

Positionspapier zu Gesundheitsrisiken beim Ausbau der Erneuerbaren Energien

28.11.14

Wir sind ein Arbeitskreis von Ärztinnen und Ärzten mit unterschiedlicher medizinischer Spezialisierung, aber starkem Interesse an umweltmedizinischen Fragestellungen und deren pathophysiologischen Grundlagen.

Als Ärzte tragen wir unabhängig von unserer Spezialisierung eine Verantwortung für die vorbeugende Gesundheit der Bevölkerung. Es gilt, potentielle Gefahren und abwendbar gefährliche Verläufe für die Menschen rechtzeitig aufzuzeigen, um zukünftigen Schaden abzuwenden.

Dieser Verantwortung folgend, wollen wir auf bislang nur unzureichend medizinisch erforschte Zusammenhänge, die mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien zusammenhängen, aufmerksam machen.

Gesetzliche Grundlagen:

Das Grundgesetz sichert in § 2 Abs. 2 jedem das Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit zu.

Das Bürgerliche Gesetzbuch (BGB) behandelt die Zulässigkeit bzw. Unzulässigkeit von Immissionen in unsere Sinneswelt.

Das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) ist ein Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen.

Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen. Soweit es sich um genehmigungsbedürftige Anlagen handelt, dient dieses Gesetz auch der integrierten Vermeidung und Verminderung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Emissionen in Luft, Wasser und Boden unter Einbeziehung der Abfallwirtschaft, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen, sowie dem Schutz und der Vorsorge gegen Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen, die auf andere Weise herbeigeführt werden.

Medizinische Grundlagen:

Immission (aus dem lateinischen) bedeutet „innenwändig eindringen“ in Körperzellen. Immissionen in Zellsysteme zur Wahrnehmung von Sinneswelten beruhen auf physikalischen Einwirkungen, die biophysikalisch weiterverarbeitet das Gehirn über Umwelteinflüsse informieren.

Diese Perzeption von Umweltreizen wird im Gehirn zur bewussten Wahrnehmung (Apperzeption) aufbereitet. Dies geschieht über komplexe neuronale Verschaltungen.

Beeinflussung des optischen Systems:

Für die Lichtempfindung elektromagnetischer Strahlung (nicht-visuelle und visuelle Photonperzeption) bedeutet dies für die Netzhäute die ständige Messung von Farbfrequenzen zur Bildmusteranalyse bis hin zu ihrer Verfügbarkeit bzw. Expression. Die primäre Sehrinde (Area 17 im Hinterhauptlappen) ist dazu mit einer weißen Markscheidenschicht (Gennari Streifen) anatomisch ausgerüstet. Die millisekundenschnelle Einbeziehung multilokulärer Cortexanteile ermöglicht somit dem Sehsinn die alles dominierende Hirnfunktion des Menschen.

Jede Körperzelle ist in ihrer Funktion in Raum und Zeit über dieses System synchronisiert.

Entwicklungsbiologisch ist der hier angesprochene Raum-Zeit-Sinn sonnenlichtkorreliert der älteste Sinn der belebten Pflanzen- und Tierwelt. Diese Entwicklung beginnt mit der o.a. nicht visuellen Photoperzeption, die nicht verwechselt werden darf mit der visuellen Wahrnehmung, die wir als Sehen bezeichnen.

Das Konzept der Chronomedizin, auch in ihren klinischen Dimensionen, beruht auf diesem beschriebenen Raum-Zeit-Sinn.

Immissionen in dieses komplexe biologische System sind klinisch hochrelevant.

Beeinflussung des akustischen Systems:

Schall wird eingeteilt in

Ultraschall	über	20.000Hz
Hörbaren Schall	16 - 20 Hz	bis 20.000 Hz
Tieffrequenten Schall	20 Hz	bis 200 Hz
Infraschall	unter 20 Hz	

Schall erreicht in der Regel über die Luft das menschliche Gehör mit dem Ohr als zuständigem Sinnesorgan. Tieffrequente Schallereignisse können darüber hinaus auch mit anderen Organen wahrgenommen werden (taktile sowie vestibuläre Wahrnehmung). Über das Trommelfell und die Gehörknöchelchen werden die Schallwellen an das Innenohr weitergeleitet und über die inneren und äußeren Haarzellen an die weiterleitenden Nervenbahnen übertragen. Die äußeren Haarzellen sind anders als die inneren Haarzellen fest mit der Tektorialmembran verbunden. Dadurch ist auch bei langsam Bewegungen durch sehr tiefe Frequenzen eine große Auslenkung und damit eine signifikante Reizwahrnehmung möglich (Salt 2011).

Von Teilen der Hörbahn wird das Kerngebiet der Amygdala miterfasst und auch miterregt. Ihre Funktion besteht unter anderem in einem modulierenden Einfluß auf die Zentren des Hypothalamus, der seinerseits das beherrschende vegetativ-nervöse bzw. hormonelle Regulationszentrum für den gesamten Organismus darstellt. Diese Verarbeitungssysteme funktionieren ohne kognitive Beteiligung, was dazu führt, daß sie auch während des Schlafes vollständig aktiv sind (Spreng in (Ising u.a. 2001)).

Schallimmissionen haben dadurch nicht nur aurale sondern auch extra-aurale Wirkung, z.B. in Form von körperlichen Stressreaktionen.

Stress - Pathophysiologie, Symptome, Folgen:

Stress ist eine physiologische Reaktion des Körpers auf einen physischen oder psychischen Reiz und ist modulierbar durch das Gefühl der Kontrolle über die Situation.

Er beruht auf einem uralten genetischen Programm, das der Lebenserhaltung je nach Bedarf durch einen Flucht- oder Angriffsmechanismus dient. Bei Gefahr erfolgt eine immense Energiebereitstellung (Adrenalin, Sympathikus), gleichzeitig erfolgt im Rahmen der Alarmreaktion des Körpers eine blitzartige Mobilmachung aller Körperreserven. Über das Zentralnervensystem (spez. limbisches System) wird zum einen die Achse „Hypothalamus > Hypophyse > Nebennierenrinde > Immunsystem“ und zum anderen die Achse „Sympathikus > Nebennierenmark > Herz-Kreislauf-System“ aktiviert. Blutdruck und Puls steigen an, Muskelspannung und Atemfrequenz nehmen zu, die Blutgerinnung wird aktiviert, es werden mehr Glucose und freie Fettsäuren bereitgestellt. Im Gegenzug werden Verdauung, Immunkompetenz und Sexualfunktion in ihrer Aktivität eingeschränkt.

Wird die Streßsituation zu einem Dauerzustand, kann die natürliche Abfolge von Stressbewältigung und Entspannung nicht stattfinden und es kommt zu den typischen Streßfolgen:

- Störungen der Konzentration und des Gedächtnisses
- Nervosität, Gereiztheit, Unzufriedenheit, Unausgeglichenheit
- Angst, Unsicherheit, Aggressionen, Apathie
- Chronische Müdigkeit
- Schlafstörungen
- Infekte
- Herz-Kreislauf-Beschwerden
- Gastritis, Verdauungsbeschwerden
- muskuläre Verspannungen

Windenergie und Gesundheit:

Der Ausbau der Windenergie im Rahmen der Energiewende hat (auch international) zunehmend zu einer kontroversen Diskussion geführt.

Von Befürworterseite wird den modernen Windkraftanlagen per se eine gesundheitliche Unbedenklichkeit unterstellt, die wissenschaftlich nicht belegt ist. Es fehlen Langzeiterfahrungen und Messungen an Anlagen in der geplanten Größe und Menge.

Die Risiken für die Gesundheit werden in erster Linie verursacht durch:

- Optische Reize: Befeuerung / Schlagschatten
- Lärm / hörbaren Schall
- Tieffrequenten Schall und Infraschall
- Exposition mit CFK-Partikeln bei Bränden

Zur psychologischen Beeinträchtigung trägt nicht nur der Verlust von (er)lebenswerter natürlicher Umgebung und heimatstiftender Landschaft bei sondern auch die zunehmend auftretenden Gefühle der Alternativlosigkeit, der Einschränkung der Entscheidungsfreiheit und des Verlustes der persönlichen Selbstbestimmung. Durch die ständige und unausweichliche Präsenz des Auslösers wird das Gefühl der Hilflosigkeit und des Ausgeliefertseins noch verstärkt. Durch diesen Dauerstreß treten die oben beschriebenen Folgeerscheinungen auf.

Dieser eine Aspekt der gesundheitsbelastenden Wirkung kann möglicherweise durch eine Beteiligung am Besitz der errichteten Anlagen gemildert oder vermieden werden. Bei den anderen Immissionswirkungen ist dieser Effekt durch die Art der neuronalen Verarbeitung wenig wahrscheinlich.

Optische Immissionen:

Die optisch bedrängende Wirkung wird auch von Seiten der Windenergieindustrie und der Behörden nicht bestritten.

Ob allerdings diese bedrängende Wirkung wirklich in einem Abstand, der der zweifachen Anlagehöhe (2H) entspricht, keine erhebliche Belästigung mehr darstellt, darf bezweifelt werden.

Das Bundesimmissionsschutzgesetz und damit der öffentliche Gesundheitsschutz hält diesen Minimalabstand jedenfalls für ausreichend wirksam.

Studien zu optischen Immissionen sind bisher nur an Standorten mit Windkraftanlagen von maximal 150m Gesamthöhe und bis zu 2,3 MW Leistung durchgeführt worden, so daß zu den Anlagen der neuen Generation mit bis zu 200m Gesamthöhe und einer Leistung von 3 (bis 5) MW noch keine Erkenntnisse vorliegen. Dabei ist bisher auch völlig ungeklärt, ob die Auswirkungen mit zunehmender Anlagengröße linear oder exponentiell ansteigen.

Periodischer Schattenwurf

Durch die betriebsbedingt periodische Bewegung des Rotors von Windkraftanlagen entsteht bei entsprechender Sonneneinstrahlung ein periodischer Schatten. Dieser sogenannte Schlagschatten führt zu Stress mit den bekannten Begleit- und Folgeerscheinungen:

- Schlafstörungen
- Herz-/Kreislaufprobleme
- Magen-/Darmstörungen
- Leistungsbeeinträchtigungen
- Psychische Beeinträchtigungen

Pohl, Faul und Mausfeld haben 2000 in ihrer Laborpilotstudie zur Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windkraftanlagen erhöhte Anforderungen an psychische und physische Ressourcen nachgewiesen. Es zeigte sich auch, daß die allgemeine Leistungsfähigkeit nicht nur während der Zeit der Schattenwürfe abnimmt sondern auch noch darüber hinaus. Mit zunehmendem Alter dauern die Nacheffekte immer länger.

Um eine erhebliche Belästigung zu verhindern, werden aktuell die WEA-Schattenwurf-Hinweise des Länderausschusses für Immissionsschutz berücksichtigt (LAI 2002).

Laut diesen Hinweisen wird eine Einwirkung durch zu erwartenden periodischen Schattenwurf als nicht erheblich belästigend angesehen, wenn „die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer unter kumulativer Berücksichtigung aller WEA-Beiträge am jeweiligen Immissionsort in einer Bezugshöhe von 2 m über dem Erdboden nicht mehr als 30 Stunden pro Kalenderjahr und darüber hinaus nicht mehr als 30 Minuten pro Kalendertag beträgt.“

Die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer ist die Zeit, bei der die Sonne theoretisch während der gesamten Zeit zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang durchgehend bei wolkenlosem Himmel scheint, die Rotorfläche senkrecht zur Sonneneinstrahlung steht und die Windenergieanlage in Betrieb ist. Eine astronomisch mögliche Beschattungsdauer von 30 Stunden pro Jahr entspricht einer meteorologisch wahrscheinlichen Beschattungsdauer (die Zeit, für die der Schattenwurf unter Berücksichtigung der üblichen Witterungsbedingungen berechnet wird) von acht Stunden pro Jahr.

Abgesehen von der oben genannten Laborpilotstudie und einer Feldstudie der gleichen Autoren von 1999 gibt es bisher kaum wissenschaftliche Studien zu den Wirkungen des periodischen Schattenwurfs auf den Menschen.

Wir sehen hier weiteren Forschungsbedarf zur Wirkung des periodischen Schattenwurfs (unter Berücksichtigung der Anlagen der neuen Generation mit ca. 200m Gesamthöhe!) auf die Gesundheit des Menschen. Dabei sollte die Einzelwirkung dieser optischen Immission und getrennt davon auch die Wirkung in der Wechselbeziehung mit den anderen Immissionen vor allem unter dem Aspekt der Langzeit-Einwirkung untersucht werden.

Befeuerung / Hinderniskennzeichnung von Windenergieanlagen:

Zur effizienteren Windenergienutzung werden seit einigen Jahren zunehmend Windenergieanlagen von mehr als 100 m Gesamthöhe errichtet. Entsprechend steigt der Anteil von Anlagen, welche der Kennzeichnungspflicht nach der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen“ (Bundesanzeiger, 2007; BMVBS, 2007) unterliegen. Für die notwendige Nachtkennzeichnung dürfen in Deutschland nur rote Feuer verwendet werden. Die Tageskennzeichnung darf dagegen über farbige Markierungen der Rotorblätter und/oder weiße Feuer (Xenon oder LED) erfolgen. Eingesetzt werden Befeuerungen mit und ohne Synchronisation (innerhalb von Windparks mit mehreren Anlagen) und mit und ohne Sichtweitenregulierung. Sichtweitenregulierung bedeutet eine Anpassung der Nennlichtstärke an die aktuellen Sichtweitenverhältnisse. Zusätzlich gibt es Möglichkeiten, die Befeuerung nach unten abzuschirmen oder mittels Radar eine bedarfsgesteuerte Befeuerung durchzuführen.

Die Nachtkennzeichnung stellt insgesamt eine stärkere Belästigung als die Tagkennzeichnung dar. Ausgenommen hiervon ist die Tagkennzeichnung mit Xenon, die aus diesem Grund nicht mehr empfohlen wird. In der Studie von Hübner und Pohl 2010 zur Hinderniskennzeichnung von Windenergieanlagen wird die Nachtkennzeichnung als ähnlich belästigend wie der periodische Schattenwurf beschrieben:

Periodische Lichtsignale sind Reize, die unter natürlichen Bedingungen äußerst selten vorkommen. Aufgrund dieser Seltenheit ist zu vermuten, dass der Mensch evolutionär nicht auf solche Reize vorbereitet ist. Treten diese im Gesichtsfeld auf, insbesondere im peripheren, so kommt es zu einer unwillkürlichen oder willkürlichen Ausrichtung der Aufmerksamkeit in Richtung der wahrgenommenen Lichtquelle.

Periodische Lichtsignale bewirken also eine Bindung der Aufmerksamkeit, was zur Ablenkung von momentanen Tätigkeiten führen kann. Um die Aufmerksamkeit weiterhin auf die Ausführung der Aufgabe fokussieren zu können, muss zusätzliche Energie aufgewandt werden. Dieser gesamte Vorgang kann je nach seiner Intensität zu einer Funktionsänderung (Auslenkung) verschiedener psychischer und somatischer Systeme führen und damit Stress auslösen.

Die Betroffenen versuchen, durch verschiedene Maßnahmen diesen Stress zu reduzieren: Anbringen und Einsatz von Sichtschutz, weniger Aufenthalt im belasteten Schlafzimmer, Einnahme von Schlafmitteln. Vor allem eine Einnahme von Schlafmitteln kann mit erheblichen Konsequenzen verbunden sein und ist als problematisch einzuschätzen. (Hübner & Pohl 2010).

Akustische Immissionen durch Schall-Emissionen:

Windkraftanlagen sind Energiewandler, die durch Umwandlung der Bewegungsenergie des Windes in Rotationsenergie mit Hilfe eines Generators elektrische Energie erzeugen können. Dabei kann dem anströmenden Wind maximal 59% seiner Leistung im Sinne der Energieerzeugung entzogen werden (Betz'sches Gesetz). Moderne Windkraftanlagen erreichen derzeit einen Leistungsbeiwert von 40%. Der nicht nutzbare Energieanteil des Windes (theoretisch mindestens 41%, praktisch derzeit 60%) findet sich in Form von Druckwellen durch Turbulenzen wieder. Druckwellen sind nichts anderes als Schall. Eine Windkraftanlage produziert also mehr Schall als Strom.

Während mechanische Geräuschursachen verhältnismäßig unbedeutend geworden sind, enthalten Schallemissionen von Windkraftanlagen heute fast ausschließlich Lärmkomponenten aerodynamischen Ursprungs.

Mit der angestrebten Zunahme der Anlagengröße (Repowering) werden neben der Turmhöhe auch die Rotorradien vergrößert. Mittlerweile hat dadurch eine moderne Windkraftanlage die doppelte Spannweite eines Jumbojets erreicht. Die Eigenfrequenz der Rotorblätter liegt mit unterhalb 16Hz im nicht hörbaren Infraschallbereich. Die Rotor spitzen bewegen sich mit bis zu 400km/h auf einer Kreisbahn. Dabei breiten sich wie bei einem Jumbojet Wirbelschleppen in Lee-Richtung aus. Die Vergrößerung der Anlagen hat sowohl stärkere als auch zunehmend niedrfrequente Schallemissionen zur Folge.

Die Schallausbreitung wird durch die Phänomene geometrische Verdünnung, Luftdämpfung, meteorologische Einflüsse, Bodeneffekt, mögliche Hinderniswirkung sowie mögliche Reflexionen bestimmt.

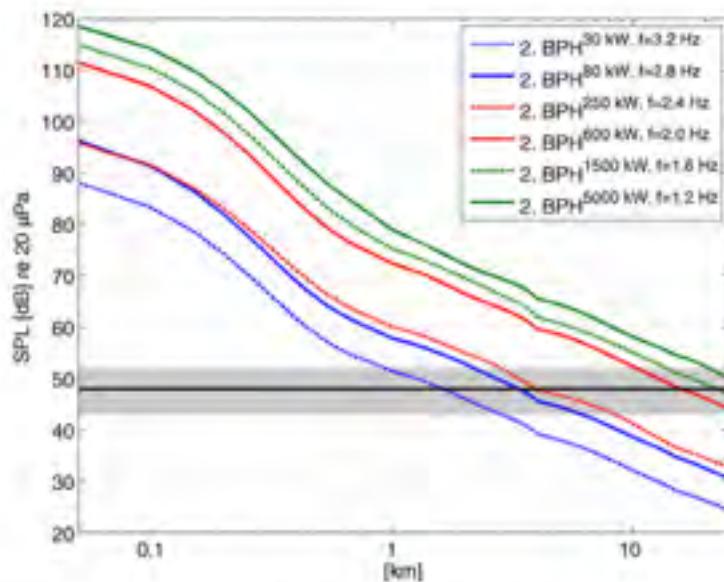
Mit zunehmender Entfernung wird der Schalldruck nach folgendem Gesetz abgeschwächt: bei Verdoppelung des Abstands wird bei idealisiert kugelförmigem Ausbreitungsmuster der Schalldruck halbiert, sinkt also um 6 dB. Bei ungünstigen Umgebungseinflüssen kann ein eher zylindrischer Ausbreitungsmodus mit nur 3 dB Schalldruckabnahme je Abstandsverdoppelung entstehen.

Viele gleichartige Anlagen erhöhen den Schallpegel nach folgender Faustregel: ein Anlagenpaar erzeugt zusammen 3 dB mehr Schalldruck als die einzelne Anlage.

Je langwelliger der Schall ist, desto durchdringender verhält er sich. Mit sinkender Schallfrequenz wird die Schallabsorption durch Dämmmaßnahmen wirkungslos. Infraschall lässt sich durch keine Schutzmaßnahmen bremsen, er nimmt nur langsam mit zunehmendem Abstand zu seinem Ursprungsort ab.

Innerhalb von Gebäuden sind häufig höhere Meßwerte nachweisbar als davor, routinemäßige Messungen im Haus sind bisher nicht vorgeschrieben.

Infraschall ist noch in 10km Abstand von Windenergieanlagen nachweisbar!



Ausgehend von der analytischen Formulierung zur Abschätzung des emittierten Schalldruckpegels unterschiedlicher Windräder zur Stromerzeugung zwischen 30 und 5000 kW kann unter Berücksichtigung des mittleren Rauschniveaus an der Station I26DE im Bayerischen Wald bei 1 bis 3 Hz (grauer Balken) ein Mindestabstand der Windräder zur Station angegeben werden

Quelle: BGR

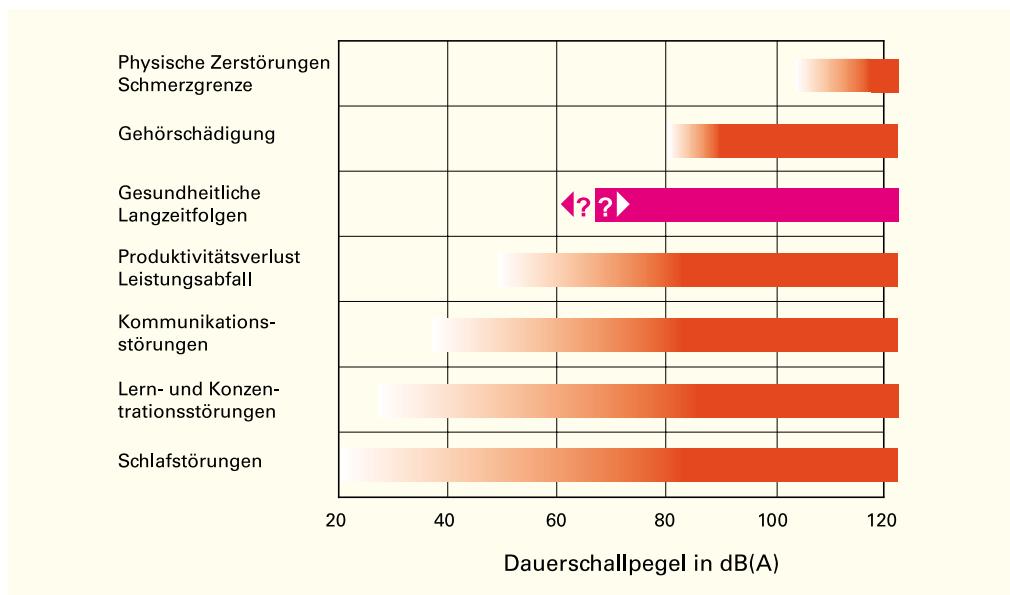
Lärm / hörbarer Schall:

Lärm kann man unterteilen in eine objektive Komponente, die dem physikalischer Reiz entspricht (Lautstärke in dB, Impulshaltigkeit) und in eine subjektive Komponente, die aus dem individuellen Erleben besteht (wie das Geräusch empfunden/bewertet wird). Durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz und die TA Lärm soll der Mensch vor schädlicher Lärmeinwirkung geschützt werden.

Auszug aus den Richtwerten der TA Lärm:

Kerngebiete, Dorfgebiete und Mischgebiete	tags 60 dB(A)	nachts 45 dB(A)
Allgemeine Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebiete	tags 55 dB(A)	nachts 40 dB(A)
Reine Wohngebiete	tags 50 dB(A)	nachts 35 dB(A)

Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen die Immissionswerte am Tage um nicht mehr als 30 dB(A) und in der Nacht um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten.



Wichtige Lärmwirkungen nach VDI 2719 und BGV B3

(Quelle: LfU)

Die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg hat 2004 oben stehende Grafik in einer Informationsbroschüre zu Lärm und Gesundheit veröffentlicht und auch das Bayerische Landesamt für Umwelt schreibt 2004, daß ab 25 dB(A) die Erholsamkeit des Schlafes verringert ist.

Für die Auswirkungen des Lärms ist nicht nur die Höhe der gemessenen Mittelwerte entscheidend, sondern das Zusammenspiel aller Komponenten. Vor allem periodisch auftretende Geräusche haben eine erhöhte Streßwirkung. So kann es sein, dass auch Lärm, der unterhalb der erlaubten Richtwerte liegt, Gesundheitsstörungen hervorruft.

Für andere gut untersuchte Lärmquellen konnte nachgewiesen werden, daß Lärm (indem er stört und belästigt) als psychosozialer Stressfaktor nicht nur das subjektive Wohlempfinden und die Lebensqualität beeinträchtigt.

Lärm beeinträchtigt auch die Gesundheit im engeren Sinn. Er aktiviert das autonome Nervensystem und das hormonelle System. Die Folge können Veränderungen von Blutdruck, Herzfrequenz und anderen Kreislauf faktoren sein. Der Körper schüttet vermehrt Stresshormone aus, die ihrerseits in Stoffwechselvorgänge des Körpers eingreifen. Die Kreislauf- und Stoffwechselregulierung wird weitgehend unbewusst über das autonome Nervensystem vermittelt. Die autonomen Reaktionen treten deshalb auch im Schlaf und bei Personen auf, die meinen, sich an Lärm gewöhnt zu haben. Zu den möglichen Langzeitfolgen chronischer Lärm belastung gehören neben den Gehörschäden auch Änderungen bei biologischen Risikofaktoren (zum Beispiel Blutfette, Blutzucker, Gerinnungsfaktoren) und Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie arteriosklerotische Veränderungen („Arterienverkalkung“), Bluthochdruck und bestimmte Herzkrankheiten einschließlich Herzinfarkt. (Mersch-Sundermann, V., 2010).

Die Gefahr, durch Lärm zu erkranken, wird mit zunehmendem Alter immer größer.

Die Hörbarkeit des Lärms beinhaltet zugleich eine Schutzfunktion: der Mensch sucht sich dem störenden und möglicherweise schädigenden Lärm zu entziehen oder die Lärmquelle abzuschalten.

Beim Infraschall versagt diese Schutzfunktion leider, weil er für unser Ohr unhörbar ist. Unhörbar bedeutet aber nicht automatisch unschädlich (s. z.B. radioaktive Strahlung, UV-Strahlung).

Tieffrequenter Schall und Infraschall:

Die Wahrnehmung und Wirkung tieffrequenter Geräusche unterscheiden sich erheblich von der Wahrnehmung und Wirkung mittel- und hochfrequenter Geräusche. Im Bereich zwischen 60 und 16 Hz (tieffrequenter Schall) nimmt bei noch vorhandenem Höreindruck die Tonhöhenempfindung ab, die unter 16 Hz (Infraschall) völlig verschwindet. Bei entsprechendem Schalldruckpegel wird Infraschall als Pulsation oder Vibration vom Körper aufgenommen.

Die höchste Empfindlichkeit des Hörorgans liegt bei 3.000 - 4.000 Hz, Geräusche mit z.B. 10 Hz können auch bei hohen Pegeln von 100 dB nicht mehr „gehört“ werden. Die Wirkungen auf die anderen Körperorgane (Gehirn, Herz-Kreislauf, Leber, Nieren, Magen, Skelett) existieren aber unabhängig vom Gehör als sogenannte extraurale Wirkung.

Forschungen von Salt haben 2012 gezeigt, daß die äußeren Haarzellen des Innenohres durch tieffrequente Schall mit Schalldruckpegeln unterhalb der bis dahin beschriebenen Wahrnehmungsschwelle erregt werden und Informationen an das Gehirn weiterleiten. Bei einer Frequenz von 10 Hz genügt dafür ein Schalldruck von 60 dB.

Die Wirkungen der nicht gehörten, aber im Gehirn verarbeiteten Schallereignisse sind vielfältig. Drei Mechanismen sind bekannt:

- Mechanismen der unbewussten Aufmerksamkeitssteigerung:
Infraschall beeinflusst die auditive Verarbeitung und die Funktion des Stammhirns, der Schnittstelle von Rückenmark und Gehirn. Hier findet die Steuerung essentieller Lebensfunktionen statt (Herzfrequenz, Blutdruck, Atmung, wichtige Reflexe). Tieffrequenter Schall versetzt somit das Stammhirn in einen „Alarmzustand“. Die Folge:
Schlafstörungen, Panik, Blutdruckanstieg, Konzentrationsstörungen
- Amplitudenmodulation durch Empfindlichkeitsänderung der Inneren Haarzellen.
Die Folge:
Pulsation, Unwohlsein, Stress
- Endolymphatischer Hydrops. Die Folge:
Unsicherheit, Gleichgewichtsstörungen, Schwindel, Übelkeit, Tinnitus, Druckgefühl im Ohr, „Seekrankheit“

Neben der neu festgestellten Schallaufnahme von Infraschall und Reizweiterleitung durch die äußeren Haarzellen des Innenohres (Hörorgan, Cochlea) werden Schallwellen auch durch das Vestibularorgan (Gleichgewichtsorgan, Otholithenorgan) empfangen. Das Gleichgewichtsorgan ist für Schallwellen von z.B. 10 Hz um 15 dB empfindlicher als das Hörorgan. Primär entsteht eine Unsicherheit durch verzerrte Wahrnehmung und Verschlechterung der Verarbeitung von Gleichgewichtssignalen, sekundär können kognitive Probleme, Angst und Panikattacken entstehen.

Gewöhnung als sensibilitätsmindernde Adaptation ist in Bezug auf die neurologische (nicht psychoakustische!) Verarbeitung von Langzeit-Niederfrequentem Schall in der

Medizin nicht bekannt. Im Gegenteil: je länger die Dauer der Exposition, desto mehr rücken unterschwellige Ereignisse durch Bahnungseffekte in den Bereich der medizinischen Wirksamkeit (Goldenstein 1967, Ambrose und Rand 2012, Colin H. Hansen 2013).

2005 ist von Weiler in einer Einzeluntersuchung an einer Probandin experimentell nachgewiesen worden, daß sich das EEG durch Infraschalleinwirkung unterhalb der Hörschwelle signifikant verändert. Die Topographische Darstellung des Alpha3-Bandes wies dabei ein sehr ähnliches Verteilungsmuster wie bei Tinnituspatienten auf. Für den zweiten langsam Frequenzbereich (Theta) konnten anhand der Brainmaps erhöhte Powerwerte im linken und/oder rechten vorderen Quadranten nachgewiesen werden. Beides sind typische Bilder für eine labile emotionale Lage. Zusätzlich konnte eine erhöhte Theta-power im okzipitalen Bereich dokumentiert werden, was auf das Vorliegen von Schwindel und von Schlafstörungen hinweist. Diese Einzelfalluntersuchung ist ein wichtiger Hinweis auf die vermuteten Zusammenhänge, die dringend mit einer ausreichend großen Probandenzahl weiter erforscht werden sollten.

Erstmals 2009 von Nina Pierpont und seither auch in vielen anderen Fallberichten weltweit beschrieben, werden die folgenden Symptome inzwischen zur sogenannten Windturbinen-Krankheit (Wind-Turbine-Syndrome) zusammengefaßt:

- Schlafstörungen
- Tagesmüdigkeit, Leistungseinbußen
- Konzentrationsstörungen
- Lernschwierigkeiten bei Kindern
- Schwindel, Gleichgewichtsstörungen
- Tinnitus
- Kopfschmerzen
- Sehstörungen
- Funktionsstörungen am Herzen
- Hoher Blutdruck
- Übelkeit, Magen-Darm-Störungen
- Reizbarkeit, innere Unruhe
- Panikattacken
- Depression

Im Schlüsselkatalog der Internationalen Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme (ICD-10-GM-2014) werden Infraschall, mechanische Schwingungen oder Vibrationen unter den Nummern T 75.2 und Z 57.7 gelistet.

Wie kann durch ministerielle Broschüren und durch Äußerungen von politischen Mandatsträgern ständig der Anschein vermittelt werden, dass von niederfrequenten Emissionen keine Gefahren ausgehen können?

Man begründet dies damit, der Infraschall der Windkraftanlagen liege deutlich unter der „Wahrnehmungsschwelle“ des Menschen.

Die Orientierung an einer „Wahrnehmungsschwelle“ ignoriert bekannte Krankheitsentstehungswege. Die krankmachenden Wirkungen niederfrequenter Schallwellen beruhen auf messbaren physiologischen Mechanismen und müssen von der immer wieder angeführten Wahrnehmungsschwelle deutlich getrennt werden!

Dies beruht auf der Tatsache, dass die Schallaufnahme bei weitem nicht auf das Gehör beschränkt ist (Gehirn, Haut, Gleichgewichtsorgan etc.).

Medizinisch erfassbare Wirkungen entstehen bei Langzeitbelastung mit Infraschall durch Bahnungseffekte auch bei Pegeln deutlich unter der „Wahrnehmungsschwelle“.

Die „Wahrnehmungsschwelle“ als untere Grenze des Gesundheitsschutzes ist heute nicht mehr akzeptabel. Eine auf den vorliegenden medizinischen Wirkungen basierende „Wirkungsschwelle“ muss zukünftig den Rahmen der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung festlegen.

Es ist in der Medizin bekannt, dass chronische Krankheiten nach dem Dosis-Wirkungsprinzip entstehen (Dosis im Körper ist das Produkt aus Intensität mal Wirkungsdauer) : „Die Dosis macht das Gift“. Dies macht plausibel, warum Infraschallfolgen erst nach Monaten oder Jahren der Belastung entstehen können und die Ursache der Erkrankungen somit verschleiert wird. Die gängige Praxis der Kurzzeitmessungen ignoriert Langzeitfolgen. Dadurch ist die (Schutz-)Norm „langzeitblind“, genau wie gerne zitierte Laboruntersuchungen zur Infraschallproblematik.

Es gibt keine belastbaren Studien, die die Unbedenklichkeit von langfristiger Einwirkung tieffrequenten Schalles unterhalb der Hörschwelle beweisen!

Schon 2007 hatte das Robert-Koch-Institut einen deutlichen Mangel an umweltmedizinisch orientierten wissenschaftlichen Studien zu tieffrequentem Schall festgestellt und großen Handlungsbedarf gesehen.

In der „Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall“, die im Juni 2014 vom Umweltbundesamt veröffentlicht worden ist, wird festgestellt:

- dass negative Auswirkungen von Infraschall im Frequenzbereich unter 10 Hz auch bei Schalldruckpegeln unterhalb der Hörschwelle nicht ausgeschlossen sind
- dass bei tiefen Frequenzen mit steigender Dauer der Exposition die Empfindlichkeit zunimmt
- dass derzeit für den Infraschallbereich (0,1 bis 20 Hz) keine allgemeingültige Mess- und Beurteilungsvorschrift existiert.
- dass im ganzheitlichen Immissionsschutz auch der Frequenzbereich unter 8 Hz berücksichtigt werden sollte. (Der Neuentwurf der DIN 45680 berücksichtigt nur Frequenzen über 8 Hz)
- dass es fraglich ist, ob das Abstrahlungs- und Ausbreitungsmodell für kleinere Windenergieanlagen auf moderne, große Anlagen übertragbar ist. Aufgrund theoretischer Betrachtungen von Strömungsaustikern ist nicht davon auszugehen. Zudem kann je nach Ausbreitungsbedingungen der Schalldruckpegel mit zunehmendem Abstand zu- statt abnehmen (Van den Berg 2006)

Diese Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall beinhaltet die aktuell umfangreichste Literaturübersicht und sieht unverändert einen dringenden Forschungsbedarf.

Die Ärztekammer Wien warnt im April 2014 vor groß dimensionierten Windkraftanlagen und fordert umfassende Studien über mögliche gesundheitsgefährdende Auswirkungen sowie gemäß dem einzuhaltenen Vorsorgeprinzip einen adäquaten Mindestabstand in besiedelten Gebieten.

In Schweden haben Fachärzte in der Schwedischen Ärztezeitung im August 2013 auf die Gesundheitsrisiken durch Infraschall hingewiesen und festgestellt, daß 30% der Anwohner davon betroffen sind.

Die Abwehr dieser Gesundheitsschäden hält in Deutschland derzeit nicht Schritt mit der geplanten flächendeckenden, bedrängenden Entwicklung der Windkraft: Die Abwehr von Gesundheitsschäden kann nicht einer gewollten technischen Entwicklung geopfert werden, sondern muss zwingend mit dieser Entwicklung Schritt halten.

Die Mess- und Auswertungsvorschriften und die benötigten Schallprognosen im Genehmigungsverfahren von Windkraftanlagen sind nicht zum Schutz der sensiblen Strukturen im menschlichen Organismus (Cochlea, Vestibularorgan) geeignet. Nur mit sensibler Technik (mikrobarometrische Messverfahren, FFT-Analyse) lassen sich die sensiblen anatomischen Strukturen schützen.

Die Problematik ungeeigneter Schutznormen betrifft auch das Bundesimmissionsschutzgesetz sowie die dazugehörige TA Lärm mit der DIN 45680. Derzeit läuft in Berlin noch das Novellierungsverfahren der DIN 45680 Norm für die Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen, wozu auch Infraschall gehört. Diese Überarbeitung der als Schutznorm für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung gedachten Regelung sollte den rasanten technischen Entwicklungen der Emissionsquellen einerseits und dem vertieften Verständnis über gesundheitliche Immissionswirkungen andererseits Rechnung tragen. Dies ist im derzeitigen Entwurf der DIN 45680 allerdings nicht der Fall und hat zu einer Fülle von medizinischen und wissenschaftlichen Einsprüchen geführt.

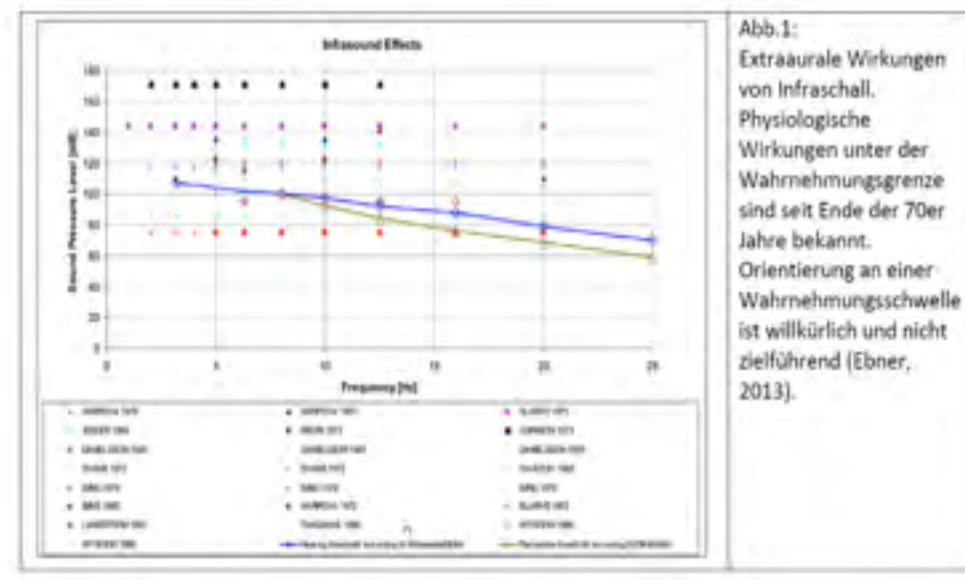
Exemplarisch die Argumentation des Ärzteforums Emissionsschutz Bad Orb:

1. Die Orientierung an einer "Wahrnehmungsschwelle" ignoriert bekannte Krankheitsentstehungswege

Pathogene Wirkungen niederfrequenter Schallwellen entstehen tatsächlich auf Grund physiologischer und neurobiologischer Mechanismen und müssen von der immer wieder ins Feld geführten Wahrnehmung jeglicher Art getrennt bewertet werden. Dies beruht auf der Tatsache, dass die Schallaufnahme bei weitem nicht auf das Gehör beschränkt ist: bekannt sind heute die Schallaufnahme durch die äußeren Haarzellen des Innenohrs (OHCs) und durch das Gleichgewichtsorgan, wobei die neurologische Verarbeitung und die pathophysiologischen Auswirkungen jeweils durch EEG-Untersuchungen und entstehende Krankheitssymptome nachweisbar werden (Ising 1978, Kasprzak 2010, Krahé 2010, Holstein 2011).

Medizinisch erfassbare Wirkungen und neurologische Reaktionen entstehen bei Langzeitbelastung mit LFN aber auch bei Pegeln deutlich unter der „Wahrnehmungsschwelle“ durch Bahnungseffekte. Die Vielzahl der uns vorliegenden Kasuistiken zu den Langzeiteffekten von LFN zeigen gleichsinnige Verläufe und Symptomatiken. Die wesentlich geringere Erregungsschwelle des Gleichgewichtsorgans auf LFN (bei 10Hz etwa 45dB empfindlicher als das Hörorgan!) und die heute bekannte physiologische Funktion der „saccular acoustic sensitivity“ bei der Verarbeitung akustischer Signale machen plausibel, warum die bislang angesetzte "Wahrnehmungsschwelle" als Schutzwert unbrauchbar ist.

Die Verortung der gefundenen Symptome auf der Pegel-Frequenzgrafik von Ebner (Abb.1) zeigt deutlich, wie willkürlich die "Wahrnehmungsschwelle" der DIN 45680 das Feld der medizinischen Wirkungen durchschneidet. Anerkannte wissenschaftliche Literatur (Wysocki 1980, Ising 1978, Danielsson 1985) zeigt auf, dass die "Wahrnehmungsschwelle" als untere Grenze des Gesundheitsschutzes heute nicht mehr akzeptabel ist.



Eine neue Definition des Mindestschutzniveaus für die Bevölkerung gegenüber der zunehmenden Durchsetzung unseres Lebensraumes durch LFN ist daher dringend geboten: Eine auf den vorliegenden medizinischen Wirkungen basierende „Wirkungsschwelle“ muss zukünftig den Rahmen der für tolerierbar erachteten gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung abstecken und gleichzeitig der technischen Entwicklung als Wegweiser in eine menschenfreundlichere Richtung dienen.

2. Kurzzeitmessungen ignorieren Langzeitfolgen

Die im aktuellen DIN-45680-Entwurf bislang beschriebenen Infraschallwirkungen betreffen in der Regel höhere Pegel und kurzzeitige Expositionen. Die Norm ist „langzeitblind“, genau wie gerne zitierte Laboruntersuchungen zur Infraschallproblematik. Es ist aber in der Medizin bekannt, dass chronische Krankheiten nach dem Dosis-Wirkungsprinzip (Dosis im Körper ist das Produkt aus Intensität mal Wirkungsdauer) auch durch unterschwellige Stressoren entstehen können, sofern die Schädigungsdauer und die Periodizität zu einer Summation von selbst unterschwelligen Wirkungen führen. „Die Dosis macht das Gift“. Gewöhnung als sensibilitätsmindernde Adaptation ist in Bezug auf die neurologische (nicht psychoakustische!) Verarbeitung von Langzeit-LFN in der Medizin nicht bekannt.

Im Gegenteil: je länger die Dauer der Exposition, desto mehr rücken unterschwellige Ereignisse, durch Bahnungseffekte, z.B. durch die Torwächterfunktion des limbischen Systems in den Bereich der medizinischen Wirksamkeit. Dieser Wirkmechanismus ist auch bei der Entstehung des Tinnitus beteiligt.

Gleiches gilt auch für das Auftreten periodischer LFN-Ereignisse. Verarbeitungsstrategien gegen periodisch einwirkende Noxen sind in der Natur nicht bekannt (Mausfeld 1999) und werden auch beim Menschen nicht wirksam. Dies macht plausibel, warum Infraschall-folgen erst nach Monaten oder Jahren der periodischen Belastung entstehen können und die Ursache der Erkrankungen somit verschleiert wird.

3. *Tonalität und Impulshaltigkeit werden unterbewertet*

Entscheidend für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens und die Schwere der Symptome sind neben dem Pegel und der Dauer der Exposition gegenüber LFN vor allem das Vorhandensein tonaler/schmalbandiger Spitzen und spektraler Auffälligkeiten. Diese erfahren durch Resonanzphänomene in den Wohnräumen der Betroffenen eher eine Verstärkung als dies für breitbandige Geräusche der Fall ist (Ambrose / Rand 2012). Tonale Komponenten in tieffrequenten Geräuschen sind typisch für technischen Quellen, die LFN emittieren.

Sie tragen durch ihre charakteristischen Eigenschaften (Pegel über Hintergrund, Frequenzstabilität) ganz wesentlich zu der Schädigungs- und Störwirkung tieffreudiger Schallbelastungen bei (Inukai 2004/2005). Die besondere Bedeutung tonaler Anteile sind in der Akustik und Lärmwirkungsforschung seit Jahren bekannt und die zugrundeliegenden Mechanismen in der neuronalen Verarbeitung von Schallreizen begründet.

Die besondere Empfindlichkeit des Menschen für periodische Schallreize tiefer Frequenzen auch unterhalb der Hörschwelle wurde erstmalig schon 1967 belegt (Goldenstein). Die besondere Relevanz auch unterschwelliger tonaler Spitzen wurde jüngst erneut sowohl von Ambrose und Rand (2012) als auch von Colin H. Hansen (2013) bestätigt.

Die angestrebte Neufassung der DIN 45680 in Bezug auf die Tonhaltigkeit und Impulshaltigkeit der Schallemissionen von Windenergieanlagen und anderen LFN emittierenden Industrieanlagen würde eine deutliche Zunahme der unzumutbaren Belastungen durch technische Quellen nach sich ziehen.

4. *Derzeitig benutzte Messtechnik, Auswertungsverfahren und Schallprognosen sind für Infraschall ungeeignet*

Die sensiblen Strukturen im menschlichen Organismus (Cochlea, Vestibularorgan) können durch Aufnahme, Weiterleitung und Verarbeitung auch relativ schwächer und niederfrequenter Schallimmissionen geschädigt werden. Es gilt also: die Verfeinerung der Mess- und Auswertungstechnik muss mit der Erkenntnis niedrigerer Wirkungsschwellen Schritt halten. Nur mit sensibler Technik (mikrobarometrische Messverfahren, FFT-Analyse) lassen sich sensible Strukturen schützen. Die in der angestrebten Neufassung der DIN 45680 beschriebene veraltete Messtechnik und die vereinfachten Auswertungsmethoden sind daher nicht mehr zeitgemäß und erfüllen weder qualitativ noch quantitativ die Erfassungsanforderungen, die notwendig sind, das Ziel dieser Norm zu erfüllen: Den Gesundheitsschutz der von den Immissionen betroffenen Menschen.

Die für die Genehmigungspraxis von Windkraftanlagen gültigen Verordnungen und Normen zur Abwehr von Emissionsfolgen in Deutschland geben de facto den aktuellen Wissensstand nicht wieder und lassen im internationalen Vergleich wesentlich zu niedrige Abstände der Emissionsquellen zur Bevölkerung zu. Nicht umsonst haben gerade die Staaten mit vermehrter infraschallbezogener Forschung dem Bau von Windkraftanlagen größere Auflagen erteilt (Portugal, Österreich, Polen) oder Baustops verfügt, um Forschungsergebnissen nicht vorzugreifen (Australien, Kanada).

Eine Erkenntnis lässt sich auf jeden Fall aus den vorliegenden Informationen ableiten: Ein großer Abstand zur Windkraft-Emissionsquelle stellt eine größere, aber nicht absolute Sicherheit vor emissionsbedingten Gesundheitsschäden dar.

Der Bund lässt über die Länderöffnungsklausel Abstände bis zur 10 fachen Anlagenhöhe zu. Im Sinne der Risikovorsorge haben andere Bundesländer (z.B. Bayern) die Länderöffnungsklausel genutzt, die Gesundheit ihrer Bürger durch ausreichende Mindestabstände (10H) zu schützen.

Bis zum Vorliegen belastbarer Ergebnisse aus Langzeituntersuchungen mit ausreichend großen Probandenzahlen und geeignetem Studienaufbau (siehe Machbarkeitsstudie) sollte daher auch für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung vorsorglich bundesweit der „Bayrische Mindestabstand“ von 10H festgeschrieben werden.

Exposition mit CFK-Partikeln bei Bränden:

Beim Bau von Windkraftanlagen werden für die Herstellung der Rotoren kohlefaser verstärkte Kunststoffe (CFK) eingesetzt. Laut Windkraft-Journal rechnen Experten mit einem Bedarf an Carbonfasern für die Windindustrie von rund 22.700 Tonnen in 2015 und 54.2270 Tonnen in 2020.

Im Fall eines Brandes verändern sich Carbonfasern bei Temperaturen von mehr als 650°C und erreichen eine kritische Größe, die in die Lunge eindringen kann. Damit steht das Material nach den Kriterien der Weltgesundheitsorganisation WHO im Verdacht, Krebs zu erregen.

Prof. Sebastian Eibl vom Wehrwissenschaftlichen Institut für Werk- und Betriebsstoffe in Erding führt seit Jahren Forschungen zu diesem Thema durch. Im August 2014 sind Experten der Bundeswehr mit ihren Warnungen an die Öffentlichkeit gegangen.

Nach einer Studie des Imperial College in Großbritannien geraten im Durchschnitt weltweit im Monat 10 Windturbinen in Brand. Eine im oberen (Rotor-)Bereich brennende Windturbine kann man nicht löschen und man hat, anders als bei einem Brand am Boden, keine Möglichkeit, die entstehenden Partikel mit Spezialschaum oder - lack zu binden. Sie werden ungehindert in die Umgebung abgegeben.

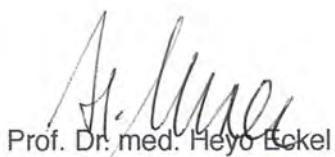
Als Ärzte sehen wir uns in der Pflicht, die Menschen vor den gesundheitlichen Nachteilen einer zunehmenden Technisierung unserer Umwelt zu schützen. Gesundheitliche Schutzbereiche sind nicht verhandelbar und dürfen nicht zum politischen Tauschobjekt werden. Die Gesundheit ist das höchste Gut, welches wir besitzen.

Wir wollen vermeiden, dass Menschen aufgrund fehlender Risikovorsorge erkranken.

Es gibt bereits jetzt ausreichende wissenschaftliche Hinweise, die belegen, dass die derzeitige Praxis der Windkraftanlagenplanung nicht den wissenschaftlichen Erkenntnissen genügt, um eine medizinische Unbedenklichkeit zu formulieren. Vor einem weiteren Ausbau der Windenergie sollte zum Schutz vor Immissionen dringend die Forschung auf diesem Gebiet intensiviert werden, um belastbare Informationen zu den erforderlichen Rahmenbedingungen zu erhalten.

Ohne medizinische Grundlagenforschung bei offensichtlichen Nebenwirkungen darf kein technologischer Wandel in diesem Land vollzogen werden.

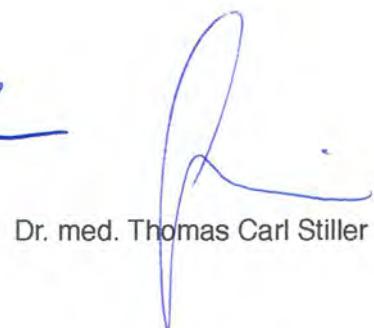
Ärzte stehen hier in der Verantwortung, ihre Stimme zu erheben und Fehlentwicklungen zu verhindern.



Prof. Dr. med. Heyo Eckel



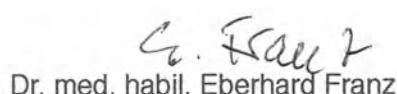
Dr. med. Rolf Sammeck



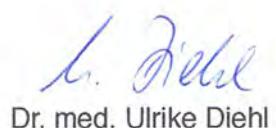
Dr. med. Thomas Carl Stiller



Dr. med. Anita Schmidt-Jochheim



Dr. med. habil. Eberhard Franz



Dr. med. Ulrike Diehl



Martina Ohlmer

Dr. med. Michael Jäkel

Dr. med. Herbert Klengel



Dr. med. Stephan Bartels

Literaturreferenz (Auswahl):

World Health Organisation. Night noise guidelines for Europe. Copenhagen. 2009.

Nissenbaum MA, Aramini JJ, Hanning CD. Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health. *Noise & Health* 2012;14: 237-43.

Basner M, Babisch W, Davis A et al. Auditory and non-auditory effects of noise and health. *Lancet* 2013, dx.doi.org/10.1016

Hume KI, Brink M, Basner M. Effects of environmental noise on sleep. *Noise & Health* 2013;IP 193.171.77.1

Carter PJ, Taylor BJ, Williams SM, Taylor RW. Longitudinal analysis of sleep in relation to BMI and body fat in children: the FLAME study. *BMJ* 2011;342:d2712

Chung SA, Wolf TK, Shapiro CM. Sleep and health consequences of shift work in women. *J Women's Health* 2009;18:965-77.

Hoevenaar-Blom MP, Annemiek MW, Spijkerman AMW, Kromhout D, van den Berg JF, Verschuren WMM. Sleep Duration and Sleep Quality in Relation to 12-Year Cardiovascular Disease Incidence: The MORGEN Study. *SLEEP* 2011;34:1487-92.

Hoevenaar-Blom MP, Annemiek MW, Spijkerman AMW, Kromhout D, Verschuren WMM. Sufficient sleep duration contributes to lower cardiovascular disease risk in addition to four traditional lifestyle factors: the MORGEN study. *Eur J Prevent Cardiol* 2013; doi: 10.1177/2047487313493057.

Laugsand LE, Strand LB, Platou C, Vatten LJ, Janszky I. Insomnia and the risk of incident heart failure: a population study. *Eur Heart J* 2013 doi:10.1093/eurheartj/eht019. Page 6

Möller-Levet CS, Archer SN, Bucca G, et al. Effects of insufficient sleep on circadian rhythmicity and expression amplitude of the human blood transcriptome. *PNAS* 2013; doi/10.1073/pnas.1217154110.

Pierpont N. Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment. K Selected Publications, Santa Fe, New Mexico 2009.

Archer NA, Laing EE, Möller-Levet CS et al. Mistimed sleep disrupts circadian regulation of the human transcriptome. *PNAS* 2014; www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1316335111

Vyas MV, Garg AX, Iansavichus AV et al. Shift work and vascular events: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2012;345:e4800 doi.

Salt AN, Lichtenhan JT. Responses of the inner ear to infrasound. IVth International Meeting on Wind Turbine Noise, Rome, Italy April 2011.

Schomer PD, Edreich J, Boyle J, Pamidighantam P. A proposed theory to explain some adverse physiological effects of the infrasonic emissions at some wind farm sites. 5th International Conference on Wind Turbine Noise Denver 28-30 August 2013

Ananthaswamy A. Like clockwork. New Scientist, 31st August 2013 Pp 32-5.

Casella Stanger. Report on Low Frequency Noise Technical Research Support for DEFRA Noise Programme (on behalf of DEFRA, Department of the Environment, Northern Ireland, Scottish Executive, National Assembly for Wales). 2001.

Noise Review Working Party Report (Batho WJS, Chair). HMSO, London 1990.

Kelley ND, Hemphill RR, McKenna HE. A methodology for assessment of wind turbine noise generation. Trans ASME 1982;104:112-20.

Kelley ND, McKenna HE, Hemphill RR, Etter CI, Garrelts RI, Linn NC. Acoustic noise associated with the MOD .. 1 wind turbine: its source, impact, and control. Solar Energy Research Institute, A Division of Midwest Research Institute, 1617 Cole Boulevard, Golden, Colorado USA. February 1985

Kelley ND. A proposed metric for assessing the potential of community annoyance from wind turbine low-frequency noise emissions. Presented at the Windpower '87 Conference and Exposition San Francisco, California, October 5-8, 1987. Solar Energy Research Institute. A Division of Midwest Research Institute 1617 Cole Boulevard Golden, Colorado USA, November 1987

Bray W, James R. Dynamic measurements of wind turbine acoustic signals, employing sound quality engineering methods considering the time and frequency sensitivities of human perception. Proceedings of Noise-Con; 2011, July 25-7;Portland, Oregon.

Frey BJ, Hadden PJ. Wind turbines and proximity to homes: the impact of wind turbine noise on health (a review of the literature & discussion of the issues). January 2012. http://www.windturbinesyndrome.com/wp-content/uploads/2012/03/Frey_Hadden_WT_noise_health_01Jan2012.pdf

Hanning CD, Evans A. Wind Turbine Noise. BMJ 2012; 344 e 1527 Page 7

von Hünerbein S, Moorhouse A, Fiumicelli D, Baguley D. Report on health impacts of wind turbines (Prepared for Scottish Government by Acoustics Research Centre, University of Salford), 10th April 2013.

<http://aefweb.info/data/AUSWEA-2004conference.pdf>

Møller H, Pedersen CS. Low-frequency noise from large wind turbines. J Acoust Soc Am 2011;129:3727-44.

Phillips DJW. Iodine, milk, and the elimination of epidemic goitre in Britain: the story of an accidental public health triumph. JECH 1997;51:391-3.

Kamperman GW, James R. The "How To" guide to siting wind turbines to prevent health risks from sound (P 8): <http://www.windturbinesyndrome.com/wp-content/uploads/2008/10/kamperman-james-8-26-08-report-43-pp.pdf> 24]

Ising, H. und Kruppa, B. 2001. Zum gegenwärtigen Erkenntnisstand der Laermwirkungsforschung: Notwendigkeit eines Paradigmenwechsels. UMWELTMEDIZIN IN FORSCHUNG UND PRAXIS 6, no. 4: 181- 189.

Ising, H., Kruppa, B., Babisch, W., Gottlob, D., Guski, R., Maschke, C. und Spreng, M. 2001. Kapitel VII-1 Lärm. In Handbuch der Umweltmedizin, 7:1-41. Landsberg/Lech: Ecomed Verlagsgesellschaft AG & Co.KG.

Pohl, J., Faul, F., Mausfeld, R. Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen. Laborpilotstudie. Kiel 2000

Pohl, J., Faul, F., Mausfeld, R. Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen. Kiel 1999

Hübner, G., Pohl, J. Akzeptanz und Umweltverträglichkeit der Hinderniskennzeichnung von Windenergieanlagen. Halle 2010

Schneller, T., Stress, Stressfolgen, Stressbewältigung, Vortrag Medizinische Psychologie MH Hannover 2007

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Lärm - Hören, messen und bewerten, 2013

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Lärm bekämpfen - Ruhe schützen, 2. Auflage 2004

MAUSFELD, Prof.Dr.Rainer: Christian Albrechts Universität Kiel, Institut für Psychologie, 2000

MØLLER,H.,PEDERSEN,S.: Tieffrequenter Lärm von großen Windkraftanlagen - Übersetzung der dänischen Studie,2010

BARTSCH,Dr.Ing.Reinhard: Biologische Wirkung von luftgeleitetem Infraschall,2007

HUBBARD,H.H.,SHEPHERD,K.P.,Aeroacoustics of large windturbines,J.Acoust.Soc.Am., 89(6),24952508,1991.

BORGmann,Rüdiger,Fachverband Strahlenschutz: Infraschall,2005

KRAHE,Prof.Dr.ing.Detlef: Tieffrequenter Lärm nicht nur ein physikalisches Problem,2010

SCHOLZ,S.: Güte der visuellen und auditiven Geschwindigkeitsdiskriminierung in einer virtuellen Simulationsumgebung. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades im Fachbereich Sicherheitstechnik. Bergischen Universität Wuppertal.S.117.,2003

Bundesumweltamt: Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall. Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen, 2011

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Windenergie und Infraschall, Tieffrequente Geräusche durch Windenergieanlagen,2013

SALT,Prof.Dr.Alec,Ph.D.: Kann Infraschall das menschliche Innenohr beeinflussen,2012

Prof.Dr.Ing.DetlefKrahé, Psychologische und physiologische Wirkung von Infraschall,2009

WHO,Night Noise Guidelines,2009

Mersch-Sundermann, V. et al., Macht Schienenlärm krank?, Freiburg 2010

Weiler, E., Auswirkungen einer subliminalen Beschallung mit einer Frequenz von 4 Hz, 8Hz und 31,5 Hz auf die elektroenzephalographische Aktivität eines weiblichen Probanden, St. Wendel 2005

Ceranna, L., Der unhörbare Lärm von Windkraftanlagen - Infraschallmessungen an einem Windrad nördlich von Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2004