

**Infraschall und Vibroakustisches Syndrom
- Altbekannte Phänomene in neuem Zusammenhang**

von

Dr. Dagmar Schmucker

Internistin

Absolventin Curriculum klinische Umweltmedizin

Mitglied Deutscher Berufsverband klinischer Umweltmediziner

Calwer Gasse 4-12

71263 Weil der Stadt

Infraschall und Vibroakustisches Syndrom - Altbekannte Phänomene in neuem Zusammenhang

ZUSAMMENFASSUNG:

Vermeintlich unspezifische Symptome wie Schlafstörungen, Schwindel, Tinnitus, aber auch Hypertonie, Sauerstoffmangel und Herzinsuffizienz werden in der hausärztlichen Praxis, aber auch in der Pulmologie, Kardiologie und Neuropsychiatrie häufig beobachtet.

Anliegen der Autorin ist es, auf Zusammenhänge mit physikalischen Umwelt-Phänomenen wie Infraschall und/oder Körperschall im Sinne eines Vibroakustischen Syndroms (VAD) oder auch Windturbinensyndrom hinzuweisen und dies in die differentialdiagnostischen Überlegungen mit aufzunehmen. Gerade bei Neuauftreten dieser Symptome wäre ein genaues Erfragen der aktuellen Umgebungssituation des Patienten sehr hilfreich, auch im Hinblick auf die therapeutischen Optionen.

Die Autorin möchte einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung und Erkenntnisse geben, die die Einflüsse auf das otovestibuläre, kardiorespiratorische und neurologisch psychiatrische System darstellen. Die Autorin erklärt hiermit, dass sie keine eigene Meinung bezüglich Vor- und Nachteilen von Windenergie hier abgibt. Das Anliegen ist die Aufklärung und Sensibilisieren von Ärzten und medizinischen Therapeuten.

Überblick über die physikalischen Grundlagen im Hinblick auf Infraschall und Vibroakustisches Syndrom

Als Schall bezeichnet man die wiederholte zeitliche Schwankung (Schwingung) von Zustandsgrößen in einem elastischen Medium (Luft, Gase, Flüssigkeit, feste Körper), die sich wellenförmig ausbreiten.

Auf den Hörschall und seine Auswirkungen wird bewusst nicht eingegangen, die Kenntnisse diesbezüglich mit den Auswirkungen auf den Organismus, Physiologie und Pathophysiologie sind nicht der Inhalt dieser Arbeit.

Luftschall ist die zeitliche und örtliche Schwankung der Luftdichte bzw. des Luftdruckes. Die Häufigkeit der Luftschalldruckänderung wird als Schallfrequenz angegeben in Hertz (Hz). Niedrige Frequenzen entsprechen tiefen Tönen.

Die Stärke der Luftschalldruckänderung wird in Pascal (Pa) gemessen. Das Maß für den Schalldruckpegel ist Dezibel (dB). Der Referenzschalldruck für Luftschallmessungen ist mit 0,00002 Pa festgelegt, was einem Luftschalldruck von 0 dB entspricht.

Je stärker die Luftdruckänderung ist, also umso höher die Amplitude, umso lauter wird das Geräusch empfunden.

Frequenzbereiche von 20 Hertz bis 20 000 Hertz werden allgemein als Schall bezeichnet. Bei Frequenzen unterhalb von 0,1 - 20 Hz spricht man von Infraschall und oberhalb von 20 000 Hertz von Ultraschall. Die Wellenlänge von Infraschall liegt bei 17,17 - 3434,21 m. Die von hörbarem Schall bei 21 m - 17 mm.

Der Mensch ist in der Lage, Schall mit Frequenzen von 1 - 2,5 Hz (1) bis etwa 20 000 Hz wahrzunehmen. Der Frequenzbereich, in dem Geräuschanteile als Töne wahrgenommen werden, wird allgemein bei 16 Hz bis 16 kHz angegeben (1). Unter 20 Hz wird der Schall im Unterbewusstsein wahrgenommen. Infraschall und niederfrequenter Schall werden als tiefe, dumpfe, brummende Töne wahrgenommen oder lösen körperliche Reaktionen aus.

Technische Anlagen können, neben dem für Menschen hörbaren Schall, auch tieffrequenten Schall bis unter 1 Hz und tieffrequenten Körperschall verursachen. (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15), der auf den gesamten menschlichen Organismus einwirkt.

Im Sinne der aktuell geltenden Technischen Normen (16) wird Schall als tieffrequent bezeichnet, wenn seine vorherrschenden Anteile im Frequenzbereich unter 90 Hz liegen.

Die Übertragung von Infraschall, Schall und tieffrequentem Schall erfolgt in der Luft als sogenannter (primärer) Luftschall. Bei Körperschall hingegen handelt es sich um meist tieffrequente Schwingungen (Vibrationen), die in festen Stoffen (z. B. Boden, Fundamente, Rohrleitungen, Wände) übertragen werden. Außerdem überträgt sich Infraschall über den Boden und wird so weitergeleitet. Körperschall selbst kann wiederum Luftschall erzeugen, der dann als sekundärer Luftschall bezeichnet wird.

Durch Reflexionen und Überlagerungen innenräumiger Schallwellen und/oder sekundärer Luftschallimmissionen (z. B. ausgelöst durch externe Körperschallquellen) kommt es aufgrund raumakustischer Wirkungen (stehende Wellen, Raumresonanzen) von Gebäuden oftmals zu höheren Geräuschbelastungen als im Außenbereich (Multiplikation oder sogar Potenzierung) (7, 17, 18).

Die Schwelle des Menschen für tieffrequenten Luftschall verringert sich in Anwesenheit von Körperschall, und wahrnehmbarer Körperschall reduziert zusätzlich die Wahrnehmungsschwelle für tieffrequenten Luftschall (4, 19, 20, 21, 22).

Insbesondere bei der Beurteilung von tieffrequentem Schall innerhalb von Gebäuden muss daher auch die Wechselwirkung mit tieffrequenten Körperschallschwingungen (Vibrationen) berücksichtigt werden. Dies spiegelt sich klinisch im Vibroakustischen Syndrom wider.

Ebenso kommt es bei komplexen tieffrequenten Geräuscheinwirkungen mit periodisch symmetrischen Schwankungen, diskreten Signalformen mit harmonischen Einzelfrequenzen, einzelnen totalen Komponenten (z. B. Peaks), einem modulierten Signalverlauf, bei einem stochastischen Hintergrundpegel und bei Langzeitexposition (insbesondere bei ansonsten ruhigen Wohnumgebungen) zu einer weiteren Sensibilisierung für den tieffrequenten Luft- und Körperschall (4, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31).

Als faktenbasierende Grundlage für eine sachgerechte Beurteilung einer konkreten Immissions-situation innerhalb von Gebäuden ist daher immer eine umfassende messtechnische Untersuchung der wirkrelevanten Schall-Körperschall- und Infraschallimmissionen erforderlich.

Der Schwerpunkt liegt daher auf Untersuchung und Beurteilung der Immissionen in schutzbedürftigen Räumen (Schlafzimmer, Kinderzimmer, Hauptaufenthaltsräume - und hier speziell im gesundheitsrelevanten Regenerationszeitraum von 22 Uhr bis 6 Uhr).

Problematik der Messtechniken und der Normen:

Auf eine intensive Diskussion der gesetzlichen Normen wird hier bewusst verzichtet, da es hier um die individuellen Reaktionen der Menschen geht, die eben nicht immer in Normen gepresst werden können, bzw. dann müssen eben die Normen eigentlich überprüft werden.

Die Prüfung der Einhaltung der gesetzlich festgelegten Immissionsrichtwerte erfolgt nach den Vorgaben der TA Lärm (48) sowie nach der DIN 45680 (51).

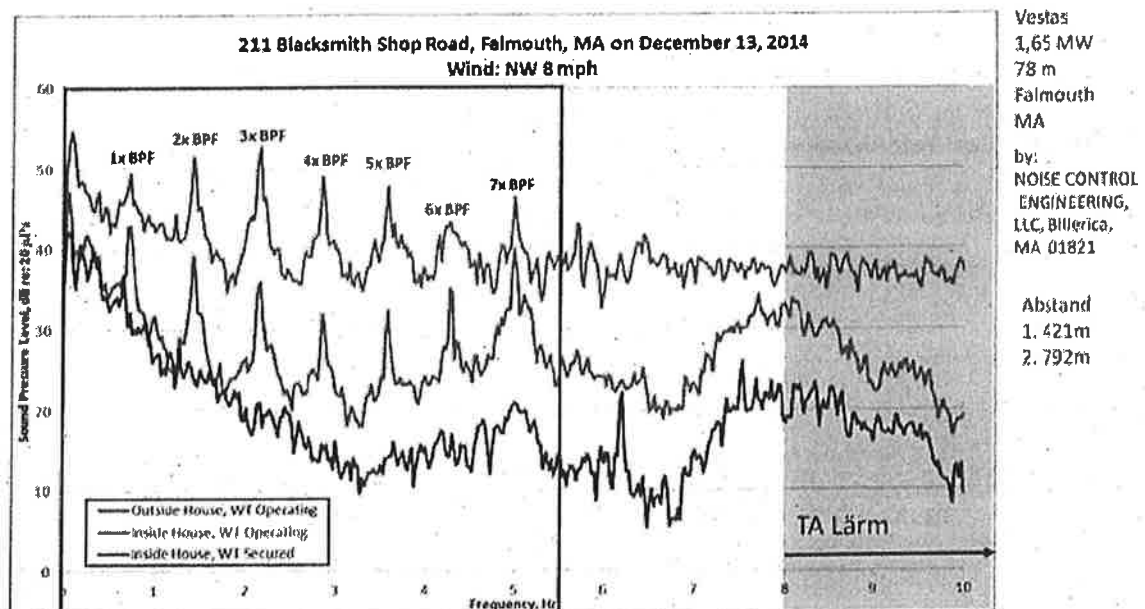
Die TA Lärm ist veraltet und kann die neueren Phänomene durch Windkraftanlagen mit gepulstem Infraschall nicht abbilden, d. h. es gibt keine aktuelle gesetzliche Vorgabe zum Schutz der Menschen.

Zu erwähnen ist eine Studie des LUBW 2016 mit einer problematischen Auswertung der Messdaten und mangelhafter fachlicher Interpretation da diese nicht auf einer FFT (Fast Fourier Transformation) Analyse beruhen, sondern einzig auf dem Terz- und Oktavband und dort wiederum dB-seitig auf einen dB-A-Filter (bzw. erweiternd auf einen dB-C Filter). Diese Filter sind jedoch zur Beurteilung sehr tieffrequenter Frequenzen fachlich ungeeignet, da diese dort großteils weggefiltert werden: Bei einer Immissions-Frequenz von 1 Hz und dem dB-A Filter, werden dort 70 dB Realbelastung einfach abgezogen bzw. weggefiltert. Es wäre daher nur eine dB-Z Auswertung angebracht gewesen, die so quasi keinen Filter beinhaltet.

Ebenso werden die pulsierenden Spitzen, die bei Windkraftanlagen zyklisch immer auftreten durch die Anwendung des Terz- und Oktavbandes einfach weggemittelt und daher kann sachgerecht um die Realität abzubilden dort eine Auswertung nur nach FFT erfolgen. Ergänzend wurden keine Innenraummessungen, sondern Außenmessungen durchgeführt.

Diese Studie ist in Baden Württemberg Basis für den Windenergie-Erlass mit Abstandsregelungen von 500 – 700 m zu Windrädern. Die Höhe der Windräder wird hier nicht berücksichtigt. Zu bedenken geben möchte die Autorin die Vorstellung kleiner Ventilator/großer Ventilator. Wie weit spürt man dann noch die sich bewegende Luft.

Die DIN 45680 Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft kennt Frequenzen unter 10 Hz nicht, da zum Zeitpunkt als diese DIN-Norm eingeführt wurde, es noch keine Messmethode gab, die unter 10 Hz messen kann. Inzwischen ist dies jedoch möglich und somit ist auch diese DIN-Norm veraltet (44, 36, 50, 51, 45, 44).



Quelle: Infrasound Measurements of Falmouth Wind Turbines Wind #1, and Wind #2. Technical Memo 2015 004.

Abb. 1

Ein Teilaspekt der Problematik, insbesondere die Interaktionen, wurde auch schon im obigen Abschnitt erwähnt.

Nur mit sensiblen modernen mobilen Messtechniken, z. B. mikrobarometrische Messverfahren, können aussagefähige Beurteilungen und Gutachten erstellt werden. Ausführliche Stellungnahmen und Übersichtsarbeiten kann man bei entsprechend spezialisierten Gutachtern finden.

Vorkommen von Infraschall und Körperschall:

Infraschall ist teilweise ein natürliches Phänomen, er kommt in der Natur vor, z. B. bei Erdbeben und Vulkanausbrüchen, aber auch bei Gewittergrollen. Allerdings ist er hier nicht gepulst, das heißt es kommt hier nicht zu regelmäßigen Frequenzspitzen. Dies ist ein wichtiger Aspekt in Bezug auf die körperlichen Auswirkungen.

Infraschall kann auch als Waje eingesetzt werden. (60 Spiegel online 30.9.2017 - Wie Schallwajen funktionieren), (61 in der Zeit 1968 Nr. 5 - Neue Waje Infraschall).

Auch tritt Infraschall bei laufenden Luftwärmepumpen, Erdwärmepumpen, Tiefkühlschränken, Großgeräten, an Eisenbahntrassen sowie im Baubereich, z. B. Generatoren, in unterschiedlichen Ausmaßen auf.

Eine Sonderform ist der Infraschall ausgelöst durch Windradanlagen, da diese gepulst sind. Die Pulsung entsteht durch das Vorbeistreichen des Windrades am Mast - dadurch werden große Luftdruckänderungen verursacht. An der Spitze eines WindradÄgels entstehen Riesenkräfte durch die hohen Geschwindigkeiten, die bis zu 400 km/h betragen können. Diese Frequenzspitzen spielen bei der Wahrnehmung des Infraschalls eine große Rolle, da diese unerwartet auftreten. Auch Gehörlose können Infraschall wahrnehmen, gerade hier findet die Wahrnehmung über den Körper statt (z. B. Bässe in der Disco).

Seit dem Jahr 2005 betreibt die BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) neben den Infraschallstationen I26DE und I27DE zur Überwachung des Kernwajenteststopps eine Infraschallstation IGADe nördlich von Bremen. Diese Station mit 4 festinstallierten Mikrobarometern dient als Teststation und erhebt seit mehr als 10 Jahren kontinuierlich Infraschalldaten.

Aufgrund ihrer Lage in Norddeutschland befindet sich die Station in naher Umgebung zu einer wachsenden Anzahl von Windkraftanlagen mit Abstand von 4 bis 20 km. Letztendlich kommt die BGR zu dem Schluss, dass durch die Windräder der eigentliche Sinn und Zweck der Überwachung des Kernwajenteststopps nicht mehr möglich ist, da die Windräder dauerhaft in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit die Messungen stören. Also wird hier klar dokumentiert, dass Infraschall existiert und bis zu mindestens 10 km messbar ist. Außerdem gibt es noch Zusammenhänge mit der Zahl der Windkraftanlagen sowie mit der Höhe der Windräder (62).

Es muss darauf hingewiesen werden, dass es gerade in Bezug auf Windkraftanlagen politisch nicht erwünscht ist, die Ausbreitung von Infraschall anzuerkennen. Der Zusammenhang Abstand der Windkraftanlagen und Höhe des Windrads zur Wohnbebauung ist ein Streitfaktor. Bei einer Ausbreitung des Infraschalls über bis zu 10 km sind die Abstände zwischen 500 m und 1000 m sicher problematisch.

Die Initiative „Ärzte für Immissionsschutz (AEFIS)“ sowie das „Ärzteforum Emissionsschutz Bad Orb“ haben schon seit 2014 diverse Appelle, u. a. auch an den Bayerischen Minister, geschrieben und ausführlich auf die gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen hingewiesen. Immerhin gelten seit her in Bayern andere Abstandsregelungen als im Rest Deutschlands. Es gilt dort die 10 v. H.-Regel - der Abstand wird in Bezug auf die Höhe des Windrads berechnet - je höher das Windrad umso größer sollte der Abstand sein. Zurzeit werden im Süden Deutschlands Windräder mit einer Höhe bis circa 250 m gebaut.

Physiologie und Pathophysiologische Vorgänge bei Infraschall und Körperschall:

Wie wird Infraschall wahrgenommen?

Die langwelligen Infraschallwellen werden über den Gehörgang in den otovestibulären Apparat geleitet und reizen in der Cochlea die Basalmembran und verursachen je nach Elastizität ein Bewegungsgefühl.

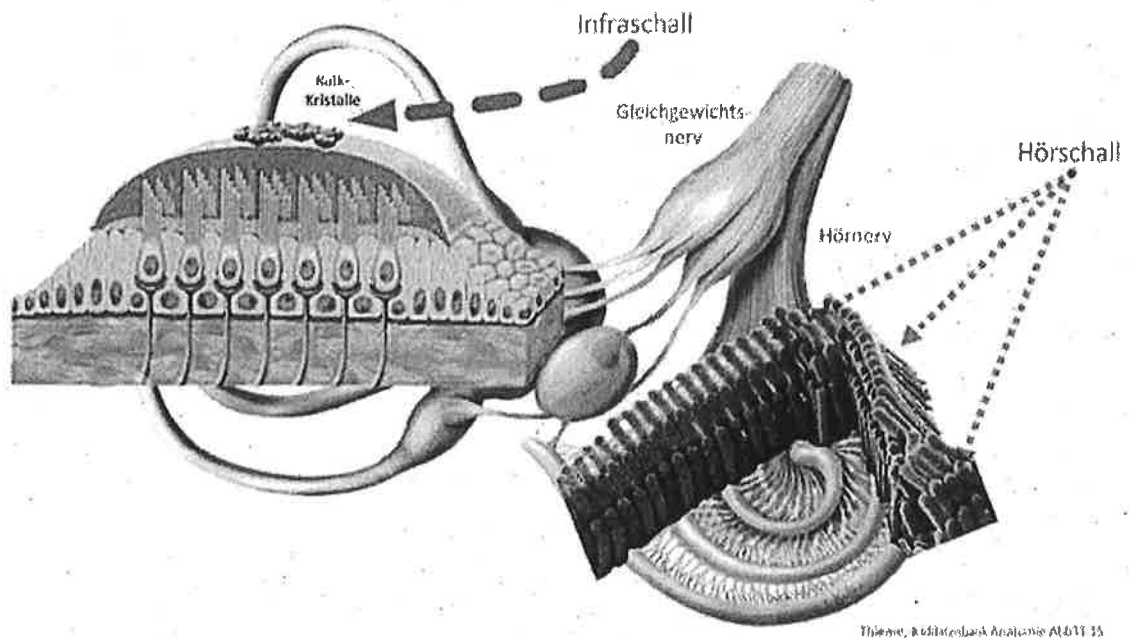
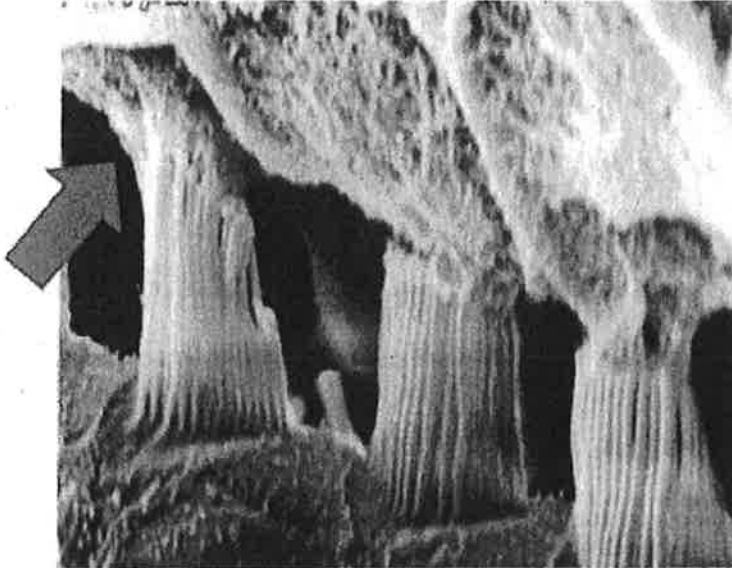


Abb. 2 Prof. Roos

Der Infraschall führt zu einer Bewegung der Kalkkristalle auf der Basalmembran und somit zu einer Reizung und Signalauslösung (s. Abb. 2).

Bei Langzeitexposition führt dies u. a. zu bleibenden Schäden am Ohr, da die Stereozillien und die Tectorialmembran miteinander verkleben (Abb. 3)

Bleibende Schäden im Ohr!



Verklebte und mit der Tectorialmembran verklebte Stereozillien des Corti Organs bei Ratten nach 4399h Infraschalleinwirkung

Vibracoustic disease: Biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransducter cellular signalling
Mariana Alves-Pericóla, Nuno A. Castelo Branco

Abb. 3

Es wird also nicht vorwiegend das Gehör aktiviert, sondern vor allem auch das Vestibuläre System und dies verursacht Anpassungen im Bereich der Propriozeption - teilweise unbewusst - aber dann auch bewusst mit den im folgenden beschriebenen Symptomen.

Des Weiteren werden über die Gehörbahn Teile im Cortex und im Zwischenhirn gereizt. Hierzu gibt es neueste Forschungen, die eine Reizung des rechten oberen Schläfenlappens (primär auditor. Cortex), des anterioren Cingulums (ACC) sowie der Amygdala bei Exposition von Infraschall in MRT-Bildern nachweisen können.

Bei Einwirkung von Infraschall unter der Hörschwelle werden diese 3 Bezirke gereizt, bei Einwirkung oberhalb der Hörschwelle verschwindet die Aktivierung (Abb. 4).

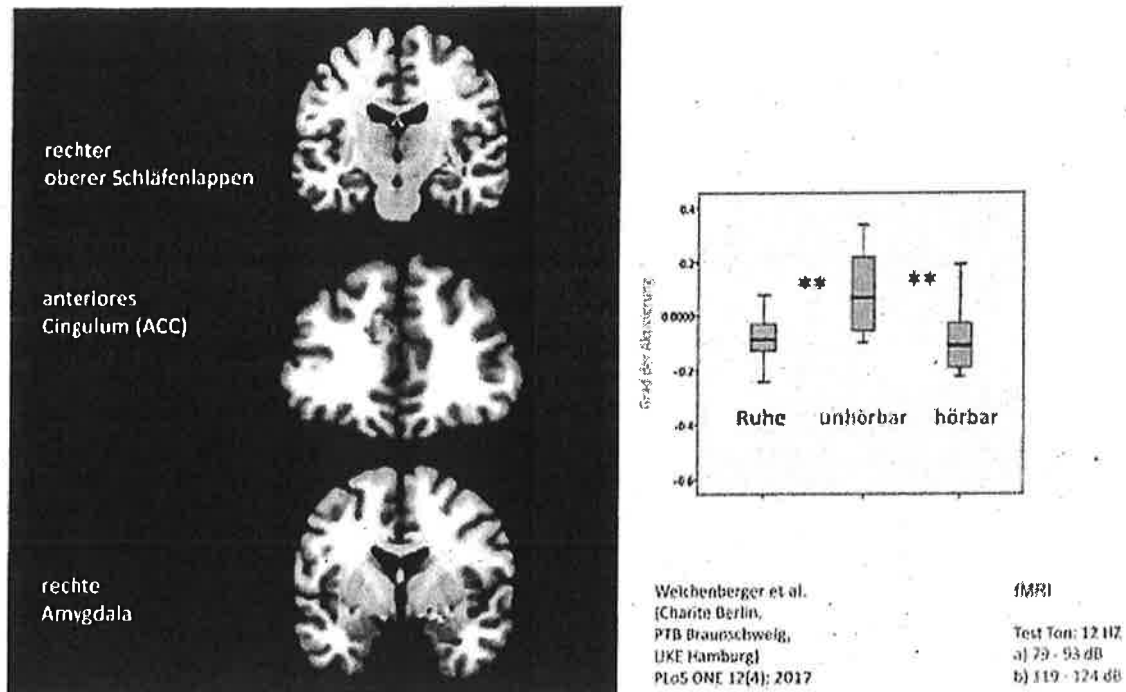
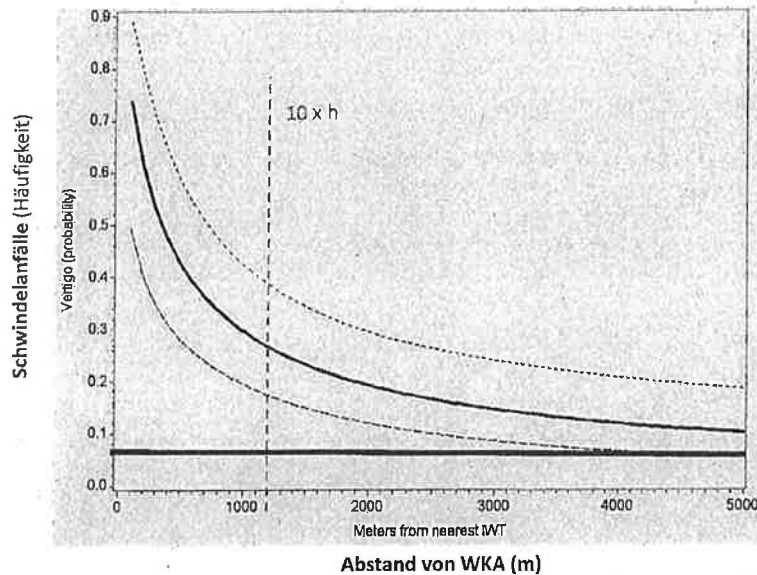


Abb. 4

Der primär auditor. Cortex reguliert das Hören, das anteriore Cingulum ist für die Blutdruckregelung zuständig und das Amygdala für Gefühle wie Angst und Depression. Hierdurch ist auch erklärlich, dass die Betroffenen anfänglich relativ unspezifische Symptome wie Unwohlsein oder auch Angst und Depression beschreiben.

Eine weitere Studie aus Australien hat Schwindelanfälle in Bezug auf den Abstand von Windfarmen untersucht. Es wurden 394 Personen untersucht. Die Zahl der Schwindelanfälle korreliert eindeutig mit der Nähe zu den Windfarmen. Und erst bei einem Abstand von über 5000 m waren alle Probanden schwindelfrei. Die Windräder hatten hier nur eine Höhe von max. 129 m.

Schwindelanfälle - ein früher Indikator für Infraschall-Empfindlichkeit



8 Windfarmen, >10 WKA
1,5 – 2,3 MW
h = 110-129 m

396 Personen
untersucht

Quelle:
Claire Paller, Thesis MSc in
Health studies and Gerontology
University of Waterloo
Ontario, Canada, 2014

Abb. 5

Eine weitere Studie aus Australien stellt einen eindeutigen Zusammenhang von Frequenzspitzen im Infraschallbereich und gesundheitlichen Beschwerden her (63).

Allerneueste Hinweise (März 2018) kommen aus Mainz. In einer experimentellen Studie an Herzmuskelgewebe, das direkt mit Infraschall beschallt wurde, konnte eine 20 % Reduktion der Kontraktilität nachgewiesen werden (64). Der Infraschall wirkt wie ein Störsender für das Herz. Es folgen weitere klinische Studien.

Komplizierend zur alleinigen Auswirkung von Infraschall muss immer auch der durch Vibration entstehende Körperschall berücksichtigt werden. Vibrationen stellen dort, wo sie mit hinreichender Stärke oder Dauer im Wohnbereich auftreten, ein ernstes Umweltproblem dar.

Das belegt z. B. die Auswertung von Messwerten, die im Rahmen von Lärmeingaben im Bundesland Brandenburg gewonnen wurden (65, 42, 45, 19).

45 % der Lärmeingaben betrafen Vibrationen im Wohnbereich. Quelle der Vibrationen waren zumeist Heizungspumpen und andere technische Gebäudeausrüstungen sowie Kühlaggregate und Ventilatoren in gewerbegenutzten Räumen.

Die Bewohner beklagten, dass die Belastung bei ihnen ein unangenehmes Gefühl in der Magengegend erzeugte, das nach kurzer Zeit zur Übelkeit führte. Als Ursache konnte das Zusammenwirken von leichten Vibrationen mit tiefrequenten Luftschallemissionen (stehende Wellen) ermittelt werden.

Grundlagenforschung hierzu wird seit 1987 durchgeführt und der Begriff des Vibroakustischen Syndroms geprägt. Hierzu gibt es unzählige Studien (42, 43, 45, 56, 41).

Dieses Vibroakustische Syndrom (VAD) wurde bei Flugzeugtechnikern, Kabinenpersonen, Verkehrspiloten und Militärpiloten sowie bei Schiffsmaschinenisten beobachtet. Letztendlich ist hier eine Berufserkrankung zu erkennen.

In Autopsien und neuerdings auch durch Echokardiographie wurden Herzwandverdickungen im Sinne einer Kardiomyopathie, Gefäßwandverdickungen sowie Perikardverdickungen ohne entzündliche Veränderungen festgestellt. Ursache ist eine Kollagenzunahme.

Außerdem hatten die erkrankten Patienten Depressionen, ein erhöhtes Aggressionspotential, isolierten sich sozial und ihre kognitiven Fähigkeiten waren massiv eingeschränkt (42, 43). Vereinzelt kam es zu epileptischen Anfällen.

Zusätzlich wurden Zusammenhänge mit einem erhöhten Krebsrisiko festgestellt (42, 43). In der Zusammenfassung dieser Studie wird klar ausgedrückt, dass VAD eindeutig eine umweltmedizinische Erkrankung ist und dass es unethisch sei, diesen Status quo so zu belassen.

Im Kompendium Flugmedizin 2017 wird ein ganzes Kapitel (Nr. 4) der Vibration und deren EinAuss auf den Körper gewidmet.

Die Analyse des menschlichen Körpers als mechanisches System zeigt, dass er als relativ kompliziertes System von Masse-Feder-Teilsystemen interpretiert werden kann.

Jedes Teilsystem hat seine eigene Resonanzfrequenz und die Wechselwirkung zwischen den Teilsystemen hängt zusätzlich von der Körperhaltung ab (sitzen, liegen, ETC).

Die Schulterpartie hat eine Eigenfrequenz von 4 - 5 Hz, der Unterbauch von 4 - 8 Hz.

Legt sich jetzt ein Mensch in ein durch Körperschall niedrigfrequent schwingendes Bett, so tritt ein Resonanzphänomen auf und diese Körperteile schwingen mit. Dieses Mitschwingen ist nur durch Aufwendung von Muskelspannung unterbrechbar, was nicht schlaförderlich ist.

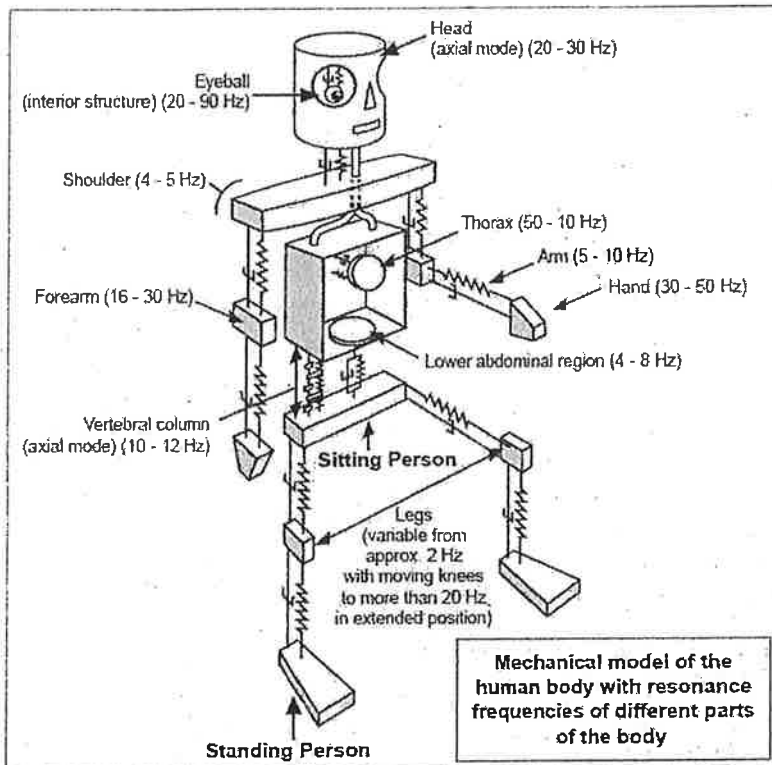


Abb. 6 - Kompendium Flugmedizin 2017

Infraschall und Körperschall treten so in Wechselwirkung. Zusätzlich erhöht Infraschall die Sensibilität für Körperschall und dieser wiederum senkt die Wahrnehmungsschwelle für den tieffrequenten Luftschall (4).

Klinische Relevanz - was sieht der Arzt/Therapeut?:

Vorab ist zu unterscheiden zwischen kurzfristigen und langfristigen Reaktionen sowie zwischen reversiblen und irreversiblen Schädigungen.

Er sieht einen Patienten mit einem zuerst diffusiven Beschwerdebild:

Schlafstörungen, Schwindel, Konzentrationsstörungen, Sehstörungen, Kopfschmerzen, Unwohlsein, Tinnitus oder Tinnitusverstärkung, Übelkeit, Ohrdruck. Dazu zunehmend Unsicherheitsgefühl, Ängste und depressive Verstimmung. Es kann zu EEG-Veränderungen kommen.

Später kommen hinzu Atemnot infolge Atemdepression, Bluthochdruck, Sauerstoffmangel, Durchblutungsstörungen, restless legs, Herzrhythmusstörungen, Belastungsdyspnoe, massive psychische Störungen mit erhöhtem Aggressionspotential, Depression und sozialer Isolation, Epilepsie, Lungenblutungen, Schlaganfall, Schlafapnoesyndrom, Kardiomyopathie, Perikardhypertrophie, Autoimmunerkrankungen wie Lupus erythematoses, Schilddrüsendysfunktion, Herzklappenverdickung, erhöhte Thrombozytenaggregation, fokale Lungenerkrankungen sowie Karzinome insbesondere im Lungenbereich. Wichtig sind die teilweise ausgeprägten psychischen Symptome.

Diese Aufzählung umfasst die Symptome des Windturbinensyndroms bzw. des Vibroakustischen Syndroms, codierbar als T52.G. = Schäden durch Vibration (42, 43, 70). Bisher ist noch keine einheitliche Terminologie gefunden, teilweise überlappen sich die Syndrome.

Das Vibroakustische Syndrom (VAD) wird durch Dr. Alves-Pereira 2007 benannt (43), das Windturbinensyndrom von Dr. Nina Pierpont 2009 (70). Voraussichtlich wird es mittelfristig zu einer Art Score kommen, um die Krankheit zu diagnostizieren, ähnlich wie bei der Fibromyalgie, und die beiden Syndrome zu einem zusammengefasst.

Oft nehmen die Beschwerden kontinuierlich zu, oft sogar am Wochenende. Wenn der Patient in den Urlaub fährt, können die Beschwerden reversibel sein und beginnen dann nach der Rückkehr neu. Man kann diese leicht missinterpretieren als Burnout-Erschöpfung.

Im weiteren Verlauf sind die Beschwerden nicht mehr reversibel, sondern münden in manifeste irreversible Erkrankungen. Abhängig ist dies von der Expositionsdauer, diese ist entscheidend!! Was geschieht im Hintergrund?

1) Zusätzlich zu den direkten otovestibulären und zerebralen Einwirkungen durch Infraschall kommt es konsekutiv zu körperlichen Stressreaktionen im endokrinen System mit vermehrter Cortisol- und Adrenalin-Ausschüttung. Dies führt zur Verschlechterung der Schlafstörungen, aber auch zur Hypertonie und Herzrhythmusstörungen. Mittelfristig folgen daraus eine Veränderung der zellulären Immunität mit TH1/ TH2 Dysbalance und irgendwann kommt es dann zur Nebennierenererschöpfung mit allen Symptomen der Nebenniereninsuffizienz (Abb. 8). Diese Vorgänge sind in der klinischen Umweltmedizin bekannt (Abb. 8).

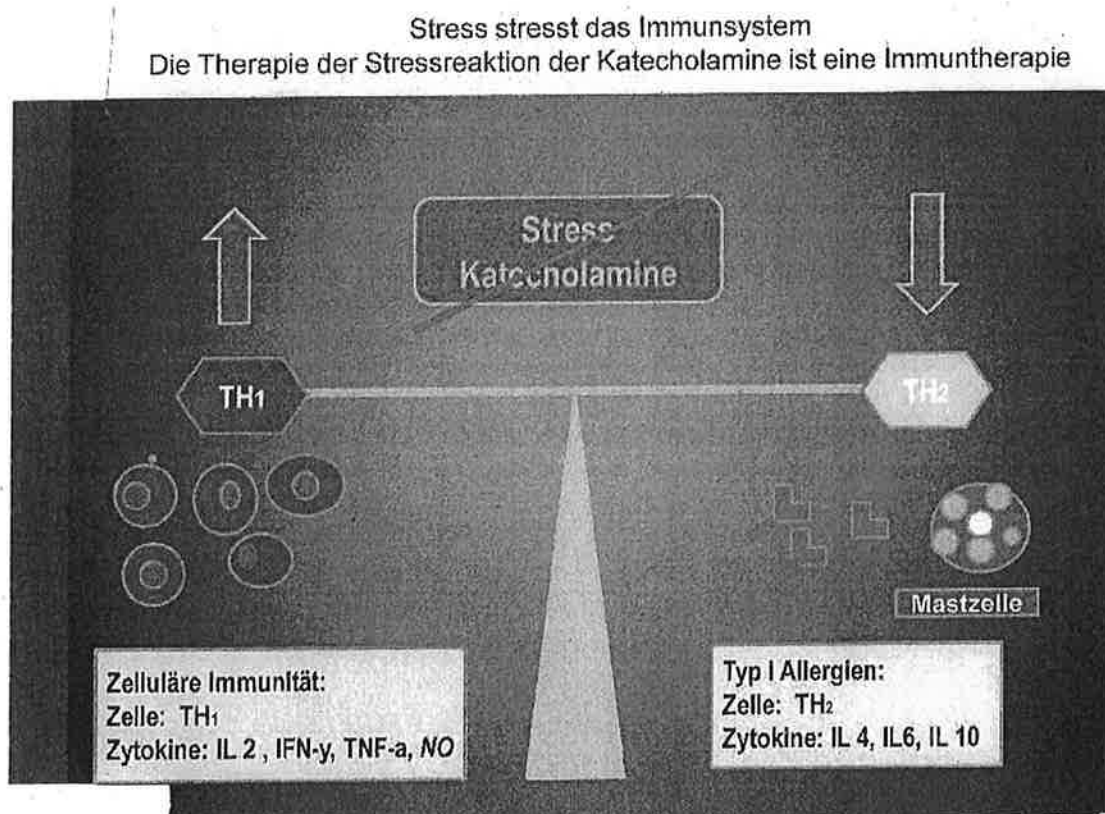


Abb. 7.- Dr. Kurt Müller, EUROPAEM

Durch den Einwirkung von Infraschall wird möglicherweise, wie auch bei elektromagnetischen Feldern, ein chronischer Entzündungsprozess im Sinne der silent Inflammation mit oxidativem Stress und Nitrostress unterstützt und dauerhaft unterhalten.

Der Organismus und Stoffwechsel reagieren sehr oft gleichförmig, es gibt nicht so viele Kompensationsmöglichkeiten wie wir vielleicht denken. Oft ist uns gar nicht bewusst, dass sich eine Noxe auf andere aufpfropft und diese interagieren. Die Studienlage diesbezüglich ist sehr komplex. Hierzu auch der Hinweis auf das Buch von Prof. Dr. Pall: Explaining „unexplained illness“. Hier werden die Zusammenhänge sehr gut erklärt.

Die komplexe Wechselwirkung Umwelt - Mensch

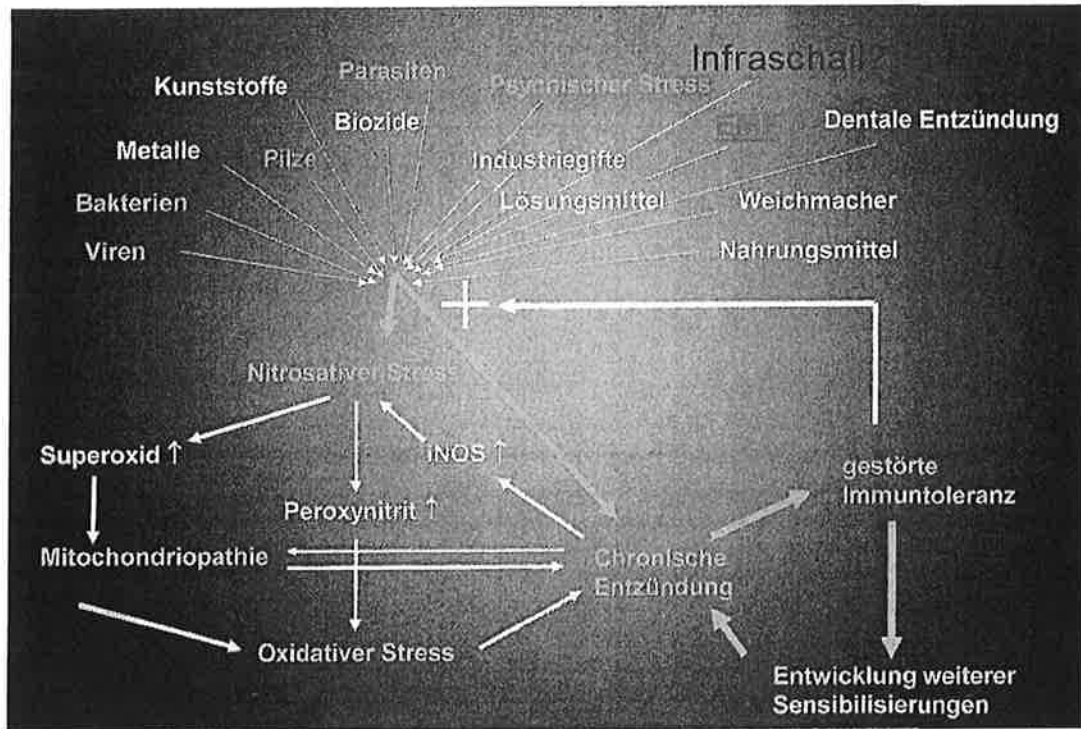


Abb. 8 - Dr. Kurt Müller, EUROPAEM

Gerade bei Noxen ohne Wahrnehmungsschwelle ist die Gefahr der Schädigung sehr groß.

2) Beim Vibroakustischen Syndrom sind ganz klar morphologische Veränderungen in der Aktin- und Tubulinstruktur der Gewebe zu finden. Es kommt zu einer bindegewebigen Proliferation ohne Entzündung. Dies ist autoptisch nachweisbar (42, 43), aber auch z. T. echokardiographisch.

Unbemerkt erkranken!



Noxen ohne Wahrnehmungsschwelle

Abb. 9 - Dr. Stiller, AEFIS

3) Weiterhin gibt es noch die direkten Einflüsse von Infraschall, z. B. auf die Herzmuskelzelle. Darauf wurde schon hingewiesen.

Das Leitsymptom sind die Ein- und Durchschlafstörung mit konsekutiver Tagesmüdigkeit und dem Gefühl des „Nichtausgeschlafensein,“. Diese tritt auch bei Kindern auf und ist auf Dauer gesundheitsschädigend.

Gerade die Langzeitexposition ist hier der entscheidende Risikofaktor. Es handelt sich um Langzeitprozesse mit einer chronischen Tendenz zur Verschlechterung

Oft ziehen die Menschen in den Keller, um sich zu schützen, wenn die Zusammenhänge erkannt werden. Allerdings bieten Wände leider keinen Schutz. Oft sind die Patienten hilflos ausgeliefert. Gerade Neugeborene, Kinder, Schwangere und ältere Patienten sind besonders betroffen. Auch Vorerkrankungen vermindern die Resistenz gegen diese physikalischen Phänomene. Insgesamt sind 15 - 30 % der Menschen betroffen.

Besonders zu erwähnen ist noch, dass arbeitsschutzrechtlich Schwangere einen Mindestabstand von 1000 m zu einer Infraschall-Quelle einhalten müssen zum Schutz der Schwangerschaft. Hier hat der Gesetzgeber schon reagiert.

Ein Zusammenhang mit Krebserkrankungen und auch mit plötzlichem Kindestod werden in der Literatur erwähnt. Gerade die Entstehung von Krebs ist als Folge der TH1/ TH2 Dysbalance in der Umweltmedizin eine nachvollziehbare und bekannte Stoffwechselentgleisung im Sinne der silent inflammation.

In diesem Jahr wird das Ergebnis einer Langzeitstudie aus Dänemark erwartet. Seit 2013 wurden am Kopenhagener Krebsforschungszentrum Kraefte/Bekampels Langzeitbeobachtungen bei Bewohnern in der Nähe von Windkraftanlagen durchgeführt. Ein Peer review liegt bereits vor. Es gibt keinen speziellen Labortest, ähnlich wie bei den Entitäten Fibromyalgie oder MCS oder CFS, sondern nur der schulmedizinisch bekannten Folgeerkrankungen.

Wie schon o. g. kann natürlich abnorme Proliferation der Matrix ohne Entzündung als beweisend für das VAD gelten.

Ganz klar handelt es sich hier um eine umweltmedizinische Folgeerkrankung durch eine externe Noxe, gegebenenfalls um eine BG-Erkrankung.

Insgesamt ist ein stetiger Abwärts-Prozess zu beobachten, der über Jahre läuft. Anfangs können die Menschen die Einwirkungen noch kompensieren, aber über Jahre hinweg wird dieser Zustand als unerträglich empfunden und die Kompensationsfähigkeit ist erschöpft. Es treten irreversibel Schädigungen auf (s.o.).

Entscheidend ist es, daran zu denken und die entsprechenden Fragen in seine Anamnese mit aufzunehmen.

Und da sind wir Ärzte gefragt, dies zu erkennen und gegebenenfalls diesem auch zu begegnen.

Was kann man tun?

Man kann die lokale Situation messen lassen vor Ort. Wichtig sind Innenraum-Messungen. Das belegt gerade auch die neueste dänische Studie (73). Dies ist nicht allgemein bekannt. Aber dadurch, dass Körperschall zur Vibration in den Räumen führt und sehr häufig die Situation im Haus/in der Wohnung ausgeprägter ist als außen, müssen zwingend Innenraum-Messungen durchgeführt werden. Inzwischen gibt es Firmen, die darauf spezialisiert sind und auch mobile Geräte haben.

Es ist zum Beispiel möglich, das Bett auf vibrationsabsorbierende Polster zu stellen, um diese abzumildern. Auch Nachtabschaltungen oder andere Geräteeinstellungen können helfen. Bei den Windrädern hilft nur die Distanz zum Windrad, je größer desto besser. Häufig verlassen die Menschen auch ihre Wohnungen, viele versuchen in Kellerräumen Ruhe zu finden. Je nach Messergebnis kann auch eine Nachtabschaltung der Windräder oder eine verlangsamte Windradgeschwindigkeit eingefordert werden. Allerdings ist dies oft ein langer Prozess und oft müssen diesbezüglich auch Gerichte bemüht werden. Natürlich wäre es ideal, wenn die entsprechenden DINs und die TA Lärm modernisiert würden zum Schutze der Menschen. Problematisch ist auch, dass niemand beweisen kann wie es zur Stunde null war. Zu überlegen ist deshalb, ob gerade in Bezug auf den Bau eines Windparks die betroffenen Hausärzte ein Stunde-null-Protokoll für Patienten dokumentieren. Es gibt diesbezüglich auch Fragebögen (72).

Als Schlussbemerkung möchte ich noch auf eine Stellungnahme des Gesundheitsamts Bremen hinweisen, in der doch relativ eindeutig zu Auswirkungen von Windkraftanlagen Stellung genommen wird und auch Zweifel geäußert werden an den Grenzwerten der TA Lärm und der verschiedenen DINs.

Das Fazit lautet: Aus gesundheitlicher Sicht gibt es noch verschiedene, nicht zufriedenstellend geklärte Fragestellungen. Somit ist nicht auszuschließen, dass es zukünftig durch neue Messmethoden beziehungsweise neue Erkenntnisse zu einer Neubewertung der Auswirkungen von Windenergieanlagen kommt. Daher ist hier bei der Errichtung der Anlagen eine sorgfältige Abwägung zu treffen, die vor dem Hintergrund eines vorsorgenden Gesundheitsschutzes seinen größtmöglichen Abstand zur Wohnbebauung vorsieht (1, 18 Referat Umwelthygiene, Gesundheitsamt freie Hansestadt Bremen, Auswirkungen von Windenergieanlagen - Informationen und fachliche Betrachtung aus Sicht des Gesundheitsamtes Bremen).

Autorin:

Dr. Dagmar Schmucker,
Internistin, Curriculum Klin. Umweltmedizin

Literaturverzeichnis:

- (1) Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), „Can you actually hear 'inaudible' sound? Limits of human hearing (infrasound and ultrasound) examined.“ ScienceDaily, ScienceDaily, 10 July 2015, www.sciencedaily.com/releases/2015/07/150710123506.htm,“ 2015.
- (2) Brandstätter et al., „Brandstätter, Peter, Dietmar Eckholdt, Michael Krämer, and Karlheinz Bay. „Robuste und abstimmbare Schalldämpfer in der Abluft von Fertigungs- und Heizungsanlagen.“ Bauphysik 26, no. 6 (2004): 305-314.,“ 2004.
- (3) Saccorotti G., Piccinini D., Cauch L., „Seismic Noise by Wind Farm: A Case Study from the VIRGO; Gravitational Wave Observatory, Italy; http://www.earthprints.org/bitstream/2122/6754/1/PP_BSSA_Saccorotti_et_al_2010.pdf,“ 2009.
- (4) Sueki et al., „Sueki, M., Noba, M., Nakagomi, M., Kubota, S., Okamura, A., Kosaka, T., ... & Yamada, S. (1990). Study on mutual effects of low frequency noise and vibration. Journal of low frequency noise & vibration, 9(2), 66-75.,“ 1990.
- (5) Cooper S. et al., „The Results of an acoustic testing program – Cape Bridgewater Wind Farm, 2014, <http://www.pacifichydro.com.au/english/our-communities/communities/cape-bridgewater-acoustic-study-report/>,“ 2014.
- (6) Bahtiarian M., Beaudry A., „Infrasound Measurements of Falmouth Wind Turbines Wind #1 and Wind #2; Prepared by: NOISE CONTROL ENGINEERING, LLC; www.noise-control.com,“ 2015.
- (7) Pedersen et al., „S. Pedersen, H. Møller, K. P. Waye, „Indoor measurements of noise at low frequencies – Problems and solutions“, J. Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 26 (4), 249-270, 2007.,“ 2007.
- (8) Ceranna L., Hartmann G., Henger M.: und Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, „Der unhörbare Lärm von Windkraftanlagen – Infraschallmessungen an einem Windrad nördlich von Hannover; http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Erdbeben-Gefahrungsanalysen/Seismologie/Kernwaffenteststopp/Verifikation/Infraschall/Quellen_Phaenomene/Feldmessungen/,“ 2008.

- (9) Ambrose S.E., Rand R.W., Krogh C., „Wind Turbine Acoustic Investigation Infrasound and Low-Frequency Noise – A Case Study.“ *Bulletin of Science, Technology & Society* 32, no. 2 (2012): 128-141., Ambrose, Stephen E., Robert W. Rand, and Carmen ME Krogh.,“ 2012.
- (10) Styles P., Westwood R.F., Toon S.M., Buckingham M, „Monitoring and Mitigation of Low Frequency Noise from Wind Turbines to Protect Comprehensive Test Ban Seismic Monitoring Station. In: Fourth International Meeting on Wind Turbine Noise, Rome Italy 12-14 April 2011,“ 2011.
- (11) Ambrose S.E., Rand R.W., Krogh C., „Falmouth, Massachusetts wind turbine infrasound and low frequency noise measurements; *Internoise 2012*,“ 2012.
- (12) Kelley N.D., „A Proposed Metric for Assessing the Potential of Community Annoyance from Wind,“ 1987.
- (13) Hubbard, H. & Shepherd, K., „The Helmholtz Resonance Behavior of Single and Multiple Rooms, NASA/CR-178173, Hampton, VA: NASA Langley Research Center (September 1986),“ 1986.
- (14) Walker, B., Hessler, G., Hessler, D. und Rand, R., Schomer, P., „A Cooperative Measurement Survey and Analysis of Low Frequency and Infrasound at the Shirley Wind Farm in Brown County, Wisconsin,“ 2012.
- (15) Pedersen E., Forssen J., Wayne K.P., „Human Perception of Sound from Wind Turbines.,“ 2010.
- (16) DIN 45680, „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft,“ Ausgabe März 97.
- (17) Simmons C., „Measurement of sound pressure levels at low frequencies in rooms. Comparison of available methods and standards with respect to microphone positions“, *Acta Acustica*, 85 (1),88-100, 1999.,“ 1999.
- (18) Jakobsen J., „Lavfrekvent støj. Infralyd og vibrationer; Rumakustiske forhold ved lave frekvenser“, *Rapport AV67/96, Delta Akustik & Vibration*, 1996.,“ 1996.
- (19) Amberg et al., „Amberg, PW; Bennerhult, O; Eberhardt, JL (1990): Sleep disturbances caused by vibrations from heavy road traf c. *JASA; VOL: 88 (3); 1486-1493*,“ 1990.

- (20) Okazaki R. et al., „R. Okazaki, H. Kajimoto, and V. Hayward. Vibrotactile Stimulation Can Affect Auditory Loudness: A Pilot Study. Proceedings of EuroHaptics2012 (Tampere, Finland, June 12-15, 2012), Lecture Notes in Computer Science, 7283:103-108, Springer, June 2012.“ 2012.
- (21) Dehnke, F., „Verortung publizierter, physiologischer Wirkungen* durch IS/LFN-Belastungen nach Frequenz u. Pegel, *zwischen 1967-2015 veröffentlicht, veröffentlicht 06. Oktober 2015 – zur Einspruchsberatung der DIN45680 Neufassung,“ 2015.
- (22) Hammann, E., Hau, C.L.V., Wong, K.S., Kwok, K. and Macellari, V.G., „Vestibular modulation of muscle sympathetic nerve activity by the utricle during sub-perceptual sinusoidal linear acceleration in humans. Experimental brain research, 232(4), pp. 1379-1388.“ 2014.
- (23) Ryu et al., „Ryu, Jongkwan, Hiroshi Sato, Kenji Kurakata, and Yukio Inukai. „Hearing thresholds for low-frequency complex tones of less than 150 Hz.“ Noise notes 10, no. 4 (2011): 29-40.“ 2011.
- (24) Goldstein et al., „Goldstein, Robert, and Leslie B. Rodman. „Early components of averaged evoked responses to rapidly repeated auditory stimuli.“ Journal of Speech, Language, and Hearing Research 10, no. 4 (1967): 697-705.“ 1967.
- (25) Watanabe et al., „Watanabe, Toshio, and Shinji Yamada. „Study on perception of complex low frequency tones.“ Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 21, no. 3 (2002): 123-130.“ 2002.
- (26) Dallos, P., „The active cochlea.“ The journal of neuroscience 2, no. 12 (1992): 4575-4585.“ 1992.
- (27) Lagemann et al., „Lagemann, Lothar, Hidehiko Okamoto, Henning Teismann, and Christo Pantev. „Involuntary monitoring of sound signals in noise is reflected in the human auditory evoked N1m response.“ PloS one 7, no. 2 (2012).“ 2012.
- (28) Matsumoto et al., „Matsumoto, Yasunao, Yukio Takahashi, Setsuo Maeda, Hiroki Yamaguchi, Kazuhiro Yamada, and Jishnu Subedi. „An investigation of the perception thresholds of band-limited low frequency noises: influence of bandwidth.“ Noise notes 3, no. 2 (2004): 12-21.“ 2004.
- (29) Ambrose S.E.; Rand R.W., „The Bruce McPherson Infrasound and Low Frequency Noise Study; Adverse Health Effects Produced By Large Industrial Wind Turbines Confirmed; <http://randacoustics.com/wind-turbine-sound/wind-turbines-published-articles/the-bruce-mcpherson-ilfn-study/>“ 2011.

- (30) Nissenbaum, M, Aramini, J, Hanning, D, „Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health; Noise and Health International Journal, September-October 2012.“ 2012.
- (31) Moeller H., Pedersen C. S., „Hearing at low and infrasonic frequencies. Noise Health 2004; 6:37-57,“ 2004.
- (32) Machbarkeitsstudie Infraschall, „Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall, Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Ermittlung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen, Texte 40/2014, Umweltbundesamt,“ 2014.
- (33) Schust M., „Effects of low frequency noise up to 100 Hz.“ Noise and Health 6, no. 23 (2004): 73.,“ 2004.
- (34) Wysocki et al., „Wysocki, K.; Schultz, K.; Wieg, P. (1980) Experimentelle Untersuchungen zum Einfluß von Infraschalldruck auf den Menschen (Experimental studies of the influence of infrasonic noise on the human organism). Z. f. die ges. Hyg. und ihre Grenzgebiete 26 (6),“ 1980.
- (35) Ebner et al., „Approaches for a comprehensive determination and assessment of infrasound effects in Germany.“ Conference Paper DAGA 2013.,“ 2013.
- (36) Kameier – Infraschall, „Messung und Darstellung von Infraschall – abweichend von der DIN 45680, Frank Kameier, Fachhochschule Düsseldorf, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Fachgebiet Strömungstechnik und Akustik, Josef-Gockeln-Str. 9, 40474 Düsseldorf,“ DAGA Nürnberg, 2015.
- (37) Krahe, „Krahe, D. Deutung der Hörschwelle in Richtlinien zur Bewertung tieffrequenter Geräusche. DAGA 2015 – conference paper, 2015.“ 2015.
- (38) Salt, Alec N.; Lichtenhan, Jeffrey T., „Perception-based protection from low-frequency sounds may not be enough; internoise 2012,“ 2012.
- (39) Wayne et al., „EFFECTS ON PERFORMANCE AND WORK QUALITY DUE TO LOW FREQUENCY VENTILATION NOISE; Journal of Sound and Vibration (1997) 205(4), 467-474,“ 1997.
- (40) Ambrose, S, Rand, R und Krogh, C., „Falmouth, Massachusetts wind turbine infrasound and low frequency noise measurements: Proceedings of Inter-Noise 2012, New York, NY, August 19-22, 2012.“ 2012.

- (41) Salt Alec N., Hullar Timothy E., „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,“ 2010.
- (42) Alves-Pereira M., Branco C., „Clinical Protocol for Evaluating Pathology Induced by Low Frequency Noise Exposure; Euro Noise 2015,“ 2015.
- (43) Alves-Pereira M., Branco C., „Vibroacoustic disease: biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079610706000927>,“ 2007.
- (44) Schmidt M., Fa. Müller-BBM, „Forschungsprojekt zu Kurven gleicher Lautstärke nach DIN 45680, Abschlussbericht Nr. M111460/04 vom 30.03.2015,“ 2015.
- (45) Feldmann J., Jakob A., „Tiefrequenter Wohnlärm – Ursachen, Auswirkungen und Minderungsmöglichkeiten.; S. 97-98.; 2006;DAGA 2006- Braunschweig. Fortschritte der Akustik, Deutsche Gesellschaft für Akustik,“ 2006.
- (46) Dooley K.A., „Significant infrasound levels a previously unrecognized contaminant in landmark motion sickness studies; Journal of the Acoustical Society of America-2013,“ 2014.
- (47) Betke K. und Remmers H., „Messung und Bewertung von tiefrequentem Schall; DAGA98,“ 1998.
- (48) TA Lärm, „Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm),“ 2017.
- (49) DIN 4150 Teil 2, „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden,“ Juni 1999.
- (50) DIN 45645-1, „Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen, Teil 1: Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft,“ Juli 1996.
- (51) DIN 45680 Beiblatt 1, „Messung und Bewertung tiefrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft, Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen,“ Ausgabe März 1997.
- (52) BVerwG 4 C 2.07, „Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 29.08.2007, BVerwG 4 C 2.07“.

- (53) BImSchG. „Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz); Aktuelle Fassung“.
- (54) Piorr D., Engelen J., Ahlhaus, „Messtechnische Untersuchung der Schallausbreitung hoher Windenergieanlagen, Lärmbekämpfung Bd. 10(2015) Nr. 6, November 2015,“ 2015.
- (55) LANUV NRW –Schalltechnischer Bericht, „Schalltechnischer Bericht der erweiterten Hauptuntersuchung zur messtechnischen Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen für Geräusche von hohen Windenergieanlagen zur Nachtzeit und Vergleich der Messergebnisse mit Ausbreitungsberechnungen nach DIN ISO 9613,“ Auftraggeber LANUV NRW, Forschungsvorhaben Nr. 14 1446 11-2 vom 11.11.2014, Uppenkamp & Partner-Sachverständige für Immissionsschutz, Essen, 2014.
- (56) J. Feldmann, A. Jakob, „Tiefrequenter Wohnlärm – Ursachen, Auswirkungen und Minderungsmöglichkeiten.; S. 97-98.; 2006;DAGA 2006- Braunschweig. Fortschritte der Akustik, Deutsche Gesellschaft für Akustik,“ 2006.
- (60) Spiegel-online, 30.09.2017 – wie Schallwellen funktionieren
- (61) Die Zeit online, 1968, Ausgabe 5; Neue Welle Infrasschall
- (62) BGR.bund.de. 1.4.04-31.12.16, der unhörbare Lärm von Windkraftanlagen.
- (63) Steven Copper, The results of an acoustic testiert Programm cape Bridgewater wind farm. Street, melbourn VIC 3000, Hatte, 26. Nov. 2014.
- (64) Arbeitsgruppe Infrasschall. Klinik für Herz, Thorax- und Gefäßchirurgie der Universität Mainz. Dr. Rayan Chabari, Dr. Ahmed Ghazy, Hazem El Beyrouti; Dr. Katja Bauschmann, Dr. Lene Brendel. Prof. Christin Friedrich Vahl. www.allgemeinezeitung.de/lokales/mainz/nachrichten-main/stoersender.
- (65) Findes et al., 2004. Disturbing effects of low frequency sound immersions and vibration in residential buildings. Noise and Health 6(23,29-35).

- (70) Nine Pierpont, Windturbinensyndrome, a report on a natural Experiment, Santa Fe/New Mexiko, selected books 2009.
- (71) Dr. Martin Pall, Explaining „unexplaines illnes“, Illinois, Harrington Park.04.
- (72) www.oper-windwahn.de
- (73) www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2950596