

Infraschallbewertung von Windenergieanlagen

Stefan Gombots¹, Christian Holzleithner²

¹ VCE Vienna Consulting Engineers ZT GmbH, 1030 Wien, E-Mail: gombots@vce.at

² VCE Vienna Consulting Engineers ZT GmbH, 1030 Wien, E-Mail: holzleithner@vce.at

Einleitung

Bei der Realisierung von Windparkprojekten werden häufig Befürchtungen von betroffenen Bürgern geäußert, dass der von Windkraftanlagen ausgehende Infraschall gesundheitsgefährdend sei. Dabei versteht man unter Infraschall Schallwellen mit Frequenzen die kleiner als 16 Hz sind und somit unter der Hörschwelle des Menschen liegen. Infraschall kann aber dennoch wahrgenommen (oder „gefühlte“) werden. In aller Regel nicht mehr als tonales Schallereignis, sondern zum Beispiel als pulsierendes Gefühl, Druck auf den Ohren oder der Brust. Aufgrund seiner großen Wellenlänge (ca. 20 m bis km-Bereich) wird Infraschall kaum von der Luft oder dem Boden absorbiert und auch nicht durch Hindernisse, wie Schutzwälle oder Gebäude, abgeschirmt – er breitet sich nahezu verlustfrei aus. Da eine Bewertung der Infraschallimmissionen bei Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen oftmals von den Anrainern eingefordert wird, werden die in der Literatur bekannten Phänomene der Infraschallausbreitung vorgestellt und eine Abschätzformel zur Bewertung abgeleitet. Darüber hinaus wird im vorliegenden Beitrag eine Infraschallbewertung für einen generischen Windpark durchgeführt und die Gesamtimmissionen dargelegt.

Motivation

Bei der bevorstehenden Energiewende spielen Windenergieanlagen (WEA) eine wichtige Rolle. In der Vergangenheit wurden im Zuge von Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen immer häufiger Bedenken hinsichtlich Lärmimmissionen und deren potenziell belastigende oder sogar gesundheitsschädliche Wirkung geäußert, sodass es vermehrt zu Einwendungen gegen Windenergieanlagen gekommen ist. Für Diskussionen haben in den vergangenen Jahren vor allem die durch WEA erzeugten Infraschallwellen gesorgt. Der Nachweis gesundheitsschädlicher Wirkungen von Infraschallimmissionen durch Windenergieanlagen ist bisher umstritten. Zum Thema Infraschall findet man viele Studien, Faktenchecks, usw. – wobei das Thema sehr kontrovers diskutiert wird, sodass dies bei Betroffenen zu Unsicherheit und einer negativen Grundeinstellung gegenüber WEA führt. Eine häufig zitierte Studie „Der unhörbare Schall von Windkraftanlagen“ (2009) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover, die auch Grundlage für zahlreiche Publikationen und einer ZDF-Dokumentation ist, trug ebenfalls zu den zahlreichen Diskussion über Infraschallimmissionen bei. In dieser Studie wurde jedoch ein systematischer Fehler bei der Umrechnung

der akustischen Daten gemacht, sodass die angegebenen Pegel um 36 dB zu hoch waren, was einen erheblichen Unterschied ausmacht [1]. Zur allgemeinen Verunsicherung der Öffentlichkeit trägt vermutlich auch bei, dass es für Genehmigungsverfahren von WEA keine standardisierte Immissionsbewertung für Infraschall gibt. Die bereits längere Zeit andauernde Überarbeitung der DIN 45680 lässt auf sich warten. Somit stellt sich die Frage wie die Infraschallimmissionen bei Genehmigungsverfahren derzeit bewertet werden können. Derweil werden Mindestabstände zu WEA vorgesehen, wobei auch hier keine einheitlichen Regelungen in den verschiedenen Ländern existieren, wie in Abbildung 1 zu erkennen ist. In Österreich sind die Abstände von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich. Es existieren auch Regelungen, wo die Nabenhöhe H der WEA für den Mindestabstand berücksichtigt wird, z. B. die 10-H-Regel in Bayern. Aufgrund dieser Umstände soll eine einfache Formel zur Abschätzung der Infraschallimmissionen abgeleitet werden, um so die Unsicherheit der Anrainer gegenüber der zu erwartenden Infraschallimmissionen zu nehmen.

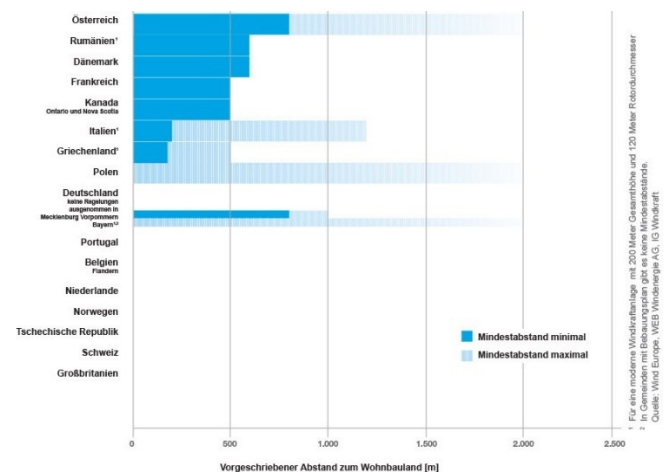


Abbildung 1: Mindestabstände zum Wohnbauland für verschiedene Länder © Wind Europe, IG Windkraft 2013.

Grundlagen und Wahrnehmung

Der Hörbereich eines gesunden Menschen liegt im Bereich von ca. 16 bis 20000 Hz (siehe Abbildung 2). In diesem Frequenzbereich sind Schallereignisse eindeutig identifizierbar, wobei je tiefer die Schallfrequenz ist, die Tonhöhenempfindung zunehmend verschwindet. Unter Infraschall versteht man Schallwellen mit Frequenzen die kleiner als 16 Hz sind und somit unter der subjektiven Hörschwelle des Menschen liegen.

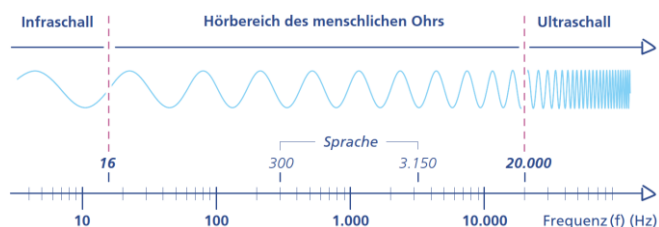


Abbildung 2: Frequenzbereiche - Infraschall, hörbarer Schall und Ultraschall © Stiftung Gesundheitswissen 2018.

Infraschall kann aber dennoch wahrgenommen oder „gefühl“ werden, sofern er laut genug ist. In aller Regel wird Infraschall nicht mehr als tonales Schallereignis wahrgenommen, sondern als bspw. pulsierendes Gefühl, Druck auf den Ohren oder der Brust. Je tiefer die Frequenz, desto höher muss der Schalldruckpegel, also die Lautstärke sein, damit das Hörorgan einen Sinneseindruck erhält [2], wie an den Kurven der gleichen Lautstärkewahrnehmung zu erkennen (siehe Abbildung 3).

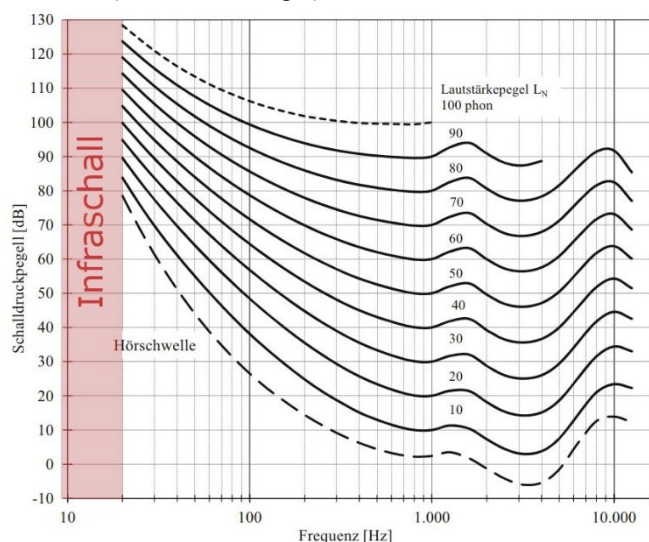


Abbildung 3: International genormte Kurven gleicher Lautstärke reiner Töne [5].

Lautstärke und Belästigung durch Infraschall nehmen mit zunehmendem Pegel oberhalb der Hörschwelle schnell zu [3]. Dies gilt so nicht im höheren Frequenzbereich:

- Bei Frequenzen größer 100 bis 200 Hz führt eine Erhöhung um 10 dB in etwa zu einer Verdoppelung der Lautstärke.
- Um die 20 Hz führt eine Erhöhung um 5 dB bereits zu einer Verdoppelung der Lautstärke.
- Im Infraschallbereich kann davon ausgegangen werden, dass eine vergleichsweise geringe Erhöhung des Schalldrucks zu einer deutlichen Wahrnehmbarkeit führt.

Bewertung

Bei Verwaltungsverfahren wird üblicherweise zur Beurteilung der Schallimmissionen die A-Bewertung verwendet, die eine gute Abbildung der menschlichen

Hörempfindlichkeit (Wahrnehmung) darstellt. Bei Infraschall ist eine solche Bewertung nicht zielführend, da die A-Bewertung tieffrequente Anteile des Frequenzspektrums zu gering bewertet. Die A-Bewertung ist dann sinnvoll, wenn der zu beurteilende Lärm keine ausgeprägten tieffrequenten Anteile besitzt. Zudem werden Wirkungen von tiefen Frequenzen bzw. Infraschall dadurch vernachlässigt. Beispielsweise besitzen die inneren Organe des Menschen Eigenfrequenzen im Infraschallbereich. Eine Erregung durch hohe Schalldruckpegel mit gleicher Frequenz wie diese Eigenfrequenzen kann zu starkem Unwohlsein führen. Alternative Bewertungskurven sind zum Beispiel die C-Bewertung, welche sich grundsätzlich für tiefe Schallfrequenzen eignet, wobei es auch hier zu einer Abschwächung des Infraschallbereichs kommt und somit nur zu einem geringen Beitrag in den Gesamtschallimmissionen. Zur Untersuchung einer Störwirkung empfiehlt sich daher die Betrachtung der ungefilterten Schalldruckpegel (Z-Bewertung) oder die Verwendung der G-Bewertung, die eine eigene Frequenzbewertung für Infraschall definiert [4].

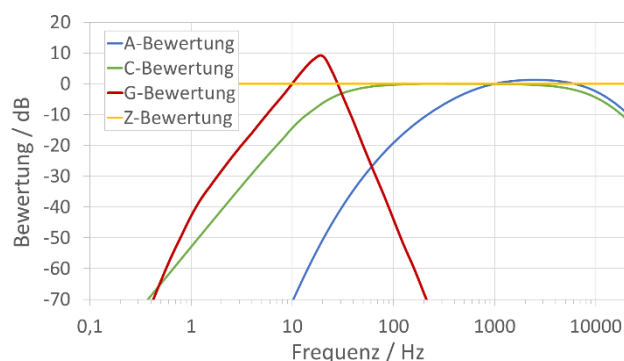


Abbildung 4: Bewertungskurven.

Zweck der G-Bewertung (siehe Abbildung 4) ist es, eine Situation im Hinblick auf Infraschall mit einer einzigen Zahl zu charakterisieren [6]. Somit können folgende Aussagen getroffen werden:

- Die typische Wahrnehmungsschwelle von Infraschall liegt bei einem G-bewerteten Pegel von 95 – 100 dB(G) [7][8][9][10].
- 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 [1]. Bei Personen mit normalem Hörorgan liegt die Standardabweichung der Hörschwelle von Infraschall bei etwa 5 dB(G) [11].
- Man rechnet damit, dass Menschen einen G-gewichteten Schalldruckpegel unterhalb 85 – 90 dB(G) nicht mehr wahrnehmen können [4][7][12][13] und daher als unkritisch angesehen werden können.

Vorteil der G-Bewertung ist, dass nur Frequenzinhalte im Infraschallbereich mitberücksichtigt werden.

Ausbreitung

Eine weitere Besonderheit ist, dass Infraschall aufgrund seiner großen Wellenlänge (bei 16 Hz etwa 20 m) durch Hindernisse wie Schutzwälle, Bäume oder Gebäude kaum abgeschirmt werden kann, da die Schallwellen quasi um das Hindernis herumlaufen, wenn das Hindernis kleiner als die Welle ist. Darüber hinaus gibt es eine vergleichsweise geringe Dämpfung tieffrequenter Schallwellen durch Wände und Fenster, so dass Einwirkungen auch im Inneren von Gebäuden auftreten. Im Leichtbau kann es zu Anregung von Gebäudestrukturen kommen. Ebenso spielt die Luft- bzw. Bodenabsorption kaum eine Rolle – Infraschall breitet sich daher nahezu verlustfrei aus und wird kaum gedämpft [2] [14]. Die Abnahme des Schalldruckpegels, damit auch die wahrnehmbare Lautstärke, erfolgt daher vor allem über die Entfernung und ist relativ unabhängig von der Umgebung.

Es wird angenommen, dass die Schallausbreitung von Windenergieanlagen in Windrichtung ab einer bestimmten Entfernung (ab ca. 1000 m) zylindrisch und nicht kugelförmig erfolgt [12][14][15][16][17]. Aufgrund dieser Beobachtung nimmt der Schalldruckpegel 3 dB pro Abstandsverdopplung ab und nicht wie bei einer herkömmlichen Lärmprognose (= Annahme einer kugelförmigen Schallausbreitung) um 6 dB.

Die Abhängigkeit der Infraschallemissionen von der Windgeschwindigkeit ist nicht bekannt, aber aus Überlegungen zu den geräuscherzeugenden Mechanismen kann man erwarten, dass sie geringer ist als bei höheren Frequenzen [16]. Messergebnisse lassen den Schluss zu, dass es zu einer Zunahme des G-bewerteten Schalldruckpegels von 1 dB(G) je 1m/s Windgeschwindigkeit kommt [16].

Weiters ist ein Zusammenhang zwischen dem G-bewerteten Schalldruckpegel und der elektrischen Leistung P von Windenergieanlagen vorhanden [7][15].

Infraschallimmissionen bei WEA

Aus den vorher genannten Eigenschaften der Infraschallausbreitung wird eine einfache Abschätzformel zur Bestimmung der Infraschallimmissionen L_G abgeleitet. Dazu wird eine Referenzmessung $L_{G,ref}$ durch 3 Korrekturwerte angepasst (für eine einzelne WEA mit einer Leistung von $P_0 = 3$ MW in einem Abstand $r_0 = 1000$ m wurde ein Pegel von $L_{G,ref} = 65$ dB(G) ermittelt):

$$L_G = L_{G,ref} + A_{div} + A_{pow} + A_{wind} \quad (1)$$

- A_{div}
Dämpfung infolge der Entfernung [12][14][15][16][17]:

$$A_{div} = 10 \cdot \log\left(\frac{r_0}{r}\right)$$

- A_{pow}
Anpassung an die tatsächliche Größe der WEA

charakterisiert durch die elektrische Anlagenleistung P [7][15]

$$A_{pow} = 11 \cdot \log\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

- A_{wind}
Berücksichtigung einer „starken Windsituation“ (> 7 m/s) von 3 dB(G) [16]

Windpark (Beispiel)

Als generisches Beispiel soll der Windpark aus Abbildung 5 mit mehr als 50 Windenergieanlagen unterschiedlichen Typs betrachtet werden. Die Infraschallimmissionen werden dabei an 6 Immissionspunkten (IP01 bis IP06) betrachtet.

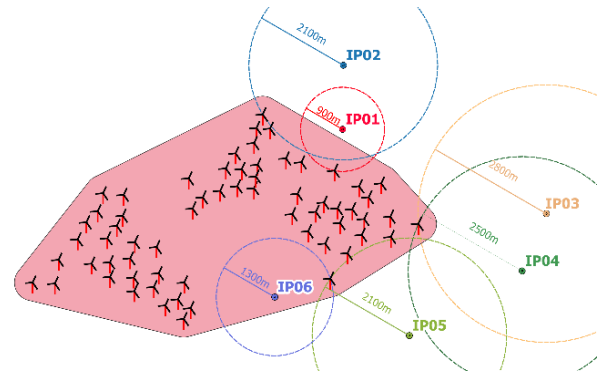


Abbildung 5: Windpark mit mehr als 50 Windenergieanlagen unterschiedlichen Typs (Leistungsspektrum 0,7 bis 5,7 MW).

Im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung, wird davon ausgegangen, dass alle Anlagen des Windparks gleichzeitig am jeweiligen Immissionsort einwirken (kumulative Betrachtung aller Anlagen im akustisch relevanten Umfeld). Für die Immissionspunkte ergeben sich die G-bewerteten Schalldruckpegel aus Tabelle 1.

Tabelle 1: Gesamtimmissionen an den Immissionspunkten.

Immissionspunkt	Gesamtimmissionen
IP01	81 dB(G)
IP02	79 dB(G)
IP03	78 dB(G)
IP04	78 dB(G)
IP05	79 dB(G)
IP06	81 dB(G)

Die prognostizierten Gesamtimmissionen für Infraschall liegen an allen betrachteten Immissionspunkten unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle (85 bis 90 dB(G)) und können somit als unkritisch angesehen werden.

Ausblick

In diesem Beitrag wird eine einfache Formel zur Abschätzung der Infraschallimmissionen von WEA vorgeschlagen, die aus Erkenntnissen der Literatur abgeleitet wurde.

Eine Betrachtung von Infraschall bei Genehmigungsverfahren von WEA wird in den nächsten

Jahren immer wichtiger werden. Es ist zu erwarten, dass diese Thematik auch in Bereichen von Verkehr, Industrie und insbesondere Energieerzeugern zunehmen werden.

Weitere Forschungen über die Auswirkungen von Infraschall von WEA werden notwendig sein. Gerade hinsichtlich Langzeitfolgen bei der Einwirkung von Infraschall sind aufgrund der erst kürzlich forcierten Energiewende weitere Untersuchungen notwendig.

Literatur

- [1] DIE ZEIT, Nr. 17, 22 April 2021, Seite 24, „Viel Lärm um nichts“
- [2] Lenzen-Schulte, M., Schenk, M.: Der Schall, den man nicht hört. Deutsches Ärzteblatt. Jg. 116, Heft 6, 264–268 (2019)
- [3] Roberts, C.: Ecoaccess Guideline for the Assessment of Low Frequency Noise. 6 (2004)
- [4] ISO 7196:1995-03-15 (Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements) (1995)
- [5] ISO 226: Normalkurven gleicher Lautstärkepegel (2006)
- [6] Tieffrequente Geräusche und Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen - Zwischenbericht über Ergebnisse des Messprojekts 2013-2014. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2014)
- [7] Møller, H., Sejer Pedersen, C.: Lavfrekvent støj fra store vindmøller (Tieffrequenter Lärm von großen Windkraftanlagen). Aalborg Univ. Institut for Elektroniske Systemer (2010)
- [8] Watanabe, T., Møller, H.: Low Frequency Hearing Thresholds in Pressure Field and in Free Field. Journal of Low Frequency Noise and Vibration. 9, 106–115 (1990)
- [9] Landström, R., Lundström, R., Byström, M.: Exposure to infrasound - Perception and changes in wakefulness. J. Low Frequency Noise and Vibration. 2, 1–11 (1983)
- [10] Inuaki, Y., Nakamura, N., Taya, H.: Unpleasantness and acceptable limits of low frequency sound. J. Low Frequency Noise, Vibration and Active Control. 19, 135–140 (2000)
- [11] Majjala, P., Turunen, A., Kurki, I., Vainio, L.: Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines. Publications of the Government's analysis, assessment and research activities. (2020)
- [12] Keith, S.E., Daigle, G.A., Stinson, M.R.: Wind turbine low frequency and infrasound propagation and sound pressure level calculations at dwellings. J. Acoust. Soc. Am. 17 (2018)
- [13] Broner, N.: A simple criterion for low frequency noise emission assessment. J. Low Freq. Noise Vib. Active Control. 29, 1–14 (2010)
- [14] Kaps, R.: Faktenpapier Windenergie und Infraschall. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (2015)
- [15] Møller, H., Pedersen, C.S.: Low-frequency noise from large wind turbines. The Journal of the Acoustical Society of America. 129, 3727–3744 (2011)
- [16] Jakobsen, J.: Infrasound Emission from Wind Turbines. 24, 145–155 (2005)
- [17] Shepherd, K.P., Hubbard, H.H.: Physical Characteristics and Perception of Low Frequency Noise from Wind Turbines. Noise Control Engineering Journal. 36, 5–15 (1991)