

# Beurteilung der Infraschall-Diskussion aus Sicht eines Biologen

Eine kritische Aufarbeitung

von Dr. Wolfgang Müller

## Zusammenfassung

Mit den modernen Windenergieanlagen (WEA) sind völlig neue Faktoren in die Umwelt von Mensch und Tier gekommen: langanhaltende, periodische Infraschallsignale, die eine ganz Gegend erfüllen. Das rhythmische Pulsieren des Infraschalls der WEA's hebt sich deutlich von allen anderen Formen ab und beinhaltet das Potential zu erheblichen Beeinträchtigungen.

Aus politisch-ideologischen Gründen wird der Standpunkt vertreten, dass von den Emissionen der WEA's weder eine Beeinträchtigung noch eine Gefährdung der Gesundheit der Anwohner ausgeht. Ich lege erstmals Gegenargumente aus Sicht der Biologie vor.

Die A-Bewertung – dB(A), der Standard für die Immissionsgrenzwerte und die Immissionsprognose nach TA Lärm ist nicht dazu ausgelegt, Schall von Windkraftanlagen zu messen.

Eine der großen Verständnisschwierigkeiten, welche die gesamte Infraschall-Diskussion erschwert liegt im Wort >Infraschall< selbst, weil bei großen Wellenlängen der Schall kein Schall mehr ist. Der Mechanismus des „Hörens“ ändert sich zwischen 200 und 8 Hz fließend, hin zu einer auf ganz unterschiedliche Art perzipiertem und im Gehirn weiterverarbeitetem „Infraschall“. Andere Mechanismen der Perzeption treten in den Vordergrund, die nicht mit dem bewussten Wahrnehmen korreliert sein müssen.

Die Hörschwelle, bzw. Wahrnehmungsschwelle ist unter Realbedingungen der Immissionen überhaupt nicht maßgebend. Es handelt sich stets um Kombinations- und Wechselbelastungen von Hörschall, Infraschall und Körperschall! Die Luftschallphänomene interagieren mit dem menschlichen oder tierischen Körper, wenn eine mechanische Kopplung zwischen den auftretenden Druckschwankungen und den Geweben oder Gewebesystemen eintreten und lösen pathologische Reaktionen aus.

## Einleitung

Windenergieanlagen emittieren Infraschall. Darüber gibt es keinen Zweifel. Große Zweifel bestehen jedoch an der Art und Weise, wie damit in den Ländern mit forciertem Ausbau der Windenergie umgegangen wird.

Im Bericht über die Ergebnisse des Messprojekts 2013-2015 der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: „Tief-frequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen“ heißt es: „Der von Windenergieanlagen ausgehende Infraschall kann in der näheren Umgebung der Anlagen prinzipiell gut gemessen werden.“

Im Faktenpapier „*Windenergieanlagen und Infraschall*“ vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen heißt es: „Im Nahbereich von Windenergieanlagen können Infraschall-Pegel beobachtet werden, die sich vom Hintergrundgeräusch abheben.“

In der Veröffentlichung „*Windenergieanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit?*“ herausgegeben vom Bayrischen Landesamt für Umwelt und dem Bayrischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit steht nur: „*Zahlreiche Anlagen und Tätigkeiten des Menschen können neben dem hörbaren Schall auch hohe Infraschallpegel emittieren.*“

Im Land Schleswig-Holstein, mit der größten Dichte von Windenergieanlagen, verweist man lediglich auf das Bundesimmissionsschutzgesetz und die Genehmigungsverfahren zur Schallprognose, zur Einhaltung der TA Lärm und der DIN 45680, sowie auf den Ergebnisbericht aus Baden-Württemberg. Zit. aus „*Infraschall und Windkraftanlagen, Einleitung in das Thema*“ von Dipl.-Ing. Johannes Grützner, Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume.

## **Im Brennpunkt der Diskussion steht die Frage, ob der von Windenergieanlagen emittierte Infraschall die Gesundheit von Anwohnern beeinträchtigen kann oder nicht?**

An der Diskussion beteiligen sich bisher hauptsächlich die genannten Umweltministerien mit den zugehörigen Behörden zur Durchführung umweltpolitischer Gesetze. Sie vertreten aus politisch-ideologischen Gründen den Standpunkt, dass von den Emissionen der Windenergieanlagen weder eine Beeinträchtigung noch eine Gefährdung der Gesundheit der Anwohner ausgeht. Würden die zuständigen Behörden die Klagen der vom WEA-Syndrom betroffenen Menschen ernstnehmen, akzeptieren und angebrachte Mindestabstände zwischen WEA's und Siedlungsgebieten einräumen, wäre die Diskussion überflüssig. Das tun sie aber nicht. Sie überlassen die Beweisführung den schon betroffenen bzw. den möglicherweise durch geplante Anlagen in Zukunft betroffenen Bürgern. Sie berufen sich dabei sowohl auf das Bundesimmissionsschutzgesetz mit der zugehörigen sechsten Verwaltungsvorschrift Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA-Lärm und die Norm DIN 45 680, als auch auf die Ergebnisse des LUBW-Messprojektes 2013-2015.

**Sie ignorieren dabei die darin enthaltenen gravierenden Mängel!**

Dagegen protestieren die unter dem WEA-Syndrom leidenden Anwohner und 1026 zurzeit registrierte Bürgerinitiativen. Hinzu kommen Ärzte, die einzeln oder in Gemeinschaft argumentieren, wie z.B. AEFIS: Ärzte für Immissionsschutz. Außerdem trägt eine große Zahl von Wissenschaftlern unterschiedlicher Fachgebiete weltweit durch ihre Forschungen Kenntnisse zum aktuellen Wissensstand bei.

## Ich lege erstmals Argumente aus Sicht der Biologie vor:

### 1 Wovon sprechen wir?

Wir hören Sprache, Töne, Klänge, Musik und Geräusche, und wir hören sie immer mit einer bestimmten Lautstärke. Das sind alles psychoakustische Begriffe. Die Psychoakustik behandelt Themen zur Schallwahrnehmung, zur subjektiven Beurteilung von Schall und zur möglichen Objektivierung der subjektiven Wahrnehmung. Die Schallwahrnehmung setzt das Durchlaufen der ganzen Reiz-Erregungskette im auditorischen System voraus, vom Trommelfell über das Mittelohr zum Innenohr und von da zu den aufsteigend verarbeitenden speziellen Zentren im Gehirn, der sog. Hörbahn, bis letztendlich zu den höchsten auditorischen Assoziationszentren im Gehirn, wo schließlich der Eindruck der Wahrnehmung von Schall entsteht. Die zugehörigen physikalischen Umweltgrößen sind Luftdruckschwankungen mit bestimmten Frequenzen, den sog. Schallwellen, gemessen in Herz, und distinkten Luftdruckwerten, dem sog. Schalldruck, gemessen in Pascal. Das Ohr, genauer gesagt das Trommelfell nimmt ausschließlich die Energie dieser physikalischen Parameter aus der Umwelt auf.

Die Primärprozesse der Perzeption am Sinnesorgan sind unbedingt sauber von den psychoakustischen Effekten zu trennen, und dürfen nicht, wie es leider immer wieder in der Argumentation der Befürworter der Windenergie passiert, vermischt werden!

Dem Ohr sind auf Grund seiner anatomischen und physiologischen Eigenschaften gewisse Grenzen gesetzt. Sind die Luftdruckschwankungen zu gering, lösen sie keine zugehörige Informationsübertragung in der Reiz-Erregungskette aus. Dann hören wir nichts. Erst ab einem bestimmten Schalldruck, der sog. Hörschwelle, entsteht ein psychoakustischer Höreindruck. Ist der Schalldruck zu groß, löst der Schmerz den Höreindruck ab, die Schmerzgrenze ist erreicht.

Die Frequenzen bestimmen die Töne, die Klänge und die Geräusche. Töne sind reine Frequenzen. Von Klängen spricht man, wenn den reinen Tönen

andere überlagert sind. Geräusch ist ein komplexer Mix. Frequenzen über 20 000 Hz bezeichnen wir als unhörbaren Ultraschall. Darunter erstreckt sich der Bereich des allgemeinen Hörschalls. Hierin liegt die Ton und Tonhöhenempfindung von Sprache und Musik. Ab einem Bereich zwischen 100 und 50 Hz spricht man von tieffrequentem Hörschall, wobei die Tonhöhenempfindung kontinuierlich abnimmt. Diese Abgrenzung zum übrigen Hörschall mit höheren Frequenzen ist sinnvoll, weil die zugehörigen Wellenlängen in die Größenordnungen der Umgebungsstrukturen, also in den Bereich von Metern und mehr, eintreten. Es ergeben sich dadurch abweichende Eigenschaften gegenüber dem sonstigen Hörschall, z.B. bei Resonanzen, bei der Schallabsorption, dem Durchdringungseffekt und der Übertragungreichweite. Schall der Frequenz 440 Hz (Kammerton a) besitzt eine Wellenlänge von 0,78 m; Schall der Frequenz 100 Hz von 3,4 m; Schall der Frequenz 1 Hz von 343 m und Schall der Frequenz 0,5 Hz bereits von 686 m. Zwischen 20 und 16 Hz beginnt der schwierige, fließende Übergang vom Hörschall zum Infraschall.

Aus dem riesigen Angebot an Umwelteinflüssen schneiden Lebewesen mittels ihrer Sinnesorgane nur das und gerade nur so viel heraus, wie für die Belange des Individuums und für das Überleben wichtig sind. (Konrad Lorenz). In Abb. 1 ist dieser Ausschnitt für das menschliche Hörvermögen dargestellt. Der farblich unterlegte Bereich zwischen Hörschwelle und Schmerzgrenze einerseits und den Frequenzbereichen Ultraschall über 20 000 Hz beziehungsweise Infraschall unter 20 Hz stellt den sog. Arbeitsbereich des Ohres dar. Schallreize, die mit ihrer Modalität (= Frequenz) und ihrer Energie (= Schalldruck), in diesen Arbeitsbereich fallen, nennt man adäquate Reize, alle anderen, die außerhalb liegen, inadäquate Reize. Das bedeutet, dass im Laufe der Evolution natürlich vorkommender tieffrequenter Schall und Infraschall keine besondere Rolle spielten. Erst die moderne Technik hat vermehrt Infraschall-Emissionen in die Umwelt gebracht.

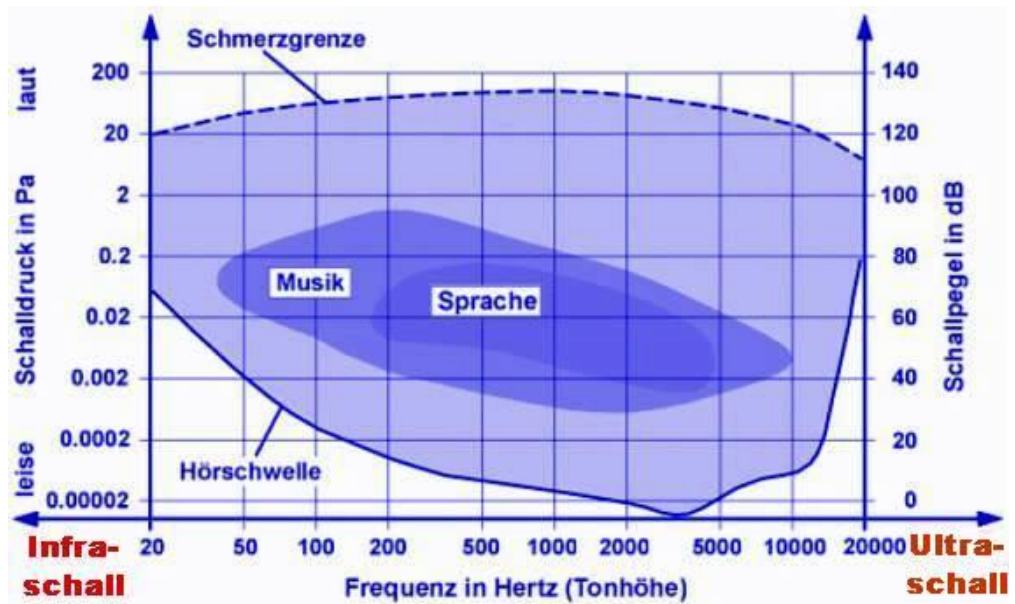


Abb. 1 Der Arbeitsbereich des menschlichen Ohres

Die Frage nun, ob dieser Infraschall auch gehört werden kann oder nicht, ist eine reine sinnesphysiologische, also biologische Frage. Aspekte der Psychoakustik, die im LUBW – Messbericht als Beweis für die Harmlosigkeit des Infraschalls herangezogen werden, sind hier fehl am Platze, weil sie sich nur darauf beziehen, wie Gehörtes empfunden wird, und nicht, ob Infraschall überhaupt und wenn ja über welche Primärprozesse perzipiert werden kann. Die kritischen, biologischen Fragen - Welche Parameter des Infraschalls könnten Menschen beeinträchtigen oder ihre Gesundheit gefährden? Welche Frequenzen, welche Schallintensitäten und welche Emissionsmuster könnten hierfür verantwortlich sein und in welchen Entfernungen treten sie noch auf? - stellen aber die Autoren nicht, obwohl sie Klarheit in die Diskussion über eine mögliche Beeinträchtigung bzw. Gefährdung der Menschen durch Infraschall bringen wollen.

Es steht außer Frage, dass nicht nur die Luftdruckschwankungen der hörbaren Frequenzen, sondern selbstverständlich auch die der Infraschallfre-

quenzen am Trommelfell ankommen und von dort über die Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel verstärkt an das Innenohr weitergeleitet werden.

Das komplex aufgebaute Innenohr liegt im knöchernen Labyrinth des Felsenbeines und ist mit einer Flüssigkeit, der sog. Perilymphe gefüllt. Es gliedert sich in das vestibuläre System, das Gleichgewichtsorgan und die Hörschnecke, die Cochlea. Das ovale und das runde Fenster trennen das Innenohr vom Mittelohr ab. Im ovalen Fenster inseriert beweglich die Fußplatte des Steigbügels. Schwingungen, die vom Trommelfell kommend über die Gehörknöchelchen weitergeleitet werden, werden auf die Flüssigkeit in der Schnecke übertragen. Die Schnecke wiederum ist ein Gang, der sich wie ein Schneckenhaus windet. Er gliedert sich in seiner ganzen Länge in drei parallel verlaufende Gänge. Der in der Mitte heißt Schneckengang, oder Scala media und enthält die Flüssigkeit Endolymphe. Darin eingebettet liegt das Corti'sche Organ, das eigentliche Hörorgan. ( Abb. 3) Auf einer Basilar-membran sitzen drei Reihen äußere Haarzellen und eine Reihe innere Haarzellen, den speziellen Hörsensorzellen oder Rezeptoren. Sie werden Haarzellen genannt, weil sie bis zu hundert sog. Zellhärchen tragen. Darüber liegt dachförmig die Tektorialmembran. Die Zellhärchen der inneren Haarzellen haben keinen festen Kontakt mit der Tektorialmembran, die der äußeren Haarzellen schon, jedoch auch nur die längsten. Dieses komplizierte Gebilde ist somit freischwingend zwischen dem darüber liegenden, als Scala vestibuli bezeichneten und dem darunterliegenden, als Scala tympani bezeichneten Gang aufgehängt. Die am ovalen Fenster auf die Perilymphe übertragenen Schwingungen versetzen nun das Corti'sche Organ ebenfalls in Schwingungen. Es führt entsprechend aller ankommenden Frequenzen einen regelrechten komplexen Tanz auf und bildet dabei wie auf einer Tonleiter hohe Frequenzen in der Nähe des ovalen Fensters, tiefere in Richtung Schneckenspitze fortschreitend als Schwingungsmaxima ab. (Abb. 4) Dabei stoßen die Mikrovilli, die Zellhärchen der Sinneszellen an die Tektorialmembran an und werden ausgelenkt. Dieser Vorgang wiederum bewirkt Molekularverschiebungen in der Zellmembran im Nanobereich und löst dadurch Nervenimpulse aus, die im Hörnerv weitergeleitet werden. Die inneren Haarzellen sprechen auf Frequenzen ab 200 Hz aufwärts an und ihre

Nervenimpulse werden im Gehirn zum Höreindruck verarbeitet. Die äußeren Haarzellen erfüllen zunächst einen anderen Zweck. Sie verstärken und kontrastieren die Wellenbewegungen des Corti'schen Organs. Zudem geht man davon aus, dass sie auch auf Frequenzen unterhalb 200 Hz bis in den Infraschallbereich hinein reagieren können, weil sie direkten Kontakt mit der Deckmembran haben.

Die Abb. 2, 3, u.4 erläutern zum besseren Verständnis die schwierigen Verhältnisse.

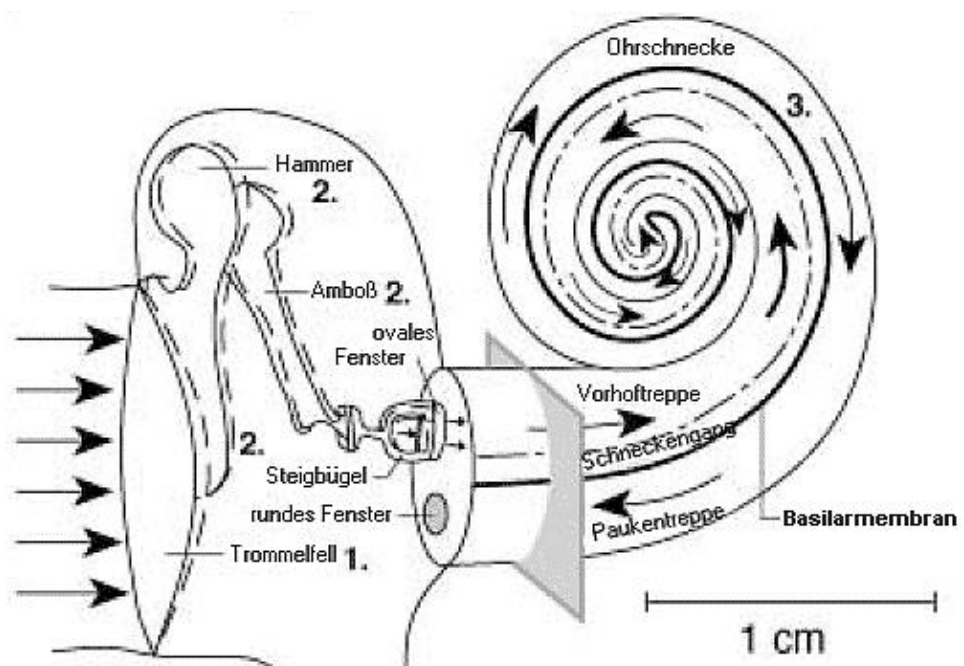


Abb. 2 zeigt wie die Luftdruckschwankungen am Trommelfell über die Gehörknöchelchen zu Schwingungen in der Hörschnecke führen.



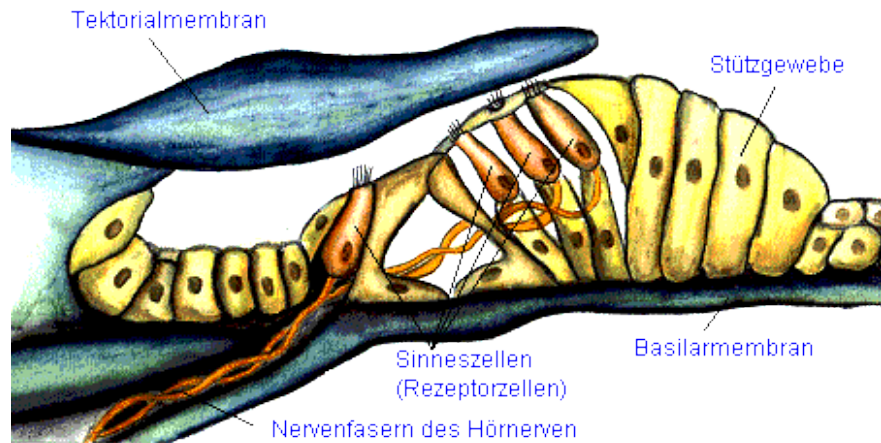


Abb. 3 zeigt die inneren und äußeren Haarzellen = Sinneszellen und Nervenfasern, die zum Gehirn führen in oranger Farbe.

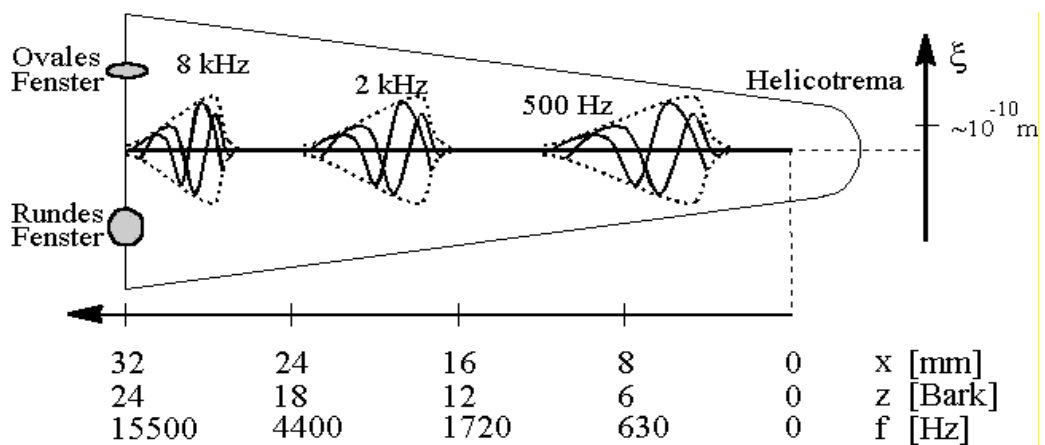


Abb. 4 Schwingungseigenschaften des Corti'schen Organs, abhängig von der Wellenlänge.

## 2 Tieffrequenter Schall und Infraschall

Welche Schallfrequenzen werden nun definitiv von den Windenergieanlagen emittiert? Die niedrigste Frequenz, die im LUBW-Messbericht angegeben wird, beträgt 1 Hz, die höchste 10 000 Hz. Nach Aunio aus Finnland und anderen Literaturangaben emittieren die WEA's bereits ab 0,1 Hz, wie aus Abb. 5 deutlich hervorgeht. Wir haben es also mit folgenden Umweltphänomenen zu tun: Dem Lärm im hörbaren Bereich und den Luftdruckschwankungen im tieffrequenten Bereich. Dieser wiederum gliedert sich in tieffrequenten Hörschall, einen relativ großen o.g. Übergangsbereiches von ca. 20 bis ca. 8 Hz und dem tatsächlichen unhörbaren Infraschall. Alle Übergänge sind fließend.

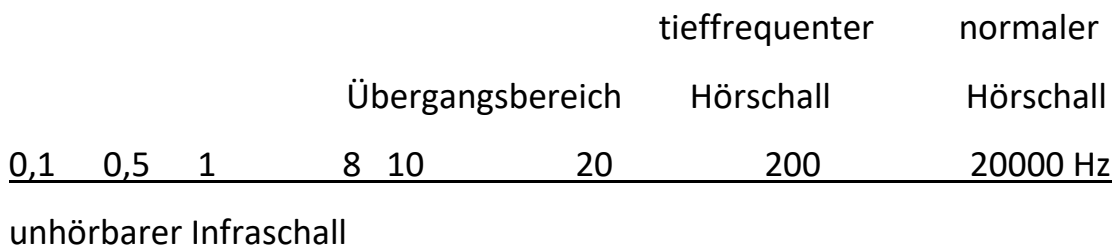


Abb. 5 Einteilung der Frequenzbereiche.

Nun ist schon längst bekannt, dass Infraschall und tieffrequente Geräusche aus vielen Quellen stammen können. Man unterscheidet natürliche Quellen von technischen. Die Brandung des Meeres, hoher Seegang, Schnee- und Gerölllawinen, Wasserfälle, Gewitter, Donner, Stürme und Unwetter, Erdbeben, auch Vulkane werden genannt. Die technischen Quellen werden immer in erster Linie mit Straßenverkehr, Autobahn, Flugverkehr, Lautsprechersystemen, und lauter Musik angegeben. Der LUBW-Messbericht stellt auch Pegelmessungen an verschiedenen innerstädtischen Messpunkten

vor, inclusive in städtischen Wohnräumen mit Lüftungsanlagen und Waschmaschinen, sowie an einer Autobahn, im Inneren eines fahrenden PKWs und in ländlicher Umgebung. Die gewonnenen Pegel werden routinemäßig mit der Wahrnehmungsschwelle verglichen. Das Nebeneinanderstellen von Messwerten reicht bei Weitem nicht aus! Es suggeriert, dass sich die Immissionen unterschiedlicher Herkunft nicht oder kaum voneinander unterscheiden, also auch nicht ausgesprochen schaden. Das ist aber nicht der Fall! Ein ernsthafter Vergleich hätte deutliche Unterschiede ergeben. Die Menschen haben schon vor dem Bau der Windenergieanlagen in verkehrsreichen Innenstädten gelebt, ihre Wäsche mit Waschmaschinen gewaschen und Discos besucht ohne die typischen Symptome des WEA-Syndroms zu zeigen.

Der von den Windenergieanlagen ausgehende Infraschall muss folglich Eigenschaften besitzen, die vorher nicht in der Umwelt vorhanden waren.

*„Barometrische Druckschwankungen können entweder symmetrisch relativ unverzerrt – oder äußerst unsymmetrisch, signifikant verzerrt sein. Eine symmetrische periodische Druckschwankung findet statt, wenn positive und negative Druckwerte um den gleichen Wert von dem Durchschnittswert abweichen“.* Nicht periodischer Infraschall kommt häufig in unserer natürlichen Umgebung vor, er ist total beliebig“ erklärt Dooley. In der Abb. 6a sehen wir ein Spektrogramm des Infraschalls einer WEA von 0 bis 5 Hz über 24 Stunden. Die Stärke des Infraschallsignals wird durch die Farbe wiedergegeben: Rot ist das stärkste Signal und nimmt über gelb zu blau ab. An den roten und gelben Linien ist deutlich die symmetrische, oder periodische Eigenschaft des immittierten Infraschalls bei 0,6, 1,2, 1,8 Hz etc. zu erkennen. Die Messung wurde bei einem Wohnhaus gemacht, das 1.37 km von der nächsten WEA entfernt war. In Abb. 6b ist dargestellt, dass zwischen 14 Uhr und Mitternacht ein starker Wind ein begleitendes Geräusch verursachte, gekennzeichnet durch Pfeil und Oval. Man kann keine Periodizität beim Infraschall des Windes erkennen, im Gegensatz zu dem der WEA, kleine weiße Pfeile im oberen Drittel. Außerdem kann man deutlich Unterbrechungen der Infraschallsignale an den blau erscheinenden Querbalken erkennen. Hierbei handelt es sich um kurzfristige Abschaltungen der Windenergieanlage um ca. 4 Uhr 30 sowie um ca. 6 Uhr und etwas länger, zwischen 7 Uhr

30 und 8 Uhr 45. **Noch nie zuvor, sagt Aunio, gab es diese Art von langanhaltendem, periodischem Infraschallsignal, das eine ganz Gegend erfüllt. Dieses rhythmische Pulsieren des Infraschalls der Windkraftanlagen hebt sich deutlich von allen anderen Formen ab und beinhaltet das Potential zu erheblichen Beeinträchtigungen.**

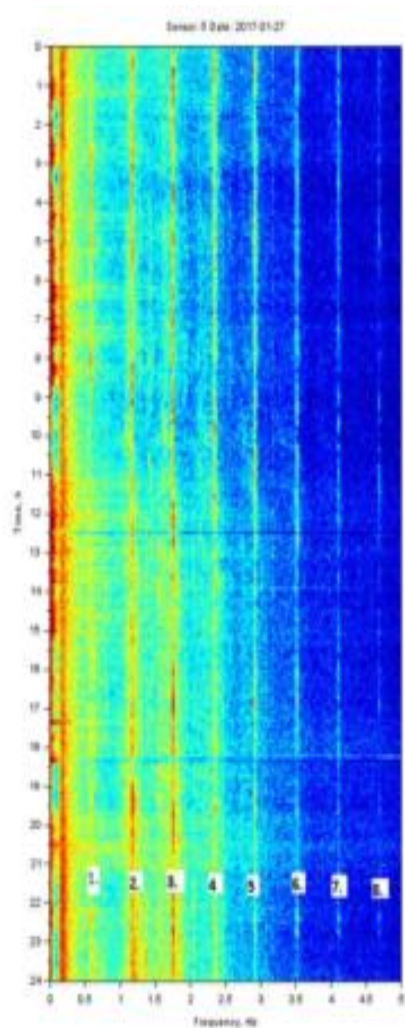


Abb. 6a

Spektrogramm des Infraschalls einer WEA von 0 bis 5 Hz über 24 Stunden.

Erklärung im Text

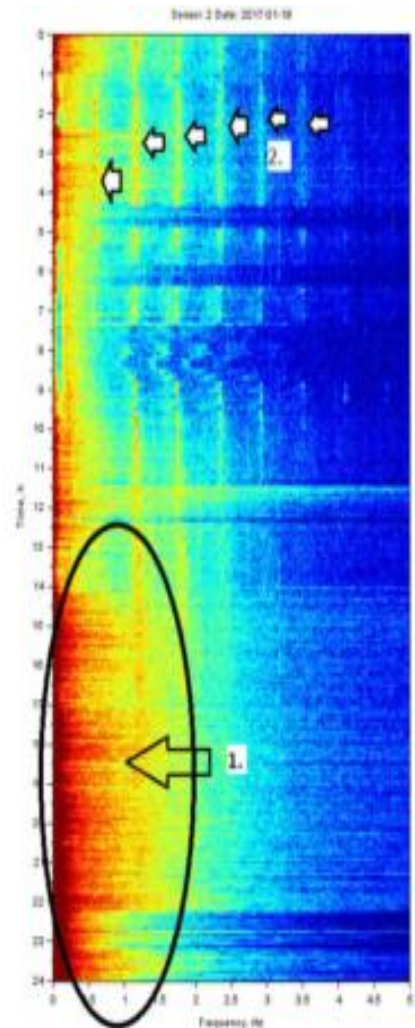


Abb. 6b

### 3 Lärm im hörbaren Bereich

Wenn man sich in der Diskussion nur auf den tatsächlich hörbaren Schall beschränkt, von ca. 20 Hz aufwärts, dann befinden wir uns sozusagen am Ende der Reizerregungskette. Wir bewegen uns auf psychoakustischem Terrain, denn für die Schallwahrnehmung ist die Psychoakustik, eine Teildisziplin der allgemeinen Akustik, zuständig. Sie kann auch die richtigen Antworten geben auf die Frage wie wirkt der Lärm psychologisch? Da sind die Aussagen über die Wahrnehmung des Schalls, ob angenehm oder unangenehm, ob störend oder schädlich, berechtigt. Ebenso, welche Auswirkungen auf die Gesundheit sind zu befürchten? Hier greifen sowohl die Norm DIN 45 680 (2013) als auch die Verwaltungsvorschrift TA Lärm. Der Entwurf 2013 der DIN 45 680 orientiert sich - so der Wortlaut der DIN - an der psychoakustischen Wahrnehmung tieffrequenten Luftschalls. Die Technische Anleitung dient dem Schutz der Allgemeinheit vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche sowie der Vorsorge gegen solche schädlichen Umwelteinwirkungen. Das Wort Wirkung verstehen wir in diesem Zusammenhang als erwünschten oder unerwünschten Endeffekt.

### 4 Der Übergangsbereich

Eine der großen Verständnisschwierigkeiten, welche die gesamte Infraschall-Diskussion erschwert liegt im Wort >Infraschall< selbst, weil bei großen Wellenlängen der Schall dann kein Schall mehr ist. Warum? Bei einer Frequenz von 1000 Hz, die im mittleren Sprachbereich liegt, (siehe ABB. 1) dauert ein Frequenzdurchlauf von Amplitude bis Amplitude, also vom Druckmaximum bis zum nächsten Druckmaximum, eben mal eine tausendstel Sekunde = 1 Millisekunde (ms). Zwischen den Tönen g (mit der Frequenz 391,99 Hz), und dem Kammerton a (440 Hz) und h (493,88 Hz) sind die Unterschiede noch geringer. Der Durchlauf der Schallwelle von Kammerton a ist nur um 0,3 ms schneller als der vom Ton g und der Ton h wiederum nur

0,3 ms schneller als der von a. Ein System, das so geringe Zeitunterschiede (und noch kleinere, weil die Zwischentöne gis und b nicht berücksichtigt sind) exakt abbilden kann, kommt bei tieffrequenten Tönen unweigerlich an seine Grenzen. Bei dem tiefen Ton von 20 Hz sind die beiden Luftdruckmaxima der Schallwelle bereits 50 ms voneinander getrennt. Absteigend erkennt das auditorische System immer weniger die Frequenzen (=Tonhöhen), sondern immer mehr nur noch einzelne Druckereignisse. Bei 10 Hz beträgt der Abstand schon 100 ms = 0,1 sec. Bei noch niedrigeren Frequenzen sind die Abstände noch größer und deutlicher.

Dies stimmt gut mit Befunden überein, die im Rahmen des von der Europäischen Union unterstützten „European Metrology Research Programm“ (EMRP) Projektes an der physikalisch Technischen Bundesanstalt Braunschweig 5/2015 gewonnen und veröffentlicht wurden. Ansprechpartner: Christian Koch. Versuchspersonen nahmen Infraschall zwischen 2 und 125 Hz nicht mehr als Töne, sondern nur noch „irgendwie“ wahr. „Das heißt, der Mensch nimmt dann eher diffus wahr, dass da irgendetwas ist und dass das auch eine Gefahr bedeuten könnte“, sagt Koch. In einem zweiten Schritt wurden den Ergebnissen dieser audiologischen Methode der subjektiven Wahrnehmung von Infraschall objektive Ergebnisse mit Hilfe der Magnetoencephalographie und der funktionalen Magnetresonanztomographie gegenübergestellt: Im Infraschallbereich konnte bis hinab zu einer Frequenz von 8 Hz in einigen Experimenten Hirnreaktionen auch für Stimuli mit Reizintensitäten unterhalb der Hörschwelle festgestellt werden, was auf eine unbewusste Wahrnehmung von Infraschall hindeutet. **Deshalb legen die Ergebnisse den Schluss nahe, dass sich der Mechanismus des „Hörens“ zwischen 200 und 8 Hz fließend ändern könnte, hin zu einer auf ganz unterschiedliche Art perzipiertem und im Gehirn weiterverarbeitetem Infraschall.** Dies deckt sich zum einen mit Befunden, nach denen Schall bei abnehmenden Frequenzen zunächst im Innenohr noch über die inneren Haarzellen, dann jedoch unter 200 Hz auch und ab 20 Hz nur noch von den äußeren Haarzellen perzipiert wird. Zum anderen stimmen die Befunde aus Braunschweig auch mit bekannten Tatsachen über Sinnesorgane, die zum sinnesphysiologischen Grundwissen gehören, gut überein und überraschen deshalb nicht wirklich: Da sind die gemessenen Schalldruckpegel zwischen 125 und 8 Hz. Sie zeigen, je niedriger die Frequenz, desto höher muss die Lautstärke sein,

mit der die Versuchsperson ein Schallereignis als Hörereignis wahrnimmt. Alle Kurven gleicher Lautstärke weisen bei 8 Hz Schalldruckpegel zwischen 115 und 135 dB auf, nähern sich also bedenklich, oder erreichen sogar, die Schmerzgrenze. Zwischen gerade mal hörbar und störend oder schmerzhaft laut liegt nur ein schmaler Bereich von ca. 20 dB, ganz anders als im normalen Hörbereich.

Die meisten Rezeptoren sprechen außer auf den adäquaten Reiz auch auf eine mehr oder minder große Zahl anderer Reize an, wenn diese in unphysiologischen Stärken angeboten werden. Alles spricht dafür, dass es sich somit bei diesen niederen Frequenzen und hohen Schalldruckpegeln um inadäquate Reize handelt.

## 5 Propriozeptoren

Inadäquate Reize, wohlgemerkt, für die Hörsinneszellen im Ohr. Das bedeutet aber, dass parallel andere Sensoren (= Rezeptoren) übernehmen und die tieffrequenten Luftdruckschwankungen perzipieren können. Diesen Sachverhalt beschreibt die Din 45 680 so.: „Die tieffrequenten Luftschwankungen wirken in erster Linie auf das Gehör und auf die im Körper vorhandenen gasgefüllten Hohlräume wie Lunge, Nase und Stirnhöhle ein.“. Was für eine laienhafte, naive Darstellung! Selbstverständlich pflanzen sich Druckschwankungen bis in diese Hohlräume fort, denn diese stehen ja mit der Außenwelt in Verbindung. Die tieffrequenten Luftschwankungen aber wirken doch nicht auf die Hohlräume, sondern auf die sie bildenden festen Strukturen und auskleidenden Gewebe. Darin eingebettet befinden sich zahlreiche Rezeptoren, die auf kleinste Luftdruckschwankungen reagieren können.

Eine Wirkung auf andere Sinnesorgane erwähnt auch der LUBW-Messbericht: „Neben dem Hörsinn können auch andere Sinnesorgane tieffrequenten Schall registrieren. So vermitteln etwa die Sinneszellen der Haut Druck- und Vibrationsreiz. ...“

Das Naheliegende sieht keiner der Autoren! Luftdruckänderungen wirken immer auch am Trommelfell und im Mittelohr, die ja beide mit der Umwelt in Kontakt stehen – das Trommelfell direkt, das Mittelohr bedingt durch den aktiven Druckausgleich über die Eustachi'sche Röhre. Im Mittelohr messen ständig Rezeptoren den momentan herrschenden Luftdruck, damit ihn das Gehirn mit den Druckschwankungen der Schallwellen verrechnen kann. Dieser Verarbeitungsprozess ist unerlässlich für das Einschätzen und Vergleichen verschiedener Lautheitsempfindungen. Warum? Weil sich der Luftdruck ständig ändert, wenn wir uns bewegen. Sie möchten doch Ihre Fernsehsendung nicht lauter empfinden, wenn Sie vom Sofa aufstehen. Ohne die Verrechnung im Gehirn würden Sie aber genau das empfinden. Beim Aufstehen bewegt sich der Kopf um angenommene 50 cm nach oben. Dann reduziert sich der umgebende Luftdruck um ca. 6 Pascal. Das Gleiche umgekehrt, wenn Sie wieder Platz nehmen. Wenn man bedenkt, dass das Ohr Druckdifferenzen von 20  $\mu$  Pa in Höreindrücke umsetzen kann, dann sind die Druckänderungen bei Bewegungen beachtlich. Davon merken Sie jedoch nichts. Die Vorgänge laufen im Unterbewusstsein ab. Das stimmt mit den oben beschriebenen Beobachtungen bei den Braunschweig – Experimenten überein: *„Im Infraschallbereich konnte bis hinab zu einer Frequenz von 8 Hz in einigen Experimenten Hirnreaktionen auch für Stimuli mit Reizintensitäten unterhalb der Hörschwelle festgestellt werden, was auf eine unbewusste Wahrnehmung von Infraschall hindeutet.“*

Obwohl die Informationen der Propriozeptoren an die Gehirnregion Hypothalamus, dem Verarbeitungszentrum des Unbewussten, weitergeleitet werden, können von dort aufsteigend auch die höheren Zentren wie der auditive Cortex erreicht werden. Dies stimmt sowohl mit den Ergebnissen der physikalisch Technischen Bundesanstalt Braunschweig überein, als auch mit dem derzeit gültigen Modell sensorischer Systeme, nach dem Informationen aufsteigend, aber auch parallel und funktionell untergliedert, verarbeitet werden.



## 6 Das Gleichgewichtsorgan

Immer wieder erstaunt, wie oberflächlich mit biologisch-anatomischen Tatsachen umgegangen wird. Wie die Druckrezeptoren im Mittelohr den Autoren der Din 45 680 unbekannt sind, so unbekannt scheint auch die Tatsache zu sein, dass alle Druckschwankungen nicht nur auf das Corti'sche Organ, das eigentliche Hörorgan, sondern auch auf das Vestibuläre System, das Gleichgewichtsorgan übertragen werden, denn sie sind miteinander verbunden. (In Abb. 2 nicht dargestellt, weil es im Hintergrund liegt und die Zeichnung unübersichtlich gestalten würde). Das Gleichgewichtsorgan erfasst bei jeder Bewegung sowohl lineare Beschleunigungen als auch Drehbeschleunigungen. Wie im Corti'schen Organ so dienen auch hier spezielle Haarzellen als Rezeptoren. Der adäquate Reiz ist ebenfalls die Auslenkung der Sinneshärchen. Wir werden später noch einmal auf dieses Phänomen zu sprechen kommen. Dooley erklärt nun, dass periodische Druckschwankungen, die bei den Bewegungen einer Person auftreten können, vom sensorischen System nicht von periodischen niederfrequenten Druckschwankungen anderer Herkunft, wie z.B. von Infraschall, unterschieden werden können. Dass trotzdem eine störungsfreie Orientierung im Raum möglich ist, liegt an der komplizierten aber äußerst effektiven Verrechnung im Gehirn mit vielen anderen, bewussten und unbewussten Sinneseindrücken. Greifen wir das Beispiel von oben noch einmal auf: Sie sitzen im Wohnzimmer vor dem Fernsehapparat, also bewegen Sie sich nicht oder nur unerheblich. Sendet aber die WEA in Ihrer Umgebung Infraschall, dann kann dieser ihrem Vestibulären System einen Bewegungsreiz vorgaukeln. Es kommt in Ihrem Gehirn zu einem Konflikt, weil ja Ihre Augen und sonstigen Sinne Ruhe melden. Ähnliche Störungen kennt man vom Lesen im fahrenden Auto oder von der Seekrankheit. Man nennt derlei Störungen Symptome der Bewegungskrankheit oder auch SOPITE Syndrom. Wer kennt z.B. das Phänomen nicht, dass man nach längerer Autofahrt nicht in den Schlaf findet? Ein überhöhter Bewegungsreiz konkurriert mit Müdigkeit. Das Wort >SOPITE-Syndrom< ist vom lateinischen Verb >sopire< hergeleitet, das >schlafen legen< bedeutet. Von allen vom WEA-Syndrom Betroffenen werden immer Schlafstörungen als eines der Symptome angegeben, unter dem sie am

meisten leiden. Sie berichten, dass sie Stunden lang nicht einschlafen können und wenn sie dann endlich in den Schlaf gefunden haben wieder an diffuser innerer Unruhe aufwachen.

Die kalifornische Medizinerin Nina Pierpont konnte in einer wissenschaftlichen Studie nachweisen, dass Symptome wie Schlaflosigkeit, Konzentrationschwäche, innere Unruhe, Nervosität etc. auf ernste Störungen des vestibulären Organs im Innenohr durch den von WEA'S erzeugtem Infraschall verursacht werden.

Im Dezember 2017 berichtet Dr. Sarah Laurie, von der Waubra Foundation, Australien, dass das australische Oberverwaltungsgericht – Australia's Administrative Appeals Tribunal (AAT) erstmalig auf der Welt bestätigt hat, dass die „Lärmbelästigung“ durch von WEA's erzeugtem niederfrequentem Schall und Infraschall „einen plausiblen Weg in die Krankheit“ darstelle. Es besteht ein begründeter Zusammenhang zwischen Schallbelastung und einigen Erkrankungen, einschließlich Bluthochdruck, kardiovaskuläre Erkrankungen, die möglicherweise durch Schlafstörungen und /oder psychischen Stress/Disstress ausgelöst werden.

**Der australische Gerichtshof stellt ebenfalls fest, dass „die A-Bewertung – dB(A) – nicht dazu ausgelegt ist, Schall von Windkraftanlagen zu messen und somit hierfür ungeeignet ist.**

## 7 Messmethoden

Die A-Bewertung jedoch stellt die Grundlage jeder weltweit im Einsatz befindlichen Lärmschutzrichtlinie für Windenergieanlagen dar - selbstverständlich auch in Deutschland.

Was bedeutet Bewertung?

Bewertung bedeutet eine frequenzabhängige Veränderung eines Geräusches oder Schallsignals mittels eines Filters, also einen Korrekturfaktor. Es werden entweder Zuschläge oder Abzüge vorgenommen, um psychoakustische Angleichungen ans Gehör zu erreichen. In der Regel werden A-Filter

mit der üblichen Kennzeichnung dB(A) oder G-Filter mit der üblichen Kennzeichnung dB(G) verwendet.

Die A-Bewertung unterdrückt alle Frequenzen unterhalb von 8 Hz komplett und durch ihre steile Anstiegsflanke große Teile der Intensitäten zwischen 8 und 1000 Hz. Bei der G-Bewertung werden vor allem die Infraschallfrequenzen zwischen 10 und 20 Herz berücksichtigt. Durch die steile Anstiegsflanke des G-Filters werden die Amplituden niedrigerer Schallfrequenzen umso stärker unterdrückt, je niedriger die Frequenzen sind. Eine beispielhafte Umrechnung zeigt wie Filter Messergebnisse schönen: 75 dB(G) wären nämlich, hätte man linear, unbewertet, gemessen weit über 100 dB(Linear).

**So gewonnene Messergebnisse verlieren jegliche Aussagekraft über eine nicht vorhandene Auswirkung auf die Gesundheit, weil sie eben nicht die Gesamtheit der Reizgrößen, sondern eine willkürliche Auswahl darstellen.**

Gleiches gilt für die Oktav- und Terzfilter, respektive für die gemessenen Linearen Oktav- bzw. Terzpegel. Die hierfür verwendeten Bandfilter haben eine Bandbreite von einer ganzen oder 1/3 Oktave, über die je ein Mittelwert gebildet wird. Diese Methode unterdrückt die rhythmisch auftretenden Frequenzspitzen, die als Irritation empfunden werden. Derart gemittelte Werte stellen ebenfalls keine biologisch relevanten Reizgrößen dar. **Kein Sinnesorgan und keine Sinneszelle und keine andere Körperzelle sprechen auf, durch Filter veränderte, Schalldruckpegel an und ebenso wenig auf, aus messtechnischen Gründen gebildete Mittelwerte, sondern ausschließlich auf distinkte Schallintensitäten und Frequenzen oder deren unmittelbaren Veränderung** (siehe Abschnitt 1).

**Deshalb beweisen die „Messergebnisse“ des LUBW-Messberichtes nicht, dass der von Windenergieanlagen erzeugte Infraschall keine negativen Wirkungen auf die menschliche Gesundheit hat.**

Die TA Lärm stützt sich ausnahmslos auf die A-Bewertung und gibt alle Immissionsrichtwerte in dB(A) an. Sie wurde 1998 erlassen. Trotz einiger Veränderungen blieben ihre wesentlichen Aussagen wie z.B. die Immissionsrichtwerte seither unverändert. Warum dafür keine Updates gemacht werden, ist vollkommen unverständlich.

**Wie kann sie ihren eigenen Anforderungen, die Allgemeinheit vor schädlichen Geräuschimmissionen, die nach Art, Ausmaß und Dauer geeignet**

**sind erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen, sowie der Vorsorge gegen solche schädlichen Umwelteinwirkungen, gerecht werden, wenn sie ganz wesentliche Infraschallanteile, nämlich die von 0,1 Hz bis 8 Hz gar nicht und darüber liegende nur teilweise berücksichtigt? Das ist ein Widerspruch in sich selbst. Deshalb sind alle Immissionsprognosen und immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren Makulatur!**

Die Norm DIN 45 680 ist eine Verwaltungsvorschrift aus dem Jahr 1997. Deshalb kann sie dem aktuellen Stand wissenschaftlicher Forschung nicht mehr gerecht werden. Sie befindet sich seit Jahren schon im Normierungsausschuss zur Überarbeitung. Die Version DIN 45 680 (2013) stellt nur eine vorläufige Entwurfsfassung dar, die 2013 wegen einer großen Zahl an Einwendungen nicht verabschiedet werden konnte. Es ist zu begrüßen, dass inzwischen die Berücksichtigung von Körperschall, das ist die Schallausbreitung über den Untergrund, in die Norm aufgenommen wurde.

**Vollkommen unverständlich dagegen bleibt die Tatsache, dass im Normierungsausschuss durch Mehrheitsbeschluss an der Vorschrift mit A-Filter zu messen festgehalten wurde. Weder physikalische Faktoren der Umwelt noch die perzipierenden Organe betroffener Menschen oder Tiere halten sich an Mehrheitsbeschlüsse.**

Die Mehrheit der Mitglieder des Normierungsausschusses scheint aus den Augen verloren zu haben, worum es in der Sache geht, nämlich: Mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit! Gleiches gilt für die Autoren des LUBW-Messberichtes. Wer auch immer die Entscheidung getroffen hat, die Messungen nach den Vorgaben der Norm DIN 45 680, Entwurf 2013 durchzuführen hat entscheidende Sachverhalte außer Acht gelassen: Wenn es das Ziel der Untersuchung war, ob Infraschall möglicherweise eine Wirkung auf den Menschen hat oder nicht, **dann hätte keine Messmethode gewählt werden dürfen, die eine bestimmte Wirkung des Infraschalls bereits voraussetzt. Der Entwurf 2013 der DIN 45 680 orientiert sich - so der Wortlaut der DIN - an der psychoakustischen Wahrnehmung tieffrequenten Luftschalls.**

Es ist wissenschaftlich völlig daneben ein mögliches Ergebnis einer Untersuchung durch die Wahl der Messmethode bereits vorauszusetzen und so die Ergebnisse zu beeinflussen!

## 8 Wahrnehmung

Das Festhalten an den veralteten Vorschriften der DIN 45 680 sowie der TA Lärm und die gebetsmühenhafte Wiederholung des Satzes im LUBW-Messbericht: „Die gemessenen Schalldruckpegel liegen unterhalb der Wahrnehmungsschwelle“ ergeben nur einen Sinn, wenn von vorneherein vorausgesetzt wird: „Was ich nicht wahrnehme, kann mir auch nicht schaden“ Diese längst veraltete Sichtweise ist nicht mit den biologischen Gegebenheiten zu vereinbaren, die bei Immissionen von tieffrequentem Schall und Infraschall vorliegen. Dass sie nicht stimmt, zeigt eindrücklich das Beispiel der ultravioletten Strahlung. Sie kann nicht wahrgenommen werden, sie kann jedoch sehr wohl schaden, wie der Sonnenbrand beweist – um nur eines der vielen möglichen Beispiele zu nennen.

Man kann in einer wissenschaftlichen Arbeit durchaus von einer Annahme ausgehen, aber dann muss sie als Arbeitshypothese formuliert sein um sie durch die Messergebnisse entweder zu verifizieren oder zu falsifizieren. Der LUBW-Messbericht ist davon weit entfernt. Die Autoren verschweigen die Annahme und setzen diese falschen Vorstellungen einfach voraus.

**Das bedeutet, dass die Ergebnisse schon im Ansatz der Untersuchung durch die angewandte Methode verfälscht wurden. Dass dann die Behauptung „von Windenergieanlagen erzeugter Infraschall hat keine negativen Wirkungen auf die menschliche Gesundheit“ folgerichtig falsch sein muss, liegt auf der Hand.**

**Deshalb darf und kann der Messbericht nicht als ergebnisoffene Untersuchung gewertet werden. Seine Ergebnisse besitzen somit überhaupt keine Aussagekraft und Relevanz.**

Die Hörschwelle und Wahrnehmungsschwelle wird ermittelt, indem eine Testperson angibt ab welcher Lautstärke sie einen Ton gerade schon (aufsteigend) oder gerade nicht mehr (absteigend) hört bzw. wahrnimmt. Nach

der DIN 45 680 (1997) ist die Hörschwelle so definiert, dass 50% der Menschen einen Ton unterhalb der ermittelten Lautstärke nicht mehr hören. Bei der Wahrnehmungsschwelle nach DIN 45 680 (2013) sind es 90%. Solange die gebotenen Töne adäquate Reize sind spiegelt die ermittelte Schwellenkurve die subjektiven Empfindungen der Testperson wider und die Schlussfolgerung, dass über alle gehörten Frequenzen hinweg die gesamte Reizerregungskette durchlaufen wurde ist praktisch trivial. Aber schon im Übergangsbereich verliert sich diese Trivialität und Interpretationsschwierigkeiten treten auf. Jetzt darf die Schlussfolgerung, die audiologische Reizerregungskette sei durchlaufen worden, nicht zwingend gezogen werden, wenn die Versuchsperson nur noch irgendetwas hört. Je größer die „Hörschwierigkeiten“ der Versuchsperson werden, desto höher muss die Reizintensität werden und parallel konzentriert die Versuchsperson ihre Aufmerksamkeit immer mehr auf das Hören und blendet alles andere aus. Man spricht in der Neurologie und Gehirnforschung durchaus vom Aufmerksamkeitsfilter. Nur das, worauf wir unsere Aufmerksamkeit richten wird bewusst wahrgenommen.

In den Argumentationspunkten 4 und 5 ist genau herausgearbeitet warum das so ist: **Weil andere Mechanismen der Perzeption in den Vordergrund treten und diese nicht mit dem bewussten Wahrnehmen korreliert sein müssen.**

Außerdem ist die Hörschwelle, bzw. Wahrnehmungsschwelle unter Realbedingungen der Immissionen von den WEAs überhaupt nicht maßgebend. Es handelt sich stets um Kombinations- und Wechselbelastungen von Hörschall, Infraschall und Körperschall! Im Messbericht werden ausschließlich die Emissionen einzelner Windkraftanlagen im Freien untersucht und aus den Ergebnissen abgeleitet, dass die gemessenen Pegel unter der Wahrnehmungsschwelle liegen. Zum einen können zwei oder mehrere WEAs zusammenwirken und höhere Immissionswerte erreichen als einzelne. Zum anderen können sich der Körperschall, der mit wesentlich höherer Schallgeschwindigkeit und großen Reichweiten über den Untergrund weitergeleitet wird, und der Luftschall, der verzögert z.B. an einem Wohnhaus ankommt, in ihrer Wirkung ergänzen. Warum geht der Messbericht überhaupt nicht auf den Körperschall ein? Warum wurden für den Messbericht nur die Emissionen einzelner WEAs vermessen? Gehörten sie zu einem Windpark, dann

wurden die anderen Anlagen ausgeschaltet. Das ist für Einzelmessungen verständlich. **Unverständlich allerdings bleibt die Tatsache, dass nicht zusätzlich die Emissionen des Windparks als Ganzes erfasst wurden. Das wäre notwendig gewesen, denn in vielen Fällen in denen betroffene Menschen leben stehen zwei und mehr Windkraftanlagen in unmittelbarer Nachbarschaft.**

Nach meiner Meinung wäre der direkte Informationsaustausch zwischen den untersuchenden Wissenschaftlern, oder Ingenieuren der LUBW und betroffenen Bürgern notwendig und hilfreich gewesen. Ohne einen solchen Kontakt lassen sich die Beschwerden sehr einfach ignorieren. Warum haben die Autoren des LUBW-Messberichtes nicht in den Häusern von Betroffenen gemessen? Was soll eine Messung im Außenbereich aussagen, wenn die Belastung in den Wohnräumen stattfindet? Dort hätte man herausgefunden, dass sich im Inneren wesentlich höhere Schalldrücke durch Resonanzen auf Körperschall aufbauen können, als außerhalb. Wie in der Empfehlung des Robert Koch-Instituts, veröffentlicht im Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung -Gesundheitsschutz 2007 schon nachzulesen, kann der menschliche Körper ebenfalls in Resonanzschwingungen geraten. Alle Angaben liegen im tieffrequenten Bereich, einige sogar im Infraschallbereich wie z.B. die Schulterpartie 4-5 Hz, der Unterbauch 4-8 Hz, Wirbelsäule 10 – 12 Hz, und Beine, veränderlich von 2 Hz mit beweglichem Knie bis über 20 Hz in gestreckter Position. Solche Resonanzschwingungen werden von den Propriozeptoren erfasst. Auch hier kann es zu neurologischen Konflikten im Gehirn kommen. Die Rezeptoren melden - möglicherweise während des Schlafes – Bewegung. Innere Unruhe und Erwachen sind die Folge.

## 9 Nanomotorische Effekte

**Die biologische Situation stellt sich noch wesentlich komplexer dar.** Zweifelsohne wirken die Luftdruckänderungen am Corti'schen Organ, am vestibulären System, an den Propriozeptoren im Mittelohr und können die bisher beschriebenen Effekte auslösen. Keine Frage!

**Die Luftdruckänderungen der Umwelt wirken jedoch nicht nur an bestimmten Stellen, sondern auf den Körper insgesamt.** Wie in Abschnitt 1 beschrieben, ändern sich die Eigenschaften tieffrequenten Schalls mit abnehmender Frequenz und zunehmender Wellenlänge. Er durchdringt alles, selbst Lärmschutzwände, Häuser und vor allem auch den Körper. **Die Luftschallphänomene interagieren mit dem menschlichen oder tierischen Körper, wenn eine mechanische Kopplung zwischen den auftreffenden Druckschwankungen und den Geweben oder Gewebesystemen eintritt.** Sie induziert dort Effekte, die zunächst nicht mit der sinnesphysiologischen Wahrnehmung bzw. Perzeption zu vergleichen sind. Knochen, Sehnen, Faszien, Muskeln, Bindegewebe, Organe, Zellen und Körperflüssigkeiten sind nun die Medien in denen sich der Schall ausbreitet. Die sie aufbauenden Substanzteilchen werden ausgelenkt und in Schwingung um ihre ursprüngliche Position versetzt. Ein schwingendes Teilchen stößt seinen Nachbarn an und versetzt diesen in Schwingung. So läuft der „Schall“ wie eine La-Ola-Welle durch.

In einem ihrer Artikel bedauert Professor Alves-Pereira, dass die moderne medizinische Forschung ihr Hauptaugenmerk auf biochemische und genetische Aspekte richtet und ganzheitliche, zu denen auch die Bewegungen gehören, vernachlässigt. Auch wenn man sich dessen nicht bewusst wird, im Körper ist sehr vieles in Bewegung, von groß bis mikroskopisch klein: Die Eigenbewegung, die Muskelbewegung inkl. Herz- Atmungs- und Verdauungsbewegungen, Wachstumsbewegungen etc. Zur Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen benötigt das Gehirn einen ständigen Strom von Informationen über die Bewegungen und den Zustand des Körpers. Diese Informationen liefern eine gigantische Zahl von Propriozeptoren, wie den Gelenkrezeptoren und den Muskelspindeln, den Rezeptoren des Blutdruck und der Temperatur. Sie spüren kritische Veränderungen im Körper auf, geben sie an das Gehirn weiter und ermöglichen sinnvolle Reaktionen, die alle im Unterbewusstsein ablaufen.

Damit nicht genug. Sehr viele Bewegungen finden in wesentlich kleinerem Maßstab statt: Z.B. das Ein- und Ausschleusen von Vesikeln, von Nährstoffen, von Abfallstoffen und Gasen über Gewebeschichten oder Zellmembranen hinweg und vieles andere mehr. Selbst innerhalb einer einzigen Zelle bewegt sich fast alles. Die genetische Information, die in den Chromosomen



im Zellkern gespeichert ist, wird von bestimmten Molekülen abgelesen und zu ganz anderen Stellen innerhalb der Zelle transportiert, damit dort Proteine aufgebaut werden können, die dann wiederum an anderer Stelle benötigt werden z.B. für den Einbau in die Zellmembran. Bei der Zellteilung finden höchst komplizierte Bewegungsvorgänge statt: Die Chromosomen werden verdoppelt und anschließend an sog. Spindelfäden auseinandergezogen, die Zellmembranen schnüren sich ein und schließlich ab. Die neuen Zellen können durch Bewegungsvorgänge neue Positionen einnehmen, nur um sich erneut zu teilen. Ein Wunder, dass so störanfällige Vorgänge in der Regel gut verlaufen.

Die Toleranz der Körpergewebe für mechanische Beanspruchung ist, wie wir alle wissen, sehr hoch. Warum? Den gesamten Körper von Mensch und Tier durchzieht, abgesehen vom Knochenskelett, ein effektives räumliches Netzwerk von stützenden Strukturen und Geweben. Selbst in den einzelnen Zellen erkennt man im Elektronenmikroskop sog. Mikrotubuli und Filamente die das sog. Skelett der Zelle bilden. Sie verschaffen die notwendigen Freiräume für die lebensnotwendigen diversen Bewegungen im kleinsten Maßstab. Stichwort! Um welche Größenordnungen handelt es sich hierbei? Sie liegen schätzungsweise zwischen einem Tausendstel Millimeter und reichen bis in den Nanobereich, einem Millionstel Millimeter.

Bezieht man nun auch die Eigenschaften des natürlich vorkommenden tief-frequenten Schalls, wie in Punkt 2 nach Dooley und Aunio beschrieben, mit in unsere Vorstellungen von den Vorgängen innerhalb der Gewebe, der Zellen ein, dann wird klar, warum die Toleranzgrenze des Körpers für natürlichen Infraschall ebenfalls sehr hoch liegt. Im Kräftespiel zwischen den tief-frequenten Druckschwankungen, die ständig in ihrem zeitlichen Verlauf und ihrer Richtung variieren, und den Gewebeeigenschaften müssten außerordentlich viele Faktoren zusammenwirken um nachteilige Effekte auszulösen. Die meisten biologischen Gewebe sind zwar viskoelastisch, unterscheiden sich aber deutlich in den Eigenschaften ihrer Festigkeit, wie sie sich bei Bewegungen - auch induzierten - verhalten, wie sie Spannungen abbauen und welche Nachwirkungen sie entwickeln, bzw. zulassen. Außerdem verhalten sie sich anisotrop, das heißt gleiche äußere Kräfte, zugefügt in verschiedenen Richtungen, ergeben unterschiedliche Auswirkungen. Flüssige, weiche und sonstige bewegliche Teilchen können mit bzw. durch

die durchdringende Welle ausgelenkt und verschoben werden. Im Normalfall schwingen die Teilchen zurück in ihre ursprüngliche Position und setzen ihre physiologische „Aufgabe“ fort. Ständig wechselnde Wirkungsrichtungen entweder des natürlichen tieffrequenten Schalls oder der betroffenen Personen, können sich gegenseitig aufheben. Zudem muss man zwischen unterschwelligen und überschwelligen Reaktionen unterscheiden. Das wellenförmige Auslenken und wieder Zurückschwingen der Partikel, das ohne nennenswerte Wirkung bleibt, kann sicher als unterschwellig bezeichnet werden. Sollte trotzdem einmal ein „Unfall“ passieren (überschwellig), dann tritt der genetisch festgelegte Reparaturmechanismus der Zellen ein und stellt die ursprünglichen Verhältnisse wieder her. **Die anatomischen Voraussetzungen und gegebenen „Materialeigenschaften“ bestimmen die Bewegungsfreiräume. Ich betone, bei unstrukturiertem natürlichem Infraschall ist die Wahrscheinlichkeit negativer Auswirkungen gering, weil die Zahl der Freiheitsgrade sehr hoch ist.**

Ganz anders im Einwirkungsbereich von tieffrequenten Schall und Infraschall emittierenden technischen Anlagen als Arbeitsbedingungen und besonders von WEA's. Die immittierten Druckschwankungen treffen zwar auf die gleichen anatomisch-physiologischen Körper- Gewebe- und Zelleigenschaften, bringen aber ganz deutlich andere physikalische Voraussetzungen mit. Das ist erstens, die immer gleichbleibende Wirkungsrichtung der Immissionen, zweitens das rhythmische Pulsieren und drittens der Zeitfaktor, die Expositionsdauer. Dadurch ändert sich der Zusammenhang zwischen Dosis und Wirkung drastisch. Allerdings sollte unbedingt auch das Verhalten betroffener Personen mit einbezogen werden. Besonders gefährdet sind Personen, die in einer mit tieffrequentem Schall reichen Umgebung arbeiten und dabei ihre Körperhaltung wenig oder gar nicht ändern können, als da wären: Piloten, LKW-Fahrer, Büroangestellte in Klimatisierten Räumen, Fließband-Arbeiter und viele mehr.

Die permanent in den Körper gestrahlte Energie wirkt besonders auf diejenigen beweglichen Partikel, deren Bewegungsfreiräume mit der Immissionsrichtung übereinstimmen. Das rhythmische Pulsieren der durchdringen-

den Welle wirkt sich sicherlich auch auf das Rückschwingverhalten der Partikel in ihre Ausgangsposition aus (Hysteresis) und damit auf ihre Funktion. Die ständige Belastung in einer Richtung kann so zu erheblichen Fehlfunktionen und Spannungen innerhalb und zwischen Geweben führen. Solche Spannungen werden dann von den Propriozeptoren gemessen und an das Gehirn weitergegeben. Solange im Gehirn der Aufmerksamkeitsfilter – denken Sie an die Piloten, die LKW-Fahrer u. s. w. – aktiv ist, wirken sich die nanomotorischen Effekte, als solche unbemerkt, zusammen mit den anderen Ermüdungssymptomen aus. Genießen die betroffenen Personen genügend lange Regenerationszeiten, ist alles gut.

Personen, die im Wirkungsfeld von Windenergieanlagen leben, ist die notwendige Möglichkeit zur Regeneration genommen. Sie wollen nach des Tages Mühe am Abend entspannen, dann laufen alle beschriebenen nanomotorischen Vorgänge in ihrem Körper weiterhin ab. Es kommt zu eklatanten Synergieeffekten. Die Belastungen des Tages werden nicht abgebaut, neue kommen hinzu, weil die Exposition bleibt. Wenn zusätzlich der Aufmerksamkeitsfilter wegfällt, man sprichwörtlich den Tag ausklingen lassen möchte, dann treten zwei Wirkungen in den Vordergrund: Die neurologischen Informationen von den Propriozeptoren über induzierte Verspannungen in den Geweben werden nichtmehr bei der Verarbeitung im Gehirn unterdrückt, sondern können jetzt ungehindert zu den in Punkt 5 „Gleichgewichtsorgan“ beschriebenen Bewegungskrankheit führen, weil jetzt plötzlich nicht nur das Gleichgewichtsorgan Störungen meldet, sondern Ihr ganzer Körper. Das kann auch passieren, wenn nicht die Verspannungen der Gewebe die Ursache sind, sondern die durchdringende Welle die Rezeptormoleküle der Propriozeptoren direkt beeinflusst. Das kann man sich gut vorstellen, wenn man weiß, dass zur Auslösung des Primärprozesses Verformungen von wenigen Nanometern und kleinste Energiemengen ausreichen. Liegen diese Bewegungen erstmal im unterschweligen Bereich können sie trotzdem bei längerer Exposition durch Aufsummieren zu Reaktionen führen. Dadurch kommt es ebenfalls zu Fehlinformationen und der schon beschriebene Verarbeitungsprozess im Gehirn, im sog. Hypothalamus wird in Gang gesetzt. Es kommt zu Diskrepanzen. Das notwendige

Gleichgewicht ist gestört. Die vielen in der Literatur beschriebenen medizinischen Befunde wie z.B. diffuses Unwohlsein, Schlafstörungen und Stress sind die Folge.

Windenergiebefürworter werden sofort einwenden: Alles unbewiesene theoretische Überlegungen die nicht relevant sein müssen.

Falsch!

Die Antwort auf die Frage, ob derlei geringfügige Auslenkungen im Körper überhaupt etwas bewirken können, lautet eindeutig: Ja. Eine Vielzahl von physikalischen und physiologischen Veränderungen, wie oben gezeigt, können ausgelöst werden. Prof Dr. Mariana Alves-Pereira und ihr Team aus Portugal beschreiben, anhand histologischer und elektronenmikroskopischer Untersuchungen von menschlichem und tierischem Gewebe, das längere Zeit Infraschall ausgesetzt war, eine vermehrte Produktion von Kollagen und Elastin Fasern, ohne dass ein Entzündungsprozess vorlag. Kollagen ist ein Strukturprotein das nur bei Menschen und Tieren vorkommt. Kollagenfasern besitzen eine enorme Zugfestigkeit, sind nicht dehnbar und sind der organische Bestandteil von Knochen und Zähnen und der wesentliche Bestandteil von Knorpel, Sehnen, Bändern und Bindegewebe der Haut. Elastin gehört auch zu den Strukturproteinen, es dient der Formgebung und Dehnungsfähigkeit großer Blutgefäße. Außerdem fanden sie heraus, dass in manchen ebenfalls mit tieffrequentem Schall belasteten Geweben diejenigen Strukturen der Zellmembranen verstärkt waren, die für den Zusammenhalt der Zellen im Gewebeverbund sorgen. Beide Verstärkungsmaßnahmen weisen deutlich auf Reaktionen auf unnatürliche Einwirkungen äußerer Kräfte hin.

Ferner berichten Prof. Dr. Alves-Pereira und ihr Team von Missbildungen bei Fohlen. Nachdem in unmittelbarer Nähe eines Gestütes Windenergieanlagen in Betrieb genommen worden waren, kamen dort Fohlen mit verkrümmten Gliedmaßen zur Welt. Die Autoren betonen, dass die Windenergieanlage die einzige Veränderung war gegenüber dem Zustand vorher, wo ausschließlich gesunde Fohlen aufgezogen wurden. Das ist eine interessante Parallele zu den Meldungen aus dem Schwarzwald über Missbildungen bei Tieren auf einem Bauernhof. Tier und Mensch unterscheiden sich,

nach der äußeren Gestalt und ihrem Verhalten beurteilt, drastisch. Richtet man den Blick jedoch nach innen, auf die oben erwähnten Strukturen, absteigend von den Organen zu den kleinsten Bauelementen, den Zellen und ihren Bestandteilen, so schwinden die Unterschiede immer mehr, bis sie schließlich nicht mehr existieren.

**Aus biologischer Sicht bedeutet dies, dass sich Gewebe von Mensch und Tier, das mit tieffrequentem Schall chronisch beschallt wird, durch die vermehrte mechanische Beanspruchung, pathologisch verändern kann.**

Wir wissen noch viel zu wenig über die Auswirkungen des „unfreiwilligen Langzeitversuches: WEA-Immissionen“.

Die Forderungen die Gesundheit der Menschen zu schützen und die Forderungen des Artenschutzes fließen untrennbar zusammen.

## 10 Fazit

Mit den modernen Windenergieanlagen sind völlig neue Faktoren in die Umwelt von Mensch und Tier gekommen: langanhaltende, periodische Infraschallsignale, die eine ganze Gegend erfüllen. Das rhythmische Pulsieren des Infraschalls der WEA's hebt sich deutlich von allen anderen Formen ab und beinhaltet das Potential zu erheblichen Beeinträchtigungen. Die Interaktion zwischen diesen Immissionen und dem Körper sind hochkomplex. Ich habe die vielfältigen Wirkungsbereiche dargestellt.

Die Behauptung, von WEA's gehe keine gesundheitliche Gefährdung durch tieffrequente Schallemissionen für Anwohner aus, nur auf ein einziges Argument zu stützen, ist schon im Ansatz mangelhaft. Wenn zudem dieses Argument, „*die gemessenen Pegel liegen unter der Wahrnehmungsschwelle*“ auch noch falsch ist, dann besitzen folgerichtig alle Aussagen der offiziellen Windenergiebefürworter überhaupt keine Aussagekraft und Relevanz.

Der Messbericht „Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen“ des Messprojekts 2013-2015 der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, auf dessen Ergebnisse sich auch die anderen Bundesländer berufen, darf und

kann nicht als ergebnisoffene Untersuchung gewertet werden, weil sich nicht nur Baden-Württemberg, sondern ganz Deutschland den flächendeckenden Ausbau der Windenergie zum Ziel gesteckt hat. Ein Ergebnis der Untersuchung, das die negative Wirkung auf die menschliche Gesundheit bestätigt hätte, wäre wohl nicht im Interesse des Landes gewesen.

## Literatur

Aunio Group, Kauppa Suomi 2017, Infrasound from wind turbines is a new signal in the environment. [en.friends-against-wind.org/health/infrasound-from-wind-turbines](http://en.friends-against-wind.org/health/infrasound-from-wind-turbines)

DIN 45680: Entwurf: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen, Ausgabedatum 2013-09

Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm –TA Lärm), GMBI 1998 Nr. 26, S. 503; geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BAnz AT 08.06.2017 B 5)

Fedtke, Thomas, Der Mensch hört tiefer als gedacht. Von Lucian Haas – Presseerklärung der physikalische Technischen Bundesanstalt Braunschweig 5/2015

Bahtiarian, M., und Beaudry, A., Infrasound Measurements of Falmouth Wind Turbines Wind#1 and Wind#2, February 27, 2015, Prepared by: NOISE CONTROL ENGINEERING; LLC 799 Middlesex Turnpike, Billerica, MA 01821

Dr. Sarah Laurie, <https://stopthesethings.files.wordpress.com/201712/waubra-and-acnc-decision.pdf>

Pierpont, Nina, Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment, Santa Fe / New Mexico, K-Selected Books, 2009

Alves-Pereira and Bakker, Occupational and Residential Exposures to Infrasound and Low Frequency Noise in Aerospace Professionals: Flawed Assumptions, Inappropriate Quantification of Acoustic Environments, and the Inability to Determine Dose-Response Values, Scientific J Aerosp Eng Mech 2017.

Alves-Pereira, M., N.A.A. Castelo Branco, Vibroacoustic disease: Biological effects of infrasound and low frequency noise explained by mechanotransduction cellular signaling. Progress Biophysics & Molecular Biology 93 (2007).

Infraschall und tieffrequenter Schall – ein Thema für den umweltbezogenen Gesundheitsschutz in Deutschland? Mitteilung der Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“, Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2007, 50: 1582-1589 DOI 10.1007/s00103-007-0407-3, online publiziert: 30. November 2007,  
© Springer Medizin Verlag 2007

Möller H. & Pedersen C. S., Hearing at low and infrasonic frequencies, Noise & Health, 2004, Vol. 6, Issue 23, S. 37-57

Watanabe T. & Möller H., Low frequency hearing thresholds in pressure field and in free field, Journal of Low Frequency Noise and Vibration, 1990, Vol. 9, No. 3, S. 106-115

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg,  
Messprojekt 2013 – 2015 „Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen“

## Bildnachweis:

Abb. 1 [www.haustechnikdialog.de](http://www.haustechnikdialog.de)

Abb. 2 Bayerisches Landesamt für Umwelt

Abb. 3 agis- [www.informatik.uni-hamburg.de](http://www.informatik.uni-hamburg.de)

Abb. 4 Physiologie des Gehörs, [Markus-hauenastein.de](http://Markus-hauenastein.de)

Abb. 6 Aunio Group, Kauppa Suomi 2017