien belegt“, wobei hier offenbar Misstrauen gegenüber staatlichen Institutionen mitschwingt. Ob „staatlich zertifiziert“ oder nicht, es existieren *überhaupt keine* wissenschaftlichen Mindeststandards genügenden Studien, die ihre unsinnigen Behauptungen belegen würden. Physiologisch bedingte Belästigungen oder gar ein „erhebliches Gesundheitsrisiko“ durch den bei der Flügelpassage vor dem Mast entstehenden schwachen Infraschall von WEA lassen sich mit Sicherheit ausschließen.

Die Aktivierung distinkter Gehirnregionen durch Infraschall

Die Ergebnisse der fMRI-Untersuchungen (funktionelle Magnetresonanztomographie) von Weichenberger et al (68), in denen anhand der Sauerstoffsättigung-des Blutes auf die gemeinsame Aktivität in einzelnen Hirnarealen geschlossen wird, werden von V/R leider ohne Verständnis für ihre wissenschaftliche Bedeutung zitiert. Es geht um einsetzende Gehirnaktivität bei Stimulation mit einem 12 Hz Signal nur knapp (2 dB) unterhalb der zuvor individuell ermittelten *Hörschwellen* der Testpersonen. Bei noch tieferen Pegeln ließ sich *keine* Gehirnaktivität mehr nachweisen. Somit bleibt die Hörschwelle weiterhin auch für die „Perzeption von Infraschall“ maßgeblich (allenfalls mit einem Offset von -2 dB). Das Testsignal wurde über drei Minuten lang dargeboten und die Versuchspersonen sollten aufmerksam lauschen. Die „Perzeption von Infraschall“ wurde über den Hörnerv vermittelt, was sich durch Aktivierung des auditiven Kortex auf der Seite des beschallten Ohres zeigte und in einer aktuellen fMRI-Studie bestätigt wurde (77).

Zu einem „Verdacht auf gesundheitliche Risiken aus der Perzeption von Infraschall im Unterbewusstsein“ durch WEA gibt die Arbeit mitnichten Anlass – die Frequenz des Testsignals von 12 Hz und sein Pegel zwischen 77 dB bis 94 dB lagen beide deutlich oberhalb der Werte nachweisbarer Flügelharmonischen in typischen WEA-Immissionssituationen. Deren energetische Summe lag im von V/R überstrapazierten Beispiel von Falmouth selbst outdoors kaum über 60 dB – und dies in einem Frequenzbereich, in dem das Ohr um mehr als 12 dB unempfindlicher ist als bei 12 Hz.



© Quelle: eigene Darstellung.

Abb. 7 All-in-one: Vergleich der höchsten Infraschall-Pegel am 17.8.2021 um 15:30 h UTC (Leq über 44 Minuten) durch Flügelharmonische in der fast siebenwöchigen kontinuierlichen Aufnahmeperiode im Sommer 2021 mit einem Multi-Inlet-Microbarometer der BGR in 500 m Abstand zu einer Enercon E115 des Windparks Gagel mit den Pegelbereichen, welche bei den fMRI-Versuchen (rechter roter Balken bei 12 Hz) und dem Subwoofer-im-Schlafzimmer Langzeitversuch (linker roter Balken bei 6 Hz) der PTB und des UKE zur Anwendung kamen. Darüber wieder die Wahrnehmbarkeitsschwellen (Salt-OHC nur hypothetisch).

Problemloser Schlaf mit Infraschall

In einer weiteren wichtigen Studie der PTB und des UKE (19) bekamen 38 Teilnehmer während vier Wochen voluminöse Subwoofer in ihre Schlafzimmer gestellt. Bei 23 Teilnehmern wurde ein 6 Hz Dauersignal mit einem Schallpegel von 80 – 90 dB erzeugt, bei der Kontrollgruppe der restlichen 15 Teilnehmer nicht. Die Frequenz liegt am oberen Rand detektierbarer Flügelharmonischen typischer WEAs und der Pegel nicht weit unterhalb der Hörschwelle besonders infraschall-empfindlicher Personen (dunkelgrüne Linie in Abb. 7). Er wurde absichtlich um zirka 25 dB höher gewählt als typische WEA-Infraschall-Immission, da die Forscher bei niedrigeren Pegeln von vornherein keine Reaktion erwarteten. Er lag somit zwischen 11 dB und 21 dB *oberhalb* der nur von Alec Salt (58) postulierten neuronalen Aktivität der OHC (äußere Haarzellen in der Cochlea), von denen er vermutet, dass sie unbewusst wirken und Schlafstörungen verursachen. Nicht so bei den Teilnehmern: es ergaben sich keine Änderungen der Schlafqualität und der psychischen Parameter wie z.B. Stress und kognitiver Agilität. Die aus der Luft gegriffene Behauptung von V/R, dass „die chronische Einwirkung von Infraschall im Schlaf als besonders problematisch zu bewerten“ sei, ist damit in einem aussagekräftigen Langzeitversuch ebenso widerlegt worden wie die anhand von methodologisch zweifelhaften invasiven Meerschweinchenversuchen entwickelten Theorien von Alec Salt.

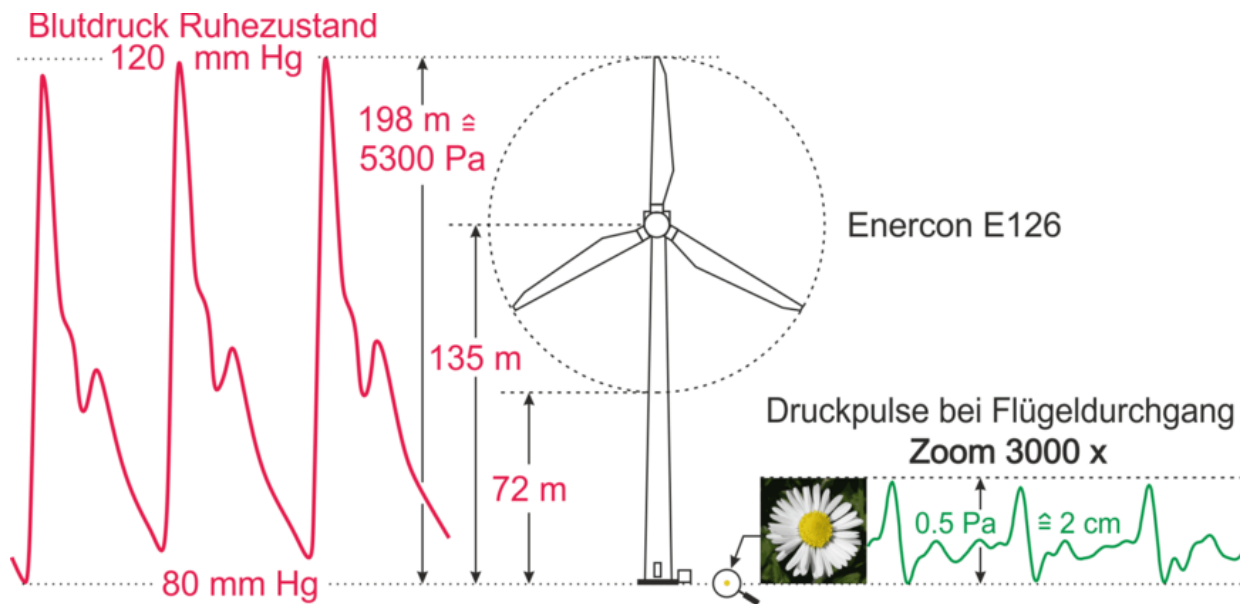
Irritieren interferierende „Infraschallpulse“ den Herzschlag?

Herzspezialist und Infraschallexperte Vahl wittert auf folgendem spannenden neuen Fachgebiet Forschungsbedarf:

„Wenig untersucht sind Interferenzen zwischen der durch den Herzschlag vorgegebenen Grundschiwingung und von außen einwirkenden Infraschallpulsen. Die Konsequenzen solcher Wechselwirkungen – Abschwächung und Verstärkung – sind bedenkenswert ...“.

Bedenkenswert ist in epistemologischer Hinsicht dieser Gedankengang selber. Er war es vermutlich, der ohne weitere Plausibilitätsprüfung (bzw. Würdigung derselben) letztendlich zu seinen In-vitro Versuchen an Myokard-Gewebe unter biophysikalisch inadäquaten Versuchsbedingungen mit folglich wertlosen Ergebnissen führte (dazu später mehr). Wie auch V/R wissen, erzeugt das Herz selber Blutdruckdifferenzen zwischen Systole und Diastole im Bereich von ca. 40 mm Hg (das entspricht 163 dB peak re. 20 μ Pa) im Ruhezustand bis über 200 mm Hg (177 dB peak) bei schwerer körperlicher Anstrengung. Typische aushäusige Worst-case Amplituden des Druckpulses beim Flügeldurchgang moderner Megawatt-WEA kommen selbst bei einem relativ geringen Setback von 500 m nicht über ± 0.25 Pa. Das entspricht 82 dB peak re. 20 μ Pa für den Scheitelwert. Der Unterschied zwischen dem „Druckpeak“ einer WEA und dem des Blutes beträgt also mindestens 81 dB.

Wenn man zur Illustrierung dieses astronomischen Unterschieds das Blutdruck-Zeitsignal auf die Gesamthöhe einer modernen Hochleistungs-WEA (198 m) normiert darstellen würde, so hätten die Worst-case-„Druckpeaks“ typischer WEAs, wie z.B. die E115 in Gagel, selbst außerhalb von Häusern im selben Maßstab eine Amplitude von nicht einmal 2 cm, ungefähr dem Durchmesser einer Gänseblumenblüte.



© Quelle: eigene Darstellung.

Abb. 8: Vergleich des Ruhe-Blutdrucks einer gesunden Person mit typischer aushäusiger Infraschall-Exposition durch Groß-WEA in ca. 500 m Abstand. Wenn man den Blutdruck auf 200 m Höhe skaliert, kommen die Druckpulse der WEA im selben Maßstab nicht einmal auf 2 cm – ungefähr dem Durchmesser einer Gänseblumenblüte am Fuße der WEA.

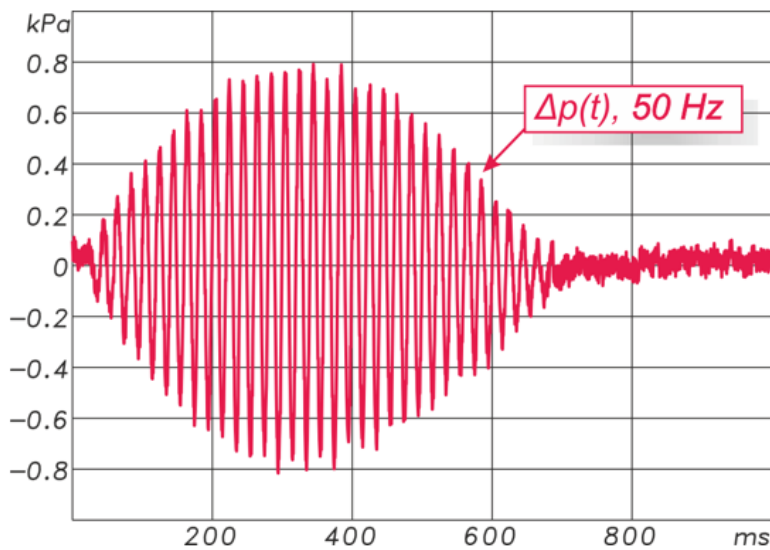
Hochsignifikanter, negativ inotroper Effekt beim Schwimmen?

Wie unbekümmert das Herz tatsächlich auch auf erheblich stärkeren externen Wechseldruck mit Infraschallfrequenz reagiert, lässt sich beim Schwimmen erfahren. Die periodische Tiefenänderung des Oberkörpers von olympischen Brustschwimmern im Wasser beträgt ca. 30 cm (71). Daraus lässt sich mit der simplen Formel für den hydrostatischen Druck $p = \rho g h$ die Amplitude des Wechseldrucks berechnen, die also bei knapp 3 kPa peak-to-peak und damit nicht weit unter der vom Herz erzeugten Blutdruckamplitude liegt. Interessanterweise wirkt er mit einer Frequenz auf den Brustkorb und folglich das Herz, welche ziemlich genau der Flügeldurchgangsfrequenz moderner Hochleistungs-WEA entspricht. Die Druckpulse beim Schwimmen sind also mindestens 6000 Mal (> 75 dB) stärker als die beim Flügeldurchgang einer WEA, bei denen V/R nichttrotz „naheliegende Bezüge“ zu „Störungen der für die Kontraktion erforderlichen Membranprozesse und der Mikrozirkulation im Myokardgewebe“ mit dem „Bild einer beginnenden Herzinsuffizienz“ und somit „direkte Schädigungen von Zellen und Organen“ herausgefunden haben wollen.

Die inflatierten Kaninchenherzen von Campbell

Um zu belegen, dass auch andere Forscher angeblich eine debilitierende Wirkung von Infraschall auf das Herz herausgefunden hätten, führen V/R gerne dieses invasive Experiment an. Dabei wurde Versuchskaninchen ein stark vibrierender Ballon in die Herzkammer eingeführt. Auf die Kritik von B/S, dass die extern induzierten Volumenänderungen, welche dem Systolen-Diastolen-Zyklus einen Spitzendruck von 150 dB re. 20 μPa überlagerten, mit Frequenzen von 25 Hz bis 77 Hz *oberhalb des Infraschallbereichs* durchgeführt wurden, erwidern V/R: „Eine Muskelkontraktion beruht auf dem so genannten Querbrückenzyklus“, der „im Frequenzbereich von 10–100 Hz“ arbeitet, weshalb es keinen Grund gäbe, „für diese Fragestellung zwischen „infrasound and low-frequency noise“ zu unterscheiden“. Die „Fragestellung“ des Experiments war, ob die massive periodische Volumenverdrängung über das Aufbrechen besagter Querbrücken zu herabgesetzter myokardialer Kontraktilität führt. Genau dies war aber *nicht* der Fall, wie schon der Titel der Arbeit klar macht und im Diskussionsteil ausführlich erläutert wird (82).

Ob ein in die Herzkammer eingeführter, oberhalb des Infraschallbereichs vibrierender und dabei 150 dB peak Wechseldruck erzeugender Fremdkörper wohl eine gültige Repräsentation für die über 10 Millionen Mal geringeren Infraschall-Intensitäten typischer WEA-Immissionen darstellt? Dazu seien nochmals V/R zitiert: „Wir vertrauen auch hier auf das Urteilsvermögen der ASU-Leser“



© Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an (82).

Abb. 9: Möchte man nicht in der Herzkammer haben, die Versuchskaninchen konnten es sich allerdings nicht aussuchen. Druckbursts mit 150 dB peak re. 20 μPa durch periodisch inflatierten und deflatierten Ballon. Den Querbrücken tat es keinen Abbruch.

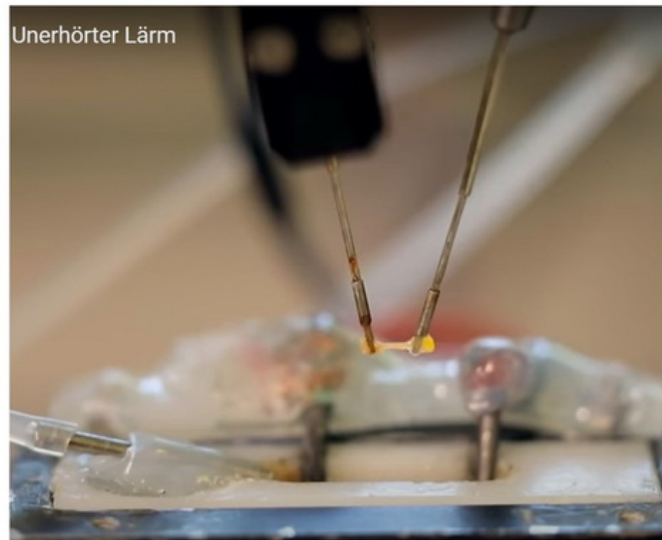
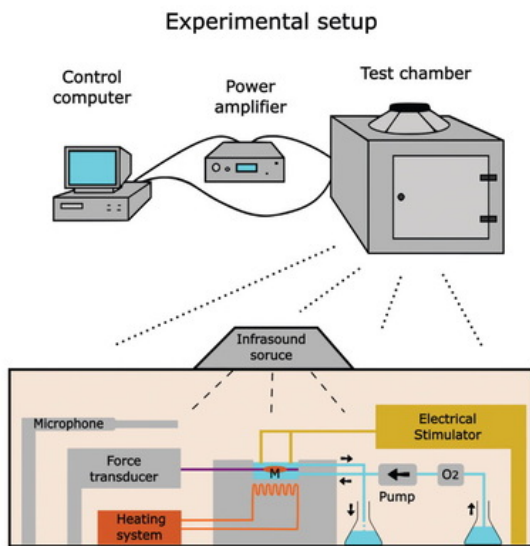
Wie oben gezeigt, lastet beim normalen Brustschwimmen durchaus ein noch höherer Wechseldruck auf dem Herzen. Der *wesentliche* Unterschied ist allerdings, dass dieser homogen von allen Außenseiten auf den Körper einwirkt. Da Wasser und Gewebe im Vergleich zu Luft über 15.000 Mal inkompressibler sind, findet quasi keine Verschiebung von „Zell- und Gewebeverbänden“ statt (sonst würden Tiefseetaucher beim Abstieg merklich kleiner werden). Die periodische *Verdrängung* eines Volumens durch einen Fremdkörper inmitten der Herzkammer, welche durch Obstruktion auch noch mit dem Blutfluss interferieren dürfte, stellt hingegen eine radikal andere Situation dar. Nicht so für Herzchirurg Vahl. Er glaubt: „Dabei ist es unerheblich, ob die Schallwellen durch einen Lautsprecher, einen Vibrator oder wie in diesem Modell durch einen zyklisch inflatierten und deflatierten Ballon erzeugt werden.“ Genau diese Indifferenz in der Betrachtung von luftgetragenen Schall in Bezug zu anderen physikalisch-mechanischen Kräften zeigt, dass V/R die Schallphysik nicht durchdrungen haben und war mutmaßlich auch die Grundlage der nun beleuchteten hemdsärmeligen in-vitro Herzmuskelversuche der „Arbeitsgruppe Infraschall“ der Johannes-Gutenberg-Universität (JGU) Mainz.

Materialermüdungsversuche mit Industriebibrator

Einen beträchtlichen Teil der Argumentation von V/R nimmt die angebliche Schwächung des Herzmuskels durch Infraschall ein. Dabei misst Vahl der Arbeit seiner eigenen Arbeitsgruppe selbstverständlich „erhebliches Gewicht“ und „Stärke“ zu. Die angeführte Arbeit von Chaban et al. ist allerdings nicht die erste Versuchsreihe dieser Arbeitsgruppe, die „körperliche Schäden und Reaktionen“ von WEA-Infraschall auf Herzmuskelgewebe nachzuweisen versuchte. Unter dem Titel „Are There Harmful Effects Caused by the Silent Noise of Infrasound Produced by Windparks?“ wurden bereits 2018 Resultate von Experimenten an in-vitro Herzmuskelfasern mündlich vorgestellt (1). Bei den beschriebenen Versuchen wurden die Herzmuskelpräparate aber gar keinem Infraschall ausgesetzt, sondern stattdessen mit einem Ende an einen „Industrievibrator“ befestigt und mit dessen Hilfe periodisch um 5 % bzw. 10 % ihrer Länge überdehnt und gestaucht. Statt Infraschalldruck, der einen Skalar darstellt und aufgrund seiner hohen Wellenlängen phasengleich und homogen wie eine langsame Variation des statischen Drucks von allen Seiten einwirkt und die Herzmuskelfasern quasi nicht auslenkt, wurden die Präparate also einachsiger Vibration mit erheblichen Amplituden ausgesetzt, was mit Schalleinwirkung nichts zu tun hat. Wenig überraschenderweise zeigten die Proben durch die massive mechanische Belastung, welche die permanenten Streck- und Quetschvorgänge darstellen, tatsächlich Ermüdungserscheinungen.

In-vitro-Myokardbeschallung aus 30 cm Tieftöner

Vermutlich erkannten auch Chaban et al., dass dieses Versuchsdesign keineswegs Luftschallexposition repräsentiert, weshalb ein neuer Aufbau ersonnen wurde. Bei diesem wurde ein Tieftöner mit 30 cm Durchmesser auf einer Plexiglashaube montiert und die in einer kleinen Wanne mit Nährlösung an Pinzettenarmen fixierten Herzmuskelpräparate aus nächster Nähe beschallt.



© Quellen: links: (2), rechts: (3), Reproduktion gemäß § 51 UrhG

Abb. 10: Links: Skizze des angeblichen Testaufbaus von Chaban et al. in (2), welche einen druckdichten Versuchsaufbau suggeriert. Tatsächlich aber befanden sich die in-Vitro Proben im Nahfeld eines frei schwingenden Tieftöners mit drastisch überhöhten Luftbewegungen. Rechts: Herzmuskel-Präparat nach dem Rausfahren aus der Wanne mit Nährlösung.

Dieser Versuchsaufbau hat aber einen entscheidenden Fehler, auf den schon H/K/H zu Recht hingewiesen haben: Er ist *nicht druckdicht*, wie in einer Dokumentation des ZDF (3) deutlich sichtbar ist. Dies steht im eklatanten Widerspruch zur Skizze des Versuchsaufbaus und zu dessen Beschreibung in der Publikation der Arbeitsgruppe (2), in der ausdrücklich von einer „closed chamber“ die Rede ist. Der dramatische Designfehler hat zur Folge, dass sich der Aufbau im Nahfeld des Lautsprechers befindet, wo die Lautsprechermembran erhebliche Mengen Luft hin und her fächert, ohne nennenswerten Druck aufzubauen. Die für den gemessenen Schalldruck viel zu hohe Volumenschnelle der Luft wirkt auf die dünnen Pinzettenarme und versetzt diese in Schwingungen, die wiederum an den rigiden Befestigungsflächen mechanisch in das „Infraschall-exponierte Zellpräparat“ eingekoppelt werden. Es ist davon auszugehen, dass die Vibrationen neben weiteren biophysikalischen Unzulänglichkeiten den Hauptanteil an der nach einer Stunde ab 110 dB SPL detektierten Kontraktilitätseinbuße haben dürften.

Kränkelnnde Kardiomyozyten durch Infraschall?

Ist es überhaupt plausibel, dass Schalldruckpegel zwischen 100 dB und 120 dB zu einer direkten Schwächung des Herzmuskels führen? Dazu seien V/R abermals zitiert: „Wir vertrauen auch hier auf das Urteilsvermögen der ASU-Leser“. Ein „hochsignifikanter, negativ inotroper Effekt“ für Schalleinwirkung im allgemeinen und Infraschall im speziellen wäre in der Ätiologie für Herzkrankheiten in klinischen Alltag längst auffällig geworden. Unter anderem müssten Berufskraftfahrer (62), Schiffsbesatzungen und Industriearbeiter an schweren Maschinen, die allesamt nicht unerheblicher Infraschallexposition ausgesetzt sind (bisweilen vieltausendfacher Intensität im Vergleich zu WEA), durchweg an akuter Herzinsuffizienz leiden. Selbst in Fällen, wo 120 dB Schalldruck überschritten werden, die laut Chaban et al. zu 18 % Kontraktilitätsverlust binnen einer Stunde führen müssten, ist nichts über daraus resultierende Kardiomyopathien bekannt. Als Beispiele genannt seien EDM (electronic dance music) Veranstaltungen, bei denen Raver nächtelang zu mächtigen Tiefbässen bis 130 dB SPL aus extrem leistungsstarken Subwoofer-Stacks tanzen, ohne anschließend mit reinem Sauerstoff therapiert werden zu müssen, sowie Föhnstürme in Alpentälern, die sogar noch höhere Infraschall-Spitzenpegel produzieren, ohne dass sich die Notaufnahmen in den umliegenden Krankenhäusern mit hypoxämischen Patientinnen und Patienten füllen oder gar bei ortsansässigen Bestattungsunternehmen die Telefone nicht mehr still stehen würden. Schwimmer schließlich würden, wie oben gezeigt, in kürzester Zeit ertrinken: bereits ein einziger Bruststoß erzeugt die gleiche Infraschalldosis wie eine ganze Stunde Einwirkung von 120 dB, welche in Chaban´s physikalisch unzulänglichen Experimenten zu 18 % Einbuße der Kontraktilität führte.

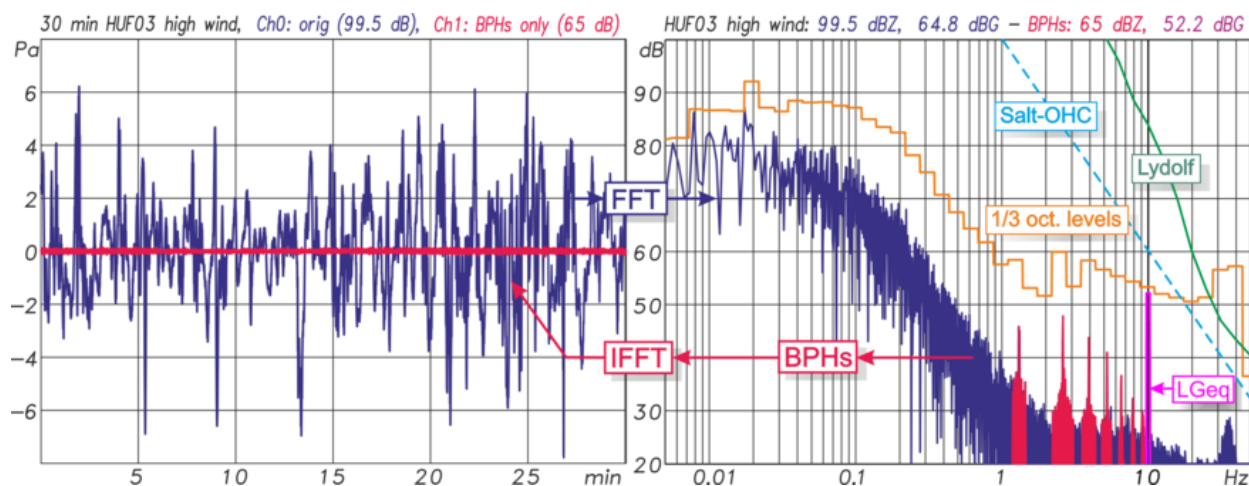
Virtual Reality mit V/R

Die unter artifiziellen und inadäquaten Versuchsbedingungen von Chaban et al. erzielten Ergebnisse bewahrheiten sich in der realen Welt also selbstverständlich nicht. V/R geben auch unumwunden zu, dass „der Nachweis an Erkrankten noch aussteht“. In den artifiziellen in-vitro-Myokard-Versuchen wurde also ein virtuelles Problem identifiziert, welches in der Realität nicht existiert. Die Kritik am unzulänglichen Versuchsdesign wird von allen Akustikern, denen man den Aufbau anhand der Video-Aufnahmen (3) vorstellt, geteilt. So kommt z.B. auch die LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) „zu dem Ergebnis, dass die Studie in technischer Hinsicht (Versuchsaufbau, verwendetes Mikrofon, Versuchsreihen, Infraschall-Pegelwerte u.a.) sowie hinsichtlich des Versuchsdesigns und der Ergebnisauswertung mangelbehaftet ist“ (42).

Corpus Delicti: die berühmten BGR-Messungen

V/R behaupten: „Erhebliche Intensitäten des von Windanlagen ausgehenden Infraschalls wurden noch in mehreren Kilometern Entfernung gemessen“ und beziehen sich dabei auf eine fehlerhafte Publikation der BGR aus dem Jahre 2017 (81), die wiederum auf Messungen aus dem Jahre 2004 an einer Vestas V47 in Hufe nahe Schwarmstedt fußt. Bei der Berechnung der Schallpegel unterlief der Anstalt allerdings ein folgenschwerer Umrechnungsfehler in einer einfachen Formel, der dazu führte, dass alle SPL-Werte um 36,1 dB (Faktor 4096 bei der Schallintensität) zu hoch ausfielen. So publizierten sie einen Wert von 100 dB für die Flügelharmonischen ab 0.5 Hz in 200 m Abstand bei Starkwindbedingungen, während der wahre Wert nur bei 64 dB liegt.

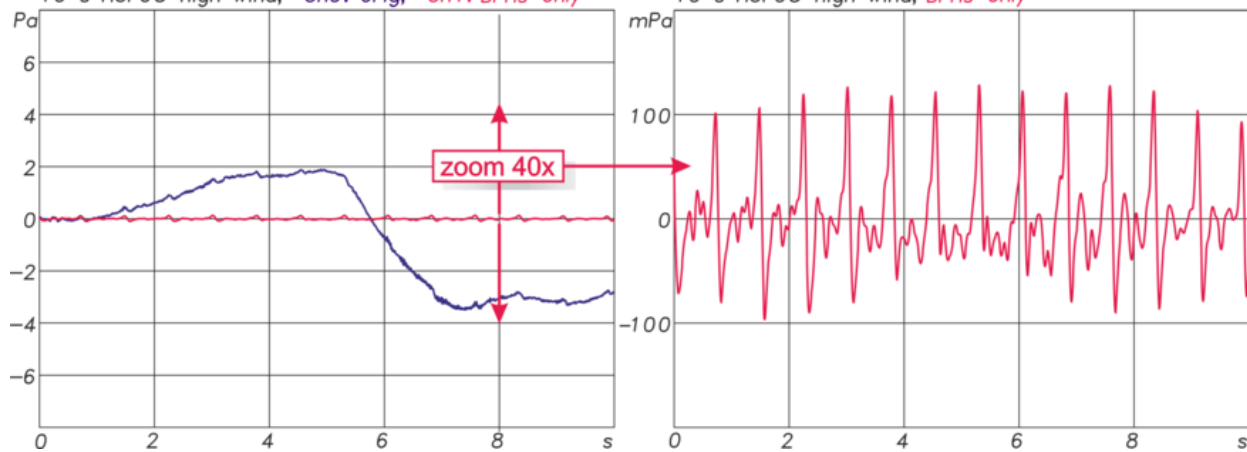
Sehr aufschlussreich ist es, wenn man aus den öffentlich zugänglichen Rohdaten (6) nach Import mit (7) einmal die Flügelharmonischen isoliert und im Vergleich zum aufgenommenen Gesamtsignal darstellt. In der „Druck-Zeit-Kurve“ (dunkelblau in Abb. 11 und Abb. 12), die laut V/R ja „die unmittelbar wahrnehmbare Emission“ abbildet, reiten die winzigen, trotz des relativ geringen Abstands von nur 200 m kaum zu erkennenden WEA-Druckpulse als hauchzarte Zacken auf den riesigen Druck-Ausschlägen des vom Wind stammenden Infraschallgetöses. Erst wenn man sie im FFT-Spektrum isoliert (rote Bereiche), in den Zeitbereich zurück transformiert und dann die Amplitudendarstellung um den Faktor 40 zoomt, sind die ausgefilterten N-förmigen Impulse gut zu erkennen (Abb. 12 rechts). Die orangen Treppenstufen in der Spektraldarstellung stellen die Terzpegel dar – sie liegen alle um mehr als 50 dB unter der Hörschwelle selbst der empfindlichsten Personen (grün). Auch der für die Wahrnehmbarkeit maßgebliche G-bewertete Gesamtpegel der Flügelharmonischen liegt mit 52 dBG um mehr als 30 dB unter der Wahrnehmbarkeitsschwelle empfindlichster Personen.



© Quelle: eigene Darstellung.

Abb. 11: 30 Minuten Ausschnitt der Mikrofonometer Aufnahmen der BGR aus dem Jahre 2004 an einer Vestas V47 Turbine bei Starkwindbedingungen in 200 m

Abb. 11: 50 Minuten-Ausschnitt der Microbarometer-Aufnahmen der BGR aus dem Jahre 2004 an einer Vestas V47 Turbine bei Starkwindbedingungen in 200 m Abstand. Dunkelblau: Original-Zeitsignal aus Rohdaten (links) und zugehöriges 256K-FFT-Spektrum (rechts). In rot rechts: isolierte Flügelharmonischen. In rot links: durch IFFT erhaltenes Zeitsignal mit den isolierten Flügelharmonischen. Orange: Terzpegel. Eingezeichnete rosa Balken: G-bewerteter Gesamtpegel der Flügelharmonischen. Grün: Hörschwelle einer besonders infraschallsensiblen Person (Lydolf, 14), Türkis gestrichelt: hypothetisches OHC-Limit von Alec Salt (58).
 10 s HUF03 high wind, Ch0: orig, Ch1: BPHs only



© Quelle: eigene Darstellung.

Abb. 12: Ein zehnstündiger Ausschnitt aus den Infrasschalldruck-Zeitsignalen in Abb. 11. Dunkelblau: Original-Signal, rot: extrahierte Flügelharmonische. Links: vertikale Skala ± 8 Pa wie in Abb. 10, rechts: vertikale Skala ± 0.2 Pa, also 40 x Zoom der Amplituden, um die ausgefilterten winzigen Druckpulse bei der Flügel-Mast-Passage sichtbar zu machen.

Vahl beweist: WEA sind kein „Störsender fürs Herz“

Die „Arbeitsgruppe Infrasschall“ der JGU Mainz orientierte sich beim tiefsten der drei applizierten Schalldruckpegel (100 dB, 110 dB und 120 dB) an dem für obige Messung von der BGR um 36,1 dB zu hoch berechneten Infrasschallpegel-Pegel. „Als wir die Daten von der BGR Studie gesehen haben, haben wir beschlossen, das zu messen“, vertraute Vahl in einem Interview der Mainzer AZ (33) an.

Bei Applikation eines 16 Hz Signals mit 100 dB konnte die Arbeitsgruppe allerdings keinen signifikanten negativen inotropen Effekt nachweisen. Trotzdem verbreitete Vahl in mehreren Zeitungs- und Fernsehinterviews als angebliches Ergebnis seiner Versuche offensiv die Behauptung, WEA seien „Störsender fürs Herz“ (12). Dabei nahm er es in einigen Interviews nicht so genau mit den Zahlen seiner eigenen Versuchsreihen – in (78) und (79) behauptete er beispielsweise, bei nur 100 dB hätte sich nach einer Stunde Einwirkdauer 20 % Kontraktilitätseinbuße ergeben – in Wahrheit tat sich bei 100 dB aber gar nichts und selbst beim höchsten Pegel von 120 dB (also hundertfach höherer Schallintensität im Vergleich zu 100 dB) ermittelte sein Team nur 18 % Einbuße (2).

Auch verblüfft die Applikation eines reinen Sinussignals, welches mit 16 Hz deutlich oberhalb des Frequenzbereichs der Flügelharmonischen von WEAs lag. Die Verwendung solcher Signale kritisieren V/R bezüglich einer Versuchsreihe des UBA (72) nämlich selber mit den Worten: „Dieser „artreine“, das heißt künstlich hergestellte und vereinfachte Infrasschall kommt nach eigener Aussage in der Praxis kaum vor, so dass zur Wirkung von Infrasschall aus realen Quellen, etwa den pulsierenden Emissionen von Windanlagen, keine Aussagen möglich sind“.

Als die BGR über ein Jahr nach den von Holzheu (34) erstmals geäußerten und anschließend von weiteren Wissenschaftlern (9) (10) bestätigten Zweifeln an der Richtigkeit der veröffentlichten Zahlen ihren wackeren Widerstand aufgeben und zerknirscht einräumen musste, dass alle Schallpegel um 36,1 dB zu hoch angegeben waren (59), brach das Kartenhaus der „Störsender“-Behauptung endgültig in sich zusammen. Würde sich nicht nur in den künstlich hergestellten und vereinfachten Versuchssituationen von Vahl, sondern tatsächlich auch in der Realität ab 110 dB Schalldruck eine beginnende Herzinsuffizienz abzeichnen, so läge dieser Wert demnach immer noch 46 dB (Faktor 40.000 bei der Schallintensität) über der tatsächlichen WEA-Immission - womit die Arbeitsgruppe unfreiwillig bewiesen hatte, dass der schwache Infrasschall von WEA unter keinen Umständen eine Schwächung des Herzmuskels hervorrufen kann.

Weniger ist mehr

Wenn sich bei einem Dose-Response Experiment zur Ermittlung der vermuteten Schädlichkeit einer vermeintlichen Noxe herausstellt, dass ihre Konzentration bzw. Intensität um *mehr als drei Zehnerpotenzen* zu hoch angesetzt war, darf man von seriösen Wissenschaftlern eine Neubewertung der Versuchsergebnisse und öffentliche Richtigstellung der Schlussfolgerungen erwarten. Die drastische Korrektur der SPL-Daten der BGR, auf denen die Experimente von Chaban et al. fußten, hätte durchaus einen kognitiven Prozess anstoßen können, ob möglicherweise nicht doch viel näherliegende, plausiblere und wohlbekannte Gründe (24),(25), (26),(27),(50),(53),(56),(57) als tief subliminaler Infraschall die Beschwerden einiger WEA-Anrainer erklären könnten. Daraus hätte sich eventuell sogar die von V/R ausdrücklich erwünschte „problemorientierte, faktenbasierte Auseinandersetzung mit dem Thema“ ergeben können. Den eisern-axiomatischen, quasi-religiös verwurzelten Glauben des Teams V/R an die multiplen „pathophysiologischen“ Wirkungen der wenige $\mu\text{W}/\text{m}^2$ transportierenden Infraschallintensität von WEA konnte die BGR-Pegelleite freilich nicht erschüttern. Zur Erklärung der Diskrepanz zwischen Soll-Zustand (WEA-Infraschall macht krank!) und Ist-Zustand (dafür ist er um viele Zehnerpotenzen zu schwach) bemühte Vahl in einem kritischen Zeitungsinterview (33) schräge allegorische Mathematik: „Die Gleichung hat sich ja nur auf einer Seite verändert“ aber „die Beschwerden bleiben ja gleich“. Brillante Konklusion: Infraschall sei „noch viel gefährlicher als bisher gedacht“. Diese Denkweise „weniger ist mehr“ erinnert an bestimmte Strömungen der alternativen Medizin, die ebenfalls einem Agens eine umso potentere Wirkung zuschreibt, je weiter es verdünnt wird.

Weg mit dem Dezibel-Fetischismus!

Zur Lösung des Dilemmas, dass die von den Flügeldurchgängen stammenden Infraschall-Immissionen weit unterhalb aller bekannten Wirk- und Wahrnehmbarkeitsschwellen liegen, verkünden V/R, dass eben „der Schalldruck allein nicht zur Beurteilung von Infraschallwirkungen am Menschen ausreicht“. Außerdem fordert Vahl in besagten Zeitungsinterview (33) mehrfach, dass man „wegkommen muss vom Dezibel-Fetischismus“. Die Intensität eines vermeintlich schädlichen Agens, die leider bei weitem nicht ausreicht, um die erwünschte „pathophysiologische“ Wirkung wissenschaftlich zu unterfüttern, wird also als schlicht nebensächlich eingestuft. Dieser wohl nicht nur den „Standards der experimentellen Medizin und Pharmakologie“ trotzende Ansatz verblüfft umso mehr, als einer der Autoren Pharmakologe ist. Ihm dürfte bestens bekannt sein, dass es in den Dose-Response-Kurven für die meisten gesundheitsschädlichen Agenzien eine Schwelle gibt (NOAEL = No-Observed Adverse Effect Level), unterhalb derer die Zufuhr auch bei Dauerexposition keine beobachtbaren schädlichen Auswirkungen auf den Organismus hat. Für Schall liegt diese Schwelle sogar *außerordentlich hoch*, wie der nächste Abschnitt zeigen wird.

Vergleich zu Schallintensitäten bei der Ultraschalldiagnostik

Die Schallintensität von typischen Infraschallimmissionen in der Nähe von WEA wie im von V/R bemühten Beispiel in Falmouth oder der von der BGR untersuchten Anlage in 200 m Abstand beträgt nur wenige $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Zur Einordnung der von V/R behaupteten gesundheitsschädlichen „biophysikalischen Wirkung“ auf Gewebe und zelluläre Prozesse inklusive von ihnen postulierter „zytotoxischer Wirkungen“ durch solch geringe Intensitäten ist es aufschlussreich, sie mit denjenigen zu vergleichen, die bei Ultraschalldiagnostik auftreten. Diese gilt nach wie vor als das schonendste bildgebende Verfahren (29),(30),(41).

Laut der FDA (amerikanische Food and Drug Administration) ist eine zeitlich gemittelte Intensität bis zu $720 \text{ mW}/\text{cm}^2$ im Fokus des Ultraschallkopfs statthaft, und zwar auch für empfindliche Organe wie das Herz und seit 1992 sogar für Föten. Sie ist bei typischer Sonografie (B-Scan) allerdings deutlich geringer und liegt in der Größenordnung von ca. $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$, die im Gegensatz zur Intensität von Luftschall (welche aufgrund des extremen Wellenwiderstandsunterschieds zwischen Luft und Wasser zu über 99.8 % vom Körper reflektiert oder um ihn herum gebeugt wird) auch tatsächlich ins Gewebe eingekoppelt wird. Das ist 300 Millionen (also 85 dB) mal mehr als die Infraschallintensität von $3 \mu\text{W}/\text{m}^2$, welche die von der BGR 2004 bei Starkwind-Bedingungen untersuchte Vestas V47 in nur 200 m Abstand im Freifeld erzeugte.

Um diesen astronomischen Unterschied in einen beispielhaften astronomischen Kontext zu stellen: Die nur von den Sternen und dem Glimmen der Atmosphäre ausgehende Beleuchtungsstärke des Himmels in einer Neumondnacht beträgt 0.001 Lux (75). Die maximale mittägliche Beleuchtungsstärke der Sonne bei wolkenlosem Himmel beträgt 120.000 Lux (76). Das ist ein Unterschied von *nur* 81 dB.

Der Wert liegt außerdem noch 30 dB, entsprechend der tausendfachen Intensität, *über* dem höchsten Schalldruckpegel (120 dB), den Chaban et. al in den von V/R zitierten artifiziellen Versuchen an In-vitro-Herzmuskelfasern applizierten und dabei nach einer Stunde eine Reduzierung der Kontraktilität um 18 % registrierten.

In 10 Sekunden die Schalldosis von 100 Jahren WEA-Infraschall

Um die von V/R für Infraschall geforderte „chronische Art dieser Einwirkung zu berücksichtigen“, ist es aufschlussreich, für obigen Vergleich die Dosen, also die Produkte aus Intensität und Zeit zu betrachten. Es ergibt sich, dass auf den Querschnitt im Fokus des Ultraschallwandlers in weniger als 10 Sekunden mehr Energie einfällt als von oben genannter WEA auf einer gleich großen Außenfläche während kontinuierlichem Starkwindbetriebs über mehr als 100 Jahre, wobei diese im Körper durch den Wellenwiderstandssprung dann nochmals um mehr als den Faktor 3500 gedämpft wird. Bei solch immensen Zeiträumen darf man auch als Nicht-Biologe vorsichtig vermuten, dass eher die genetische Prädisposition der Zellen als „der durch Infraschall verursachte, zusätzliche Ausstrom von Kalzium aus Mitochondrien und endoplasmatischem Retikulum in das Cytosol den Ca^{2+} -abhängigen Apoptoseweg startet“.

Selbstverständlich ist die hohe Intensität im Ultraschall-Fokus nur auf ein kleines Volumen beschränkt. Da V/R aber hypothetisieren, dass WEA-Infraschall mit den aktin-myosin-basierten Kontraktionen der Muskelfasern interferiert (11), sie sich Sorgen um seinen „zytotoxischen“ Einfluss „am sarkoplasmatischen Retikulum und den Mitochondrien“ machen, dadurch „irreversibel geschädigte Zellen“ befürchten und ihnen außerdem „mechanosensitive Ionenkanäle“ als „potentielle Targets“ erscheinen, ist der Vergleich angebracht und legitim.

Während Chaban et al. also langsame homogene Druckschwankungen mit Intensitäten von weniger als 1 pW/cm^2 innerhalb des Körpers für die Debilitierung des Herzens verantwortlich machen, schicken sie bei routinemäßigen Untersuchungen Ultraschall mit milliardenfach höherer Intensität durch sein Gewebe, ohne vermutlich jemals einen Gedanken an „irreversibel geschädigte Zellen“ verschwendet zu haben.

Auch das noch: Diagnostischer Ultraschall ist gepulst!

Im Gegensatz zu den kontinuierlichen Flügelharmonischen einer WEA und dem 16 Hz Sinus-Signal, dem Chaban et al. ihre in-vitro Herzmuskelfasern aussetzten, stellt diagnostischer Ultraschall in der Regel (Ausnahme: Doppler) ein *periodisch gepulstes* Signal dar – eine Signaleigenschaft, welche V/R fälschlicherweise auch dem WEA-Infraschall zuschreiben (eine Pulsfolge ist aber *kein* „gepulstes Signal“) und damit seine besondere „Gefährlichkeit“ erklären. In den klassischen Scan Modes (insbesondere B-Scan) wird der Ultraschall-Tastkopf nach jedem gesendeten-kurzen Burst auf Empfang geschaltet, um den an Gewebe und Knochen reflektierten Schall einzusammeln und anhand der Laufzeitunterschiede das Bild aufzubauen. Dieser Vorgang wiederholt sich mit einer Periodizität, die von einigen kHz bis zu einigen 10 kHz reichen kann. Die abrupten Ein/Ausschaltvorgänge des Sendesignals erzeugen dabei durch Intermodulation auch niederfrequente Komponenten, die zwar gering gegenüber dem eigentlichen Sendesignal ausfallen, aber trotzdem noch deutlich stärker als die Infraschall-Einwirkung durch WEA sind und von Föten sogar gehört werden können (55), (74).

Zur finnischen Studie (Maijala et al. 2020)

V/R behaupten „dass keine der in den letzten Jahren publizierten, staatlich veranlassten Studien die Wirkung der Infraschallpeaks aus Windanlagen auf Anwohner konkret getestet hat“. Genau dies wurde aber in der von ihnen ungerechtfertigterweise kritisierten finnischen VTT Studie (17) tatsächlich getan. Dort wurde mit hochauflösender Aufnahmetechnik und infraschallfähigen Mikrofonen wochenlang in nächster Nähe zu zwei großen Windpark (Raahe und Kurikka) aufgezeichnet und aus den Terabytes angefallener Daten die Intervalle mit dem höchsten Infraschall-Anteil und der höchsten Hörschall-Amplitudenmodulation (AM) des Hörschalls herausgesucht und zu Hörbeispielen verarbeitet. Um diese in voller Bandbreite bis 0.5 Hz herab mit linearem Frequenzgang in der Original-Lautstärke wiedergeben zu können, wurde sehr aufwendig eine hermetisch abgedichtete Druckkammer als Abhörraum für Ganzkörper-Exposition eingerichtet und der Frequenzgang der Lautsprecher mit FIR-Filtern präzise entzerrt. Bei der Wiedergabe wurde wahlweise das breitbandige Gesamtsignal dargeboten oder der Infraschallanteil herausgefiltert. Es konnte kein signifikanter Unterschied gehört werden. In einem weiteren Test wurde nur der Infraschall alleine wiedergegeben. Er konnte nicht signifikant wahrgenommen werden.

„Signatur geglättet“ – weg sind die „Druckpeaks“?

In der detaillierten Dokumentation der VTT-Studie sind auch Terz-Spektren der Geräuscheszenarien abgebildet. Über diese behaupten V/R fälschlicherweise: „Letztere bestehen aus Mittelwerten des Schalldrucks über festgelegte Frequenzbereiche jeweils vom Umfang einer Terz.“ Diese Desinformation wurde bereits in (3) verbreitet. Terzpegel entstehen aber nicht aus „Mittelwerten“, sondern aus der leistungsmäßigen *Summe* aller Frequenzkomponenten innerhalb der Bandgrenzen. Die Abbildung der Terzspektren führt V/R außerdem zu folgender törichter Interpretation: „Damit wurde die für gesundheitliche Beeinträchtigungen höchstwahrscheinlich entscheidende Signatur *geglättet*“. V/R schließen also aus den Terz-Spektren in den Grafiken des Reports, dass die in ihnen nicht sichtbaren „steilen Druckpeaks“ wundersamerweise auch aus den zugrundeliegenden hochaufgelösten Audio-Rohdaten entwichen seien und deswegen bliebe es „fraglich, ob die Infraschall-Druckpeaks der Anlagen im Test korrekt abgestrahlt wurden“. Das ist ungefähr genauso sinnvoll, wie zu monieren, auf dem ebenfalls im Report abgebildeten Foto des Inneren der Druckkammer sei ja gar kein Infraschall zu sehen und deswegen sei es fraglich, ob die Probanden ihm auch wirklich ausgesetzt wurden.

Die wundersame „Pionierarbeit“ von Sharipova

Auf ihrer emsigen „Suche nach konkreten Stressoren und kausaler Pathogenese“ stießen V/R auch auf eine dubiose Veröffentlichung an der Al-Farabi Kazakh Universität in Kasachstan, die bereits ausgiebig von B/S durchleuchtet wurde. Zur Erinnerung: Wasser wurde in einem „Infraschall-Radiator“ mit Intensitäten von „10.9 – 14 dB“ behandelt und anschließend von Ratten *getrunken*, woraufhin sich bei diesen angeblich veränderte Hämolyse-Werte zeigten. Obwohl V/R der Ansicht sind, dass gar „nicht die absolute Höhe des Schalldrucks ausschlaggebend für eine biologische Wirkung“ sei, war ihnen die geringe Maximalpegel-Angabe von nur 14 dB wohl doch suspekt, weshalb sie nonchalant eine „1“ davorsetzten. Dieser Handstreich, mit welchem sie aufgrund der logarithmischen dB-Skala die Intensität mal eben um 10 Milliarden erhöhten, würde man in der Finanzwelt wohl als „kreative Buchführung“ bezeichnen. Für das beschriebene Versuchsdesign spielte er aber keine Rolle, da man die Intensität durchaus noch um weitere 30 dB erhöhen könnte, ohne dass sich für die Ratten etwas ändern würde – die einzige Weise, auf welche Wasser durch Schalleinwirkung seine „biophysikalischen Eigenschaften“ ändern könnte, wäre durch Erwärmung (was aber wegen der erforderlichen Energiedichte nur mit Ultraschall funktioniert). Schwerer wiegt allerdings die völlig aus der Luft gegriffene freie Erfindung von V/R, die Ratten hätten „unspezifische Entzündungsprozesse ... gefolgt von einer perivaskulären Koronarsklerose“ gezeigt – den nichtssagenden und langweiligen Hämolyse-Grafiken (denen im Übrigen völlig die von V/R versprochene „nachvollziehbare statistische Transparenz“ fehlt) entbehrte es wohl an der gewünschten Dramatik.

Anstatt auf die Kritik einzugehen, die Manipulationen einzugestehen und sich dafür zu entschuldigen, loben V/R in ihrer Antwort stattdessen das von ihnen falsch wiedergegebene, esoterisch angehauchte Schriftstück (in welchem auch über die Umwandlung des Infraschalls in „biochemische“ und „bioelektrische“ Energie im Rahmen von „Bio-Resonanz-Phänomenen“ des Wassers fabuliert wird) auch noch als „wichtige Pionierarbeit“. Selbst das ist schlecht recherchiert: Schon drei Jahre vorher berichteten Tuleuhanov et al. am selben Ort von ganz ähnlichen Versuchen unter denselben Versuchsbedingungen (83), inklusive der absonderlichen Intensitätsangabe von „10.9 – 14 dB“. Allerdings ging es dort um *weiße* Blutkörperchen, deren Produktion selbstredend auch von Infraschall gestört wurde, egal ob die Ratten ihm direkt ausgesetzt wurden oder nur *infraschallverseuchtes* Wasser tranken.

V/R verteidigen Sharipovas Arbeit mit der frivolen Behauptung: „Der Befund, dass Wasser nach Infraschallexposition unmittelbare Auswirkungen auf Zelleigenschaften hat (hier bei Erythrozyten) wurde bisher nie seriös bezweifelt.“ Damit mögen sie durchaus recht haben: Es hatte sich vermutlich auch noch nie jemand seriös damit beschäftigt. Es darf angezweifelt werden, ob beide Arbeiten in dieser Form überhaupt stattgefunden und die angegebenen Ergebnisse geliefert haben.

Aquaporine und die magischen 30%

Zum Ende der Lobeshymne auf Sharipova´s Meisterwerk wird von V/R wie zur Bestätigung, dass noch andere Forscher auf diesem Gebiet unterwegs seien, „auch an die inzwischen besser erforschten Wasserkanäle (Aquaporine) erinnert, deren spezifische Eigenschaften möglicherweise erklären können, warum ca. 30% der Menschen Infraschall empfindlicher wahrnehmen als andere“. Der referenzierte Tagungsbeitrag von LePage u. Avan hat zwar tatsächlich „Infraschall“ im Titel, es geht aber um sehr langsame Druckänderungen nahe an DC (0 Hz) und zugehörige Ausgleichsströmungen im Innenohr. Die Grafiken in der Arbeit zeigen dann auch Druckausgleichsvorgänge, die sich über Minuten bis Stunden hinziehen und haben somit nichts mit der „Perzeption von Infraschall“ von Windanlagen zu tun. Die „30%“ Angabe ist von V/R erfunden und ohne Angabe, worauf sie sich eigentlich bezieht, völlig sinnfrei.

Kampf gegen Windmühlen vs. Patientenwohl

Infraschall von WEA ist nicht wahrnehmbar und völlig harmlos, die Angst davor nicht. Der Nocebo-Effekt ist auf vielen Gebieten bewiesen, auch bei Infraschall-Angst (20), (21), (57). Wenn Ärztinnen und Ärzte als absolute Vertrauenspersonen diese Angst auch noch befeuern und wider aller wissenschaftlichen Evidenz Infraschall zum monokausalen „Stressor“ erklären, ist das im Sinne einer objektiven und ergebnisoffenen ätiologischen Herangehensweise kontraproduktiv für das Patientenwohl. Fast immer ist Hörschall das Problem und die Patienten wären mit der Erarbeitung von *coping strategies* besser beraten, um toleranter und unbesorgter mit der Lärmbelästigung umgehen zu können, anstatt weiter unter diffusen Ängsten vor vermeintlicher körperlicher Schädigung leiden zu müssen. Besonders problematisch ist in diesem Zusammenhang die von Vahl offensiv über die Medien verbreitete, perfide und absolut falsche Behauptung, Infraschall von WEA wäre ein „Störsender fürs Herz“ (12). Das spätestens seit der BGR-Pegelleite überfällige persönliche Dementi steht weiterhin aus.

Ist das noch Wissenschaft?

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

Hilft hier noch Nachhilfe?

V/R beschwerten sich: „Wir benötigen hier weder Nachhilfe in Schallphysik noch zu den „Grundregeln wissenschaftlicher Arbeit“. Diese Aussage ist insofern zutreffend, als dass erfolgreiche Nachhilfe sowohl ein rudimentäres Basis-Gerüst an Grundwissen als auch Lernbereitschaft voraussetzt. Allerdings ist beides nicht vorhanden, wie sie durch ihr beharrliche Festhalten an völlig falschen Interpretationen, abstrusen Denkweisen und ungeeigneten Referenzen sowie dem kunterbunten Durcheinanderwürfeln von unterschiedlichen physikalischen Größen und signaltheoretischen Begriffen zur Schau stellen. Dass viele leicht zu entlarvende Falschaussagen von V/R auch nach der zweiten kompetenten Richtigstellung noch vehement verteidigt wurden, zeugt außerdem von einer gewissen starrsinnigen Beratungsresistenz. Die mangelhafte Anwendung der „Grundregeln wissenschaftlicher Arbeit“ wurde bereits in den vorangegangenen Repliken gerügt, wobei die Manipulation von Pegeldaten und die freie Erfindung von organischen Schäden bereits als wissenschaftliches Fehlverhalten eingestuft werden darf.

„Naiv oder populistisch motiviert“?

Mit der absurden Behauptung, der von WEA ausgehende schwache Infraschall besitze „pathogenes Potenzial“ und könne gar „körperliche Schäden“ bei Anwohnern auslösen, treffen V/R eine nicht verantwortbare Aussage. Für die suggerierten Schäden auf Organ- oder Zellebene durch subliminalen Infraschall finden sich weder in den von ihnen zitierten Arbeiten noch in der restlichen seriösen wissenschaftlichen Literatur irgendwelche Anhaltspunkte.

Nach der Lektüre fragt man sich, ob solch ein konzentriertes Konglomerat eklatanter Falschaussagen ausschließlich der ungenügenden Expertise der Autoren geschuldet ist oder ob andere Intentionen dahinterstehen. Die Kritik an der fehlenden Darlegung ihrer Interessenkonflikte durch B/S ist gerechtfertigt und die nachgelieferten hilflosen Erklärungsversuche von V/R wenig überzeugend. Interessenkonflikte bestehen keinesfalls nur dort, wo die Veröffentlichung dem Autor einen pekuniären Vorteil verspricht. Bei Roos ist ein ideelles Sekundärinteresse manifest. Als vehementer Windkraftgegner und Vorsitzender eines lokalen Ablegers des gegen erneuerbare Energien opponierenden Netzwerks „Vernunftkraft“ kämpft er unermüdlich für den vorgeblichen „Schutz der Bürger vor den Gesundheitsrisiken durch industrielle Windenergie-Anlagen“ und gegen die „schmerzhaft empfundene Verschandelung ihrer Heimatlandschaft“ (80). Außerdem kritisiert er ostentativ die „gegenwärtige Energiepolitik“, wobei seine ideologisch geprägten Einlassungen zu diesem Thema keineswegs kompetenter wirken als seine so nachweislich falschen wie leicht widerlegbaren Behauptungen über „chronische Schädigungen“ durch WEA-Infraschall.

Die 1-Million-Euro-Frage

Bei Vahl wiederum steht der Verdacht des wirtschaftlichen Sekundärinteresses sehr wohl im Raum. Im Interview der Mainzer AZ (33) erklärte er, dass Teile seiner Arbeitsgruppe es spannend gefunden hätten, im Kontext Windkraft zu forschen. „Damit war auch die Hoffnung verbunden, dass man so Forschungsmittel erhält“ bevor er dann „aus der Industrie eine Millionen-Spende erhalten“ habe. Wer der Spender sei, könne er allerdings nicht sagen, betonte Vahl. „Er möchte nicht genannt werden“. Wenn Vahl, der anonyme Spender sowie die JGU Mainz den Zweifel zerstreuen möchten, dass Interessensgruppen hinter der Spende stehen, die sich einen Vorteil aus der Torpedierung des Ausbaus erneuerbarer Energien versprechen, täten sie gut daran, den Geber und die eventuelle Zweckbindung der Mittel zu offenbaren. Vahl's Entschuldigung, er habe von der eingeworbenen Spende noch keine Mittel verwendet, spielt keine Rolle – ob sie nun als Belohnung für die bisher geleistete pseudowissenschaftliche Arbeit gedacht war oder weitere solche finanzieren soll, ist unerheblich.

Interessenkonflikte

Ich arbeite als Akustiker und Ingenieur der Nachrichtentechnik in Forschung und Entwicklung bei der Firma NTi Audio AG in Liechtenstein, die Messtechnik für Audio & Akustik herstellt und in der Umweltlärm-Messtechnik weltweit stark vertreten ist. WEAs spielen im Geschäftsfeld keine signifikante Rolle. Ich bin kein Parteimitglied, verdiene mit Windkraft kein Geld, kenne niemanden, der in der Windbranche arbeitet und werde von niemanden für diese Kritik bezahlt. Sie ist aus Eigeninitiative in der Freizeit entstanden und hat den alleinigen Zweck, meiner Verärgerung über die Vielzahl von Falschaussagen Ausdruck zu verleihen und zumindest einige richtig zu stellen.

Einige Fakten zu WEA-Infraschall

- Infraschall wirkt fast vollständig homogen als langsame periodische Änderung des Umgebungsdrucks von allen Seiten auf den Körper. Durch ihre hohe Inkompressibilität bleiben Gewebe und Zellverbände dabei quasi in Ruhe.
- Der Organismus hält mit Ausnahme des Gehörs problemlos dynamische Druckamplituden von 150 dB re. 20 µPa und mehr aus. Schwimmen und Ultraschalluntersuchungen sind Beispiele in verschiedenen Frequenzbereichen.
- Infraschall wird aufgrund seiner großen Wellenlänge und des enormen Wellenwiderstandsprungs von Luft zu Wasser größtenteils um den Körper herum gebeugt, seine Intensität ist im Körperinneren um mehr als 35 dB vermindert.
- Bei typischer WEA-Immission liegen die Druckspitzen mit ca. ± 1 Millionstel des Atmosphärendrucks in der gleichen Größenordnung, wie sie beim Gehen an den Ohren durch den periodischen Höhenunterschied bei der vertikalen Kopfbewegung entstehen.
- Die Druckpulse von WEA sind so schwach, dass sie nach einigen hundert Metern im breitbandigen Zeitsignal des Schalldrucks nicht mehr zu erkennen sind. Hochaufgelöste FFT-Spektren, mit denen die Flügelharmonischen konstant rotierender WEAs auch in größerer Entfernung aus dem Umgebungslärm herausgelöst werden können, sind für den Menschen in physiologischer Hinsicht völlig irrelevant.
- Infraschall sowohl natürlicher (Wind, Micro-Barome, Brandung) als auch anthropogener (Verkehr, Industrie, Landwirtschaft) und physiologischer Provenienz (Herzschlag, Atmung, Darmaktivität) bewirkt höhere Pegel im Körper und in den Ohren als der von WEAs.
- Die gehörrichtig bewertete Intensitäts-Summe der Flügelharmonischen liegt bei typischen Setbacks mindestens 30 dB unter der Wahrnehmbarkeitsschwelle. Eine geschlossene Gebäudehülle senkt sie mühelos um weitere 15 dB (siehe Abb. 1).
- Unser Gehör ist bewiesenermaßen auch für Infraschall der empfindlichste Sensor.
- Die taktile Empfindungsschwelle aller Drucksensoren der Haut für Infraschall liegt bei Normalhörenden über 115 dB und außerdem mindestens 15 dB über der Hörschwelle.
- Das Vestibularsystem in einem gesunden Innenohr ist extrem unempfindlich für Infraschall. Selbst bei pathologischen „third window“ Konditionen wie SCD reicht WEA-Infraschall nicht aus, um Empfindungen auszulösen.
- Die OHC (äußeren Haarzellen der Cochlea) tragen einige dB unterhalb der Hörschwelle *nicht* zum Hören bei und lösen auch keine anderen Aktivitäten im Gehirn aus (68). Insbesondere interferiert ihre postulierte subliminale Aktivität (23) *nicht* mit dem Schlaf (19).
- „Zytotoxische Wirkungen“ oder gar „organische Schäden“ durch WEA-Infraschall sind absolut ausgeschlossen.
- Das einzige, was die in-vitro Myokardversuche von Chaban et al. beweisen, ist dass die inadäquaten Versuchsbedingungen in keiner Weise die reale Situation des in-vivo Herzens widerspiegeln.
- WEA erzeugen auch hörbaren Schall, der im Vergleich zu anderen Lärmquellen aufgrund tonaler Anteile und Amplitudenmodulation (die häufig mit Infraschall verwechselt wird, (15),(16),(24),(27)), als deutlich störender empfunden wird. Die (manipulierbare) persönliche Einstellung zu Windkraft spielt bei der Bewertung der Belästigung eine große Rolle.
- Infrasound anxiety (ISA) gehört zu den modern health worries (MHW), so wie auch elektromagnetische Hypersensibilität (EHS) und idiopathic environmental intolerance (IEI), bei denen die Betroffenen ebenfalls über polysymptomatische Beschwerdebilder klagen, auch wenn die beschuldigten Expositionen weit unterhalb der bekannten Wirkschwellen liegen oder gar nicht vorhanden sind.
- Das Thema WEA-Infraschall wird in orchestrierten Desinformationskampagnen als Angstmacher missbraucht, um bei besorgten Bürgern und Lokalpolitikern Entscheidungen im Sinne von großen Interessenverbänden herbeizuführen, die den Ausbau erneuerbarer Energien mit allen Mitteln verhindern wollen.
- Die Faktenlage zu WEA-Infraschall ist eindeutig und es besteht diesbezüglich kein weiterer Forschungsbedarf.

References

- 1) C. F. Vahl, A. Ghazy, R. Chaban: Are There Harmful Effects Caused by the Silent Noise of Infrasound Produced by Windparks? An Experimental Approach, Aural presentation, Thorac cardiovasc Surg 2018; 66(S 01): S1-S110 DOI: 10.1055/s-0038-1628066 Georg Thieme Verlag KG Stuttgart New York
- 2) Ryan Chaban, Ahmed Ghazy, Eleni Georgiade, Nicole Stumpf, Christian-Friedrich Vahl: Negative effect of high-level infrasound on human myocardial contractility: In-vitro controlled experiment, NAH.J 2021, vol 23, pp 57-66
- 3) planet e – Infraschall - Unerhörter Lärm, transmitted on the the 4th of November in 2018 by German public TV broadcaster ZDF.
German version: www.youtube.com/watch?v=4vqrA8lhKwE
English version: www.youtube.com/watch?v=ibsxVKU6B8s
- 4) Alfred J. Bedard Jr, Thomas M. Georges: Atmospheric Infrasound, Physics Today 53, 32-37 (2000)
- 5) M. De Carlo, F. Ardhuin, A. Le Pichon: Atmospheric infrasound generation by ocean waves in finite depth: unified theory and application to radiation patterns
- 6) <http://eida.bgr.de/fdsnws/dataselect/1/query?station=HUF03&channel=HDF&...>
- 7) <https://github.com/EarthScope/mseed2ascii>
- 8) Lars Ceranna, Gernot Hartmann & Manfred Henger: Der unhörbare Lärm von Windkraftanlagen – Infraschallmessungen an einem Windrad nördlich von Hannover
- 9) Johannes Baumgart, Christoph Fritzsche, Steffen Marburg: Infrasound of a wind turbine reanalyzed as power spectrum and power spectral density, JSV June 2021, doi.org/10.1016/j.jsv.2021.116310
- 10) PTB FB 1.63: Ermittlung von Schallfeldgrößen für die Daten in Abbildung 4 von: Pilger, Ceranna (2017), The influence of periodic wind turbine noise on infrasound array measurements, available on the web.
- 11) DSGS Vortragsabend: Infraschall und Gesundheit - Recht auf körperliche Unversehrtheit, available at www.youtube.com/watch?v=b-yHDUXZMJc, starting at 15:45
- 12) M. Bermeitinger: Windkraft - Störsender fürs Herz: Mainzer Forscher untersuchen Folgen des Infraschalls, Mainzer Allgemeine Zeitung, 05.03.2018
- 13) Geoff Leventhall: What is Infrasound, Progress in Biophysics and Molecular Biology 93 (2007) 130–137
- 14) Henrik Møller, Christian Sejer Pedersen: Hearing at low and infrasonic frequencies, Noise and Health 2004; 6(23); 27-57
- 15) Sergio Martinez, Florian Fennel: Windenergieanlagen: AM bei Messungen an Einzelanlagen

und Windparks, DAGA 2017. Kiel

16) Henrik Møller, Christian Sejer Pedersen: Low-frequency noise from large wind turbines, *JASA* 129, 3727 (2011)

17) Majjala, Panu et al: Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines, *VTT* 2020

18) Carlos Jurado and Torsten Marquardt: On the Effectiveness of airborne infrasound in eliciting vestibular-evoked myogenic responses, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 2020, Vol. 39(1) 3–16

19) L. Ascone, C. Kling, J. Wieczorek, C. Koch & S. Kühn: A longitudinal, randomized experimental pilot study to investigate the effects of airborne infrasound on human mental health, cognition, and brain structure, *Sci Rep* 11, 3190 (2021).

<https://doi.org/10.1038/s41598-021-82203-6>

20) Fiona Crichton, Simon Chapman, Tim Cundy, Keith J. Petrie: The link between health complaints and wind turbines - support for the nocebo expectations hypothesis, *Frontiers in public health*, Nov. 2014, Vol 2, article 220

21) Fiona Crichton, George Dodd, Gian Schmid, Greg Gamble, Tim Cundy, and Keith J. Petrie: The Power of Positive and Negative Expectations to Influence Reported Symptoms and Mood During Exposure to Wind Farm Sound, *Health Psychology*, 2014; 33(12); 1588-92.

22) Andy Metelka: Measurements of Infrasound Blade Pass Frequencies in the Far Field, 174th Meeting of the Acoustical Society of America, 2017

23) Alec N. Salt and Timothy E. Hullar: Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines, *Hear Res.* 2010 September 1; 268(1-2): 12–21.
doi:10.1016/j.heares. 2010.06.007

24) Geoff Leventhal: *Infrasound from Wind Turbines – Fact, Fiction or Deception*, *Canadian Acoustics*, Vol. 34 No.2 (2006), pp 29-36

25) Simon Chapman, Fiona Crichton: *Wind Turbine Syndrome: A Communicated Disease*, Sydney University Press, <http://hdl.handle.net/2123/1760>

26) Geoff Leventhall: Concerns about Infrasound from Wind turbines, *Acoustics Today*, July 2013, pp 30-38

27) Geoff Leventhall: If they are not being made ill by infrasound, then what is it?, 9th International Conference on Wind Turbine Noise, Remote from Europe – 18th to 21st May 2021

28) Michael Bahtiarian: *Infrasound Measurements of Falmouth Wind Turbines Wind #1 and Wind #2*, TM 2015-004, Noise Control Engineering, LLC

29) Thomas R. Nelson, Jacques S. Abramowicz: *Ultrasound Biosafety Considerations for the*

Practicing Sonographer and Sonologist, J Ultrasound Med 2009; 28:139–150

30) *Gail ter Haar: The safe use of Ultrasound in Medical Diagnosis, 3rd edition, The British Institute of Radiology, ISBN 978-0-905749-78-5*

31) *Lars Ceranna, Peter Gaebler, Gernot Hartmann, Patrick Hupe, Christoph Pilger, Andreas Steinberg: On the infrasound emission generated by wind turbines, GeoKarlsruhe 2021*

32) *Andy Metelka: Measurement Techniques for determining Wind Turbine Infrasound Penetration into Homes, 7th International Meeting on Wind Turbine Noise. Rotterdam, May 2017*

33) *Paul Lassay, Mainzer Mediziner erntet viel Kritik wegen Infraschall-Studien, Mainzer Allgemeine Zeitung, September 29th, 2021*

34) *Stefan Holzheu: Der Rechenfehler der BGR: Nachrechnen mit Originaldaten, BayCEER 2020, www.bayceer.uni-bayreuth.de/infraschall/de/windenergi/gru/html.php?id_obj=159126*

35) *Stefan Raufer, Salwa F. Masud, Hideko H. Nakajima: Infrasound transmission in the human ear: Implications for acoustic and vestibular responses of the normal and dehiscence inner ear, J. Acoust. Soc. Am. 144, July 2018, doi.org/10.1121/1.5046523*

36) *Kristine Elisabeth Eberhard, Divya A. Chari, Hideko Heidi Nakajima, Mads Klokke, Per Cayé-Thomasen, Daniel J. Lee: Current Trends, Controversies, and Future Directions in the valuation and Management of Superior Canal Dehiscence Syndrome, Frontiers in Neurology, April 2021, volume 12, article 638574, DOI: 10.3389/fneur.2021.638574*

37) *John P. Carey, Lloyd B. Minor, George T. Nager: Dehiscence or thinning of bone overlying the superior semicircular canal in a temporal bone survey, Otolaryngol Head Neck Surg. 2000, Vol. 126, pp 137-147, doi:10.1001/archotol.126.2.137*

38) *Sally M. Rosengren, James G. Colebatch, The Contributions of Vestibular Evoked Myogenic Potentials and Acoustic Vestibular Stimulation to Our Understanding of the Vestibular System, Frontiers in Neurology. 2018 Jun 29; 9:481. doi: 10.3389/fneur.2018.00481. eCollection 2018*

39) *M. Geraldine Zuniga, Marcela Davalos-Bichara, Michael C. Schubert, John P. Carey, and Kristen L. Janky: Optimizing Ocular Vestibular Evoked Myogenic Potential Testing for Superior Semicircular Canal Dehiscence Syndrome: Electrode Placement, Audiol Neurotol. 2014 ; 19(4): 239–247. doi:10.1159/000360124*

40) *Neil P. McAngus Todd, Sally M. Rosengren, James G. Colebatch: Tuning and sensitivity of the human vestibular system to low-frequency vibration, Neuroscience Letters 444 (2008) 36–41*

41) *von Reutern, Gerhard-Michael et al: Ultraschalldiagnostik der hirnersorgenden Arterien Kapitel 1 Physikalische und technische Grundlagen - Bioeffekte und Sicherheit der diagnostischen Ultraschallanwendung, DOI: 10.1055/b-0034-18436*

- 42) LUBW: Fragen und Antworten zu Windenergie und Schall, Unterpunkt 22. Studie zu Wirkungen von Infraschall auf Herzmuskelfasern, <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/erneuerbare-energien/windenergie-und-schall>
- 43) B.Srinivasan, Pa. Ganeswaran, T. Meenamba, A Study on Optimization of Sun Light Source (Day Lighting) in High Rise Building Using Artificial Neural Networks, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), Volume 13, Issue 6 Ver. II (Nov. - Dec. 2016), PP 87-96
- 44) Roman Vinokur: Infrasonic sound pressure in dwellings at the Helmholtz resonance actuated by environmental noise and vibration, *Applied Acoustics* 65(2):143-151 (2004)
- 45) Smith SD.: Characterizing the effects of airborne vibration on human, body vibration response. *Aviat Space Environ Med* 2002;73:36-45
- 46) Randall JM, Matthews RT, Stiles MA. Resonant frequencies of standing humans. *Ergonomics* 1997;40:879-86
- 47) Geoff Leventhall: Wind Turbine Syndrome – an Appraisal, Evidence for Glacier Hills enquiry, Public Service Commission of Wisconsin: document PSC REF#:121877, (2009)
- 48) Miriam S Welgampola, Oluwaseun A Myrie, Lloyd B Minor, John P Carey: Vestibular-evoked myogenic potential thresholds normalize on plugging superior canal dehiscence, *Neurology*, 2008 Feb 5;70(6):464-72. doi: 10.1212/01.wnl.0000299084.76250.4a
- 49) Markus Weichenberger, Robert Kühler, Martin Bauer, Johannes Hensel, Rüdiger Brühl, Albrecht Ihlenfeld, Bernd Ittermann, Jürgen Gallinat, Christian Koch, Tilmann Sander, Simone Kühn, „Brief bursts of infrasound may improve cognitive function--an fMRI study“, *Hear Res.* 2015 Oct;328:87-93. doi: 10.1016/j.heares.2015.08.001
- 50) G James Rubin, Miriam Burns, Simon Wessely: Possible psychological mechanisms for "wind turbine syndrome". *On the windmills of your mind, NAH.J*, 2014, vol. 16, p. 116--122 , DOI: 10.4103/1463-1741.132099
- 51) Vivien Nancy Luecke, Laura Buchwieser, Peter zu Eulenburg, Torsten Marquardt, Markus Drexel: Ocular and Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potentials Elicited by Air-conducted, Low-Frequency Sound, *J Vestib Res.* 2020;30(4):235-247. doi: 10.3233/VES-200712
- 52) Sally M. Rosengren, James G. Colebatch, Allison S. Young, Sendhil Govender, Miriam S. Welgampola: Vestibular evoked myogenic potentials in practice: Methods, pitfalls and clinical applications, *Clinical Neurophysiology Practice* 4 (2019) 47–68
- 53) Simon Chapman, Ketan Joshi, Luke Fry: Fomenting sickness: nocebo priming of residents about expected wind turbine health harms, *Front. Public Health*, 12 December 2014 | <https://doi.org/10.3389/fpubh.2014.00279>
- 54) M. M. Iversen, H. Zhu, W. Zhou, C. C. Della Santina, J. P. Carey & R. D. Rabbitt: Sound abnormally stimulates the vestibular system in canal dehiscence syndrome by generating pathological fluid-mechanical waves, *Scientific reports* (2018) 8:10257, DOI:10.1038/s41598-

- 55) Arulkumaran S, Talbert DG, Nyman M, Westgren M, Su HT, Ratnam SS. Audible in utero sound caused by the ultrasonic radiation force from a real-time scanner. *J Obstet Gynaecol Res.* 1996 Dec;22(6):523-7
- 56) Jennifer Taylor, Carol Eastwick, Robin Wilson, Claire Lawrence: The influence of negative oriented personality traits on the effects of wind turbine noise, *Personality and Individual Differences* 54 (2013) 338–343
- 57) Renzo Tonin, James Brett, Ben Colagiuri: The effect of infrasound and negative expectations to adverse pathological symptoms from wind farms, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 2016, Vol. 35(1) 77–9, DOI: 10.1177/0263092316628257
- 58) Alec N. Salt, James A. Kaltenbach: Infrasound from Wind Turbines Could Affect Humans, *Bulletin of Science, Technology & Society* 31(4) 296 –302
- 59) Christoph Pilger, Lars Ceranna: Comment on Baumgart et al.: Infrasound of a wind turbine reanalyzed as power spectrum and power spectral density, *JSV* November 2021, doi.org/10.1016/j.jsv.2021.116636
- 60) Dominik Obrist: Fluid mechanics of the inner ear, habilitation thesis, Institute of Fluid Dynamics, ETH Zürich, November 2011, doi.org/10.3929/ethz-a-007318979
- 61) Geoff Leventhall: I can still hear it and it's making me ill, 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lisbon, June 2019
- 62) Kawano A., Yamaguchi H, Funasaka S. Effects of infrasound on humans: A questionnaire survey of 145 drivers of long distance transport trucks. *Pract. Otol. Kyoto* 84(9):1315-1324 (1991). Japanese
- 63) Robert Kühler, Thomas Fedtke, Johannes Hensel: Infrasonic and low-frequency insert earphone hearing threshold, *J. Acoust. Soc. Am.* 137 (4), April 2015
- 64) Jörg H. Mühlhans: Low frequency and infrasound: A critical review of the myths, misbeliefs and their relevance to music perception research, *Musicae Scientiae*, 1–20, 2017
- 65) Norman S. Yeowart, Margaret J. Evans: Thresholds of audibility for very low-frequency pure tones, *JASA* 55, pp. 814-818 (1974)
- 66) Ulf Landström, Ronnie Lundström, Marianne Byström: Exposure to infrasound - Perception and changes in wakefulness, *J. Low Frequency Noise and Vibration*, Vol. 2 No.1, 1983, pp. 1-11
- 67) Toshio Watanabe, Henrik Møller: Low Frequency Hearing Thresholds in Pressure Field and in Free Field, *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, Vol. 9 No. 3 1990
- 68) Markus Weichenberger, Martin Bauer, Robert Kühler, Johannes Hensel, Caroline Garcia Forlim, Albrecht Ihlenfeld, Bernd Ittermann, Jürgen Gallinat, Christian Koch, Simone Kühn:

Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold – Evidence from fMRI, PLOS ONE, doi.org/10.1371/journal.pone.0174420 April, 2017

69) *Elisa Burke, Stefan Uppenkamp, Christian Koch: A psychoacoustical study to investigate the perceived unpleasantness of infrasound combined with audio-frequency sound, Acta Acustica 2020, 4, 20*

70) *Bartosz Bilski: Exposure to infrasonic noise in agriculture, Annals of Agricultural and Environmental Medicine 2017, Vol 24, No 1, pp .86–89*

71) *Ross H. Sanders, Jane M. Cappaert, David L. Pease: Wave Characteristics of Olympic Breaststroke Swimmers, Journal of Applied Biomechanics, Vol 14 1998, pp 40-51*

72) *Detlef Krahé et al.: Lörmwirkungen von Infraschallimmissionen, Umwelt-Bundesamt, Texte 163/2020*

73) *Kilian Gladiné: Mechanics of the middle ear: Optical measurements and finite-element modelling, doctoral thesis, university of Antwerpen, August 2019*

74) *Jacques S. Abramowicz: Ultrasound imaging of the early fetus: is it safe?, Imaging Med. (2009) 1(1), 85–95, ISSN 1755-5191*

75) *M. Kocifaj, Th. Posch, H. A. Solano Lamphar: On the relation between zenith sky brightness and horizontal illuminance, MNRAS 446, 2895–2901 (2015), doi:10.1093/mnras/stu2265*

76) *B.Srinivasan, Pa. Ganeswaran, T. Meenamba, A Study on Optimization of Sun Light Source (Day Lighting) in High Rise Building Using Artificial Neural Networks, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), Volume 13, Issue 6 Ver. II (Nov. - Dec. 2016), PP 87-96*

77) *Oliver Behler, Stefan Uppenkamp: Activation in human auditory cortex in relation to the loudness and unpleasantness of low-frequency and infrasound stimuli.: PLoS one 15 (2), S. 1–20. DOI: 10.1371/journal.pone.0229088*

78) *17:30 SAT1 Live Regionalprogramm für Reinland-Pfalz und Hessen, 20. Mai 2020: Studie der Mainzer Unimedizin: Macht Infraschall krank? www.1730live.de/20200520_windkraft/*

79) *Gisela Kirschstein: „Brisante Mainzer Studie: Infraschall von Windrädern kann die Herzleistung des Menschen deutlich schädigen“, Mainz& Internetzeitung, 11. Mai 2020*

80) *Werner Roos: "Infraschall aus Windenergieanlagen – ein verkanntes Gesundheitsrisiko", Naturwissenschaftliche Rundschau 72. Jahrgang, Heft 7, 2019*

81) *Christoph Pilger, Lars Ceranna : „The influence of periodic wind turbine noise on infrasound array measurements, Journal of Sound and Vibration 388 (2017) 188–200*

82) *Kenneth B. Campbell, Yiming Wu, Robert D. Kirkpatrick, Bryan K. Slinker: Myocardial contractile depression from high-frequency vibration is not due to increased cross-bridge*

breakage, *Am J Physiol* . 1998 Apr;274(4):H1141-51.
doi: 10.1152/ajpheart.1998.274.4.H1141

83) S. T. Tuleuhanov, O. S. Desouky, M. A. Mohaseb: *The Influence of the Infrasound on the Immunological Properties of Rats Blood*, *Romanian J. Biophysics.*, Vol. 20, No. 3, P. 245–255, Bucharest, 2010.

84) C. Vahl, W. Roos: *Infraschall aus technischen Anlagen*, ASU 07-2021, doi: 10.17147/asu-2107-7953

85) S. Holzheu, S. Koch, M. Hundhausen: *Infraschall von Windenergieanlagen: keine Gefahr für die Gesundheit der Bevölkerung*, ASU 11-2021, doi: 10.17147/asu-2111-9354

86) S. Bauer, F. Schertz: „*Infraschall aus technischen Anlagen*“ – eine Replik, ASU 01-2022; doi:10.17147/asu-1-161102

87) Geoff Leventhall: *Infrasound and the ear*, 5th International Conference On Wind Turbine Noise, Denver 2013



Häufig gestellte Fragen (FAQ)

Wie wirkt Infraschall von Windenergieanlagen auf den menschlichen Körper?



Kann Infraschall von Windenergieanlagen das Herz schädigen?



Ist das Vestibularsystem für Infraschall empfindlich?



Wie gut nehmen Menschen Infraschall wahr im Vergleich zu Messgeräten?



Gibt es wissenschaftliche Belege für gesundheitliche Risiken durch Infraschall von Windenergieanlagen?



Wird Infraschall durch Gebäude gedämpft?

