

UmweltWissen – Klima und Energie

Windkraftanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit?



Windräder brauchen wenig Platz, sind rasch aufgebaut und liefern kostengünstig erneuerbare Energie. Doch wie steht es um die Nebenwirkungen?

Mit Wind ist es möglich, regenerative Energie effizient zu gewinnen. Wie bei jeder neuen Technologie müssen dabei rechtzeitig die Auswirkungen für Mensch und Umwelt betrachtet werden. Dass Windkraftanlagen (WKA) Geräusche erzeugen, ist bekannt und wird heute bei der Suche nach passenden Standorten berücksichtigt. Gleichzeitig werden jedoch immer wieder Befürchtungen geäußert, dass die Anlagen neben hörbarem Schall auch Infraschall erzeugen, der Menschen beeinträchtigt oder ihre Gesundheit gefährdet. Doch was ist Infraschall? Wie entsteht er? Gefährdet er die Gesundheit wirklich? Es gibt schließlich auch Infraschall aus natürlichen Quellen, wie Donner oder Meeresbrandung.

Bei Infraschall handelt es sich um Töne, die so tief sind, dass Menschen sie normalerweise nicht wahrnehmen. Nur wenn der Pegel (also quasi die Lautstärke) sehr hoch ist, können wir Infraschall hören oder spüren.

Wissenschaftliche Studien zeigen, dass Infraschall nur dann Folgen haben kann, wenn Menschen ihn hören oder spüren können. Da die von Windkraftanlagen erzeugten Infraschallpegel in üblichen Abständen zur Wohnbebauung deutlich unterhalb der Hör- und Wahrnehmungsgrenzen liegen, haben nach heutigem Stand der Wissenschaft Windkraftanlagen keine schädlichen Auswirkungen für das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen.

1 Was ist Infraschall?

Schall breitet sich in Luft mit einer Geschwindigkeit von rund 343 Metern pro Sekunde aus, das entspricht 1.235 Kilometer pro Stunde. Dies bezeichnet man auch als Schallgeschwindigkeit. Dabei breiten sich Luftdruckschwankungen als Schallwellen aus. Wer einmal bei einem Konzert vor einer großen Bass-Box gestanden hat, kennt das Phänomen, dass man tiefe Töne nicht nur mit den Ohren hört, sondern deren Schallwellen auch als Pulsieren im Körper spürt. Für jeden Ton gibt es daher nicht nur eine Hörschwelle, sondern auch eine Wahrnehmungsschwelle.

Ob ein Ton eher hoch oder tief ist, hängt von seiner Frequenz ab, diese wird in der Einheit Hertz (Hz) angegeben: Ein Hertz entspricht einer Schwingung pro Sekunde. Tiefe Töne haben eine niedrige Frequenz, also kleine Zahlenwerte, und hohe Töne eine hohe Frequenz.

Schallwellen mit Frequenzen zwischen 20 und 20.000 Hertz werden als **Hörschall** bezeichnet (siehe Abb. 1). In diesem Bereich kann der Mensch Tonhöhen und Lautstärken unterscheiden. Tiefe Töne von 20 bis 60 Hertz können wir zwar hören, ihre Tonhöhe jedoch nur sehr schwer erkennen. Nur zwischen 60 und 20.000 Hertz können wir Tonhöhen und Lautstärke gut differenzieren. In diesem Frequenzbereich liegt die gewohnte Sprache und Musik. Am empfindlichsten ist das menschliche Ohr im mittleren Frequenzbereich von 500 bis 5.000 Hertz.

Schallwellen mit Frequenzen oberhalb des Hörbereiches des Menschen werden als **Ultraschall** bezeichnet. Fledermäuse orientieren sich beispielsweise mit Ultraschallrufen, um sich ein Hörbild ihrer Umgebung zu schaffen. In der Medizin wird Ultraschall verwendet, um sich ein Bild vom Körperinneren des Menschen zu machen, beispielsweise bei Schwangeren oder nach Unfällen.

Als **Infraschall** wird der Luftschall unterhalb der Frequenz von 20 Hertz definiert¹. In diesem tiefen Bereich kann der Mensch keine Tonhöhen mehr wahrnehmen. Elefanten und Blauwale hingegen kommunizieren untereinander per Infraschall über große Entfernungen.

Tieffrequenter Schall ist der Bereich unterhalb der Frequenz von 100 Hertz, er umfasst den Infraschall und die für Menschen gerade noch hörbaren tiefen Töne.

Schallwellen sind periodische Luftdruckschwankungen und breiten sich in der Luft als Schwingung aus. Schwingungen mit niedriger Frequenz haben eine deutlich größere Wellenlänge als Hörschall mit seiner hohen Frequenz: bei 20.000 Hertz beträgt die Wellenlänge rund 1,7 Zentimeter, bei 20 Hertz etwa 17 Meter. Bei zehn Hertz beträgt die Wellenlänge rund 34 Meter, bei einem Hertz etwa 340 Meter (siehe Abb. 1).

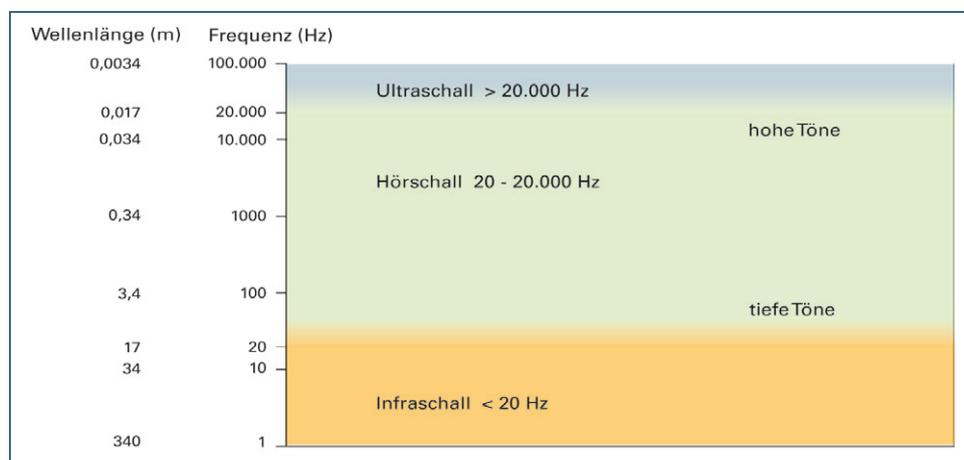


Abb. 1:
Wie gut ein Mensch den ihn umgebenden Schall hört, hängt auch von dessen Frequenz ab.

¹ ISO 7196, März 1995: Acoustics – Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements

2 Wie nehmen Menschen Infraschall wahr?

Menschen nehmen Schall primär über das Sinnesorgan Ohr wahr. Diese akustische Wahrnehmung wird als „Hören“ bezeichnet. Im Bereich tiefer Frequenzen (unterhalb 100 Hertz) ändert sich die Qualität und Art des Hörens. Die Tonhöhenempfindung nimmt ab und entfällt im Bereich des Infraschalls komplett. Ein Hören im engeren Sinne gibt es im Bereich des Infraschalls nicht mehr. Trotzdem ist auch im Infraschallbereich eine Wahrnehmung des Schallreizes mit dem Sinnesorgan Ohr – eine Art „Hören“ – möglich. Hierfür sind jedoch deutlich höhere Schallpegel notwendig als im Bereich des Hörschalls.

Neben der akustischen Wahrnehmung mit dem Ohr können tieffrequente Schallereignisse auch mit anderen Sinnesorganen wahrgenommen werden: mit dem Tastsinn (taktil) und dem Gleichgewichtssinn (vestibulär). Diese Art der Wahrnehmung wird „Fühlen“ genannt. Im tieffrequenten Schallbereich ist der Übergang vom „Hören“ zum „Fühlen“ fließend. Während die Empfindlichkeit des Ohres zu tiefen Frequenzen hin stark abnimmt, kann der Mensch Infraschall mit hohen Pegeln im Körper spüren: Über das Ohr und andere Körperteile (z. B. Lunge, Nase, Stirnhöhle) empfindet er dann Pulsationen und Vibrationen. Diese Empfindungen können nicht mehr mit Begriffen wie „laut“ oder „leise“, sondern nur noch mit „stark“ oder „schwach“ beschrieben werden. Die Luftdruckschwankungen können zusätzlich mit einem Druckgefühl in den Ohren einhergehen, vergleichbar mit dem Ohrendruck beim Flugzeugstart. Schluckbewegungen zum Druckausgleich über die eustachische Röhre lindern ihn aber nicht.

Wo liegt nun die Grenze zwischen Hören, Spüren und Stille? Tabelle 1 zeigt die Pegel der Hör- und Wahrnehmungsschwellen. Die Hörschwelle ist dabei so festgelegt, dass 50 Prozent der Bevölkerung die jeweilige Frequenz unterhalb des angegebenen Pegels nicht mehr hörbar wahrnimmt. In neueren Regelwerken³ wird die Wahrnehmungsschwelle so definiert, dass 90 Prozent der Bevölkerung unterhalb dieses Pegels die Infraschallwellen nicht wahrnimmt.

Ebenso wie bei Hörschall variiert die Grenze, ab der tieffrequenter Schall gehört werden kann, von Mensch zu Mensch. Für etwa 68 Prozent der Bevölkerung liegt die Hörschwelle in einem Bereich von plus/minus sechs Dezibel (dB) um die in Tabelle 1 angegebenen Werte. Weiterhin gibt es Hinweise auf für tieffrequenten Schall besonders sensible Personen (etwa 2,5 Prozent der Bevölkerung), bei denen die Hörschwelle um mindestens zwölf Dezibel niedriger anzusetzen ist als bei dem Bevölkerungsdurchschnitt. Fallbeschreibungen sprechen dafür, dass einzelne Personen auch bei Unterschreitung der Hörschwelle Infraschall in Form von Objekt- oder Körpervibrationen oder sensorische Wahrnehmung über die Ohren spüren.

Außerdem ist der Tabelle 1 noch folgender physiologischer Zusammenhang zu entnehmen: Je tiefer die Frequenz ist, desto höher muss der Schalldruckpegel – also die Lautstärke – sein, damit der Mensch etwas wahrnimmt. Beispielsweise muss bei acht Hertz der Schalldruckpegel bei 100 Dezibel liegen, bei 16 Hertz hingegen genügen 76 Dezibel. Bei 100 Hertz (nicht in der Tabelle) würden 23 Dezibel ausreichen.

Tab. 1: Hörschwellen² und Wahrnehmungsschwellen³ im Infraschall-Frequenzbereich.

Schwelle	Schalldruckpegel bei einer Frequenz ⁴ von				
	8 Hz	10 Hz	12,5 Hz	16 Hz	20 Hz
Hörschwelle	103 dB(Z)	95 dB(Z)	87 dB(Z)	79 dB(Z)	71 dB(Z)
Wahrnehmungsschwelle	100 dB(Z)	92 dB(Z)	84 dB(Z)	76 dB(Z)	68,5 dB(Z)

² DIN 45680, März 1997: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft

³ Entwurf DIN 45680, August 2011: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen

⁴ Terzmitten-Frequenz

3 Wie wirkt Infraschall auf den Menschen?

Bei der Beurteilung der gesundheitlichen Wirkungen werden Infraschall (< 20 Hertz) und tieffrequenter Schall (< 100 Hertz) häufig gemeinsam betrachtet, da sich bereits unterhalb von 100 Hertz die Qualität und Art der akustischen Wahrnehmung ändert.

Über die biologischen Wirkungen von tieffrequentem Schall mit hohen Intensitäten liegen einige Studien vor. Weniger erforscht sind die Wirkungen von lang dauernder Exposition gegenüber tieffrequentem Schall mit niedrigem Schallpegel. Das Umweltbundesamt hat daher im Jahr 2011 eine Machbarkeitsstudie in Auftrag gegeben, die sich mit diesem Themenkomplex beschäftigt⁵.

Sehr hohe Schallpegel, die weit oberhalb der Hörschwelle liegen, können nicht nur im Bereich des Hörschalls, sondern auch im Bereich des Infraschalls zu Gehörschäden führen. In Tierversuchen lag beispielsweise bei Meerschweinchen die Grenze, ab der Gehörschäden beobachtet wurden, bei 133 Dezibel. Auch Beobachtungen am Menschen legen nahe, dass Infraschall mit Pegeln von über 140 Dezibel zu Gehörschäden führen können. Bei Schallpegeln von 185 bis 190 Dezibel kommt es zu einer Beschädigung des Trommelfells.

Als weitere Wirkungen sehr hoher Schallpegel – also hörbaren Infraschalls – werden Effekte auf das Herz-Kreislaufsystem diskutiert, die zum Teil sowohl in Tierexperimenten als auch bei Menschen beobachtet werden. Auch Ermüdung, Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit, Benommenheit, Schwingungsgefühl und Abnahme der Atemfrequenz, Beeinträchtigung des Schlafes und erhöhte Morgenmüdigkeit sowie mögliche Resonanzwirkungen werden als Wirkungen von Infraschall oberhalb der Hörschwelle berichtet.

Ab der Hör- bzw. Wahrnehmbarkeitsschwelle kann Infraschall zu Störung und Belästigung führen. Häufig gehen jedoch Infraschall und Geräusche im Hörschallbereich einher. Diese Reaktionen sind daher nicht immer eindeutig dem Infraschall zuzuordnen. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Belästigungswirkung von Infraschall stärker ist als die des Hörschalls.

Liegen die Pegel des Infraschalls unterhalb der Hörschwelle, konnten in Studien am Menschen bisher keine Wirkungen auf das Gehör, auf das Herz-Kreislauf-System oder andere Symptome beobachtet werden. Bisher liegen jedoch nur wenige Studien zu den Wirkungen des Infraschalls unterhalb der Hörschwelle vor.

Die bisherigen Daten weisen darauf hin, dass gesundheitliche Wirkungen von Infraschall erst ab der Hörschwelle auftreten, also nur bei Schall im hörbaren Bereich. Beim Vergleich der Höhe der Infraschallimmissionen von Windkraftanlagen mit den frequenzspezifischen Hör- und Wahrnehmungsschwellen wird ersichtlich, dass die Immissionen unterhalb der Hör- und Wahrnehmungsgrenze liegen. Der Infraschall von Windkraftanlagen kann also vom Menschen weder gehört noch anders wahrgenommen werden. Insofern sind auch keine gesundheitlichen Wirkungen zu erwarten.

⁵ FKZ-Nr. 3711 54 199: Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall – Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen.

4 Wo entsteht Infraschall

Ausgelöst wird Infraschall durch physikalische Ereignisse. Es gibt sowohl natürliche als auch künstliche Quellen.

4.1 Natürliche Quellen

Zu den natürlichen lauten Quellen zählen beispielweise folgende Ereignisse und Phänomene:

- Vulkaneruptionen, Erdbeben
- Meeresbrandung, hoher Seegang
- Schnee- und Geröll-Lawinen
- starker böiger Wind, Stürme und Unwetter
- Donner bei Gewittern

Wird Infraschall durch Wettererscheinungen und Seegang ausgelöst, spricht man von **Mikrobaromen**.

Natürliche Infraschallereignisse treten meist mit hohen Pegeln auf. In der Regel überschreiten sie sogar die aus künstlichen Quellen. Windböen beispielsweise können bis zu 135 Dezibel „laut“ sein⁶.

4.2 Künstliche Quellen

Zahlreiche Anlagen und Tätigkeiten des Menschen können neben dem hörbaren Schall auch hohe Infraschallpegel emittieren. Beispiele sind⁶:

- große Gasturbinen, Verdichterstationen, Stanzen, Rüttler, Vibratoren, Kompressoren, Pumpen
- Verkehrsmittel (Lkw, Schiffe, Flugzeuge, Strahltriebwerke, Hubschrauber)
- Sprengungen und Explosionen
- Überschallknall von Flugzeugen
- leistungsfähige Lautsprechersysteme in geschlossenen Räumen

Infraschall entsteht bei praktisch allen Tätigkeiten und Vorgängen, die Geräusche erzeugen. Bei industriellen Anlagen sind an manchen Arbeitsplätzen hohe Infraschallpegel möglich. Ansonsten ist der Pegel so niedrig, dass der Infraschall nicht wahrnehmbar ist. (Details zur Wahrnehmung, siehe Kapitel 2).



Abb. 2 und 3: Infraschall kann aus künstlichen oder natürlichen Quellen stammen.

⁶ BORGMANN, R.: Leitfaden „Nichtionisierende Strahlung – Infraschall“, AKNIR, 2005

5 Wie breitet sich Infraschall aus?

Wegen der großen Wellenlänge hat Infraschall andere Eigenschaften als Hörschall: Tieffrequente Schallwellen werden von der Umgebung weniger gedämpft als hochfrequente, bei denen ein Teil von der Luft oder dem Boden absorbiert wird. Außerdem schirmen Hindernisse wie Felsen, Bäume, Schutzwälle oder Gebäude die tieffrequenten Schallwellen nicht wirkungsvoll ab, weil sie im Vergleich zur Wellenlänge relativ klein sind (siehe Abb. 4). Auf große Entfernungen nimmt langwelliger Schall daher fast nur nach geometrischen Gesetzmäßigkeiten ab: verdoppelt sich die Entfernung, dann verteilt sich die Schallenergie auf die vierfache Fläche. Entsprechend sinkt der Pegel um sechs Dezibel (dB).

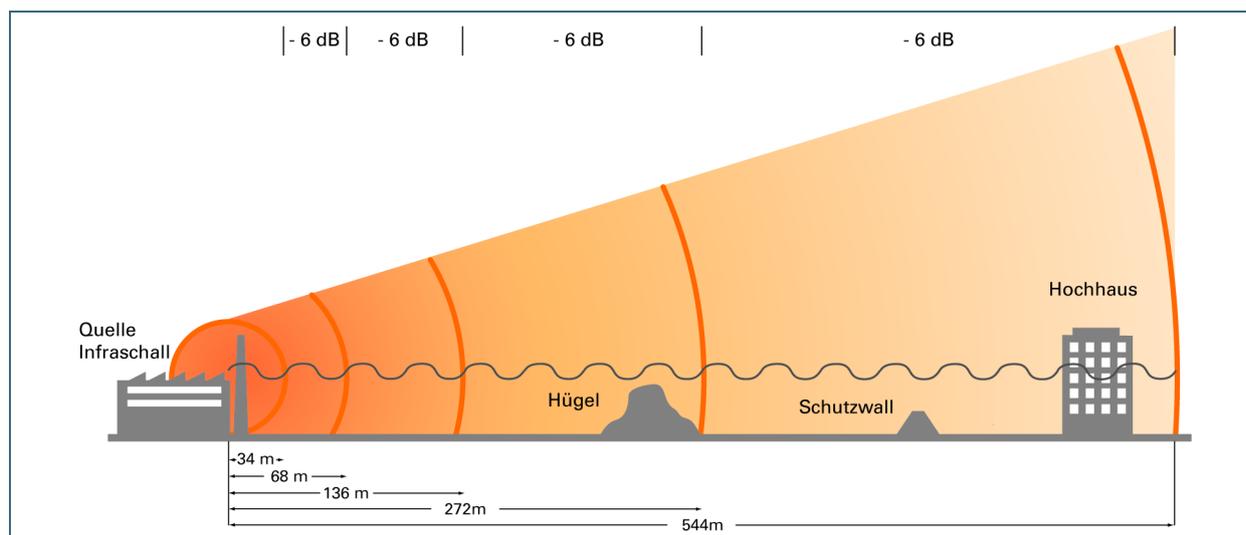


Abb. 4: Bei Infraschall ist die Wellenlänge größer als Wohnhäuser, Bäume und Schutzwälle hoch sind. Deshalb dämpfen sie ihn kaum, der Schallpegel sinkt unabhängig von der Umgebung: verdoppelt sich die Entfernung, nimmt er um sechs Dezibel ab. Im Beispiel dargestellt ist Infraschall von zehn Hertz; er hat eine Wellenlänge von 34 Metern.

6 Erzeugen Windkraftanlagen Infraschall?

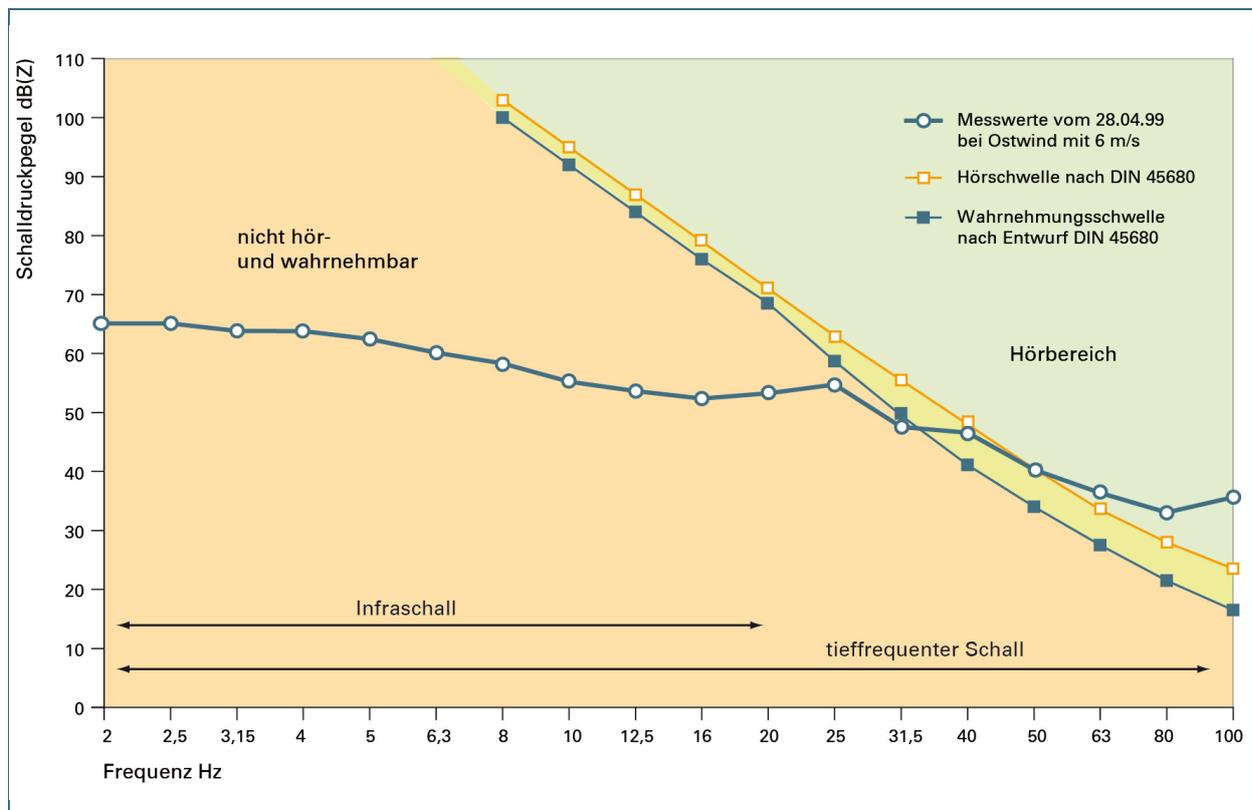
Jede Rotorbewegung erzeugt Luftturbulenzen, durch die Geräusche im gesamten Frequenzbereich entstehen. Da die Flügel der Windräder sehr groß sind und sich langsam drehen, sind die von ihnen erzeugten Geräuschpegel jedoch deutlich kleiner als bei den sich schnell drehenden Propellern. Vibrationen in den Flügeln und im Turm erzeugen tieffrequente Wellen. Moderne Windkraftanlagentypen, deren Flügel auf der dem Wind zugewandten Seite, also vor dem Turm, angeordnet sind, erzeugen weniger Infraschall als ältere Anlagen, deren Flügel hinter dem Turm vorbeistreichen und regelmäßig in dessen Windschatten geraten.

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz führte in den Jahren 1998 bis 1999 eine Langzeit-Geräuschimmissionsmessung an einer 1-MW-Windkraftanlage (Typ Nordex N54) in Wiggensbach bei Kempten durch. Tabelle 2 und Abbildung 5 stellen die wesentlichen Ergebnisse dar. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass „die im Infraschallbereich liegenden Schallemissionen der Windkraftanlage weit unter der Wahrnehmungsschwelle des Menschen liegen und daher zu keinen Belästigungen führen“⁷. Außerdem wurde festgestellt, dass der durch den Wind verursachte Infraschall deutlich stärker ist als der ausschließlich vom Windrad erzeugte Infraschall.

⁷ HAMMERL C., FICHTNER, J.: [Langzeit-Geräuschimmissionsmessungen an der 1-MW-Windenergieanlage Nordex N54 in Wiggensbach bei Kempten \(Bayern\)](#); Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Januar 2000. PDF, 67 S.

Tab. 2: Infraschallpegel im Abstand von 250 m zu einer 1-MW-Windkraftanlage bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten.

Windgeschwindigkeit	Schalldruckpegel ⁸ bei einer Frequenz ⁹ von				
	8 Hz	10 Hz	12,5 Hz	16 Hz	20 Hz
6 m/s mäßige Brise, die gemessenen Geräusche stammen überwiegend von der Windkraftanlage	58 dB(Z) ¹⁰	55 dB(Z)	54 dB(Z)	52 dB(Z)	53 dB(Z)
15 m/s starker bis stürmischer Wind, die gemessenen Geräusche stammen überwiegend vom Wind	75 dB(Z)	74 dB(Z)	73 dB(Z)	72 dB(Z)	70 dB(Z)

Abb. 5: Das untersuchte Windrad erzeugt Schallwellen, die von auf einem Balkon in 250 Metern Entfernung stehenden Menschen nur oberhalb 40 Hertz gehört werden können. Der Infraschallbereich ist hier nicht wahrnehmbar, da er unterhalb der Hör- und Wahrnehmungsschwelle liegt⁷.

Die Auswertung weiterer Untersuchungen ergab ebenfalls, dass die von Windkraftanlagen erzeugten Infraschallpegel deutlich unter der Hör- und Wahrnehmungsschwelle liegen:

Immissionsmessungen an einer 1,5-MW-Windkraftanlage (Typ Südwind S 77) im Windpark Hohen Pritz im Abstand von 600 Metern kommen zu dem Ergebnis, dass die Hörschwellenkurve im Infraschallbereich

⁸ Long-Term Equivalent continuous sound level (L_{eq}): Über die Einwirkzeit energetisch gemittelter Schalldruckpegel

⁹ Terzmitten-Frequenz

¹⁰ dB(Z): unbewerteter mittlerer Schalldruckpegel

deutlich unterschritten wird. Zwischen dem Betriebszustand „Windenergieanlage an“ und den Hintergrundgeräuschen bei ausgeschalteter Anlage ist kein nennenswerter Unterschied zu erkennen.¹¹

Eine dänische Studie, in der Daten von 48 kleinen und großen Windkraftanlagen (80 kW bis 3,6 MW) ausgewertet wurden, kommt zu folgendem Schluss: „Windkraftanlagen (WKA) emittieren ganz gewiss Infraschall, aber die Pegel sind niedrig, wenn man die Empfindlichkeit des Menschen für solche Frequenzen in Betracht zieht. Selbst dicht an den WKA liegt der Schalldruckpegel weit unter der normalen Hörschwelle, und der Infraschall wird daher nicht als ein Problem angesehen für WKA derselben Konstruktion und Größe wie die untersuchten.“¹²

Rechtliche Aspekte

Infraschall kann zu Belästigungen führen, wenn die Pegel die Wahrnehmbarkeitsschwelle des Menschen nach Entwurf DIN 45680³ überschreiten. Bei Windkraftanlagen wird diese Schwelle bei weitem nicht erreicht.

Bereits mehrere Gerichte haben sich mit dem Thema Infraschall beschäftigt.

Das Verwaltungsgericht Würzburg stellt dazu zusammenfassend fest, dass „im Übrigen hinreichende wissenschaftlich begründete Hinweise auf eine beeinträchtigende Wirkung der von Windkraftanlagen hervorgerufenen Infraschallimmissionen auf den Menschen bisher nicht vorliegen.

Bei komplexen Einwirkungen, über die noch keine hinreichenden wissenschaftlichen Erkenntnisse vorliegen, gebietet die staatliche Schutzpflicht aus Art. 2 Abs. 1 GG nicht, alle nur denkbaren Schutzmaßnahmen zu treffen.

Deshalb ist der Ordnungsgeber nicht verpflichtet, Grenzwerte zum Schutz von Immissionen zu verschärfen (oder erstmals festzuschreiben), über deren gesundheitsschädliche Wirkungen keine verlässlichen wissenschaftlichen Erkenntnisse vorliegen.“ (VG Würzburg Urteil vom 7. Juni 2011, AZ W 4 K 10.754)

7 Fazit

Da die von Windkraftanlagen erzeugten Infraschallpegel in der Umgebung deutlich unterhalb der Hör- und Wahrnehmungsgrenzen liegen, können nach heutigem Stand der Wissenschaft Windkraftanlagen beim Menschen keine schädlichen Infraschallwirkungen hervorrufen. Gesundheitliche Wirkungen von Infraschall (< 20 Hertz) sind erst in solchen Fällen nachgewiesen, in denen die Hör- und Wahrnehmbarkeitsschwelle überschritten wurde. Nachgewiesene Wirkungen von Infraschall unterhalb dieser Schwellen liegen nicht vor.

¹¹ KÖTTER CONSULTING ENGINEERS KG: [Schalltechnischer Bericht Nr. 27257-1.002 über die Ermittlung und Beurteilung der anlagenbezogenen Geräuschimmissionen der Windenergieanlagen im Windpark Hohen Pritz](#). 2010. PDF, 33 S.

¹² Møller, H., Pedersen, S.: [Tieffrequenter Lärm von großen Windkraftanlagen – Übersetzung der dänischen Studie „Lavfrekvent støj fra store vindmøller“](#), 2010. PDF, 46 S.

8 Literatur und Links

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT (2013*): ► [Energieatlas-Bayern 2.0](#)

BRITISH WIND ENERGY ASSOCIATION (Hrsg.): Low frequency noise and wind turbines. 2005, BWEA Briefing Sheet, London

BUND NRW (Hrsg.): Windkraft in Nordrhein-Westfalen – regionalplanerische Steuerungselemente und Argumente. – In: BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND, LANDESVERBAND, NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.): BUND Position, 2004, Eigenverlag, Düsseldorf

DOTT et al. (2007): [Infraschall und tieffrequenter Schall – ein Thema für den umweltbezogenen Gesundheitsschutz in Deutschland? Mitteilung der Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“](#). Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2007; 50: 1582–1589. PDF, 8 S.

HAMMERL C., FICHTNER, J. (2000): [Langzeit-Geräuschimmissionsmessungen an der 1 MW-Windenergieanlage Nordex N54 in Wiggensbach bei Kempten \(Bayern\)](#); Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Januar 2000. PDF, 87 S.

HEALTH PROTECTION AGENCY (2010): [Health effects of exposure to ultrasound and infrasound](#). Report of the independent Advisory Group on Non-ionising Radiation. Februar 2010. PDF, 196 S.

JAKOBSEN J. (2005): Infrasound emission from wind turbines. – In: Journal of low frequency noise, vibration and active control. 2005, 24(3): 145–155.

KLUG, H.: [Infraschall von Windenergieanlagen: Realität oder Mythos?](#) DEWI Magazin 20, Februar 2002. PDF, 1 S.

KÖTTER CONSULTING ENGINEERS KG: [Schalltechnischer Bericht Nr. 27257-1.002 über die Ermittlung und Beurteilung der anlagenbezogenen Geräuschimmissionen der Windenergieanlagen im Windpark Hohen Pritz](#). 2010. PDF, 95 S.

LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN: Sachinformationen zu Geräuschemissionen und -immissionen von Windenergieanlagen. Eigenverlag, 2001, Essen

LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN: Windenergieanlagen und Immissionschutz. – In: LUA NRW (Hrsg.) Materialien Nr. 63., 2002, Essen

MØLLER, H., PEDERSEN, S.: [Tieffrequenter Lärm von großen Windkraftanlagen – Übersetzung der dänischen Studie „Lavfrekvent støj fra store vindmøller“](#), 2010. PDF, 46 S.

O'NEILL et al.: Low frequency noise and infrasound from wind turbines. – In: Noise Control Engineering Journal 2011, 59: 135–157

* Zitate von online-Angeboten vom 17.03.2014

9 Weiterführende Publikationen

UmweltWissen-Publikationen:

- ▶ [Energie-Atlas Bayern 2.0 - Routenplaner für Ihre Energiewende](#)
- ▶ [Lärm - Hören, Messen und Bewerten](#)
- ▶ [Lärm - Straße und Schiene](#)
- ▶ [Lärm - Wohnen, Arbeit und Freizeit](#)
- ▶ [Windenergie in Bayern](#)

Ansprechpartner: ▶ http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/0_ansprechpartner.pdf

Weitere Publikationen zum Umweltschutz im Alltag: ▶ www.lfu.bayern.de/umweltwissen

Impressum:

Herausgeber:

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

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Bearbeitung:

ÖIB / Dr. Stephan Leitschuh
Ref. 12 / Friederike Bleckmann
Ref. 12 / Claudia Wagner
Ref. 26 / Georg Eberle
Ref. 26 / Johann Fichtner

LGL, Sachgebiet AP2, Arbeits- und Umweltepidemiologie / Dr. Dorothee Twardella

Bildnachweis:

© Eisenhans - Fotolia.com: Abb 2; © Friday - Fotolia.com: Abb. 3

Stand:

Neufassung: März 2012

Aktualisierung der Links: August 2013

Aktualisierung der Links: März 2014

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre 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. 089 122220 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.