

Der Schall, den man nicht hört

Infraschall erreicht das Innenohr, raubt kardialen Myozyten ihre Kraft und schlägt sich im Gehirnskanal nieder. Nicht nur Windanlagen erzeugen Infraschall, sind aber eine höchst umstrittene Quelle dafür. Offenbar gerät das Phänomen auch deswegen aktuell in den Fokus der Wissenschaft.

Windparks erzeugen Infraschall – Meeresrauschen auch. Dennoch bringen nicht Küstenbewohner ihn als „Bumerang der Energiewende“ in Misskredit, sondern die Nachbarn von Windenergieanlagen (1). Obwohl es zahlreiche andere Quellen von niedrigfrequentem Schall gibt (*siehe Kasten*), geriet der Infraschall in den Fokus der Forschung, seit man sich mit den Gesundheitsrisiken der Windenergieanlagen (WEA) intensiver befasst. In einem aktuellen Review der Fachzeitschrift „Trends in Hearing“ sehen Wissenschaftler um Dr. Simon Carlile von der Universität in Sidney und dem Starking Hörzentrum in Berkeley/Kalifornien viele Argumente für somatische Effekte von Infraschall. Sie fordern dringend mehr Studien, um genauere Aussagen über Nebenwirkungen und mögliche Gesundheitsrisiken treffen zu können (2).

Viel Wind, wenig Forschung

Was die Erforschung der Gesundheitsrisiken angeht, legen – nicht überraschend – gerade jene Länder wenig Ehrgeiz an den Tag, die zu den größten Windparkbetreibern weltweit gehören. Nur eine einzige Studie steuert der Weltmarktführer China bei, zwei schaffte man hierzulande in Deutschland, das die dritthöchste Windenergieerzeugungskapazität auf der Welt besitzt (3). Weit weniger Windparks stehen in Australien und Neuseeland, den die

Risiken von Infraschall besonders intensiv erforschenden Nationen.

Die Frequenzen von Infraschall liegen unterhalb von 20 Hertz, er ist normalerweise für das menschliche Ohr nicht zu hören (*siehe Kasten*). Was die Betroffenen beschreiben, ist ein Pulsieren oder ein Druckgefühl auf dem Trommelfell, auch auf der Brust (4). Die Wahrnehmung der tiefen Frequenzen geht offenbar vom Hören zum Fühlen über – perzipiert über Mechanorezeptoren. So spüren die Betroffenen auch Vibrationen, Erschütterungen oder ein Unsicherheitsgefühl (5).

Ob nun hörbar oder nicht – Anwohner in der Nähe von WEA machen Infraschall für zahlreiche gesundheitliche Probleme verantwortlich: Erschöpfung, Schlaflosigkeit, Kopfschmerzen, Atemnot, Depressionen, Rhythmusstörungen, Übelkeit, Tinnitus, Schwindel, Ohrschmerzen, Seh- und Hörstörungen und etliche andere. Aber die Ergebnisse sind höchst inkonsistent. So zeigen zum Beispiel polysomnografische Untersuchungen zum Schlafverhalten, dass sowohl hörbare als auch nicht hörbare Schallphänomene im Umfeld von Windrädern keine nennenswerten Auswirkungen auf das Schlafverhalten haben (6). Die ebenso unspezifischen wie zahlreichen Beschwerden gaben von Anfang an Anlass zur Skepsis. Das Team um den klinischen Psychologen Prof. Dr. Keith

J. Petrie von der Universität Auckland in Neuseeland hat die Frage untersucht, ob die Psyche angesichts eines Windrades in der Nachbarschaft das Krankheitsempfinden triggert.

Nocebo-getriggerte Symptome

Petrie kann zeigen, dass Negativinformationen über Windräder ungute Erwartungen triggern und dies eher Symptome verursacht als der Infraschall selbst: 2009 erschien das Buch „Wind Turbine Syndrome – A natural Experiment“ in Australien, das Infraschall von Windturbinen für eine Reihe von Störungen verantwortlich macht. In Petries Studie wurden die Lärmbeschwerden über 51 Windkraftanlagen in Australien aus 2 unterschiedlichen Zeiträumen miteinander verglichen: Einmal aus 1993–2008 vor Erscheinen des Buches, einmal von 2009–2013 danach. 90 % derjenigen, die sich beschwerten, taten dies ab 2009 (7).

Die Arbeitsgruppe um Petrie hat in weiteren Studien mit Placebo-Infraschall die durch negative Erwartungshaltung beeinflussten Symptome untersucht und Nocebo-Effekte belegt (8, 9).

Allerdings erklärt die Psyche die Beschwerden vermutlich nicht allein. Immer öfter zeigen Beobachtungen an den unterschiedlichsten Organen, dass es messbare Effekte von Infraschall gibt. Vergleichsweise gut untersucht wurde die Frage, ob Schall unterhalb der Hörschwelle Auswirkungen auf das Innenohr hat. Die Studien von Prof. Dr. Alec Salt von der Washington Universi-

Windparks: In kaum einem Land stehen so viele wie hier. Aber in puncto Erforschung der Gesundheitsrisiken ist Deutschland alles andere als ein Vorreiter.



Foto: picture alliance

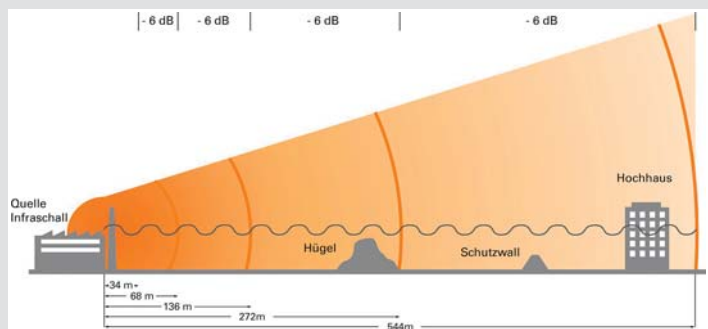
Was ist besonders am Infraschall?

Infraschall ist Schall unterhalb der Frequenz von 20 Hertz. Geräusche unter 20 Hertz nimmt das Ohr erst bei viel höheren Schalldruckpegeln wahr als den hörbaren Schall von 20 bis 20 000 Hertz: Je tiefer die Frequenz, desto höher muss somit der Schalldruckpegel (quasi die Lautstärke) sein, damit das Hörorgan einen Sinneseindruck erhält. Bei 8 Hertz zum Beispiel muss der Schalldruckpegel bei 100 Dezibel liegen, damit die Wahrnehmungsschwelle erreicht ist. (26). Die großen Wellenlängen können zu Resonanzphänomenen innerhalb und außerhalb von Häusern führen (2).

Die Unterschiede in der individuellen Hörschwelle sind im Infraschallbereich stärker ausgeprägt als im Bereich des hörbaren Schalls. Manche Menschen nehmen daher Infraschall bei hohem Schalldruckpegel als Brummen wahr, andere nicht. Niedrigfrequente Körpervibrationen können bei hohen Schalldruckpegeln gefühlt werden.

Aufgrund seiner großen Wellenlängen von Hunderten Kilometern wird Infraschall kaum von der Luft oder dem Boden gedämpft und auch nicht durch Hindernisse wie Felsen, Schutzwälle,

Bäume oder Gebäude abgeschirmt – er breitet sich nahezu verlustfrei aus (27). Verdoppelt sich die Entfernung, so nimmt der Schallpegel um 6 Dezibel ab (siehe Grafik). So konnten Schallphänomene von einem Park mit 60 Windturbinen noch in 90 Kilometer Entfernung nachgewiesen werden (28). In geräuscharmer Umgebung reagiert das Ohr sensibler auf Infraschall. Ein ruhiges Zuhause kann so zum Problem werden, da der hörbare Schall der Windturbinen durch Mauern gedämpft wird, Infraschall dagegen nicht. Und wer mit dem Ohr auf dem Kissen schläft, blockiert auf dieser Seite den hörbaren Schall, aber nicht den Infraschall (29).



Dargestellt ist Infraschall von 10 Hertz mit einer Wellenlänge von 34 Metern

ty School of Medicine in St. Louis zeigen, dass die äußeren Haarzellen der Cochlea direkt auf Veränderungen der Tektorialmembran im Innenohr reagieren, da sie mechanisch gekoppelt sind. Die äußeren Haarzellen können somit durch sehr tiefe Frequenzen angeregt werden. Anders ist es bei den inneren Haarzellen, deren Bewegung über Flüssigkeit vermittelt wird (10). Da aber die äußeren Haarzellen die Perzeptionsschwelle der inneren Haarzellen modulieren können, ist ein mittelbarer Effekt von Infraschall auf das Hören zumindest denkbar.

Parallelen zur Seekrankheit

Unter bestimmten Bedingungen, etwa beim endolymphatischen Hydrops im Innenohr (Morbus Menière), nach Barotrauma oder einem vergrößerten vestibulären Aquädukt könnte das Ohr empfindlicher auf Infraschall reagieren. Das liefert dem kanadischen Otolaryngologen Robert V. Harrison von der Universität Toronto eine Erklärung für das „Wind Turbine Syndrome“ (11). Dieses ist durch Symptome wie

Schwindel, Übelkeit und Nystagmus gekennzeichnet.

Harrison erläutert, wie bei ansonsten symptomlosen Menschen Anomalien im Gleichgewichtsorgan, die sich als eine Dehiszenz im superioren (semizirkularen) Vestibularkanal im CT zeigen, Infraschall ebenfalls zu diesen Beschwerden führen könnte. Er sieht darin eine Erklärung für die Tatsache, dass manche Anwohner von WEA die Symptome aufweisen, andere jedoch nicht. Ähnlich sei es bei der Seekrankheit, deren Symptome denen des „Wind Turbine Syndrome“ auffallend ähneln: Auch hier gibt es eine Suszeptibilität bei nur 5 bis 10 % der Bevölkerung, die mit starken Symptomen reagieren (12).

Nicht nur das Ohr könnte betroffen sein. Studien mit Ratten zeigten, dass eine Exposition von Infraschall (140 Dezibel und 8 Hertz) für 2 Stunden täglich über 3 Tage hinweg zu Schädigungen – im Sinne von vermehrten Zellapoptosen – im Hippocampus führte. Eine Erholung erfolgte jedoch prompt, wie sich etwa 48 Stunden nach Sistieren der Beschallung nachweisen ließ (13).

Wissenschaftler um Prof. Dr. Simone Kühn am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE) untersuchen die Wirkung von Infraschall auf das Gehirn von Probanden mithilfe funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT) (14).

Infraschallsignale im Gehirn

„Ist das Gehirn in Ruhe, im sogenannten ‚resting state‘, geht die Stimulation mit Infraschall nah an der Hörschwelle in mehreren Arealen mit Veränderungen der neuronalen Aktivität einher“, erklärt die Leiterin der Arbeitsgruppe Neuronale Plastizität in der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie am UKE. Diese Veränderungen finden sich erstens im superioren temporalen Gyrus für die sekundäre Hörverarbeitung, zweitens im anterioren cingulären Kortex, der üblicherweise aktiv ist, wenn Konfliktsituationen verarbeitet werden. „Der cinguläre Kortex tritt in Aktion, wenn zum Beispiel ein Briefkasten nicht die üblich erwartete Farbe Gelb hat, sondern grün ist – oder auch wenn höhere Aufmerksamkeit gefordert ist“, erklärt Kühn. Drittens ist auch die rechte Amygda-

la beteiligt, die für Stress- und Emotionsverarbeitung wichtig ist.

„Was das allerdings bedeutet und bewirkt, ist schwer zu beurteilen“, betont Kühn. Es ist auch nicht gesagt, dass es sich stets um negative, die Gesundheit beeinträchtigende Effekte handelt. So zeigt beispielsweise eine der Arbeiten, dass sich unter der Einwirkung von Infraschall sogar das Arbeitsgedächtnis verbessert hat (15).

Derzeit prüft die Arbeitsgruppe die langfristigen Effekte von Infrarund Ultraschall auf das Gehirn. Insgesamt müssten mehr Daten erhoben werden, fordert die Psychologin.

Kardiomyozyten verlieren Kraft

Das gilt auch für die Beobachtungen am Herzen, die zum Beispiel die Arbeitsgruppe Infraschall an der Klinik und Poliklinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie der Universitätsmedizin in Mainz untersucht. „Uns interessiert, was die mechanische Energie des Schalls mit den Herzmuskelzellen macht“, erklärt der Direktor der Klinik, Prof. Dr. med. Christian Vahl.

In ihrer ersten Versuchsreihe verwendete die Arbeitsgruppe demembranierte Vorhofmyokardfasern von 8 Patienten nach Koronarby-pass. Die Signaltransduktion war durch das Auswaschen unterbunden, es blieben nur die Zellen mit ihrem kontraktilen Apparat, die direkt über Lautsprecher mit Infraschall beschallt wurden.

Es zeigte sich, dass sich die Kontraktionskraft der isolierten Herzmuskelpräparate um bis zu 20 % reduzierte – abhängig von Frequenz und Schalldruckamplitude (16). Weitere Versuche mit einem Modell, das der physiologischen Situation näher kommt – indirekte Applikation von Infraschall erst durch die Luft, dann durch den Körper, schließlich ans Herz – ergaben ebenfalls eine Kraftreduktion.

„Unsere Experimente zeigten also, dass Infraschall eine Wirkung auf Myokardgewebe hat. Nicht mehr und nicht weniger“, so Vahl. Es gibt mehrere Arbeitshypothesen, wie Infraschall die Muskelkraft und damit die Pumpleistung des Herzens

beeinträchtigen könnte, die man in Mainz in weiteren Tier- und Langzeitversuchen überprüfen will. So könnte die Vibration, also das Schallsignal selbst, die Interaktion der beiden kontraktilen Proteine Aktin und Myosin stören, aber auch auf die mechanosensitiven (Kalzium-)Ionenkanäle in den Myozyten einwirken oder die Konformation etwa von kontraktilen Proteinen verändern.

Andere Arbeitsgruppen konnten ebenfalls Effekte von Infraschall auf Ratten-Kardiomyozyten in Kultur nachweisen. Offenbar geht Infraschall-Exposition mit erhöhtem oxidativen Stress einher (17). Weitere Tierexperimente zeigen, dass sich unter Infraschall die Kalziumströme in Kardiomyozyten hin zur Depolarisation verändern, und bringen Infraschall mit der Entwicklung einer perivaskulären Fibrose am Herzen in Verbindung (18, 19).

Infraschall gibt es nicht erst, seit WEA gebaut werden. Es existieren erstaunlich viele Quellen für derart niederfrequente Schallwellen (*siehe Kasten*). Sowohl Naturphänomene als auch zahlreiche technische An-

lagen und Maschinen gehören dazu. Deshalb hat Infraschall in der Arbeitsmedizin immer schon eine Rolle gespielt.

Das betrifft zum Beispiel Arbeiter aus landwirtschaftlichen Betrieben – Traktoren und Traktor-gekoppelte Erntemaschinen emittieren Infraschall –, aber auch Mitarbeiter in der Flugzeugindustrie. Arbeitsmediziner aus Russland und osteuropäischen Ländern haben hierzu etliche Arbeiten publiziert (20–22). Sie thematisieren unter anderem die Schwierigkeiten der Prävention am Arbeitsplatz. So ist beispielsweise der individuelle Schallschutz am Ohr durch Kopfhörer nutzlos (23). Die meisten der Originalarbeiten sind jedoch auf Russisch oder Polnisch erschienen und wurden in den englischsprachigen Publikationen nicht rezipiert.

Es fehlen valide Daten

Eine deutsche Publikation zur Frage der Begutachtung von Infraschallschäden am Ohr verweist auf die Rechtslage: In der aktuellen Liste der Berufskrankheiten von 2017 sind Gesundheitsstörungen durch Infraschall nicht aufgeführt worden (5). Als Grund gilt der Mangel an validen Daten (24).

Offenbar lässt der derzeitige Forschungsstand die Schlussfolgerung zu, dass der niederfrequente Infraschall durchaus auf isolierte Präparate wirkt und sich in Veränderungen in der Bildgebung niederschlägt. Zumindest einige Symptome und Beschwerden von Betroffenen ließen sich mit der Beeinflussung von Cochlea und Vestibularapparat erklären. Das Umweltbundesamt schließt Gesundheitschäden durch eine kurz- und langfristige Exposition gegenüber Infraschall ebenfalls nicht aus (25). Eine negative Erwartungshaltung könnte auch eine Rolle spielen. Insofern bedarf es dringend epidemiologischer Studien, die das genauer untersuchen.

Dr. med. Martina Lenzen-Schulte
Maren Schenk

Was erzeugt Infraschall?

Natürliche Quellen von Infraschall

- Erdbeben, Vulkanausbrüche
- Meeresbrandung, hoher Seegang
- Lawinen
- Starker Wind, Sturm und Gewitter
- Aurora/Nordlichter
- Meteoriten und Meteore

Anthropogene (technische) Quellen

- Industrieanlagen wie große Gasturbinen
- Kompressoren, Pumpen oder Rüttler
- Windenergieanlagen
- Heizungs- und Klimaanlage
- Kühlschränke, Waschmaschinen
- Verkehrsmittel (Lkw, Schiffe, Flugzeuge)
- Automotoren
- Starke Lautsprecher in Räumen
- Raketenstarts
- Sprengungen und Explosionen
- Chemische und nukleare Explosionen (das nutzt man bei den weltweit installierten Infraschall-Messstationen, um die Einhaltung der Vorgaben des Kernwaffenstoppabkommens zu überprüfen)

Quellen: 26, 27

Literatur im Internet:
www.aerzteblatt.de/lit0619
oder über QR-Code.



Zusatzmaterial Heft 6/2019, zu:

Windenergieanlagen und Infraschall

Der Schall, den man nicht hört

Infraschall erreicht das Innenohr, raubt kardialen Myozyten ihre Kraft und schlägt sich im Gehirnschall nieder. Nicht nur Windanlagen erzeugen Infraschall, sind aber eine höchst umstrittene Quelle dafür. Offenbar gerät das Phänomen auch deswegen aktuell in den Fokus der Wissenschaft.

Literatur

1. Stiller TC: Infraschall – der Bumerang der Energiewende. Homepage Deutscher Arbeitgeberverband 27. März 2017 https://www.deutscherarbeitgeberverband.de/energiefrage/2017/2017_03_27_dav_aktuelles_energiefrage.html
2. Carille S, Davy JL, Hillman D, et al.: A review of the possible perceptual and physiological effects of wind turbine noise. *Trends in Hearing* 2018; 22: 1–10.
3. Freiberg A, Scheffer C, Girbig M, et al.: Health effects of wind turbines on humans in residential settings. Results of a scoping review. *Environmental Research* 2019; 169: 446–63.
4. Zagubien A, Wolniewicz K: Everyday exposure to occupational/non-occupational infrasound noise in our life. *PAN Archives of Acoustics* 2016; 41 (4): 659–68.
5. Reiter R: Aus der Gutachtenpraxis: Gehörschäden durch Infraschall? *Laryngo-Rhinotologie* 2018; 97: 341–3.
6. Jalali L, Bigelow P, Nezhad-Ahmadi MR, et al.: Before-after field study of effects of wind turbine noise on polysomnographic sleep parameters. *Noise Health* 2016; 18 (83): 194–205.
7. Crichton F, Chapman S, Cundy T, Petrie K: The link between health complaints and wind turbines: support for the nocebo expectations hypothesis. *Frontiers in Public Health* 2014; 2: 220. doi: 10.3389/fpubh.2014.00220.
8. Crichton F, Dodd G, Schmid G, et al.: Can expectations produce symptoms from infrasound associated with wind turbines? *Health Psychol* 2014; 33 (4): 360–4.
9. Crichton F, Dodd G, Schmid G, et al.: The power of positive and negative expectations to influence reported symptoms and mood during exposure to wind farm sound. *Health Psychol* 2014; 33 (12): 1588–92.
10. Salt AN, Hullar TE: Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hear Res* 2010; 268: 12–21.
11. Harrison RV: On the biological plausibility of wind turbine syndrome. *International Journal of Environmental Health Research* 2015; 25 (5): 463–8.
12. Schomer PD, Erdreich J, Pamidighantam PK, et al.: A theory to explain some physiological effects of the infrasonic emissions at some wind farm sites. *J Acoust Soc Am* 2015; 137 (3): 1356–65.
13. Zhang MY, Chen C, Xie XJ, et al.: Damage to hippocampus of rats after being exposed to infrasound. *Biomed Environ Sci* 2016; 29 (6): 435–42.
14. Weichenberger M, Bauer M, Kühler R, et al.: Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold – Evidence from fMRI. *PLOS one* 2017; 12 (4): e0174420.
15. Weichenberger M, Kühler R, Bauer M, et al.: Brief bursts of infrasound may improve cognitive function—an fMRI study. *Hear Res* 2015; 328: 87–93.
16. Vahl CF, Ghazy A, Chaban R: Are there harmful effects caused by the silent noise of infrasound produced by windparks? An experimental approach. *Thorac Cardiovasc Surg* 2018; 66 (S 01): 1–110.
17. Pei Z, Meng R, Zhuang Z, et al.: Cardiac peroxisome proliferator-activated receptor- γ expression is modulated by oxidative stress in acutely infrasound-exposed cardiomyocytes. *Cardiovasc Toxicol* 2013; 13 (4): 307–15.
18. Pei Z, Zhuang Z, Xiao P, et al.: Influence of infrasound exposure on the whole L-type calcium currents in rat ventricular myocytes. *Cardiovasc Toxicol* 2009; 9 (2): 70–7.
19. Louishina A, Oliveira RMJ, Borrecho G, et al.: Infrasound induces coronary perivascular fibrosis in rats. *Cardiovasc Pathol* 2018; 37: 39–44.
20. Soldatov SK, Bukhtiarov IV, Zinkin VN, et al.: Occupationally mediated morbidity in aviation specialists. *Med Tr Prom Ekol* 2010; 9: 35–40.
21. Buianov ES: Monitoring of myocardial contraction function during an annual occupational cycle in agricultural machine operators. *Med Tr Prom Ekol* 2003; 11: 21–6.
22. Balunov VD, Barsukov AF, Artamonova VG: Clinical and functional evaluation of health status of workers exposed to infrasound, noise and general vibration. *Med Tr Prom Ekol* 1998; 5: 22–6.
23. Bilski B: Exposure to infrasonic noise in agriculture. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 2015; 24 (1): 86–9.
24. Brusis T: From the Experts Office: Hearing impairment due to vibration, infrasound, ultrasound and/ or bodysound? *Laryngorhinotologie* 2017; 96: 316–8.
25. Umweltbundesamt: Mögliche gesundheitliche Effekte von Windenergieanlagen. Position November 2016: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/moegliche-gesundheitliche-effekte-von> (Letzter Zugriff am 22. Januar 2019).
26. Bayerisches Landesamt für Umwelt/ Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit: Windenergieanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit? (2016): https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/luw_117_windkraftanlagen_infraschall_gesundheit.pdf (Letzter Zugriff am 22. Januar 2019).
27. Infraschall-Seiten auf der Homepage der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Erdbeben-Gefahrungsanalysen/Seismologie/Kernwaffenteststopp/Verifikation/Infraschall/infraschall_node.html (Letzter Zugriff am 22. Januar 2019).
28. Marcillo O, Arrowsmith S, Blom P, et al.: On infrasound generated by wind farms and its propagation in low-altitude tropospheric waveguides. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2015; 120 (19): 9855–68.
29. Homepage von Alec Salt's Lab: <http://oto.wustl.edu/saltlab> (Letzter Zugriff am 22. Januar 2019).