



Windenergieanlagen, Infraschall und Gesundheit

Windenergie ist regenerativ und darüber hinaus sehr effizient. Die Anlagen erzeugen jedoch Geräusche – das ist bekannt und wird bei der Suche nach passenden Standorten bereits berücksichtigt. Darüber hinaus werden immer wieder Befürchtungen wegen des Infraschalls geäußert.

Dieses Thema ist sehr komplex. Die Zusammenhänge sind schon beim Hörschall nicht so einfach zu erklären und im Infraschallbereich wird alles noch einmal etwas komplizierter. Rund um Windenergieanlagen stehen zusätzliche Fragen im Fokus, insbesondere zu den befürchteten gesundheitlichen Wirkungen auf die Anwohner. Diese Fragen werden in dieser Publikation schrittweise erläutert. Dabei beziehen wir uns immer wieder auf wissenschaftlich belastbare Studien, denn derzeit arbeiten viele Forschungsgruppen an dem Thema.

Lesen Sie rein!

www.lfu.bayern.de/buerger

EINFACH ERKLÄRT: FREQUENZ, WELLENLÄNGE, PEGEL

Schall besteht aus Schallwellen, also aus periodischen Luftdruckschwankungen. Diese Schwingungen breiten sich in der Luft mit über 340 Metern pro Sekunde aus, der sogenannten Schallgeschwindigkeit. Das entspricht mehr als 1.200 Kilometern pro Stunde. Wichtige Kenngrößen für die **Ausbreitung** sind Frequenz und Wellenlänge.

Die **Frequenz** kann man im übertragenen Sinn wie die „**Tonhöhe**“ verstehen. Sie wird in der Einheit Hertz (Hz) angegeben, wobei ein Hertz einer Schwingung pro Sekunde entspricht. Man unterscheidet folgende Bereiche:

- **Hörschall** nennt man Frequenzen zwischen 20 und 20.000 Hertz. In diesem Bereich können wir Tonhöhe und Lautstärke unterscheiden: Hohe Töne haben eine hohe Frequenz, tiefe Töne eine niedrige. Im Bereich von Sprache und Musik ist unser Gehör sehr fein, wobei wir vor allem mittlere Frequenzen gut differenzieren können. Sehr tiefe Töne hören wir zwar, Tonhöhen können wir in diesem Bereich aber nur schwer unterscheiden.
- **Tieffrequenter Schall** schwingt unter 100 Hertz. Er beginnt also bei den für Menschen noch hörbaren tiefen Tönen und umfasst zusätzlich den gesamten Infraschall.
- **Infraschall** bezeichnet tieffrequenten Schall unter 20 Hertz (ISO 7196 1995). In diesem Bereich können Menschen keine Tonhöhen unterscheiden. Elefanten und Blauwale hingegen kommunizieren untereinander per Infraschall über große Entfernungen.

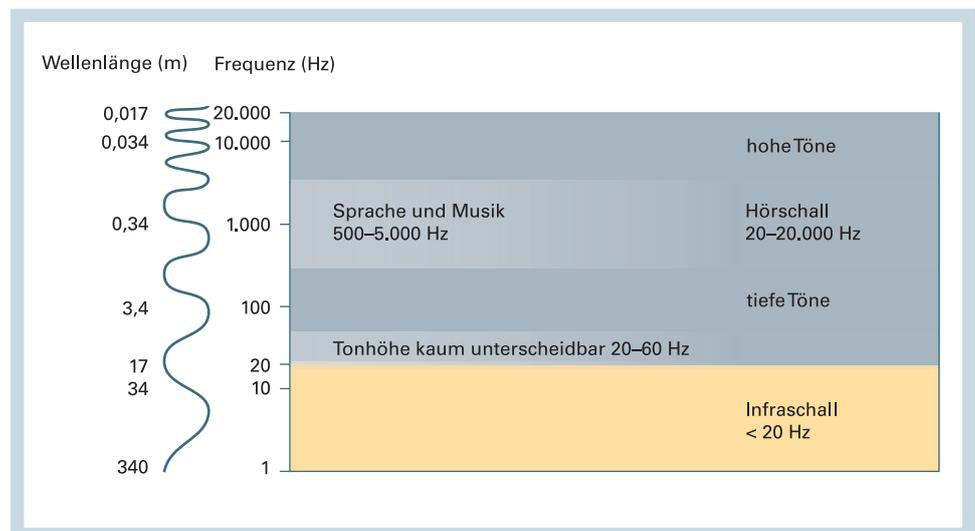


Abb.1: Die Hörbarkeit von Geräuschen hängt von der Frequenz ab. Die Wellenlänge steht in direktem Zusammenhang mit der Frequenz (s. doppelte Skala): Je höher die Frequenz ist, desto kürzer ist die Wellenlänge.



UmweltWissen: Lärm – Hören, messen und bewerten

Schon die Alltagserfahrung zeigt, dass neben der Tonhöhe auch die „**Lautstärke**“ bestimmt, ob wir ein bestimmtes Geräusch hören können. Die Physik beschreibt das so: Wenn die Schallwelle stärker ausschwingt – bei größerer Amplitude – ist der **Schalldruckpegel** höher, der Ton also „lauter“. Verkürzt spricht man oft vom „**Pegel**“. Er wird in Dezibel (dB) angegeben.

NATÜRLICHE UND KÜNSTLICHE QUELLEN

Bei **natürlichen Quellen** sind die Infraschall-Pegel oft deutlich höher als bei künstlichen Quellen. Zum Beispiel können Windböen sehr „laut“ sein – bis zu 135 Dezibel wurden schon gemessen (Borgmann 2005), was bei Hörschall in etwa einem militärischen Tiefflieger entsprechen würde. Zu den natürlichen lauten Quellen zählen:

- Vulkanausbrüche, Erdbeben
- Meeresbrandung, hoher Seegang
- Schnee- und Geröll-Lawinen
- stark böiger Wind, Stürme und Unwetter, Donner bei Gewitter

Viele **künstliche Quellen** erzeugen sowohl Hör- als auch Infraschall, oft mit rhythmischem Verlauf. Bei industriellen Anlagen sind an manchen Arbeitsplätzen sehr hohe Pegel möglich, jedoch eher in geschlossenen Räumen. Draußen sind die Pegel dagegen meist so niedrig, dass der Infraschall nicht wahrnehmbar ist. Einige Beispiele sind:

- Energieerzeugungsanlagen (Biogasanlagen, Heizwerke, große Gasturbinen), Pump- und Umspannstationen, Wärmepumpen, Lüftungen, Verdichterstationen, Stanzen, Rüttler, Vibratoren, Kompressoren, Pumpen
- Verkehrsmittel (Lkw, Schiffe, Flugzeuge, Strahltriebwerke, Hubschrauber)
- Sprengungen und Explosionen
- leistungsfähige Lautsprechersysteme (Diskotheken)

Infraschall im ländlichen Raum wird vor allem vom Wind erzeugt.

Abb. 2, 3 und 4: Infraschall kann aus natürlichen oder künstlichen Quellen stammen. Natürliche Quellen erzeugen zum Teil viel höhere Pegel, künstliche Quellen haben oft einen rhythmischen Verlauf.



Auch bei **Windenergieanlagen** entsteht Infraschall: Zum einen streichen die Rotorblätter am Turm vorbei und erzeugen dabei Infraschall. Eine zweite Ursache sind Vibrationen in den Flügeln und im Turm. Zusätzlich entstehen auch Geräusche im gesamten Frequenzbereich, vor allem durch Turbulenzen an den Rotorblättern. Wie viel Infraschall entsteht, hängt im Wesentlichen von zwei Aspekten ab:

- **Rotorgeschwindigkeit:** Die Flügel moderner Windräder sind groß und drehen sich langsam – etwa einmal pro Sekunde streicht ein Rotorblatt am Turm vorbei. Dabei erzeugen sie mehr Infraschall als kleinere Propeller, die sehr rasch drehen. Bei diesen entsteht dagegen deutlich mehr Hörschall.
- **Bauart der Anlage:** Insgesamt entsteht bei modernen Anlagen relativ wenig Infraschall. Das liegt daran, dass die Flügel auf der dem Wind zugewandten Seite – also vor dem Turm – angeordnet sind. Dagegen streichen bei älteren Anlagen die Flügel hinter dem Turm vorbei und geraten regelmäßig in dessen Windschatten. So erzeugen sie wesentlich mehr Infraschall.

AUSBREITUNG IN DER UMWELT

Infraschall breitet sich meist viel weiter aus als Hörschall, weil Bäume, Schutzwälle, Gebäude und andere Hindernisse ihn weniger abschirmen. Der Grund: Sie sind einfach nicht groß genug für eine wirksame Abschirmung, denn sie sind im Vergleich zur Wellenlänge relativ klein. Auch von der Luft oder dem Boden wird Infraschall kaum absorbiert, anders als Hörschall.

Auf große Entfernungen nimmt Infraschall daher deutlich langsamer ab als Hörschall. Die Abnahme folgt fast nur geometrischen Gesetzmäßigkeiten: Verdoppelt sich also die Entfernung, dann verteilt sich die Schallenergie auf die vierfache Fläche. Entsprechend sinkt der Pegel um sechs Dezibel.

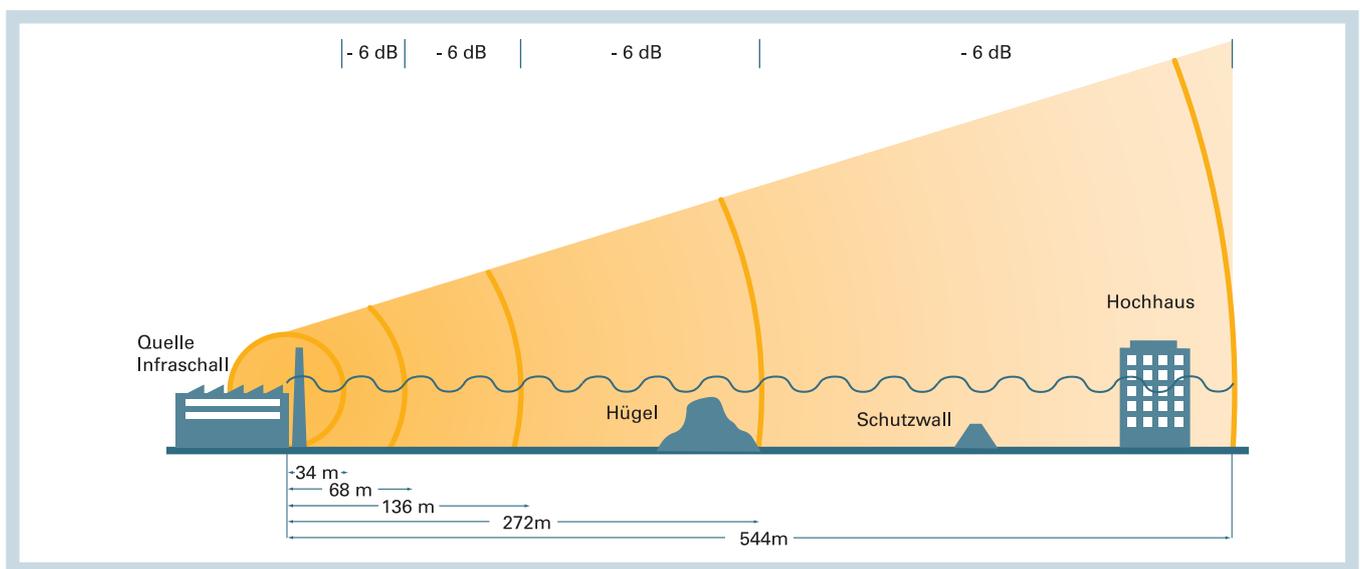


Abb. 5: Wohnhäuser, Bäume und Schutzwälle dämpfen Infraschall kaum, da sie kleiner sind als seine Wellenlänge. In diesem Fall sinkt der Schallpegel also rein nach geometrischen Gesetzmäßigkeiten: Verdoppelt sich die Entfernung, nimmt er um sechs Dezibel (dB) ab. Bebauung und Gelände haben dagegen keinen Einfluss. Im Beispiel dargestellt ist Infraschall von zehn Hertz mit einer Wellenlänge von 34 Metern.

HÖREN, EMPFINDEN, WAHRNEHMEN

Beim Hörschall nehmen wir die unterschiedlichen Tonhöhen mit dem **Gehör** wahr. Infraschall können wir bei sehr hohen Pegeln auch mit anderen Organen wahrnehmen, vor allem mit dem **Tast- und Gleichgewichtssinn**. Dazwischen gibt es allerdings keine klare Grenze, so dass wir im Übergangsbereich sowohl „hören“ als auch „empfinden“ (rund um 20 Hertz).

Die Anteile der beiden **Wahrnehmungsarten** sind unterschiedlich: Je näher die Frequenzen eines Geräusches in dem für das Sprachverständnis relevanten Bereich liegen (etwa 500 bis 5.000 Hertz), umso leisere Geräusche „hören“ wir, während wir bei immer tieferen Frequenzen nur noch „empfinden“. Die Empfindungen werden meist als Brummen, als Pulsation oder als Druckgefühl beschrieben.

Die **Hörschwelle** gibt an, wie laut ein Einzelton bei einer bestimmten Frequenz sein muss, damit er gerade noch gehört werden kann. So können wir ein Geräusch im Bereich der Sprache gut hören, aber je weiter wir uns von diesem Bereich entfernen, desto „lauter“ muss es sein, damit es uns nicht entgeht.

Beim Infraschall kann man nicht eindeutig zwischen **Hör- und Wahrnehmungsschwelle** unterscheiden, wie dies beim Hörschall üblich ist (Møller und Pedersen 2004). Wichtig für die Praxis ist vor allem folgender Zusammenhang: Um Infraschall wahrnehmen zu können, sind sehr hohe Pegel erforderlich. Dabei muss der Pegel umso höher sein, je tiefer die Frequenz ist.

Es braucht zum Teil immens hohe Pegel, um Infraschall wahrnehmen zu können. So hohe Pegel sind sehr selten.

WISSENSWERT

Infraschall: Wahrnehmung nur bei teilweise immens hohen Pegeln

Bei sehr tiefem Infraschall sind extrem hohe Pegel notwendig, um die Wahrnehmungsschwelle zu erreichen. Dahinter steht ein komplexer Zusammenhang, der am ehesten durch einen Vergleich anschaulich wird, der physikalisch eigentlich unzulässig ist: der Vergleich mit dem Hörschall. Auch wenn man also Äpfel mit Birnen vergleicht, entsteht doch ein Eindruck davon, wie immens die Pegel im Infraschallbereich zum Teil sein müssten:

- **Nahe an der Grenze zum Hörschall** braucht es bei 16 Hertz rund 79 Dezibel, um Infraschall wahrzunehmen. Beim Hörschall wäre das ungefähr die Lautstärke eines vorbeifahrenden Pkws.
- Bei **tieferem Infraschall** von acht Hertz sind es 103 Dezibel – dies würde beim Hörschall in etwa einem Presslufthammer direkt nebenan entsprechen.
- Bei **extrem tiefem Infraschall** ist eine Wahrnehmung noch nicht beschrieben worden (unterhalb von zwei Hertz) – die Pegel müssten aber extrem hoch sein. Beim Hörschall entstehen so hohe Pegel zum Beispiel bei militärischen Tiefflügen (größer als 120 Dezibel).



UmweltWissen: Lärm – Hören, messen und bewerten

Die **individuellen Abweichungen** von der Wahrnehmungsschwelle sind derzeit in der wissenschaftlichen Diskussion, weil sie im Bereich des Infraschalls möglicherweise sehr groß sind. So nehmen einige Menschen an der Grenze zum Hörschall (20 Hertz) vermutlich Geräusche wahr, die 15 Dezibel „leiser“ sind als das, was die Mehrheit wahrnehmen kann: Etwa ein Prozent der Bevölkerung könnte über eine so feine Wahrnehmung verfügen (ISO 28961 2012, Umweltbundesamt 2016). Zur Einordnung dient wieder der Vergleich mit dem Hörschall: Dies ist eine erhebliche Abweichung, denn beim Hörschall wird ein um zehn Dezibel höherer Pegel als Verdoppelung der Lautstärke wahrgenommen.

GESUNDHEITLICHE WIRKUNGEN

Die gesundheitliche Wirkung von Infraschall hängt vor allem davon ab, ob er wahrnehmbar ist oder nicht. Im Folgenden werden daher die Erkenntnisse aus verschiedenen Studien anhand dieses Kriteriums zusammengefasst:

Unter der Hör-/Wahrnehmungsschwelle konnten bislang keine gesundheitlichen Wirkungen nachgewiesen werden.

Unter der Hör-/Wahrnehmungsschwelle konnten bisher keine negativen gesundheitlichen Wirkungen auf das Gehör, auf das Herz-Kreislauf-System oder andere Symptome nachgewiesen werden (Umweltbundesamt 2014). Diese Schlussfolgerung wird auch von einer neueren Studie gestützt (Ascone et al. 2021). Das Studiendesign war sehr sorgfältig gewählt: 38 Menschen nahmen an der Untersuchung teil. 28 Nächte lang stand in ihren Schlafzimmern entweder ein eigens konstruiertes Infraschall-Gerät oder ein Scheingerät. Die Teilnehmer wussten jedoch nicht, welches. Sie wussten also nicht, ob sie nachts tatsächlich dem Infraschall ausgesetzt waren oder nicht. Vor- und nachher wurden körperliche und psychologische Symptome untersucht, zum Beispiel Geräuschempfindlichkeit, Schlafqualität und kognitive Leistung. Darüber hinaus wurde eine strukturelle Magnetresonanztomographie (MRT) durchgeführt. Fazit: In dieser Studie konnten keine Assoziationen der untersuchten Parameter mit Infraschall unterhalb der Hör-/Wahrnehmungsschwelle beobachtet werden.

An der Hör-/Wahrnehmungsschwelle kann es zu Störungen und Belästigungen kommen, ebenso wie beim Hörschall. Die Reaktionen sind uns nur zum Teil bewusst, sie konnten jedoch mit bildgebenden Verfahren (MRT) gezeigt werden. Betroffen sind vor allem Gehirnareale für die Kontrolle von Konflikten, Emotionen und unwillkürlichen automatischen Körperfunktionen.

An der Hör-/Wahrnehmungsschwelle kann es zu Störungen und Belästigungen kommen.

In der Umwelt treten Hör- und Infraschall immer gleichzeitig auf, so dass ihre Wirkung meist nicht eindeutig zu unterscheiden ist. Deshalb hat das Umweltbundesamt (2020) sowohl Hör- als auch Infraschall untersucht, um das Ausmaß der Belästigung abzuschätzen. Die Befragten fühlten sich „etwas“ bis „mittelmäßig“ belästigt, wenn sie den Infraschall fast oder fast nicht wahrnehmen konnten. Ein genauerer Blick in die Daten zeigte zudem: Die Belästigung war dann höher, wenn ein Geräusch näher an der Wahrnehmungsschwelle oder sogar im tieffrequenten Hörschall erklang. Umgekehrt heißt das: Je weiter ein Geräusch unterhalb der Hör-/Wahrnehmungsschwelle lag, desto weniger lästig war es den Befragten.

Bei **wahrnehmbarem Infraschall** mit **sehr hohen Pegeln** können verschiedene Organsysteme reagieren. Zu nennen sind hier zum Beispiel das Gehör, das Gleichgewichtsorgan im Innenohr oder Herzmuskelzellen. Auch das Herz-Kreislauf-System könnte möglicherweise beeinflusst werden – das ist aber noch in der Diskussion. Berichtet werden auch Ermüdung, Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit, Benommenheit, Schwingungsgefühl und Abnahme der Atemfrequenz, Beeinträchtigung des Schlafes und erhöhte Morgenmüdigkeit.

Erst bei **Infraschall** mit **extrem hohen Pegeln** kann es deutliche Schäden geben. Wie bei Hörschall sind sogar Gehörschäden möglich. Man vermutet, dass die Grenze dafür bei ungefähr 140 Dezibel beginnt. Derartig hohe Pegel sind jedoch äußerst selten.

WISSENSWERT

Kriterien für ein sorgfältiges Studiendesign zu gesundheitlichen Fragen

Untersuchungen zu gesundheitlichen Fragen müssen sehr sorgfältig durchgeführt werden, um belastbare Ergebnisse zu erzielen. Ein sorgfältiges Studiendesign erkennt man zum Beispiel an folgenden Kriterien:

Wichtig ist vor allem eine gekonnte **statistische Auswertung**, die Fehleinschätzungen vermeiden hilft. Dazu müssen ausreichend viele Probanden an der Studie teilnehmen, die zudem zufällig ausgewählt werden. Nur so kann man zufällige, aber falsche Ergebnisse erkennen und unbekannte Einflüsse ausschließen: Wenn man zum Beispiel in einer Pilotstudie nur einen einzelnen Teilnehmer untersucht, der währenddessen schlecht schläft, kann das mit Infraschall zu tun haben – es kann aber auch an anderen Faktoren liegen. Isolierte Einzelfallberichte können also manchmal einen ersten Hinweis geben, reichen aber nicht aus.

Darüber hinaus spielt der sogenannte **Placebo-Effekt** eine entscheidende Rolle: Seit Langem ist bekannt, dass Substanzen ohne Wirkstoff dieselbe Wirkung hervorrufen können wie Medikamente. Auch der umgekehrte Fall ist gut dokumentiert und vor allem bei Umweltbelastungen relevant: Der sogenannte **Nocebo-Effekt** tritt auf, wenn Menschen sich vor einem Schaden fürchten. Dann kann beispielsweise die befürchtete Wirkung eintreten, selbst wenn die schädliche Substanz gar nicht verabreicht wird.

Daher enthält ein sorgfältiges Studiendesign immer eine zusätzliche sogenannte **Kontrollgruppe**, die zwar genauso behandelt wird wie die eigentliche Untersuchungsgruppe, aber ein Placebo bekommt. Einen wichtigen Schritt weiter gehen die sogenannten **Doppel-Blind-Studien**, in denen weder die Probanden noch die Betreuer wissen, wer in welcher Gruppe ist – allein schon das Wissen der Betreuer kann nämlich das Ergebnis beeinflussen.

Ein letzter, sehr wesentlicher Punkt betrifft die **Einordnung** der Ergebnisse und die Akribie bei den **Schlussfolgerungen**: Zu den Kernkompetenzen wissenschaftlichen Arbeitens zählt es, den aktuellen Stand des Wissens zu überblicken und die eigenen Ergebnisse einzuordnen und nötigenfalls auch zu relativieren. Dazu gehört auch, die Grenzen der Aussagekraft für die eigenen Daten klar zu benennen und offene Fragen differenziert abzuleiten – Wissenschaft wäre nicht Wissenschaft, wenn sie nicht weiter forschen würde.

Infraschall umgibt uns wie ein unhörbarer „Klangteppich“. Er stammt aus vielen verschiedenen Quellen. Aus diesem Datenstrom kann nur eine ausgeklügelte Messstrategie den Beitrag der Windenergie herausarbeiten.

INFRASCHALL RUND UM WINDENERGIEANLAGEN

Infraschall kann man überall in der Umwelt messen, wenn auch zum Teil nur mit sehr geringen Pegeln. Vor allem der Wind, technische Anlagen und der Verkehr tragen zu diesem unhörbaren „Klangteppich“ bei, andere Quellen sind eher im Hintergrund. Windenergieanlagen spielen zum Beispiel kaum eine Rolle: Der Infraschall, der von ihnen ausgeht, liegt im Wohnumfeld regelmäßig deutlich unter der Hör-/Wahrnehmungsschwelle.

Messungen zeigen immer wieder: Der Infraschall von Windenergieanlagen liegt im Wohnumfeld deutlich unter der Hör-/Wahrnehmungsschwelle.

Dies zeigen zum Beispiel Messungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, bei denen der Infraschall in der Umgebung von Windenergieanlagen deutlich unter der Hör-/Wahrnehmungsschwelle liegt (Immissionen): Ein Beispiel dafür ist eine Langzeit-Messung an einer 1-MW-Windenergieanlage (Typ Nordex N54; Hammerl und Fichtner 2000, MW: Megawatt). Diese Ergebnisse wurden 2014 für modernere Anlagen mit etwa 140 Metern Nabenhöhe noch einmal bestätigt (Typ Enercon E-82-E2 mit 2.300 kW und Nordex N 117 mit 2.400 kW: Kilowatt).

Auch die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2020a) konnte nahe an Anlagen nur unterschwelliges Infraschall feststellen, der also deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle lag (6 Anlagen zwischen 1,8 und 3,2 MW).

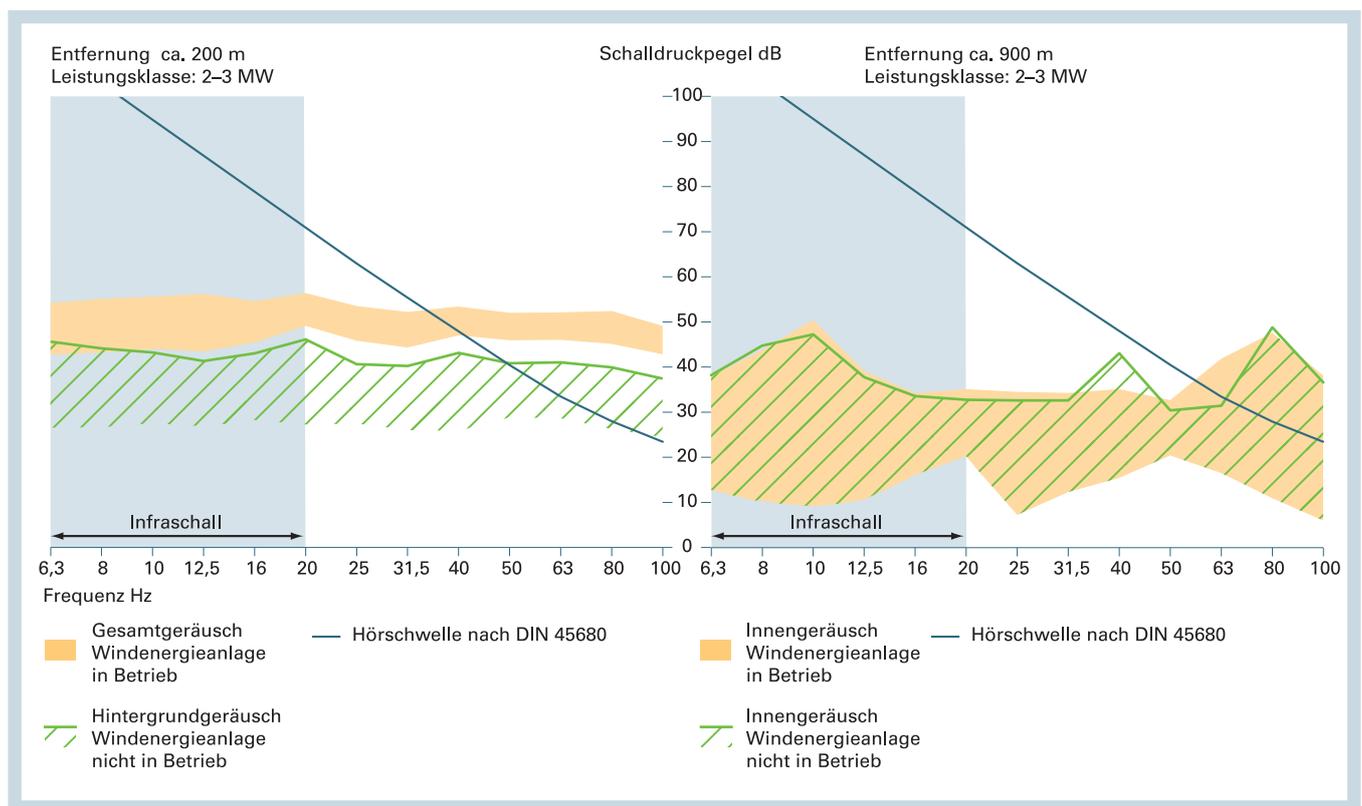


Abb. 6: Messungen zeigen, dass der Infraschall in der Umgebung von Windenergieanlagen deutlich unter der Hör- und Wahrnehmungsschwelle liegt. Dies gilt selbst im Nahbereich von Anlagen (links). Bei Messungen in Wohnräumen kann man messtechnisch nicht einmal unterscheiden, ob die Anlage in Betrieb oder ausgeschaltet ist (rechts). (Messungen an modernen Anlagen mit 140 Metern Nabenhöhe bei mittelstarkem Wind von 8 bis 13 m/s, Abstand 200 Meter (links), 900 Meter (rechts), MW – Megawatt. Zur besseren Vergleichbarkeit mit den DIN-Normen ist hier der unbewertete Schalldruckpegel angegeben.)

Auch andere wissenschaftliche Untersuchungen stützen diese Ergebnisse. Die Daten wurden an Windenergieanlagen der unterschiedlichsten Bauart erhoben. Einige Zusammenhänge zeigen sich immer wieder, zum Beispiel:

- Infraschall von Windenergieanlagen ist noch in größeren Entfernungen messbar. Wichtig ist dabei: Die Pegel liegen stets deutlich bis sehr deutlich unter der Hör-/Wahrnehmungsschwelle (zum Beispiel bei Møller H., Pedersen C. S. 2010; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2016).
- Selbst nahe an den Anlagen wird die Hör-/Wahrnehmungsschwelle nicht erreicht: Zu diesem Schluss kommt eine dänische Studie, die sich auf Daten von 48 kleinen und großen Windenergieanlagen stützt (80 kW bis 3,6 MW; Møller H., Pedersen C. S. 2010).
- Im Wohnumfeld wird die Wahrnehmungsschwelle nicht einmal in dem Frequenzbereich erreicht, für den die höchsten Pegel gemessen wurden (um 1 Hz) – und zwar bei Weitem nicht.
- Windenergieanlagen haben keinen wesentlichen Einfluss auf den Infraschall, der vor Ort gemessen werden kann (Immissionen): Im ländlichen Bereich entsteht Infraschall vor allem durch den Wind, im städtischen Bereich sind technische Anlagen oder Fahrzeuge die Hauptquellen. Dies zeigen zum Beispiel Studien aus Baden-Württemberg und Australien (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2016; Evans et al. 2013). Eine weitere Studie kommt ebenfalls zu diesem Schluss. Sie widmete sich tieffrequenten Geräuschen inklusive Infraschall (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2016).

GESUNDHEITLICHE WIRKUNGEN IM UMFELD VON WINDENERGIEANLAGEN

Bislang konnte kein Zusammenhang zwischen dem Infraschall, der auf die Anwohner von Windenergieanlagen einwirkt, und gesundheitlichen Symptomen nachgewiesen werden. Neuere und sehr umfangreiche Studien zeigen das sowohl für selbstberichtete Beschwerden als auch für messbare Parameter, für körperliche und psychische Symptome und sogar für die subjektive Einschätzung der Belästigung. Einige Beispiele:

- Bisher wurde nicht nachgewiesen, dass Infraschall, wie er für Windenergieanlagen typisch ist, zu gesundheitlich nachteiligen Effekten beim Menschen führt. Das zeigen Überblicksarbeiten, die sich auf zahlreiche epidemiologische Studien beziehen (Balitsas et al. 2016; McCunney et al. 2014).
- Dies bestätigt auch eine jüngere Studie für sehr viele gesundheitliche Parameter (Maijala et al. 2020). Bei Anwohnern von Windenergieanlagen wurden zum Beispiel die Herzfrequenz und ihre Variabilität, ebenso wie Parameter für psychische Reaktionen gemessen. Außerdem erfasste die Studie das subjektive Empfinden von Belästigung, sowie selbstberichtete Symptome und Beschwerden erfasst (zum Beispiel Druckempfindungen im Ohr, Tinnitus, Schlafstörungen, Herzsymptome, Kopfschmerzen, Schwindel, Angst, Müdigkeit, Bluthochdruck, Gelenk- und andere Schmerzen, Übelkeit sowie Konzentrationsschwierigkeiten).
- Auch eine weitere Studie konnte keinen Zusammenhang zwischen Hör- und Infraschall und gesundheitlichen Symptomen feststellen (TremAc-Studie, Kudella, P. et al. 2020). Diese Studie ist besonders aussagekräftig, weil sie sehr groß angelegt war und viele Standorte in Nord-, Mittel- und Süddeutschland umfasste. Außerdem wurden nicht nur gesundheitliche Parameter erfasst, sondern auch psychologische Untersuchungen durchgeführt. Ein Nachfolgeprojekt ist in Arbeit.

Selbst sorgfältige Studien konnten bislang keinen Zusammenhang zwischen Infraschall und gesundheitlichen Symptomen bei Anwohnern von Windenergieanlagen finden.

- Auch das Risiko für Herzinfarkt und Schlaganfall wurde detailliert untersucht: Wieder ergab sich kein Zusammenhang mit Hör- und Infraschall von Windenergieanlagen (Poulsen et al. 2019).
- Eine orientierende Studie des Umweltbundesamtes (2020) ergab ebenfalls keinen Hinweis auf akute körperliche Reaktionen, die durch Infraschall nahe der Wahrnehmungsschwelle hätten ausgelöst werden können. Diese Studie hatte Pilotcharakter: Erstmals wurden Menschen in einem Wohnhaus gezielt Infraschall ausgesetzt, der dem von Windenergieanlagen ähnlich war. Anschließend wurden mögliche medizinische und psychologische Wirkungen untersucht. Interessanterweise spielte nicht einmal eine Rolle, wenn es im Wohnumfeld Vorbelastungen gab, also Infraschall oder tieffrequente Geräusche aus anderen Quellen. Diese Ergebnisse haben jedoch nur orientierenden Charakter und können nicht verallgemeinert werden.

Rechtliche Aspekte

Infraschall kann zu Belästigungen führen, wenn die Pegel die Wahrnehmbarkeitsschwelle des Menschen überschreiten. Bei Windenergieanlagen wird diese Schwelle bei Weitem nicht erreicht.

Bereits mehrere Gerichte haben sich mit dem Thema Infraschall beschäftigt. Das Oberverwaltungsgericht Münster stellt zusammenfassend fest: *„Die Rechtsprechung des Senats und anderer Obergerichte geht davon aus, dass Infraschall – wie auch tieffrequenter Schall – durch Windenergieanlagen nach dem bisherigen Stand wissenschaftlicher Erkenntnisse grundsätzlich nicht zu Gesundheitsgefahren führt (...).“* Im Weiteren nennt das Oberverwaltungsgericht zahlreiche Gerichtsurteile dazu.

Quelle: OVG Münster (8. Senat), Urteil vom 22. November 2021 – 8A 973/15

FAZIT

Zusammenfassend kann man sagen, dass mittlerweile viele sorgfältige, wissenschaftliche Studien zum Infraschall rund um Windenergieanlagen vorliegen. Sie konnten keine schädlichen Wirkungen auf den Menschen finden. Das ist plausibel, denn die Pegel in der Umgebung (Immissionen) liegen stets deutlich unterhalb der Hör-/Wahrnehmungsschwelle – und für diesen Bereich wurden bisher keine gesundheitlichen Wirkungen nachgewiesen, auch nicht in Untersuchungen zum Infraschall per se.

Dennoch gebietet es die fachliche Sorgfalt, möglicherweise verbleibende Restrisiken auszuschließen. Daher plant das Umweltbundesamt vorsorglich ein Forschungsvorhaben.

LITERATUR UND LINKS

- ASCONE L. ET AL. (2021): [↘ A longitudinal, randomized experimental pilot study to investigate the effects of airborne infrasound on human mental health, cognition, and brain structure.](#) Sci Rep. 2021; 11: 3190
- BALIATSAS C. ET AL. (2016): [↘ Health effects from low-frequency noise and infrasound in the general population: Is it time to listen?](#) Sci Total Environ. Juli 2016; 557-558:163-9
- BAYCEER (2020): [↘ Messkampagnen Infraschall von WEA](#)
- BAYERISCHE STAATSREGIERUNG (2019): [↘ Energie-Atlas Bayern](#)
- BORGMANN R. (2005): [↘ Infraschall. Leitfaden „Nichtionisierende Strahlung“.](#) PDF, 22 S.
- BUND NRW (2012): [↘ Windkraft in Nordrhein-Westfalen.](#) PDF, 8 S.
- DOTT ET AL. (2007): [↘ Infraschall und tieffrequenter Schall – ein Thema für den umweltbezogenen Gesundheitsschutz in Deutschland?](#) Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 50: 1582–1589. PDF, 8 S.
- EVANST. ET AL. (2013): [↘ Infrasound Levels near Wind Farms and in Other Environments.](#) PDF, 71 S.
- HAMMERL C., FICHTNER J. (2000): Langzeit-Geräuschimmissionsmessungen an der 1 MW-Windenergieanlage Nordex N54 in Wiggensbach bei Kempten. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, unveröffentlicht, 87 S.
- ISO 7196 (1995): Acoustics – Frequencyweighting characteristic for infrasound measurements
- ISO 28961 (2012): Akustik – Statistische Verteilung von Freifeld-Normalhörschwellen
- KÖTTER CONSULTING ENGINEERS (2010): [↘ Schalltechnischer Bericht Nr. 27257-1.006.](#) PDF, 97 S.
- KUDELLA, P. ET AL. (2020): [↘ Objektive Kriterien zu Erschütterungs- und Schallemissionen durch Windenergieanlagen im Binnenland | Kurzbezeichnung: TremAc.](#) PDF, 149 S.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG:
 2016: [↘ Fragen und Antworten zu Windenergie und Schall.](#) PDF, 36 S.
 2020A: [↘ Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen.](#) PDF 104 S.
 2020B: [↘ Windenergie und Infraschall – Tieffrequente Geräusche durch Windenergieanlagen.](#) PDF, 10 S.
- LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN:
 2002: [↘ Windenergieanlagen und Immissionsschutz.](#) PDF, 54 S.
 2007: [↘ Geräuschemissionen hoher Windenergieanlagen.](#) PDF, 114 S.
- MAIJALA ET AL. (2020): [↘ Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines.](#) PDF, 169 S.
- MCCUNNEY RJ. (2014): [↘ Wind turbines and health: a critical review of the scientific literature.](#) J Occup Environ Med, 56(11): p. e108–30
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG (2016): [↘ Windkraft hat keinen relevanten Einfluss auf Infraschall.](#) Pressemitteilung

Mehr UmweltWissen

- [↘ Lärm – Hören, Messen und Bewerten](#)
- [↘ Lärm – Straße und Schiene](#)
- [↘ Lärm – Wohnen, Arbeit und Freizeit](#)
- [↘ Windenergie in Bayern](#)

Umweltschutz im Alltag

- [↘ Ansprechpartner](#)
- [↘ Weitere Publikationen](#)

MØLLER H., PEDERSEN C. S.:

2004 ↓ [Hearing at low and infrasonic frequencies](#). Noise & Health 6: 37-57

2010: ↓ [Tieffrequenter Lärm von großen Windkraftanlagen](#). PDF, 46 S.

POULSEN, A. H. ET AL. (2019): [Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise and Risk for Myocardial Infarction and Stroke: A Nationwide Cohort Study](#). Environmental Health Perspectives, 127/3. Pdf, 10 S.

UMWELTBUNDESAMT:

2014 ↓ [Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall](#). Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Ermittlung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen. PDF, 135 S.

2016: ↓ [Mögliche gesundheitliche Effekte von Windenergieanlagen](#). PDF, 12 S.

2020: ↓ [Infraschall um oder unter der Wahrnehmungsschwelle führt nicht zu unmittelbaren körperlichen Reaktionen](#). Pressemitteilung

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und
Lebensmittelsicherheit (LGL)
Eggenreuther Weg 43
91058 Erlangen

Telefon: 09131 6808-0
E-Mail: poststelle@lglbayern.de
Internet: <http://www.lgl.bayern.de>

Text/Konzept:

LfU, Georg Eberle, Johann Fichtner, Dr. Stephan Leitschuh, Dr. Theresa Linderl, Dr. Katharina Stroh
LGL, Dr. Bernhard Brenner

Bildnachweis:

Titelbild: LfU; Abb. 1: LfU; Abb. 2: © Friday – Fotolia.com; Abb. 3: © Eisenhans – Fotolia.com; Abb. 4: © Vaceslav Romanov – Fotolia.com; Abb. 5 und 6: LfU; Grafik S. 6/7: LfU, Nadeeka Pinto

Stand: 6. unveränderte Auflage, Oktober 2023

Druck:

Wahl-Druck GmbH, Carl-Zeiss-Straße 26,
73431 Aalen/Württ
11/2023



www.blauer-engel.de/uz195

- ressourcenschonend und umweltfreundlich hergestellt
- emissionsarm gedruckt
- überwiegend aus Altpapier

KE7

Dieses Druckerzeugnis ist mit dem Blauen Engel ausgezeichnet.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 0 89 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.