

Gesundheitsgefahr durch die Anwendung überholter Normen und Richtlinien zur Bewertung von Schall, generiert durch große Windkraftanlagen

Dipl.-Ing. Gerhard Artinger,

Bargteheide

Sachverständiger für Akustik
Sven Johannsen,

Birkenau, www.umweltmessung.com

Univ. Prof. i. R., Dipl.-Physiker
Dr. Henning Müller zum Hagen,

Bargteheide

Dipl. Ing. Bernd Töpperwien

Neuanspach

Artinger

Johannsen

Müller-zum Hagen

B. Töpperwien



1

Zusammenfassung

Die rechtlichen Grundlagen für die Genehmigung und den Betrieb von Windkraftanlagen (WKA) sollen die Basis für den Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche sowie der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen bilden.^{2; 3} Diese Grundlagen entsprechen nicht mehr dem Stand des Wissens und der Technik.

- Nach TA Lärm A 2.3.1 soll die Berechnung der Immissionspegel in Oktaven, in der Regel für die Mittenfrequenzen 63 bis 4000 Hz erfolgen. Ein großer Teil der Schalleistung von WKA wird aber im tieffrequenten Bereich emittiert. Diese Schalleistungen der WKA bleiben unberücksichtigt.⁴
- Tieffrequenter Schall unter 10 Hz wird nach den derzeitigen Richtlinien nicht gemessen.⁵ Aber gerade im Bereich 0,1 bis 8 Hz treten beim Betrieb von WKA hier charakteristische Frequenzen auf.
- Der Schalldruckpegel des tieffrequenten Schalls unter 125 Hz wird in der derzeit üblichen A-Bewertung unterschätzt.⁶

¹ Bild, © Frank Dreves

² TA Lärm Kap. 1

³ Bundes-Immissionsschutzgesetz

⁴ DIN 9613-2 (1999)

⁵ DIN 45680 (1997)

⁶ Vgl. [Kap. 2.7](#) und [Kap. 4.3](#)

- Neue Erkenntnisse im In- und Ausland sind bei den bisherigen Veröffentlichungen staatlicher Stellen und bei den behördlichen Entscheidungen in Deutschland nicht eingeflossen.⁷
- Tieffrequenter Schall wird bei den Gefahrenabwägungen nicht berücksichtigt. Gerade dieser tieffrequente Schall hat nach neuesten Erkenntnissen erhebliche Auswirkung auf die Gesundheit. Die andauernde Einwirkung auf den Menschen stört und schädigt die Gesundheit der Betroffenen insbesondere während der für die Erholung unabdingbaren, nächtlichen Schlafphase.

Heutige Windkraftanlagen sind mit jenen der Anfänge aus den 90ern technisch und akustisch nicht mehr zu vergleichen. Wurden damals Anlagen vorwiegend im norddeutschen Flachland gebaut, die ca. 80 m hoch waren und über Leistungen bis 250 kW verfügten, werden heute Anlagen mit deutlich über 200 m Höhe bei Leistungen bis 7,6 MW errichtet und auch auf Bergen gebaut. Technische Normen aus den Anfängen der Windenergie sind mittlerweile nach einhelliger Meinung namhafter Experten überholt, da sie weder die veränderten technischen Randbedingungen noch die resultierende gesundheitliche Belastung der Anwohner hinreichend berücksichtigen.

Im Einzelnen dazu folgende Punkte:

- Die derzeit noch gültigen, jedoch nach einhelliger Fachmeinung technisch überholten, Vorschriften fokussieren sich primär auf die Bewertung von deutlich hörbarem Lärm (TA-Lärm von 1998 und DIN 45680 Stand 1997 sowie im Entwurfsstand von 2013). Diese Betrachtungsweise wird den **akustischen Randbedingungen von großen Windkraftanlagen nicht gerecht**, da weder Infraschall unter 10 Hz noch schmalbandige tonale Spitzen gemessen bzw. berücksichtigt werden. Körperschall findet überhaupt keine Beachtung. **Genau diese Faktoren sind jedoch diejenigen mit gesundheitlicher Relevanz.**
- Von Windkraftanlagen wird zweifelsfrei Infraschall und tieffrequenter Schall mit sehr **speziellen Frequenzmustern** emittiert, der sich von dem sonstigen Infraschall und tieffrequentem Schall (z.B. Wind, Meeresrauschen, Kraftfahrzeuge) in seiner spektralen Zusammensetzung und Wirkdauer erheblich unterscheidet (siehe Kap. [2.11](#) u. [3.4](#)). Dies gilt insbesondere für die neuen Anlagen der 2 bis 7,6 Megawatt Klasse (150 bis deutlich über 200 Meter hoch).
- Große Windkraftanlagen emittieren Frequenzen bis 0,1 Hz herab (Wellenlänge 3.400 m), welche bei den bisher angewendeten Normen, Mess- und Auswertemethoden **unterdrückt oder gar nicht erfasst** werden. Die durchweg festgeschriebene **Terz- bzw. Oktav-Analyse mittelt** zudem einzelne Frequenzspitzen weg. (siehe Kap. [2.5](#))
- **Tonale Spitzen der Einzelfrequenzen** werden bei der heute üblichen Praxis der Mittelwertbildung in Terz-/Oktav-Spektren weggemittelt. In einer hochauflösenden Fourieranalyse sind diese Spitzen deutlich zu erkennen und heben sich um mehr als 10 dB vom allgemeinen Geräusch ab. Diese tonalen Anteile (Frequenzspitzen) im Schallspektrum wirken dabei störender und schädlicher als breitbandiges Rauschen. (siehe Kap. [3.4.1](#) u. [3.4.3](#)). Tonale Spitzen (Informationshaltigkeit) im hörbaren Bereich erfordern nach TA Lärm A 3.3.5 einen Zuschlag von 3 oder 6 dB. Zuschläge für die tonalen Spitzen im Bereich unter 8 Hz sind auch für den nicht hörbaren Infraschall vorzusehen, z.B. 6 dB.

⁷ Vgl. Kap. 3.3

- Die **Wechselwirkungen zwischen Körper- und Luftschall** sind in den heutigen Normen nicht berücksichtigt. (siehe [Kap. 2.2](#))
- Das für die Schallausbreitung benutzte Prognoseverfahren nach **DIN 9613-2**, welches nur für Anlagen bis zu einer Höhe von 30 Meter zu zuverlässigen Aussagen führt, ist **für heutige, große Windkraftanlagen nicht mehr geeignet**. Die Schallausbreitung wird dadurch fehlerhaft berechnet, die tatsächlichen Schallimmissionswerte sind, speziell in Mitwindrichtung, signifikant höher als die berechneten Werte [7; 25; 31; 38]. Die Unzulänglichkeiten wurden 2015 nochmals bestätigt durch Untersuchungen von Engelen, Ahaus und Piorr [38] (siehe Kap. [4.2.1](#)).
- Die in der TA Lärm A 2.3.1 in Verbindung mit **DIN ISO 9613** festgelegten Verfahren gehen von Oktavband-Algorithmen für Bandmittenfrequenzen von **63 bis 4.000 Hz**, in besonderen Fällen bis 8.000 Hz, aus. **Der tieffrequente Bereich wird nicht abgedeckt**.
- Der zur Erstellung von Schallprognosen anhand DIN 9613-2 und TA-Lärm herangezogene Außen-Schallpegel ignoriert die Hauptbelastung von Betroffenen. Tieffrequenter Schall dringt auf Grund seiner großen Wellenlänge nahezu ungehindert in die Innenräume und kann dort durch Schallreflexionen und Überlagerungen sogar örtlich zu verstärkten Schalldruckwerten führen. Im Raum auftretende, unterschiedlich starke Brummgeräusche, Schwebungen und Schwingungen sind die Folge. Nur den **Außen-Schallpegel zu bewerten ist folglich nicht ausreichend** (siehe auch Kap. [4.3](#))

Fazit:

Die in den Erlassen der einzelnen Bundesländern pauschal festgelegten **Abstände zu Einzelhäusern und zur Wohnbebauung sind für heutige, große Windkraftanlagen bei weitem zu gering**. Die tieffrequenten Anteile in der Schallemission von WKA werden nicht berücksichtigt. In Folge dessen führen die Schallemissionen der Windkraftanlagen anfangs zu massiver Belästigung und bei längerer Einwirkzeit zu gesundheitlichen Langzeitschäden bei einem signifikanten Anteil der Anwohner (ca. 20 bis 30%).

Der derzeitige rechtliche Rahmen für die Genehmigung und den Betrieb von Windkraftanlagen ist in keiner Weise ausreichend, den nach GG Art 2 garantierten Schutz der Gesundheit zu gewährleisten.

Bis zur definitiven Klärung wird ein Moratorium vorgeschlagen. Alternativ halten wir als Sofortmaßnahme einen Sicherheitsabstand von 15 mal Höhe der Windkraftanlage für angemessen, um den Schutz der Gesundheit zu garantieren. Als absolutes Minimum (bei weiterhin deutlichen Gesundheitsrisiken) ist ein Mindestabstand zu Wohnhäusern nach der 10-H-Regel in Anlehnung an die Länder-Öffnungsklausel und die Vorgaben in Bayern erforderlich. In Deutschland darf der Schutz der Gesundheit nicht unterschiedlich bewertet werden.

Inhalt

Zusammenfassung.....	1
Inhalt.....	4
1 Einleitung.....	6
2 Begriffe und Grundlagen	7
2.1 Schall.....	7
2.2 Wechselwirkung Körper- und Luftschall.....	8
2.3 Schalldruckpegel und Schalleistungspegel	10
2.4 Unterschied zwischen Zeit- und Frequenzbereich	11
2.5 Frequenzauflösung	12
2.6 Hörschwelle, Wahrnehmbarkeitsschwelle, Wirkschwelle.....	13
2.6.1 Überblick über die verschiedenen Schwellen-Begriffe	13
2.6.2 Hör- und Wahrnehmungsschwelle nach DIN 45680	15
2.6.3 Hör- und Wahrnehmungsschwelle an einem Beispiel	16
2.7 Bewertung des Schalls, A- bis Z-Bewertung	17
2.7.1 Prinzip der Bewertung.....	17
2.7.2 A-Bewertung an einem Messbeispiel.....	19
2.8 Punktquelle und Schallausbreitung.....	20
2.9 Grundsätzliche meteorologische Aspekte	22
2.10 Schallschutz	24
2.11 Verstärkung und Auslöschung	24
2.11.1 Verstärkung, Auslöschung im Außenbereich	24
2.11.2 Verstärkung, Auslöschung in Innenräumen.....	25
2.12 Vergleich natürlicher und anthropogener Infraschall	26
2.13 Drehzahl und Winkelgeschwindigkeit	26
3 Beurteilung des tieffrequenten Lärms von Windkraftanlagen.....	28
3.1 Allgemeines zur Schallemission von Windkraftanlagen	28
3.2 Impulshaltigkeit und Anregung im tieffrequenten Bereich.....	29
3.3 Fehler und Lücken in der Beurteilung.....	30

3.3.1	LUBW verharmlost	30
3.3.2	Bayerisches Landesamt für Umwelt verharmlost	34
3.3.3	Uppenkamp & Partner, Forschungsvorhaben Nr.14 1446 11-2	36
3.3.4	Faktenpapier Infraschall der Hessenagentur	38
3.4	Studien bestätigen Bedenken.....	40
3.4.1	Machbarkeitsstudie zur Wirkung von Infraschall, UBA Texte 40/2014.....	40
3.4.2	Falmouth, MA, USA	43
3.4.3	Messung BGR, Ceranna	44
3.4.4	Untersuchung Cape Bridgewater Wind Farm, Australien, 2014	47
3.5	Fazit aus den bisherigen Studien	49
4	Beurteilung der heutigen Basis der Genehmigung	50
4.1	TA Lärm.....	50
4.2	Normen sind nicht mehr auf dem Stand des Wissens.....	51
4.2.1	Ausbreitungsrechnung DIN 9613-2	51
4.2.2	Tieffrequente Geräusche DIN 45680.....	54
4.2.1	Bestimmung der Tonhaltigkeit DIN 45681	54
4.3	Schallpegelbewertung (A, B... GZ)	55
4.4	Meteorologische Aspekte bezogen auf Windkraftanlagen	57
5	Fazit und was ist zu tun?	58
6	Literaturhinweise	59
6.1	Normen.....	59
6.2	Fundstellen	59
6.3	Aus UBA Machbarkeitsstudie (Auszug):	63
6.4	Spezielle Links im Internet.....	63

1 Einleitung

Im Grundgesetz Artikel 2 Absatz 2 heißt es: „*Jeder hat das Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit.*“ Durch die Technische Anleitung (TA) Lärm und die mit dieser TA verknüpften Normen, die eine Basis für die Genehmigung von Windkraftanlagen bilden, sollen der Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche sowie die Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen sichergestellt werden.

In dieser Ausarbeitung soll untersucht werden, ob die TA Lärm und die zugehörigen Normen und Richtlinien noch dem Stand der Technik und dem Stand des Wissens entsprechen und ob der Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft noch gewährleistet ist.

Dass Windkraftanlagen tieffrequenten Schall und Infraschall aussenden, ist inzwischen unstrittig.

Da die politisch beschlossene - und im EEG festgeschriebene - Energiewende wesentlich auf den Ausbau der Windenergie ausgerichtet ist, werden Risiken wider besseres Wissen zu oft bagatellisiert. Viele aktuelle Veröffentlichungen landeseigener bzw. staatlicher Institutionen (zum Teil von der Windkraftbranche gefördert) verklausulieren oder verharmlosen Aussagen derart, dass für den nicht fachkundigen Leser der Eindruck der Unbedenklichkeit von tieffrequentem Schall und Infraschall entsteht. An folgendem exemplarischen Beispiel soll dies vorab einmal verdeutlicht werden.

Der Bundesverband für Windenergie (BWE) im März 2015 [32; S.4] schreibt:

*„Das Landesumweltamt Baden Württemberg führte zudem 2013 Messprojekte an Windenergieanlagen in verschiedenen Leistungsbereichen durch. Die ersten Ergebnisse zeigen die gute Messbarkeit von Infraschall in der Nähe der Anlagen, die Abnahmen des Infraschallpegels und die Wahrnehmungsschwelle im Abstand von 150 bis 200 m und **keine nennenswerte Zunahme des Infraschallpegels ab einem Abstand von 700 m.**“*

Diese Aussagen des LUBW und des BWE verschleiern, dass sich der Infraschallpegel zwischen 200 m und 700 m eher verstärkt, denn abgenommen hat. Üblicherweise erwartet man eine kontinuierliche Abnahme des Schalldruckpegels mit der Entfernung zur Schallquelle. Tatsächlich kann es zu Erhöhungen kommen.

Korrekt wird das Phänomen der Pegelzunahme in der Machbarkeitsstudie des UBA aus 2014 [22] beschrieben, welche zu dem Schluss kommt:

*„**Nicht selten ist festzustellen, dass Pegel mit zunehmendem Abstand nicht kontinuierlich abnehmen, sondern auch zunehmen können. Dieser Effekt ist durch das Windprofil bedingt.**“*

Im Folgenden wird analysiert, warum und wodurch es zu diesen unterschiedlichen Aussagen kommt. Es wird beschrieben, warum die heutige Praxis der Bewertung von Schallemissionen, verursacht von großen Windkraftanlagen, nicht mehr dem Stand der Technik und des medizinischen Wissens entspricht. Der verfassungsmäßig garantierten Schutz der Gesundheit nach Art 2 GG wird zur Zeit nicht gewährleistet.

2 Begriffe und Grundlagen

Für die Leser, die nicht mit der Thematik vertraut sind, werden in den nachfolgenden Kapiteln einige wichtige Begriffe und Grundlagen erklärt. Warum die tieffrequenten Geräusche der Windkraftanlagen von Behörden, Gutachtern und Betroffenen unterschiedlich bewertet werden, wird in [Kap. 3](#) erläutert. In [Kap. 4](#) werden die einzelnen Richtlinien und Normen beurteilt, welche die Basis für die Genehmigung bilden.

2.1 Schall

Druckänderungen in Medien (z.B. Luft, Wasser, feste Materialien) können im weitesten Sinn als Schall bezeichnet werden. Breitet sich die Druckänderung in Luft aus, spricht man von Luftschall. Breiten sich die Druckänderungen in festen Körpern aus, spricht man von Körperschall. Ein Körper kann auch als Ganzes oder in Teilen schwingen. Dies kann wiederum Schall, sowohl Luft- als auch Körperschall auslösen.⁸

Neben der Unterscheidung in Luft- und Körperschall kann Schall auch nach Frequenzbereichen unterschieden werden.

Der hörbare Schall liegt im Frequenzbereich zwischen 20 und 20.000 Hz. Darüber spricht man von Ultraschall, darunter von Infraschall. Die abgebildete Tastatur eines Klaviers deckt den Bereich von 33 bis 4.186 Hz ab. Ein Säugling schreit mit einem großen Frequenzanteil von 3.000 bis 4.000 Hz. Der in der DIN 45680 definierte Bereich „tiefer Frequenzen“ reicht vom Infraschall bis in die Frequenzen des hörbaren Bereichs. Die neuere Entwurfsfassung der DIN 45680 umfasst die Mittenfrequenzen 8 bis 125 Hertz. Die bisher noch gültige Fassung aus dem Jahr 1997 umfasst in der Regel nur den Bereich von 10 bis 80 Hertz, in Sonderfällen 8 bis 100 Hertz. (Erläuterungen zu Frequenz siehe [Kap. 2.4](#))

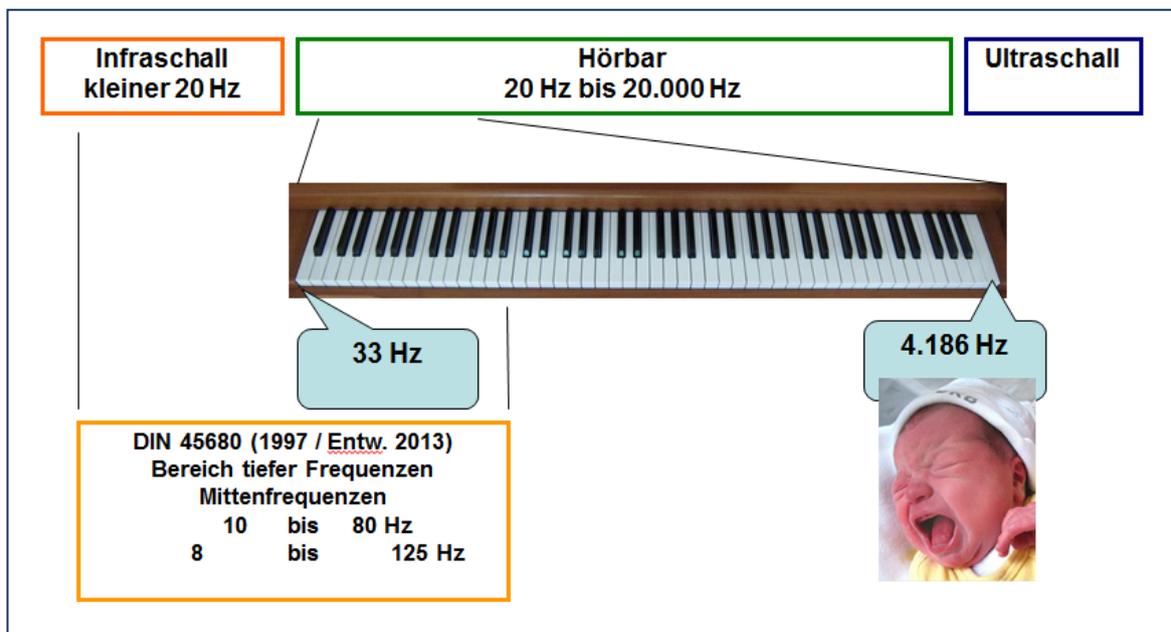


Bild 1: Frequenzbereich von Infraschall, hörbarer Schall bis Ultraschall

⁸ Weitere Grundlagen siehe Reinhard Lerch, Gerhard Sessler, Dietrich Wolf; Technische Akustik, Grundlagen und Anwendungen; Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg

Eine andere anschauliche Darstellung der Frequenzbereiche und Wellenlänge ist in Bild 2 zu sehen.

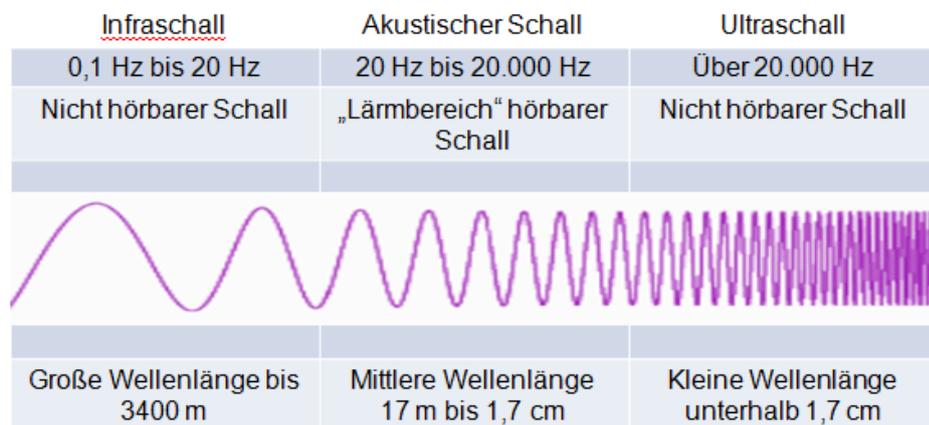


Bild 2: Frequenzbereich von Infraschall, hörbarer Schall bis Ultraschall und zugehörige Wellenlänge

2.2 Wechselwirkung Körper- und Luftschall

Bei Körperschall handelt es sich um Schwingungen fester Körper (Metall, Gestein, Holz...). Je dichter ein Körper ist, desto weiter leitet er Körperschall. Metall und massives Gestein sind somit hervorragende Körperschall-Leiter, Sand oder Torf hingegen sind schlechte Körperschall-Leiter. Schall breitet sich auch in Flüssigkeiten aus, insbesondere Infraschall. Der Ruf eines Wals an der Südküste Englands kann von einem Artgenossen noch an der Küste Portugals aufgenommen werden.⁹

Allgemein bekannt ist das Basswummern aus der Stereoanlage der Nachbarn, das über mehrere Stockwerke hinweg deutlich störend empfunden wird. Hierbei wirken die Wände und Decken des Hauses als „Schalleiter“ und strahlen diesen weit reichenden tieffrequenten Schall dann als sekundären Luftschall im Raum ab. Mittlere und hohe Frequenzen werden weitgehend geschluckt.

Bei Windkraftanlagen wird Körperschall im Infraschallspektrum ausgehend von den Rotorblättern erzeugt. Durch die Drehbewegung des Rotors entstehen beim Turmdurchgang Druckimpulse, welche auf Rotorblätter, Getriebe, Gondel, den Turm und direkt auf den Boden unterhalb des Rotors einwirken.

⁹ Informationsmaterial, Oceaneum Stralsund

Körperschall kann daher über den Turm (Stahl- oder Hybridturm mit Betonfuß) in den Boden eingeleitet werden. Dies ist im Prognoseverfahren unberücksichtigt. Die Resonanzfrequenz eines üblichen Hybridturms ist so gewählt, dass sie nicht mit der Blattdurchgangsfrequenz und dem Dreifachen davon zusammen fällt [4]. Die Eigenfrequenz soll mindestens 10% davon weg liegen. Sie liegt aber deutlich im Infraschallbereich. Beim Durchfahren der Eigenfrequenz (Hochfahren, Lastwechsel) kann es zu verstärkten Eigenschwingungen kommen, die von Anwohnern als störend empfunden werden.

Die untere Drehzahlgrenze f_u der heutigen großen Windkraftanlagen liegt bei ca. 5 U/min. Bei drei Rotorblättern resultiert somit eine untere Anregungsfrequenz f_{Au} von 0,25 Hz, die durch den Turmdurchgang eines jeden Blattes initiiert wird. Die obere Drehzahlgrenze f_o von ca. 20 U/min erzeugt eine Anregungsfrequenz f_{Ao} von 1 Hz also ebenfalls im Infraschall Bereich.

$$f_{Au} = 3 \cdot f_u = 3 \cdot 5 \text{ min}^{-1} = 3 \cdot 5 \text{ min}^{-1} \cdot \text{min}/60\text{s} = 0,25 \text{ s}^{-1} = 0,25 \text{ Hz}$$

$$f_{Ao} = 3 \cdot f_o = 3 \cdot 20 \text{ min}^{-1} = 3 \cdot 20 \text{ min}^{-1} \cdot \text{min}/60\text{s} = 1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ Hz}$$

Ein durch Infraschall zu Schwingungen angeregter Turm kann (je nach Bodenbeschaffenheit) ebenso Druckimpulse auf den Boden, sogenannte Körperschall-Bodenwellen, erzeugen, welche sehr weit reichen.

Als Beispiel sei eine im Gleichschritt marschierende Armee genannt, die eine Bodenschwingung in Infraschallbereich von ca. 1 Hz (Schrittfrequenz ein Schritt pro Sekunde) erzeugt, welche bei entsprechenden Bodenverhältnissen über viele Kilometer wahrgenommen wird.



Bild 3: Beispiel Bodenschwingung durch Gleichschritt

Allein diese rhythmische Bodenschwingung führte im Krieg häufig zu Unwohlsein, teils zu Angstzuständen, Fluchtreaktionen bis hin zu Panik. Heutzutage wird in Kinos Körperschall gezielt eingesetzt, um Anspannung beim Publikum auszulösen. Hierzu werden Schwingungen im tieffrequenten- und Infraschall-Bereich über spezielle Schall- und Schwingungserzeuger (montiert unter dem Sitz) erzeugt.

Diese Wechselwirkungen zwischen Körper- und Luftschall sind in den heutigen Normen nicht berücksichtigt.

2.3 Schalldruckpegel und Schalleistungspegel

Schall wird in der Regel über Mikrofone aufgezeichnet. Das elektrische Signal am Ausgang ist ein Maß für die Druckänderung. Drücke und Druckänderungen werden in Pascal (Pa) gemessen. Das menschliche Ohr nimmt Druckänderungen und selbst kurzzeitige Druckimpulse ab etwa 20 μPa (= 0,000020 Pa) auf, Hörschäden, auch bei kurzzeitiger Einwirkung, treten ab etwa 20.000.000 μPa (= 20 Pa) auf.

Aus den Druckänderungen (Schwankungen um die Nullachse) kann man einen Effektivwert berechnen, auch Quadratischer Mittelwert oder Root Mean Square (RMS) genannt. Berechnet man den Effektivwert eines Schallsignals, gehen die Frequenzinformation im Signal verloren.

Da der sehr breit gespreizte Messbereich von 20 μPa bis 20.000.000 μPa schwer zu handhaben ist, wurde die Dezibel-Skala eingeführt. Man erhält den Schalldruckpegel L_p , der dann von 0 bis 120 dB geht.

$$L_p = 10 \lg \frac{\tilde{p}^2}{\tilde{p}_0^2} \text{ dB}$$

\tilde{p} Effektivwert des Schalldruckes

\tilde{p}_0 Bezugsschalldruck ($\tilde{p}_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa)

Abhängig von der Entfernung zur Schallquelle, sinkt der Schalldruckpegel. Bei punktförmiger Schallquelle und kugelförmiger Ausbreitung des Schalls sinkt der Schalldruckpegel um 6 dB, wenn der Abstand verdoppelt wird. Bei flächigen Schallquellen wie dem Rotor einer Windkraftanlage und zylindrischer Schallausbreitung sinkt der Schalldruckpegel hingegen nur um 3 dB bei Abstandsverdopplung.

Um einen bestimmten Schalldruck erzeugen zu können, benötigt man eine zugehörige Leistung, gemessen in Watt (W). Diese abgestrahlte Schalleistung P_{ak} ist auf das Objekt bezogen und ist unabhängig von der Entfernung. Auch hier definiert man mit Hilfe des Bezugswertes $P_0 = 10^{-12}$ W einen Pegel, den Schalleistungspegel L_w .

$$L_w = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{ak}}}{P_0} \right) \text{ dB}$$

Der Schalleistungspegel von Windkraftanlagen beträgt je nach Größe etwa 100 bis 107 dB(A). Bei Verdopplung der Anzahl der Schallquellen (Windkraftanlagen) erhöht sich der Schalleistungspegel um jeweils 3 dB(A).

Auf den Unterschied zwischen dB und dB(A), den A-bewerteten Pegel, wird in [Kap. 2.7](#) eingegangen.

2.4 Unterschied zwischen Zeit- und Frequenzbereich

Die Luftdruckschwankungen nimmt im hörbaren Bereich das Ohr wahr. Im nicht hörbaren Bereich nehmen andere Sinnesorgane oder der ganze Körper die Druckwellen wahr.

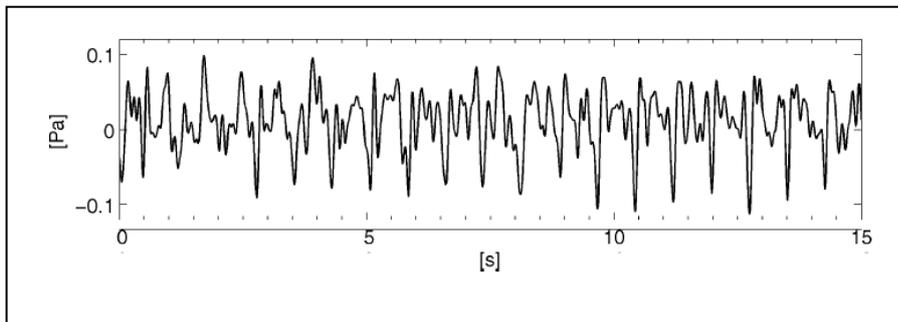


Bild 4:
beispielhaftes
Schallsignal einer WKA,
Zeitbereich
Quelle: Ceranna [6]

Da aus dem Verlauf der Luftdruckänderungen schwer etwas zu erkennen ist (Bild 4), zerlegt man in der Wissenschaft die Schwingung in ihre Einzelbestandteile, man führt eine Frequenzanalyse (Fourier-Analyse oder Fourier-Transformation) durch.

Auf den heutigen, modernen Rechnern ist hierzu ein schneller Algorithmus programmiert, die „Fast Fourier Transform“ (FFT). Das Schallsignal wird also zur besseren Analyse in die einzelnen Frequenzen zerlegt. Von links nach rechts ist dann die Frequenz aufgetragen vgl. Bild 5 und 8. Wie genau man nun diesen Frequenzbereich untersuchen kann, wird im nächsten Kapitel behandelt. Die heutigen genehmigungsrelevanten Regelwerke beziehen eine hochaufgelöste FFT allerdings nicht in die Beurteilung ein.

Analysiert man obiges Schallsignal mittels FFT, erhält man z.B. die ersten Harmonischen bei 1,3 Hz und bei 2,6 Hz. Weitere höhere Frequenzen sind zur Vereinfachung im untenstehenden Bild 5 nicht dargestellt. Sie würden rechts außerhalb des Bildes platziert sein. Diese Art der Darstellung nennt man den Frequenzbereich des obigen Schallsignales.

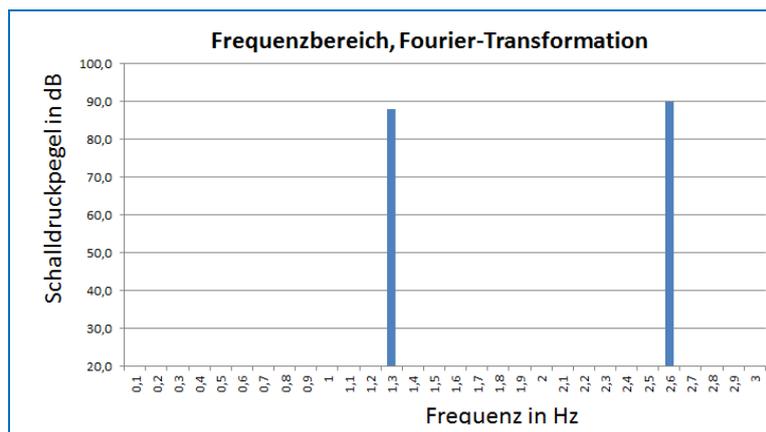


Bild 5:
Frequenzanalyse mit den
ersten beiden
Harmonischen bei 1,3 Hz
und 2,6 Hz

2.5 Frequenzauflösung

Welche Aussagen aus einem Frequenzspektrum abgeleitet werden können, hängt wesentlich von der Auflösung ab. Ein entscheidender Punkt ist, in welchem Frequenzbereich gemessen wird und mit welcher Auflösung die Messdaten ausgewertet werden. Werden Mikrofone und Messeinrichtungen benutzt, die erst ab 10 Hertz aufwärts die Schallsignale erfassen, können im Messsignal also auch keine Frequenzen kleiner 10 Hertz vorkommen [vgl. DIN 45680 v. 1997].

Der Begriff „Auflösung“ soll in Analogie zu einer Fotoaufnahme erläutert werden. Bild 6 zeigt die Aufnahme eines Teppichs mit geringer Auflösung. Einzelheiten wie Farbmuster sind nicht klar zu erkennen. Eine Gefahr scheint von der Oberfläche nicht auszugehen. Es gibt anscheinend keine Bedenken, hier barfuß zu gehen.



Bild 6: Teppich mit geringer Auflösung fotografiert



Bild 7: Teppich mit hoher Auflösung fotografiert

In Bild 7 sind bei höherer Auflösung die Einzelheiten klar zu erkennen.

Ähnlich verhält es sich bei der Auswertung von Schallsignalen. Bei den Terz- bzw. Oktav-Analysen werden die Frequenzen über bestimmte Frequenzbänder (Frequenzbereiche) gemittelt. Die Frequenzbänder sind durch ihre Mittenfrequenz charakterisiert.

Wird also bei Mittenfrequenzen entsprechend einer Oktav-Analyse bei den Frequenzen 16, 31,5, 62,5, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz untersucht [DIN EN 61260], werden Einzelheiten weggeglättet. Auch die Auflösung entsprechend der Terzmittenfrequenzen 10, 12,5, 16, 20, 25, 31,5 usw. ist nicht fein genug, um Einzelheiten zu erkennen. Wobei zusätzlich anzumerken ist, dass die in der DIN ISO 9613 festgelegten Verfahren von Bandmittenfrequenzen zwischen 63 bis 8.000 Hz ausgehen und den tieferen Bereich nicht berücksichtigen.

Bild 8 zeigt den Vergleich einer hochauflösenden Auswertung (blau) mit einer gemittelten Auswertung (rot). Die Spitzen in den einzelnen Frequenzen (blau) sind bei der gemittelten Auswertung (rot) nicht mehr zu erkennen. Die verharmlosende Aussage: „Es gibt keine Spitzen“, ist also falsch. Richtig ist, bei entsprechender Auflösung sind einzelne Frequenzen deutlich zu erkennen. Der nebenstehende Ausschnitt ist entnommen aus Cooper [28, Seite 99].

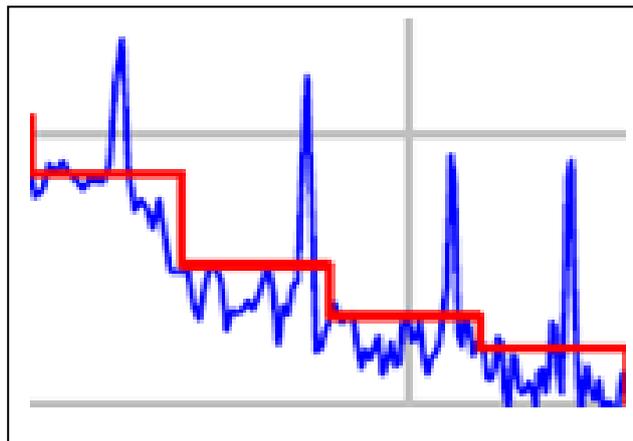


Bild 8: Frequenzanalyse eines Schallsignales mit hoher Auflösung (blau) und gemittelt (rot). Die 4 blauen Spitzen werden bei der Mittelwertbildung im Terz- oder Oktavband unterdrückt.

2.6 Hörschwelle, Wahrnehmbarkeitsschwelle, Wirkschwelle

In der öffentlichen Diskussion werden die Begriffe Hörschwelle, Wahrnehmungsschwelle oder Wirkschwelle unterschiedlich benutzt.

2.6.1 Überblick über die verschiedenen Schwellen-Begriffe

Zum besseren Verständnis wird in der nachfolgende Tabelle eine Übersicht der Begriffe und Inhalte dargestellt. Die Tabelle dient nur als Anhalt.

<i>Begriff</i>	<i>Inhalt</i>	<i>Ungefäher dB-bzw. dB(A)-Bereich</i>	<i>Frequenzbereich</i>
Hörschwelle	Übliches Hören	20 - 85 dB(A), ab 85 dB(A gesundheits-schädlich)	20 Hz bis 20.000 Hz
Hörschwelle	Aurale Wahrnehmung		20 Hz bis 20.000 Hz
Hörschwelle	Hörschwellenpegel L_{HS} nach DIN 45680 Stand 1997, Tabelle 1	103 bis 23,5 in dB je nach Frequenz	(8) 10 bis 80 Hz
Wahrnehmungsschwelle	Wahrnehmungsschwellen W_{Terz} nach DIN 45680 Stand 2013-09, Tabelle 2, etwa 10 dB niedriger als die Hörschwelle der alten DIN	100 bis 12,1 in dB je nach Frequenz	8 bis 125 Hz
Wahrnehmungsschwelle	Allgemeine Wahrnehmung, Vibration, Ohrendruck,		8 bis 20 Hz

	Gleichgewicht, Angst auslösend, beeinflusst das Aufmerksamkeitszentrum		
Wahrnehmungsschwelle	Wahrnehmungsschwelle der inneren Haarzellen im Ohr (IHC)		8 bis 20.000 Hz
Wahrnehmungsschwelle	Wahrnehmungsschwelle der äußeren Haarzellen im Ohr (OHC)		< 8 Hz
Wahrnehmungsschwelle	Extraaurale Wahrnehmung		
Wirkschwelle	Abhängig von der Häufigkeit oder Kontinuität		

Meist wird mit Hörschwelle die Grenze zum bewussten Hören (über das Trommelfell) gemeint. Der Frequenzbereich liegt zwischen rund 20 Hz und 20 kHz. Nun nimmt der Mensch (auch Tiere) mit weiteren Sinnesorganen wie Gleichgewichtsorgan, Barosensoren im Halsbereich oder den äußeren Haarzellen des Innenohrs Schallsignale auf. Bei diesen extraauralen Aufnahmemechanismen spricht man nicht von Hören im eigentlichen Sinne, sondern eher von Wahrnehmung.

Nun herrscht aber auch noch ein Unterschied, ob ein Schallereignis eher sporadisch oder dauernd einwirkt. Die Wirkungen sind dann unterschiedlich. Bekannt ist das Beispiel mit dem tropfenden Wasserhahn im Bad nebenan. Die Nachtruhe ist dahin, obwohl der Schalldruck sich kaum vom Umgebungsgeräusch abhebt.

Aufgrund dieser vorgenannten, verschiedenen Interpretationen wurden in den Normen Hör- und Wahrnehmungsschwelle definiert (z.B. DIN ISO 226 und DIN 45680). Festzustellen bleibt, dass die tatsächlichen Hör-, Wahrnehmungs- und Wirkschwellen bei jedem Menschen stark unterschiedlich sind.

Grundsätzlich ist der Hörsinn des Menschen in der Lage, Schall zu hören, dessen Frequenz zwischen 20 und 20.000 Hz liegt. Eine neuere Studie, koordiniert von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) [37] vom Juli 2015, zeigte, dass Menschen auch bereits ab Frequenzen von 8 Hz „hören bzw. wahrnehmen“. Unterhalb 8 Hz wurde nicht geprüft.

Hören und Wahrnehmen ist aber nicht nur eine Frage des Frequenzbereiches, sondern auch eine Frage der Lautstärke (der Intensität bzw. des Schalldruckpegels). Abhängig von der Frequenz empfindet der Mensch Töne bei unterschiedlichen Frequenzen und gleichem Schalldruckpegel unterschiedlich laut. Daran angelehnt findet eine Bewertung bei den einzelnen Frequenzen statt z.B. A-Bewertung (siehe dazu [Kap. 2.7](#))

Das Hörvermögen nimmt sowohl bei sehr hohen Frequenzen (Ultraschall) als auch bei sehr tiefen Frequenzen (Infraschall) vollständig ab.

Im folgenden Bild sind der Frequenzbereich des Hörens, die Hörschwelle und die Unbehaglichkeitsschwelle sowie der Bereich Infraschall und Ultraschall dargestellt, wie sie üblicherweise benutzt werden. Unerheblich ist dabei, ob Infraschall nun per Definition unter 16 oder unter 20 Hz beginnt.

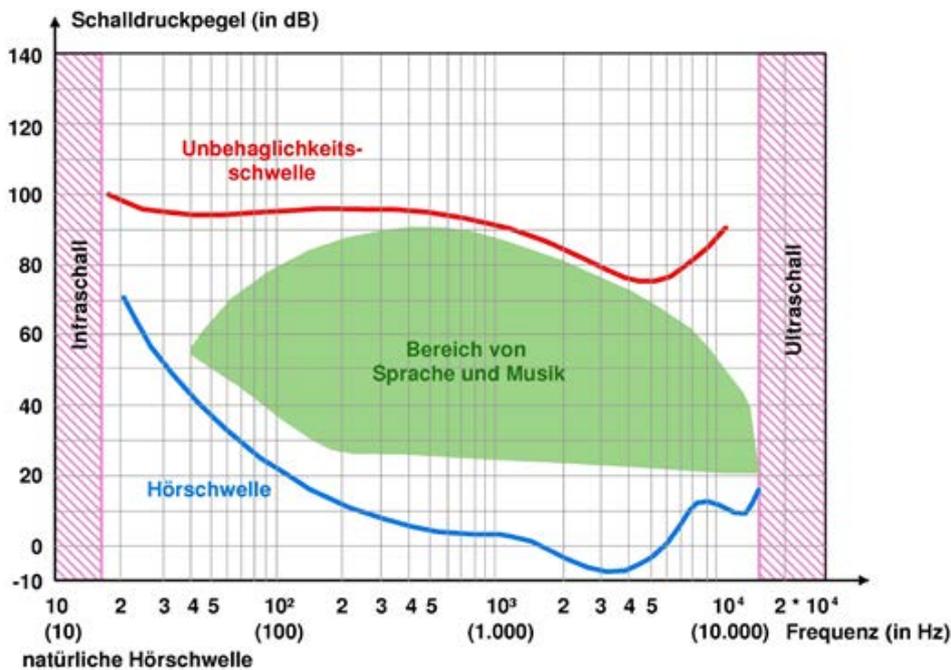


Bild 9: Übliche Einordnung der Schallbereiche und des Hörbereiches des Menschen aus SCHOLZ 2003 in DNR 2012 [5]

Die intensivste Schall-Wahrnehmung liegt im Bereich von 3000-4000 Hz (vergl. Senke in der blauen Kurve). Für den Menschen bedeutet eine Erhöhung des Schalldruckes um 10 dB(A) bei mittleren und hohen Frequenzen eine Verdopplung der Lautstärkewahrnehmung. Bei tiefen Frequenzen unter 100 Hz wird bereits eine Erhöhung von 5 dB(A) als Lautstärkeverdopplung empfunden. Im Infraschallbereich, unter 8 Hz, und Ultraschallbereich entfällt die Lautstärkewahrnehmung komplett (schraffierte Bereiche links und rechts), hier werden, je nach individueller Sensibilität, Schwingungen, Druckpulsationen oder Ohrdruck wahrgenommen.

2.6.2 Hör- und Wahrnehmungsschwelle nach DIN 45680

In der DIN 45680 (Stand 1997) ist die Hörschwelle definiert. Im neuen Entwurf Stand 2013 wurde eine um etwa 10 dB abgesenkte Schwelle eingeführt, die Wahrnehmungsschwelle W_{Terz} . Beide Schwellen schließen eine Belästigung nicht aus. „Die Anwendung der Norm hat in der Vergangenheit gezeigt, dass in vielen Fällen die erlebte Belästigung eines Betroffenen nicht in Übereinstimmung steht mit dem nach DIN 45680 (1997) festgelegten Schutzniveau.“ Mit der Überarbeitung der Norm wurde daher auch die 1%-Perzentil-Schwelle diskutiert [Müller BBM; Forschungsprojekt; 36].

2.6.3 Hör- und Wahrnehmungsschwelle an einem Beispiel

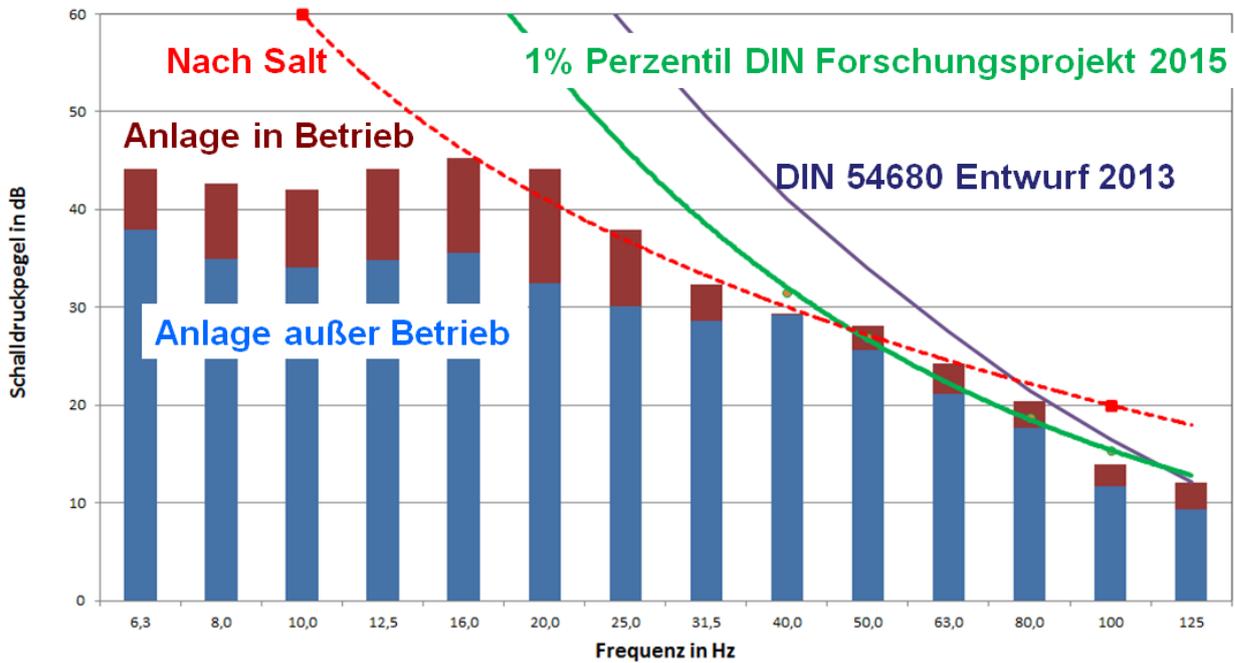


Bild 10: Hör- Wahrnehmungs-, 1%-Perzentil-Schwelle und Schnelle nach Salt im Vergleich mit einem Messbeispiel einer betroffenen Familie

Aus vorstehendem Bild wird deutlich, warum Betroffene über Beschwerden klagen, obwohl nach Norm keine Beeinträchtigung vorliegen dürfte. Auch nach dem Entwurf der DIN 45680 Stand 2013, in der die Hörschwelle gegenüber dem Stand von 1997 abgesenkt ist und nun Wahrnehmungsschwelle heißt, haben Betroffene keine Möglichkeit, gegen den Schallemittenten etwas zu unternehmen. Die 1%-Perzentil-Kurve zeigt, dass durch die Windkraftanlage tatsächlich Anwohner belästigt (vielleicht auch gesundheitlich geschädigt) werden. Nach Salt [20;21], der auch den Einfluss der tiefen Frequenzen auf die äußeren Haarzellen erforscht hat, wird dies im tieferen Frequenzbereich noch deutlicher.

2.7 Bewertung des Schalls, A- bis Z-Bewertung

In Anlehnung an die Kurven gleicher Lautstärke nach DIN ISO 226 können Schallsignale je nach Frequenzbereich unterschiedlich bewertet werden. Die physikalisch korrekte Angabe ist der unbewertete Pegel in dB (Z-Bewertung).

2.7.1 Prinzip der Bewertung

In der Beurteilung üblicher, hörbaren Lärm verursachender, Schallquellen hat sich die A-Bewertung durchgesetzt. Sie bewertet Frequenzen ab 1000 Hertz abwärts kontinuierlich geringer, d.h. tiefere Frequenzen werden entsprechend der Hörwahrnehmung „heruntergerechnet“. Das Signal bei 100 Hertz wird von 70 dB auf 50 dB(A) und das Signal bei 10 Hertz von 70 dB auf 0 dB(A) reduziert. Dies soll bei üblichen Schallquellen das menschliche Empfinden nachbilden.

Im nebenstehenden Bild würde die Z-Bewertung (unbewerteter Pegel) der waagerechten grünen Linie entsprechen. Die A-Bewertung macht daraus die rote Kurve.

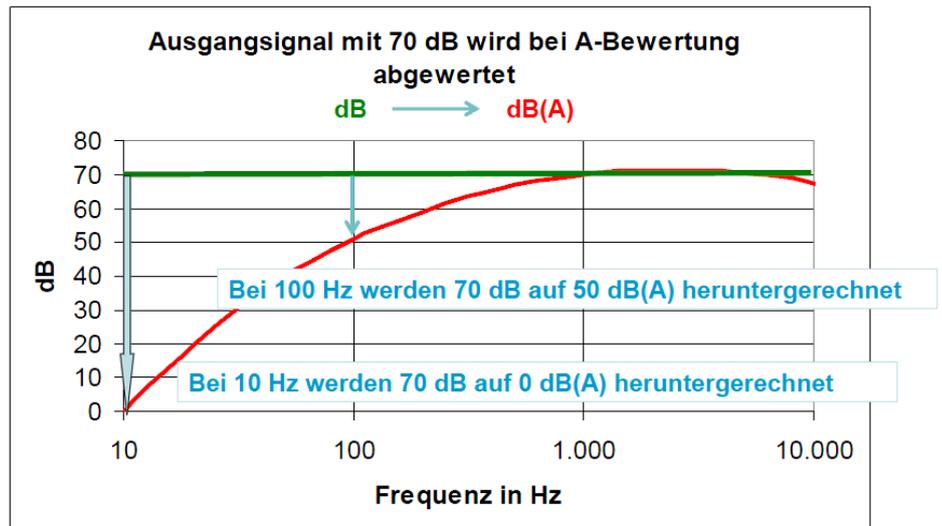


Bild 11: A-Bewertung

Dass die A-Bewertung für die Beurteilung der Schallcharakteristik einer Windkraftanlage nicht geeignet ist, liegt auf der Hand, da die Anteile der tiefen Frequenzen in der Bewertung vollständig unterdrückt werden, siehe auch [Kap. 4.3](#).

Es gibt, je nach Anwendung, auch andere Bewertungskurven, die in Bild 12 dargestellt sind. Die Z-Bewertung entspricht hier dem unbewerteten Signal bei 0 dB.

Die G-Bewertung hat ihren Messschwerpunkt um die 16 Hertz, höhere und tiefere Frequenzen werden abgewertet. Die G-Bewertung eignet sich beispielsweise gut für den Vergleich von elektrischen Bahnkomponenten, da die Frequenz des Bahnstroms $16 \frac{2}{3}$ Hz beträgt. Ansonsten folgt die G-Bewertung der C-Bewertung mit einem Abstand von etwa 10 dB. Die

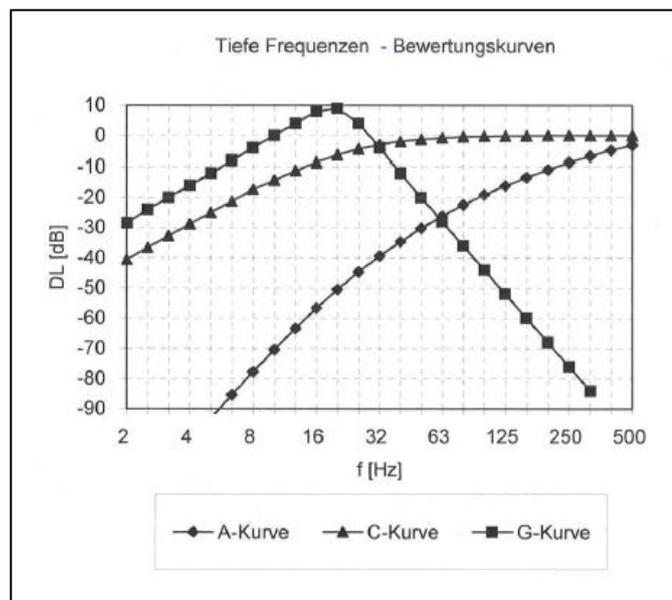


Bild 12: Frequenzbewertungskurven für Frequenzen < 500 Hz gemäß DIN EN 60651 und ISO 7196

G-Bewertung ist für die Beurteilung der Frequenzen von 0,1 bis 8 Hz ebenso ungeeignet wie die C- und A-Bewertung.

Die Auswirkung der Bewertung auf die Beurteilung einer Messung wird in [Kap. 2.7.2](#) und [Kap. 4.3](#) beleuchtet.

2.7.2 A-Bewertung an einem Messbeispiel

Das nachfolgende Bild zeigt eine Schallmessung (unbewertet) in einem Haus einer betroffenen Familie. Die Fenster sind geschlossen. Blau zeigt die Pegel, wenn die Windkraftanlagen nicht in Betrieb sind, rotbraun sind die Schallpegel, wenn die Windkraftanlagen laufen. Die nächstgelegene Windkraftanlage ist etwa 850 Meter entfernt. Es handelt sich um Windkraftanlagen der 3-MW-Klasse.

Deutlich ist zu erkennen, dass durch das Mauerwerk und die geschlossenen Fenster die hohen Frequenzen ab 800 Hz aufwärts gut gedämmt werden. Der Schall mit diesen Frequenzen bleibt also weitgehend draußen. Je tiefer die Frequenz ist, umso stärker dringt das Schallsignal in die Wohn- und Schlafräume ein. Ein wirksamer Schallschutz würde erst bei 4 Meter dicken Mauern beginnen.

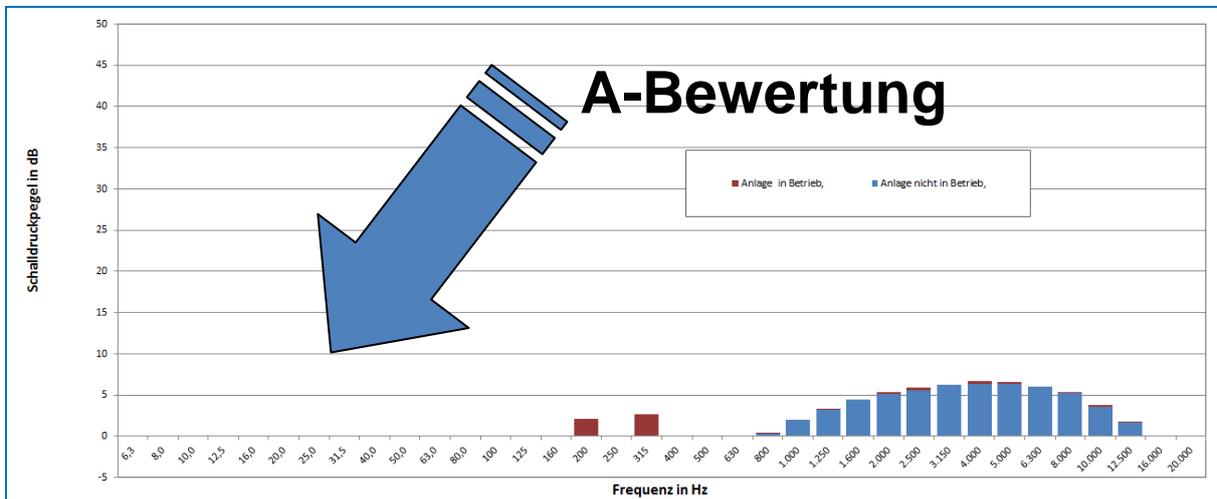
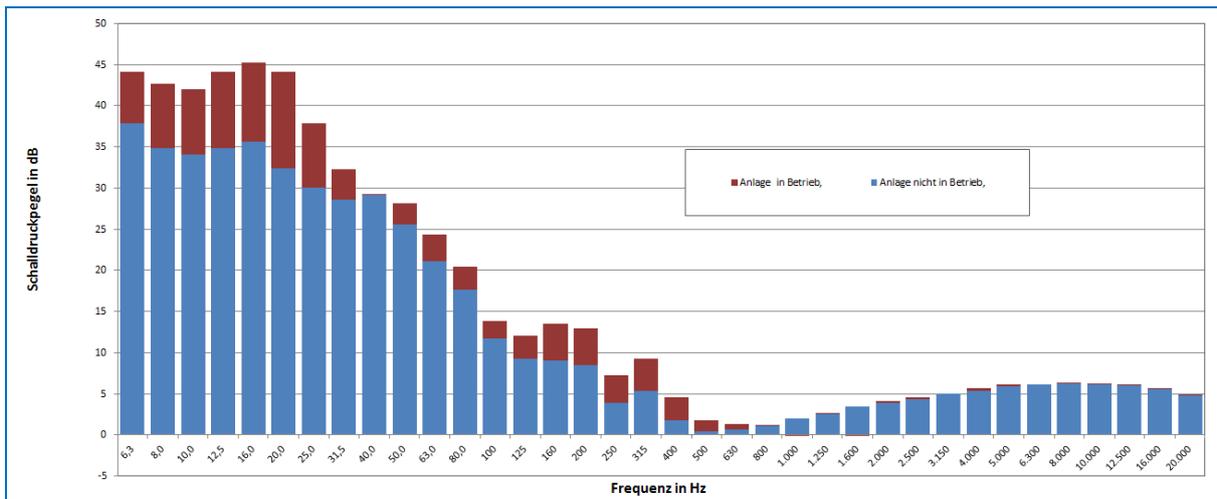
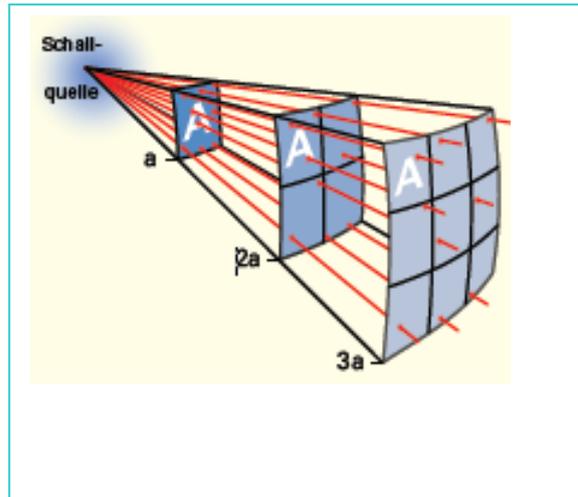


Bild 13: Frequenzanalyse, oben unbewertet, unten A-bewertet

Durch die A-Bewertung werden aber gerade diese Frequenzen abgewertet, also herausgerechnet. Sie sind quasi nicht mehr da. Da die A-Bewertung die Grundlage der behördlichen Überprüfung ist, ist aus Sicht der Überwachungsbehörde alles in Ordnung. Weiteres zu Schallpegelbewertung ist in [Kap. 4.3](#) beschrieben.

2.8 Punktquelle und Schallausbreitung

Durch das Genehmigungsverfahren für Windkraftanlagen sollte sichergestellt sein, dass zulässige Lärmrichtwerte am Immissionsort (also beim Betroffenen) nicht überschritten werden. Diese Lärm- oder Schallprognosen werden nach DIN 9613-2 Stand 1996 durchgeführt. Dass diese DIN Stand 1996 nicht mehr zu den heutigen Anforderungen passt, wird nachfolgend am Beispiel Punktquelle und vertieft in [Kap. 4.2.1](#) dargestellt.



Die Schallprognoseberechnung nach DIN 9613-2 Abschnitt 4 geht von einer Punktschallquelle aus. Zum Einen kann nur bei Windstille von einer kugelförmigen Schall-Ausbreitung ausgegangen werden (siehe Bild 14), zum Anderen kann aufgrund der Ausmaße der Windräder nicht von einer Punktschallquelle ausgegangen werden.

Bild 14: Schallausbreitung von einer Punktquelle aus

Heutige Windräder besitzen einen Rotor-Durchmesser über hundert Meter und überstreichen eine Fläche von 9.000 bis 13.000 m². Dass es sich hier noch um eine Punktquelle handelt, wie es die DIN 9613-2 voraussetzt, ist mittlerweile durch mehrere Untersuchungen widerlegt [7; UBA 22; 26; 35].

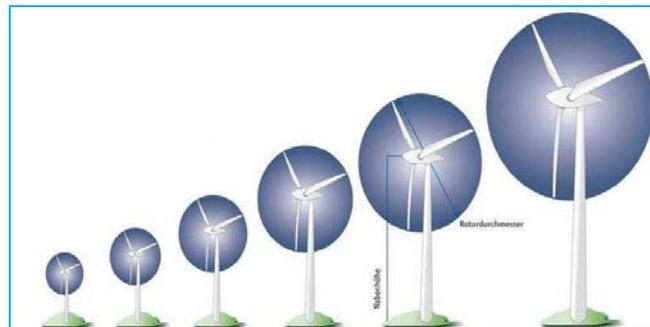


Bild 15: Entwicklung zu immer höheren Anlagen

Neben Größe der Windkraftanlagen spielt auch das Schwingungsverhalten der größeren Blätter zum Vergleich kleinerer Anlagen eine wesentliche Rolle. Das Schwingungsverhalten der längeren Blätter ist anders als das Schwingungsverhalten der kürzeren Blätter. Längere Blätter erzeugen tiefere Frequenzen, siehe dazu auch die Ausführungen in [Kap. 3.1](#).

In der DIN 9613-2 ist auf Seite 12 angeführt, dass die Prognoseberechnung nur für Anlagen bis zu einer Höhe von 30 Metern zu verlässlichen Aussagen führt. So ist der äquivalente A-bewertete Dauerschalldruckpegel $L_{AT}(DW)$ für Abstände von 100 bis 1000 m nur mit einer geschätzten Genauigkeit von ± 3 dB angegeben. Wendet man die DIN 9613-2 trotzdem für größere Windkraftanlagen an, wird der Prognosewert mit einer noch größeren Ungenauigkeit ermittelt. Diese größere Ungenauigkeit müsste im Genehmigungsverfahren zum Prognosewert addiert werden.

Die Unzulänglichkeiten der Ausbreitungsrechnung nach DIN 9613-2 werden in [Kap. 4.2.1](#) vertieft.

Wie sich die Luftschichtung auf die Ausbreitung des Schalls auswirkt, wird im [Kap. 2.9](#) und [Kap. 4.4](#) behandelt. Z.B. führen die Luftschichtungen nachts zu einer weniger gedämpften Ausbreitung des Schalls.

2.9 Grundsätzliche meteorologische Aspekte

Die Berechnungsalgorithmen der Prognoseprogramme für die Schallausbreitung gehen von einer Punktschallquelle und von idealisierten, neutralen Windprofilen aus. Ferner wird nicht zwischen Tag und Nacht unterschieden. Auch die tieferen Temperaturen nachts, im Winter und in der Übergangszeit werden bei der Prognose regelmäßig nicht beachtet.

Grundsätzlich wird zwischen einer labilen, stabilen und neutralen Atmosphärensichtung unterschieden, aus der sich die entsprechenden Windprofile ableiten lassen [401].

- Der einfachste Fall ist die **neutrale Atmosphärensichtung**. Der Zustand entspricht vereinfacht ausgedrückt einer gut durchmischten Atmosphäre. Die Temperatur und der Luftdruck nehmen mit der Höhe nach den idealen physikalischen Gesetzen kontinuierlich ab. Es gibt keinen Dichteunterschied, ein Luftpaket verändert seine Position nicht selbständig. Es kommt daher kaum zu Wolkenbildung [401]. Die DIN 9613-2 geht von einer neutralen Schichtung aus.
- Bei einer **stabilen Atmosphärensichtung** herrschen Dichteunterschiede. Durch Temperaturunterschiede bezogen auf die theoretische Temperatur in der entsprechenden Höhe kommt es zu stabilen Luftschichten, die sich harmonisch in einem und um ein Höhenniveau bewegen [401]. Eine Inversionswetterlage wäre beispielsweise eine solche stabile Schichtung.
- Bei einer **labilen Atmosphäre** hat (vereinfacht) ein Luftpaket, das aufsteigt, immer eine höhere Temperatur und eine geringere Dichte als die gegenwärtige Umgebung. Das Luftpaket erfährt also ständig eine aufwärts gerichtete Kraft, den Auftrieb. Umgekehrt kann eine labile Atmosphäre umgekehrt entstehen, dann besitzt das Luftpaket stets eine niedrigere Temperatur und eine höhere Dichte als die Umgebung. Es entsteht dann eine abwärts gerichtete Kraft.

Neben diesen drei oben genannten Einteilungen gibt es auch eine Einteilung mit sieben Stabilitätsklassen (Pasquill Stability Classes A – F) [402].

- A: Extremely unstable conditions
- B: Moderately unstable conditions
- C: Slightly unstable conditions
- D: Neutral conditions
- E: Slightly stable conditions
- F: Moderately stable conditions
- G: Extremely Stable

Neutrale Windprofile (neutral conditions), wie die DIN sie annimmt, liegen jedoch meist nicht vor. Vor allem bei feuchter Witterung und nachts liegen keine neutralen Windprofile vor. Bei diesen Verhältnissen liegen eher Profile nach den Pasquill-Klassen E und F vor.

Nachts kühlen bodennahe Luftschichten schneller aus, als Luftschichten in der Höhe. Dadurch kann eine Luftschichtung entstehen, die den Schall mit dem Wind teilweise nach unten drückt (stabile Atmosphärenschichtung).

Durch diese stabilen Luftschichtungen sind die Luftschalldämpfungswerten geringer. Sie liegen nach [1] bei Abstandsverdopplung zwischen 4,3 (in Mitwindrichtung) und 5,5 dB (in Gegenwindrichtung), statt bei 6 dB.

Mit höheren Windkraftanlagen wirkt sich das Windprofil stärker aus, zum Nachteil der umliegenden Bewohner.

Wie sich speziell der Absorptionskoeffizient α der Luft (= Luftdämpfungskoeffizient) in dB/km auf die Ausbreitungsrechnung nach DIN 9613-2 auswirkt, wird in [Kap. 4.2.1](#) erläutert. Hier nur der Hinweis, dass der Absorptionskoeffizient α stark von der Schallfrequenz, der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchte abhängt [DIN 9613-2 Anmerkung 8].

Der Schalldruckpegel am Immissionsort wird daher nach heutiger Norm regelmäßig zu gering berechnet.

2.10 Schallschutz

Tieffrequenter Schall wird kaum gedämpft und kann sehr weit reichen.

Bei einer Frequenz f von 10 Hertz, entspricht einer Wellenlänge λ von 34 Meter, bräuchte man Mauern mit einer Dicke von 8 bis 9 Meter, um sich wirksam vor dieser Schallemission zu schützen. Bei einer Frequenz von 1 Hertz wären es schon 80 bis 90 Meter. Im Infraschallbereich sind daher herkömmliche Schall-Schutzmaßnahmen wirkungslos (Schallschutzwände, dicke Mauern oder Gehörschutz). Es bedarf eines sehr dicken, massiven Körpers (z.B. ein Felsen), um Infraschall, der über die Luft übertragen wird, wirksam zu dämmen!

Bei entsprechenden meteorologischen Randbedingungen (Windstärke, Windrichtung, Luftfeuchte, Luftdichte, Temperatur, Inversionswetterlagen, allnächtliche Luftschichtung) wird speziell tieffrequenter Luftschall über weite Strecken getragen oder sogar durch Reflexionen verstärkt. [vergl. Krahe et al, [Machbarkeitsstudie UBA](#), [22, Seite 15]. Je höher eine Schallquelle (Emissionspunkt auf einem Berg) im Vergleich zum Bezugspunkt der Bebauung (Immissionspunkt im Tal) angeordnet ist, um so weiter reicht der Luftschall, da dämpfende Bodeneinflüsse weniger stark wirken. Trifft tieffrequenter Luftschall auf Hauswände, so kann sekundärer Körperschall als Folge von Resonanzschwingungen der Wand auftreten, so dass im Inneren des Hauses deutlich höhere Schallpegel wahrgenommen werden als außerhalb des Hauses (vergl. DIN 45680).

2.11 Verstärkung und Auslöschung

2.11.1 Verstärkung, Auslöschung im Außenbereich

Ein Windpark besteht in der Regel aus gleichen oder ähnlichen Anlagen. Diese gleichartigen Schallquellen emittieren die Schallwellen mit nahezu identischen Frequenzen. Je nach Immissionspunkt können sowohl Schallverstärkungen als auch Schallauslöschungen resultieren. Dies kann bedeuten, dass bei zwei Immissionspunkten in vergleichbarem Abstand zu der nächstgelegenen Windkraftanlage stark unterschiedliche Schallpegel gemessen werden, da sich je nach Phasenlage der sich überlagernden Schallwellen sowohl Verstärkungen als auch Auslöschung ergeben können.

Bei Beschwerden einzelner Anwohner werden von WEA-Betreibern daher manchmal die Taktung der Anlagen „auf einen Immissionspunkt“ verändert, Schallmaxima werden lokal verschoben.

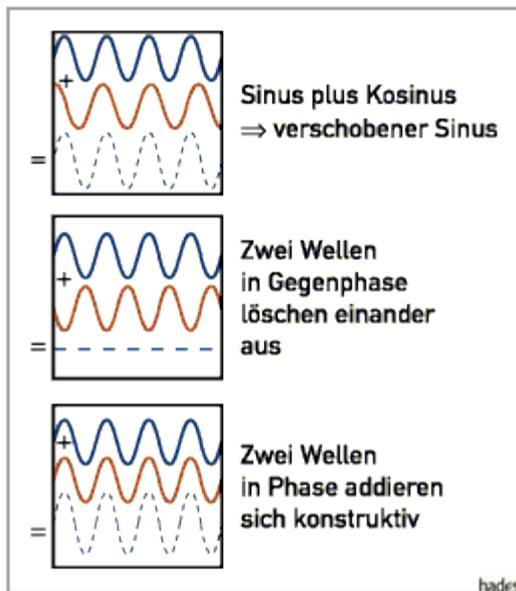


Bild 16: Auslöschung und Verstärkung von Schallwellen

2.11.2 Verstärkung, Auslöschung in Innenräumen

Trifft tieffrequenter Luftschall oder Körperschall auf ein Gebäude, so kann dies zu stehenden Wellen innerhalb des Gebäudes führen, welche sich gegenüber dem Außenniveau deutlich verstärken können. Dieser Effekt ist maßgeblich von der Größe des Raumes und von der Frequenz abhängig. Je größer der Raum, umso tiefer muss die Anregungsfrequenz sein, um eine stehende Welle zu verursachen.

Quelle: Fraunhofer IPB bzw. Präsentation Krahé

In diesem Beispiel (Modus) ist die Schallbelastung, verbunden mit starken Brummgeräuschen, besonders in den Ecken (orange Farbe) des Raumes unangenehm, wo hingegen in der Mitte (grüne Farbe) des Raumes nahezu absolute Stille herrscht. Praktiker raten bei derartigen Problemen in

Schlafräumen, als Sofortmaßnahme mit dem Kopf zur Raummitte zu schlafen. Dies darf aber nicht die Lösung sein, hier muss grundsätzlich die Gesundheit der Anwohner geschützt werden.

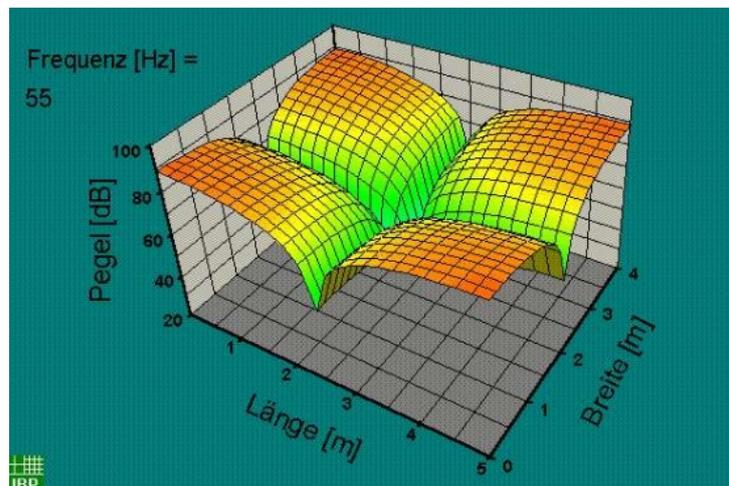


Bild 17: Stehende Schallwelle 55 Hz, Wellenlänge ca. 6,2 m in einen Raum

2.12 Vergleich natürlicher und anthropogener Infraschall

Dass durch Windkraftanlagen tieffrequenter Lärm entsteht, wird inzwischen durch die Windkraftindustrie nicht mehr geleugnet [32]. Allerdings wird häufig behauptet, dies ist mit natürlichen Infraschallwellen gleichzusetzen [16-18]. Natürlichen und anthropogenen Infraschall gleichzusetzen, ist nicht fachgerecht. Infraschall aus technischen Quellen weist entstehungsbedingt mehrere Charakteristika auf (z.B. charakteristische Frequenzen), die sowohl für sich, als auch in Kombination nachweislich beim Menschen zu schwerwiegenden, gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können. Siehe dazu insbesondere die Studien in [Kap. 3.4](#) und die dort dargestellten Frequenzanalysen.

2.13 Drehzahl und Winkelgeschwindigkeit

Vereinzelte wird in der Diskussion vorgebracht, „*ich habe mir Windkraftanlagen angehört, da ist nichts Störendes*“. Es gibt Anwohner, die haben oder hatten keine Schallprobleme, dann kam das Repowering. Die viel kleineren Anlagen wurden durch große, moderne ersetzt. Plötzlich treten erhebliche Probleme auf. Woran liegt das?

Die größeren Anlagen drehen zwar mit einer kleineren Winkelgeschwindigkeit ω , durch die wesentlich längeren Rotorblätter sind aber die Geschwindigkeiten an den Blattenden höher als bei kleineren Anlagen, außer man reduziert die Drehzahl stärker. Die Blattspitze erreicht je nach Drehzahl und Rotorblattlänge eine Geschwindigkeit von über 300 km/Stunde. In den nachfolgenden Beispielen wird die Geschwindigkeit der Blattspitzen von drei Windkraftanlagen verglichen.

Für die Winkelgeschwindigkeit gilt

$$\omega = 2 \pi f$$

Für die Tangentialgeschwindigkeit v an der Blattspitze gilt

$$v = \omega r = 2 \pi f r$$

Anlage Beispiele	Radius r des Rotorblatts in Meter	Drehzahl f in Umdrehungen pro Minute	Geschwindigkeit v an der Blattspitze in Kilometer pro Stunde
E82	41	18	278
V112	56	16	328
E-126	63,5	11,7	280

Obwohl bei der V112 die Drehzahl gegenüber der E82 reduziert ist, erhöht sich durch die längeren Rotorblätter die Geschwindigkeit an den Blattspitzen erheblich. Eine weitere Verringerung der Drehzahl reduziert zwar auch die Geschwindigkeit an den Blattspitzen, durch das andere Schwingungsverhalten der längeren Rotorblätter verschieben sich die Frequenzspitzen jedoch weiter in den tieffrequenten Bereich.

Die untere Drehzahlgrenze der heutigen großen Windkraftanlagen liegt bei ca. 5 U/min. Bei drei Rotorblättern resultiert somit eine untere Anregungsfrequenz von 0,25 Hz, die beim Turmdurchgang

entsteht. Die obere Drehzahlgrenze von ca. 20 U/min erzeugt eine Anregungsfrequenz von 1 Hz. Siehe dazu auch [Kap. 2.2.](#)

Schall- und Frequenzanalysen sollten daher immer bei mindestens 0,2 Hz, besser bei 0,1 Hz beginnen.

3 Beurteilung des tieffrequenten Lärms von Windkraftanlagen

3.1 Allgemeines zur Schallemission von Windkraftanlagen

Windkraftanlagen sind große technische Schall- und Infraschallquellen. Neben den Rotorgeräuschen treten Laufgeräusche durch Getriebe, Generator, Transformator sowie durch Hilfsantriebe auf. Der Schallleistungspegel von Windkraftanlagen beträgt je nach Größe etwa 100 bis 107 dB(A)¹⁰.

Windkraftanlagen erzeugen Luftschall und Körperschall nicht nur bei Betrieb, sondern auch alleine durch ihr Vorhandensein, da sie einen Widerstand für den Wind darstellen und Verwirbelungen an den Rotorblättern und dem Turm, unabhängig davon, ob die Anlage dreht oder steht, zu einem unvermeidbaren Grundgeräusch führen. Die Intensität der Geräuschentwicklung ist bei stehender Anlage von der Windgeschwindigkeit abhängig. Je nach Windgeschwindigkeit können zusätzliche Geräusche und Körperschall entstehen, wenn die Windkraftanlage (Turm und / oder Rotorblätter) vom Wind zu Schwingungen angeregt werden.

Im Betrieb treten nach van den Berg [9] die höchsten Schallpegel an den Rotorspitzen auf, da diese das Windprofil mit hoher Geschwindigkeit (über 300 km/h) durchschneiden und durch Abriss der Strömung Geräusche als Folge von Verwirbelungen erzeugen. Ebenfalls hat das Vorbeistreichen der Rotorblätter am Mast oder das Durchschneiden verschiedener Schichten im Windprofil einen erheblichen Einfluss auf die Schallemissionen. [Kameier et al, 23; UBA, 22

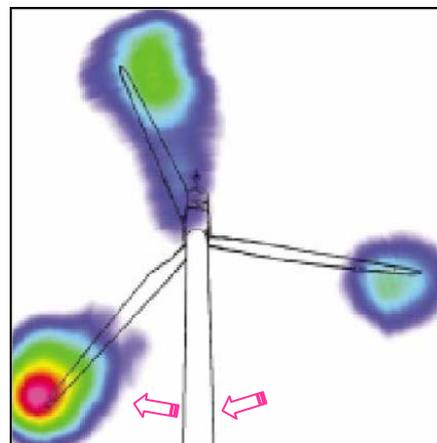
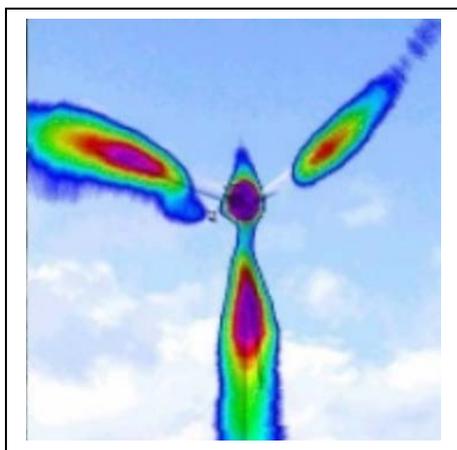


Bild 18: violett rot, Ort der stärksten Schallemission, nach van den Berg [9]



Nach Messungen der Hochschule Emden/Leer [10] kann aber auch das gesamte Rotorblatt selbst den größten Anteil an der Schallemission tragen.

Bild 19: violett rot, Ort der stärksten Schallemission nach Messungen Hochschule Emden [10]

Aspekte Körperschall, Eigenfrequenzen und Einleitung in den Boden siehe [Kap. 2.2.](#)

¹⁰ Die A-Bewertung wird ausführlich in [Kap. 2.7](#) erläutert.

3.2 Impulshaltigkeit und Anregung im tieffrequenten Bereich

Durch das Durchschneiden des Windprofils und das Vorbeistreichen des Blattes am Mast (alle 4 bis 1 Sekunde je nach Drehzahl) entsteht eine Luftdruckänderung / Schalldruckänderung mit einer Grundfrequenz zwischen 0,25 und 1 Hertz. Diese Impulshaltigkeit erzeugt eine Tonalität weit im Infraschallbereich. Bekannt und oft von Anwohnern benannt ist das typische Geräusch „Wusch Wusch“. Dies ist nicht der Infraschall sondern der hörbare Anteil im Schall. Dazu kommt ein nicht hörbarer Anteil. Sehr anschaulich ist das Entstehen des Lärms in der Arbeit von G.P. van den Berg [9] und der Hochschule Emden/Leer [10] dargestellt, siehe Bild 18 und 19 im Kapitel davor.

Die speziell beim Turmdurchgang hörbare Impulshaltigkeit erfordert bei der Schallprognose einen Zuschlag von 3 dB(A) zum Grundgeräusch der Windkraftanlage. Dieser Zuschlagsfaktor findet heute jedoch kaum Anwendung, da die Anlagen-Hersteller ihre Anlagen als nicht impulshaltig deklarieren. Dass während des Betriebes tatsächlich ein Zuschlag gemäß TA Lärm Abschnitt 2.9 und DIN 45641 notwendig ist, ist unzweifelhaft.

Urteile haben bestätigt, dass Impulshaltigkeit anzusetzen ist [z.B. OLG München AZ 27 U 3421/11 und 27 U 50/12. vom 14.08.2012 und BVerwG 4 C 2.07 – Urteil vom 29. August 2007, Aufhebung der Baugenehmigung wegen Lärmbelästigungen durch Windenergieanlage].

3.3 Fehler und Lücken in der Beurteilung

3.3.1 LUBW verharmlost

Die Broschüre der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) [18; 39] ¹¹versucht das Thema Infraschall durch Begriffsvermischungen und überholte, teils fragwürdige, Statements zu bagatellisieren. Wesentliche Fakten zum Infraschall und zum tieffrequenten Schall werden unterschlagen bzw. falsch wiedergegeben.

Alle dargelegten Äußerungen des LUBW basieren, wie in der Broschüre zu lesen, auf den Vorgaben der TA-Lärm und der DIN 45680. Diese veralteten Normen berücksichtigen den relevanten Schallbereich des Infraschalls unterhalb 8 Hz gar nicht, neue große WKA erzeugen aber gerade im Bereich von 0,1 bis 5 Hz massiv Infraschall, so dass alle in der Broschüre getroffenen Aussagen für den relevanten Schallbereich unzureichend sind.

Die Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) von 2004 „Der unhörbare Lärm von Windkraftanlagen“ [6] widerspricht den Aussagen der LUBW. Die Erkenntnisse der BGR-Studie zur Reichweite von Infraschall zeigen drei wesentliche Merkmale des Infraschalls von WKA auf:

1. Die Frequenzen des Infraschalls liegen selbst bei kleinen Anlagen mit 3,2 Hz deutlich unter 8 Hz, große Anlagen erzeugen Infraschall mit Frequenzen um 1 Hz.
2. Die Reichweite des Infraschalls einer einzelnen WKA beträgt bis zu 25 km, was bei der großen Wellenlänge und der dadurch bedingten geringen Dämpfung physikalisch bewiesen ist.
3. Die (nach aktuellen Studien definierte, gesundheitlich relevante) 60 dB-Schwelle, bei der das menschliche Ohr auf Infraschall reagiert, wird bei einer großen WKA erst in ca. 10 km Abstand unterschritten.

Die [BGR](#) erfüllt im Auftrag der Bundesregierung die Verpflichtungen Deutschlands zum internationalen Kernwaffenteststoppabkommen (CTBT). Sie betreibt dazu das nationale CTBT-Datenzentrum, in dem die Explosionswellen potenzieller Kernwaffentests auch über größere Entfernungen hinweg registriert werden. Außerdem überwacht die BGR mit dem Seismologischen Zentralobservatorium der Bundesrepublik Deutschland die weltweiten Erdbebenaktivitäten. Die Kompetenz der GBR ist als sehr hoch einzuschätzen.

Das LUBW bewertet eine Windkraftanlage immer noch als Punktschallquelle mit gleichförmiger Ausbreitung des Schalls in alle Richtungen. Dies ist bereits im Juni 2014 in der Studie des Umwelt-Bundesamtes als unzureichend eingestuft [22, Seite 56]. Schall breitet sich stärker in Windrichtung aus. Dieser Effekt ist in der Studie von Engelen und Wenzel, Uppenkamp & Partner im Auftrag des Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) aus dem Jahr 2014 nachgewiesen worden [35].

Die Studie zeigt eindeutig, dass je nach Entfernung und Windgeschwindigkeit mehr als 4 bis 5 dB(A) gegenüber dem allgemeinen Verfahren nach DIN 9613-2 gemessen werden [35, Seite 17]. Siehe auch [Kap. 2.8](#)

¹¹ Auch in die neueste Ausgabe der Broschüre des LUBW sind die aktuellen Erkenntnisse nicht eingearbeitet und besitzt die genannten Defizite.

Visuell verdeutlicht wird die Realität anhand der bildlichen Darstellung in der Studie des Umwelt Bundesamtes von 2014. Die durch Kondensation in Folge des Druckabfalls hinter den Rotoren bedingten Wirbelschleppen entsprechen weitgehend der primären Schall-Ausbreitungsrichtung.



Bild 20: Wirbelschleppen eines Windparks,
Quelle: Umwelt-Bundesamt bzw. Vattenfall

Die Verwirbelungen und damit die Druckunterschiede werden auch sehr gut in einem Video der University of Minnesota deutlich. [https://www.youtube.com/watch?v=OHI_0s4qqUY]

Zur Geräuschentwicklung der Windkraftanlage wird in der LUBW-Studie als Schallquelle der Generator einer Windenergieanlage genannt. Dies ist eine bewusste Irreführung. Der Generator ist nicht das primäre Problem, es sind die Rotorblätter und das Durchschneiden des Windprofils. Mit zunehmender Größe der Windkraftanlage nimmt der Infraschallpegel kontinuierlich auf bis zu 120 dB zu (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe von 2004 „Der unhörbare Lärm von Windkraftanlagen“ [6]). Diese Literaturquelle wird in [Kap. 3.4.3](#) tiefer behandelt.

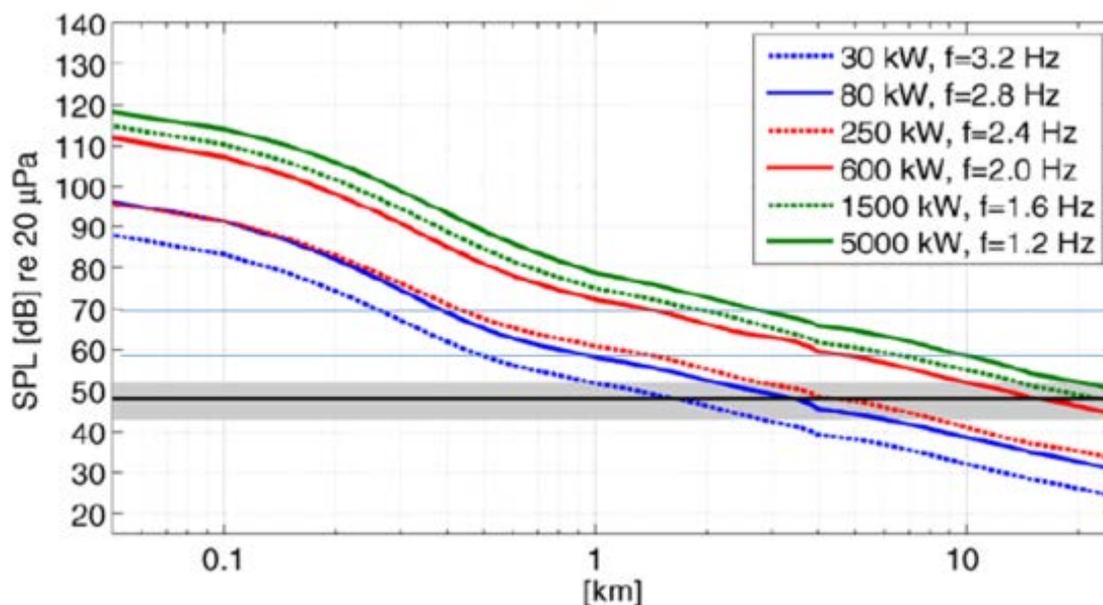


Bild 21: Reichweite der zweiten Blattdurchlauffrequenz
gemäß Untersuchungen der BGR „Der unhörbare Lärm von Windkraftanlagen“ [6]

Aus obigem Diagramm der BGR wird ersichtlich, dass der Schalldruckpegel einer großen Windkraftanlage in 150 m bei ca. 115 dB liegt, - bei nur einer Anlage in der Ebene gemessen-, bei mehreren Anlagen auf Bergen noch deutlich mehr. Erst ab ca. 10 km wurden die gesundheitsrelevanten 60 dB unterschritten!

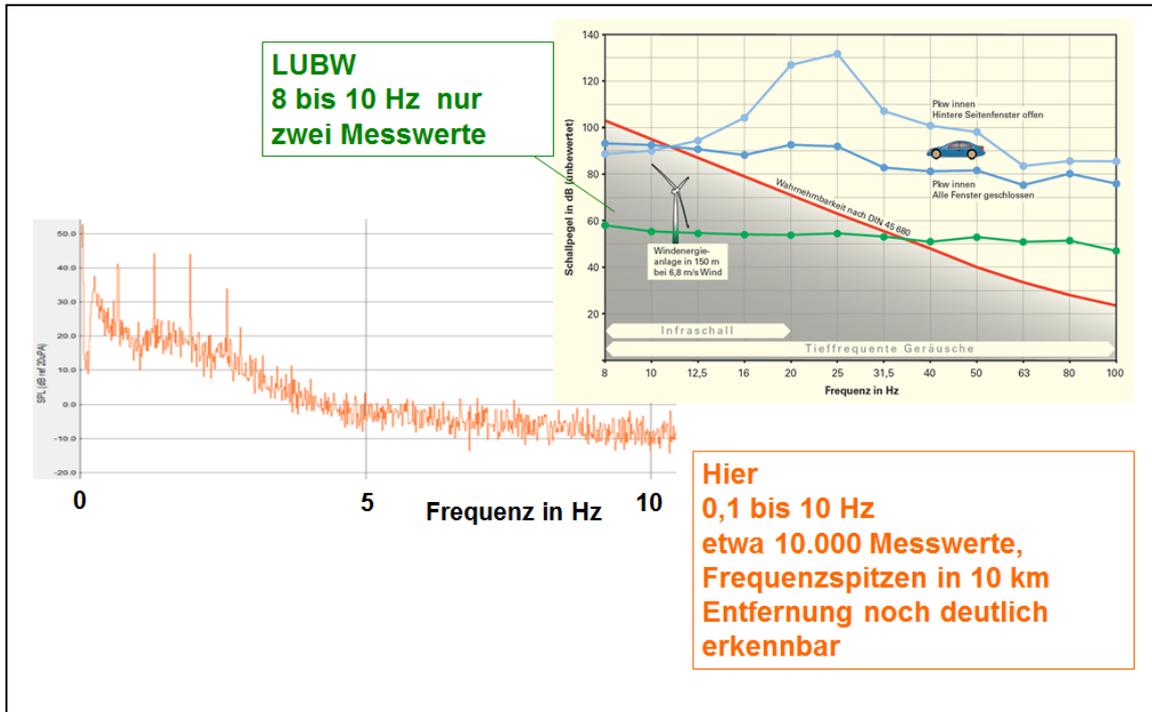


Bild 22: Darstellung LUBW, rechts oben, Messbereich unter 8 Hz fehlt vollständig. links unten, der vom LUBW vernachlässigte Bereich ist durch eine Beispielmessung ergänzt. Das LUBW unterschlägt nicht nur einen wichtigen Messbereich, es unterschlägt damit auch die Frequenzspitzen, die deutlich um 10 bis 20 dB aus dem Grundrauschen hervorstechen. In dieser Beispielmessung sogar noch in einer Entfernung von 10 km, gemessen im Haus.

Völlig absurd ist der „Vergleich“ zum angeblichen Geräusch einer WKA in 150 m Abstand zu Verkehrslärm. Das LUBW stellt ein Diagramm vor (siehe Bild 22), das den unbewerteten Schallpegel zwischen 8 Hz und 100 Hz in diesem Bereich als durchweg kleiner als 60 dB und als deutlich „leiser“ als das Geräusch in einem Pkw erscheinen lassen soll. Der tatsächlich relevante Bereich zwischen 0,1 Hz und 8 Hz ist bei der Untersuchung des LUBW gar nicht berücksichtigt. Die Untersuchungen u.a. in Falmouth (siehe [Kap. 3.4.2](#)) und Cape Bridgewater Wind Farm (siehe [Kap. 3.4.4](#)) zeigen, dass dieser Frequenzbereich wesentlich für die Beurteilung der Schallemissionen ist.

Unter den Themen „Wahrnehmung von Infraschall“ und „gesundheitliche Effekte“ wird beim LUBW zwar korrekt auf Infraschall sensible Sinneszellen für Haut-, Druck- und Vibrationsreize und die Hohlräume im Körper sowie einige Auswirkungen des Infraschalls in Form von Müdigkeit, Gleichgewichtssystem, Unsicherheits- und Angstgefühle verwiesen, allerdings wird dies mit der Aussage verbunden, dass dies irrelevant sei, da die **Hörschwelle** deutlich unterschritten sei. Wir wissen jedoch mittlerweile, dass tieffrequenter Schall und Infraschall sehr wohl vom Menschen wahrgenommen wird und das Emotionszentrum des Gehirns anspricht.

Unterhalb der Hörschwelle, wie sie in DIN 45680 definiert ist, erfolgt die Wahrnehmung des Schalls (im Frequenzbereich unter 20 Hz) nicht mehr über die normalen Hörvorgänge (innere Haarzellen),

sondern über die äußeren Haarzellen (outer hair cells, OHC) und den Gleichgewichtssinn. Zusätzlich wird Infraschall als Vibration und Ohrendruck wahrgenommen.

Weiterhin sagt das LUBW, dass Belästigungseffekte durch Infraschall nicht zu erwarten sind. Auch diese Aussage ist mehr als fragwürdig, soll sie doch dem Leser vermitteln, dass er kurzfristig keine "Belästigung" wahrnimmt. Dies trifft jedoch nicht die Wirkung des Infraschall, der mittel- und langfristig zu gesundheitlichen Problemen führt. Wie nachweislich in mehreren Studien von Prof. Krahe (Uni Wuppertal) und Umwelt-Bundesamt bestätigen, ist die Einwirkung von Infraschall ab 60 dB, bereits weit unterhalb der Wahrnehmungsschwelle, durch Messung der Gehirnströme nachgewiesen.

Die Ausarbeitung des LUBW ist nicht auf dem Stand von Wissenschaft und Technik und berücksichtigt nicht die Ergebnisse aus UBA-Studie [22] und die Ergebnisse aus dem Ausland (Falmouth, USA; Cape Bridgewater Wind Farm, Australien; Waterloo, Ontario, Canada) [30; 29; 28].

Das Thema tieffrequenter Geräusche und der damit einhergehenden Probleme innerhalb von Wohngebäuden (starke Brummgeräusche, Vibrationen) wird in der Broschüre komplett außen vor gelassen, obwohl im Untertitel genannt.

Das „Fazit“ der Studie des LUBW ist als völlig überholt anzusehen. Stand von Wissenschaft und Technik in Deutschland ist die Studie des Umwelt Bundesamtes von 2014. International wurde aktuell eine australische Studie veröffentlicht, die sich dem Thema Infraschall und den resultierenden Gefahren ausführlich widmet. Dem wenig informierten Bürger wird mit der LUBW-Studie eine "heile Windkraft- Welt" vorgegaukelt, die es bei Schall und tieffrequentem Schall nachweislich nicht gibt. Ziel ist offensichtlich, die zunehmende Kritik von Bürgern an Windkraftanlagen in ihrer Nähe im Keim zu ersticken und kompetente Gegner zu verunglimpfen.

3.3.2 Bayerisches Landesamt für Umwelt verharmlost

In der vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) herausgegebenen Broschüre „UmweltWissen – Klima und Energie, Windkraftanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit?“ [17] werden die Auswirkungen von Infraschall verharmlosend und zum Teil falsch dargestellt.

Der erste Teil der Aussage ist bereits falsch (vgl. z.B. PTB-Studie 8 Hz): *„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.“*

Das LfU definiert hier die Wahrnehmung nicht. Welche Wahrnehmung ist hier gemeint? Wahrnehmung über die elektrischen Signale zum Gehirn erfolgt schon 30 dB unter der üblichen Hörschwelle, bzw. der 60 dB-Schwelle bei 10 Hz.

Die nachfolgende Aussage in der LfU-Broschüre widerspricht dem aktuellen Wissensstand und ist ebenfalls **falsch**:

„Wissenschaftliche Studien zeigen, dass Infraschall nur dann Folgen haben kann, wenn Menschen ihn hören oder spüren können. ... Windenergieanlagen (haben) keine schädlichen Auswirkungen für das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen.“ [13, Seite 1]

Diese Aussage wird im Folgenden dann stark relativiert:

„Beim Infraschall gibt es hier eine Besonderheit: Die Unterschiede in der individuellen Hörschwelle sind im Infraschallbereich stärker ausgeprägt als im Hörschallbereich.“ [17, Seite 3] *„Weniger erforscht sind dagegen die Wirkungen, wenn Menschen sehr lange Infraschall mit niedrigem Pegel ausgesetzt sind.“* [17, Seite 4]

Allerdings wird dann auf der gleichen Seite ein falscher Schluss gezogen: *„Er (Infraschall) kann also vom Menschen weder gehört noch anders wahrgenommen werden. Insofern sind auch keine gesundheitlichen Wirkungen zu erwarten.“* [13, Seite 4] Diese falsche Aussage und Schlussfolgerung wird von Genehmigungsbehörden oder anderen Stellen als Beleg für die Unbedenklichkeit herangezogen. Richtig ist vielmehr, dass lange einwirkender Infraschall auch bei geringerem Pegel auf die Gesundheit der Menschen wirkt.



Bild 23: Vergleich anthropogene mit natürlicher Schallquelle führt zu falschen Schlüssen

Die Auswirkungen des Infraschalls von Windkraftanlagen durch Vergleich mit natürlichen und anderen anthropogenen Infraschallquellen herunterzuspielen, entspricht nicht der Sorgfaltspflicht eines Umweltministeriums.

Folgende Aussage kann als richtig gewertet werden:

„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.“ [17, Seite 6]

Abschließend gibt das LfU an: *“Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. **Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden.**“ [17, Seite 10]*

Die Broschüre des Bayerischen Landesamt für Umwelt ist voll von Widersprüchen. Einige Aussagen geben den Stand der Wissenschaft nicht wieder oder sind falsch. An den allgemeinen Aussagen ist erheblich zu zweifeln.

3.3.3 Uppenkamp & Partner, Forschungsvorhaben Nr.14 1446 11-2

Engelen und Wenzel, Uppenkamp & Partner [35], führten im Auftrag des Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) ein Forschungsvorhaben durch. Das Forschungsvorhaben hatte zum Ziel, die Anwendbarkeit der DIN 9613-2 als Prognosetool für die Schallimmissionen von Windkraftanlagen zu bewerten. Ein wesentliches Ergebnis dieser Untersuchung war, dass die nach DIN 9613-2 errechneten Schallwerte nur im Nahbereich zutreffen. (Grundsätzliches zur Schallausbreitung siehe auch [Kap. 2.8](#)) Die Voruntersuchung lieferte bereits klare Indizien (S. 17):

"Wie die Ergebnisse der Voruntersuchung zeigen, liegen die messtechnisch ermittelten Immissionspegel des Anlagengeräusches $L_{Aeq,AG,IMP}$ im 400 m (750 m) entfernten Mitwindbereich min. 1.5 dB (2.2 dB) oberhalb der berechneten Immissionspegel"

Hier zeigte sich bereits deutlich, dass schon in 750 m Abstand zur Windkraftanlage eine Verschiebung der Isophonen in Windrichtung von 2,2 dB(A) auftrat.

In der Hauptuntersuchung wurden die Messungen bei relativ geringer Windgeschwindigkeit durchgeführt, um "Fremdgeräusche", das bedeutet Strömungsgeräusche, die der Wind an den Rotorblättern erzeugt, zu minimieren.

"Die Messungen im Rahmen der Hauptuntersuchung werden somit bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten von ca. $v_s = 5$ m/s durchgeführt, um die Anhebung der Rotordrehzahl und die damit verbundene Schalleistungspegelerhöhung bei geringen Fremdgeräuschpegeln zu nutzen".

Die niedrige Windgeschwindigkeit von 5 m/s führte zu der (falschen) Schlussfolgerung, dass für Windkraftanlagen die Annahme einer kugelförmigen Schallausbreitung anwendbar sei. Zum Einen wird der Großteil der "Fremdgeräusche" erst durch das Vorhandensein der Windkraftanlage als Widerstand im Windprofil erzeugt, zum Anderen transportiert der Wind den Schall in Windrichtung umso stärker, je höher die Windgeschwindigkeit ist. Aus folgender Tabelle wird dieser Fakt ersichtlich, da der gemessene Schallpegel bereits bei geringer Erhöhung der, ohnehin niedrigen, Windgeschwindigkeit von 4,7 m/s (5. Messnacht) auf 5,9 m/s (3. Messnacht) um ca. 2,5 - 3 dB(A) steigt.

Auszug Forschungsvorhaben Nr.14 1446 11-2 :

Tabelle 11 Immissionsrelevante Schalleistungspegel der untersuchten Windenergieanlagen

	1. Messnacht $v_s = 5.1 \pm 0.2$ m/s		2. Messnacht $v_s = 5.7 \pm 0.2$ m/s		3. Messnacht $v_s = 5.9 \pm 0.4$ m/s		4. Messnacht $v_s = 5.1 \pm 0.1$ m/s		5. Messnacht $v_s = 4.7 \pm 0.2$ m/s	
	WEA 1	WEA 2								
Immissionsrelevanter Schalleistungspegel ⁽¹⁾ L_{WA,v_s} in dB(A)	101.5	100.9	103.5	101.5	103.2	102.1	101.6	101.8	100.6	99.1

Im Ergebnis kommt die Studie zu dem Schluss, dass DIN 9613-2 für die Prognose der Schallsituation am Immissionsort nur bis 500 m Abstand funktioniert. Bei größeren Abständen treten erhebliche Abweichungen zu Ungunsten der betroffenen Bürger auf

"Der aktuell anzusetzende Sicherheitszuschlag von min. $1,28 \cdot \sigma_{\text{Prog}} = 1.9 \text{ dB}$ deckt die beschriebenen Abweichungen - verursacht durch A_{gr} - ausschließlich im Nahbereich ab. Ein zukünftiger Sicherheitszuschlag sollte konsequenterweise nun nicht pauschal vergeben werden, sondern könnte in Abhängigkeit des Abstandes zwischen Emissionsquelle und Immissionsort sowie des angewandten Berechnungsmodells (z. B. dem alternativen Verfahren oder dem frequenzselektiven Verfahren unter Berücksichtigung des der Realität entsprechenden Bodenfaktors gemäß DIN ISO 9613-2) berechnet werden."

*"Während die alternative Berechnungsvariante im Nahbereich von < 500 m der WEA sowohl im Luv und im Lee gut funktioniert, **driften die Mess- und Rechenergebnisse darüber hinaus weit auseinander**, da die Bodendämpfung A_{gr} durch das alternative Verfahren teils deutlich überschätzt wird. Dieser Effekt ist dabei im Mitwindbereich größer als im Gegenwindbereich."*

Ein wesentlicher Grund für die Unzulänglichkeit der DIN 9613-2 für große Windkraftanlagen ist deren Konzeption, welche auf Anlagenhöhen bis 30 m beschränkt ist.

*"Die max. Höhe der dort relevanten und somit in der Modellierung von A_{gr} berücksichtigten Quellen drückt sich dabei wohl bei der Schätzung der Genauigkeit in der DIN ISO 9613-2 aus, **die entsprechende Angaben auf eine Quellhöhe von max. 30 m beschränkt.**"*

Aus dieser Studie wird somit deutlich, dass schon bei der Prognose der Immissionen gravierende Fehleinschätzungen, speziell im Falle Lage der Wohnbebauung in Haupt-Windrichtung, resultieren.

Da dieser systematische Fehler der DIN 9613-2 jedoch immer erst nach Erstellung und Inbetriebnahme der Windkraftanlage mit realen Messwerten bewiesen werden kann, ist es für betroffene Bürger auf Grund der hohen Kosten für Schallgutachten schwierig, ihr Recht gem. Art 2 GG durchzusetzen.

3.3.4 Faktenpapier Infraschall der Hessenagentur

Am 16.12.2014 hatten die Herren Dr. Stiller, Dr. Kuck und Bernd Töpperwien die Gelegenheit in Wiesbaden am "Faktencheck Infraschall" teilzunehmen. Sie brachten als Panel-Teilnehmer für AEFIS (Ärzte für Immissionsschutz) und Vernunftkraft e.V. ihr Wissen ein.

Die im Vorfeld gegenüber Vernunftkraft abgegebene Zusage, die Inhalte des Faktenpapiers mit allen Teilnehmern abzustimmen, ist nicht in der notwendigen, kritischen Form erfolgt, so dass sich im "Faktenpapier Infraschall" (<http://www.energieland.hessen.de/dynasite.cfm?dsmid=503005>) der falsche Eindruck aufdrängt, Infraschall von heutigen, großen Windkraftanlagen sei generell ungefährlich.

Dort heißt es fälschlicher Weise:

"Aktuell durchgeführte Messungen zeigen, dass der Infraschall, der von betriebenen Windenergieanlagen ausgeht, bereits deutlich vor dem Erreichen der in Hessen geltenden Mindestabstände zu Ortslagen weit unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsschwelle liegt."

Wie von Dr. Kuck, Dr. Stiller und Bernd Töpperwien bereits am 16.12.14 vorgetragen- und in zusammengefasster schriftlicher Stellungnahme von AEFIS eingebracht, ist es notwendig, tieffrequenten Schall und Infraschall gemeinsam zu betrachten. Im Ansatz ist dies in der Studie zu lesen.

"Für die Beurteilung der Wirkungen von Infraschall auf den Menschen eignet sich die in der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) übliche A-Bewertung des Schalldruckpegels nicht. Nach Ziffer 7.3 der TA Lärm hat deshalb eine besondere Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche zu erfolgen. Infraschall erfordert besondere Auswerteverfahren, bei denen der Schalldruckpegel anders bewertet wird."

Die Aussage, dass :

"der von WEA erzeugte Infraschallpegel nach heutigem Stand der Wissenschaft in 150 – 300 m Abstand zur WEA unterhalb der Hör- und Wahrnehmungsschwelle des Menschen liegt und keine negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit hat"

ist definitiv nicht richtig.

In der Diskussion (Videoaufzeichnung Teil 3)¹² wurde schon herausgearbeitet, dass die Normen (TA-Lärm und speziell DIN 45680) und der medizinische Wissensstand zur Bewertung von Infraschall von allen Teilnehmern als nicht mehr ausreichend angesehen wurden. **Fakt ist, dass der Infraschall von großen Windkraftanlagen zwischen 0,1 Hz bis 8 Hz nach DIN 45680 überhaupt nicht erfasst wird.** Hier sei auf die Stellungnahme der AEFIS verwiesen, die das Thema ganzheitlich beleuchtet.

Auch kam klar heraus, (H. Eulitz in Teil 3 der Videoaufzeichnung), dass DIN 4150 Teil 2 das Zusammenwirken von Erschütterungen (Körperschall) und tieffrequentem Schall (Luftschall) nicht berücksichtigt. Körperschallanregungen erfolgen jedoch bei jedem Turmdurchgang eines Rotorblattes mit einer Frequenz unter 1 Hz, also im Infraschall-Bereich. Schlussfolgernd kann keine

¹² (http://www.energieland.hessen.de/Expertenhearing_Infraschall)

Aussage über eine gesundheitsschädigende Wirkung von dem relevanten Infraschall unter 8 Hz gemacht werden, der nach den aktuellen Normen gar nicht gemessen wurde / wird.

Was im Faktenpapier allerdings richtig hervorgehoben wurde, ist die Tatsache, dass das verwendete kugelförmige Schallausbreitungsmodell, welches immer noch für Schallprognosen nach DIN 9613-2 zur Anwendung kommt, nicht die zu erwartende Lärmbelastung (nach TA-Lärm) widerspiegelt, sondern dass **nur mit 3 dB Dämpfung pro Abstandsverdopplung zu rechnen ist, anstelle der üblichen 6 dB**. Auch der Nachsatz, dass Infraschall innerhalb von Gebäuden verstärkt auftreten kann, findet in der Bewertung der gesundheitsschädigenden Wirkung keine weitere Betrachtung.

"Aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse deuten jedoch darauf hin, dass das Modell der kugelförmigen Ausbreitung von Schall für Windenergieanlagen möglicherweise zu hinterfragen ist:

Modellberechnungen ergeben, dass bei Entfernungen von über einem Kilometer eine Abnahme von 3 dB statt 6 dB pro Abstandsverdopplung erfolgt, was durch Messungen gestützt wird. In Gebäuden kann Infraschall durch Resonanzen und Interferenzen verstärkt werden."

Das zitierte Faktenpapier stellt somit in weiten Teilen eine Vorspiegelung verfälschter oder auch falscher Tatsachen dar. An einigen Stellen im Text werden Probleme und Schwachstellen zwar erwähnt, in der abschließenden Bewertung jedoch unterschlagen.

3.4 Studien bestätigen Bedenken

3.4.1 Machbarkeitsstudie zur Wirkung von Infraschall, UBA Texte 40/2014

Die Machbarkeitsstudie [Prof. Krahe et al; 22] enthält diverse Aussagen zur zweifelhaften Anwendbarkeit von bestehenden, veralteten Normen und zu den Spezifika von Infraschall. Im Folgenden werden wesentliche Passagen der Studie zitiert. Daraus ist abzuleiten, dass die heutige Praxis der Genehmigung nicht dem Stand des Wissens entspricht. Die Bevölkerung wird nicht ausreichend vor den negativen Auswirkungen der WKA geschützt.

"... mit der DIN 45680 „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft“ von 1997. Diese Regelungen berücksichtigen nur Geräuschanteile, die eine definierte (mittlere) Hörschwelle überschreiten. Jedoch wird zunehmend in der Öffentlichkeit auf das als unzureichend erlebte Schutzniveau bei tieffrequenten Immissionen Bezug genommen und eine stärkere Begrenzung gefordert. Die mögliche enge kausale Bindung von akustischer Wahrnehmbarkeit (Hörschwelle) und Belästigungserleben muss dahin gehend überdacht werden, dass es Personen mit abgesenkter Hörschwelle gibt." [22, Seite 13]

Im Bericht heißt es weiter:

„Dabei ist derzeit noch weitgehend ungeklärt, welche extraauralen Wirkmechanismen zusätzlich zu einer Lästigkeit führen können.“ [22, Seite 13]

"Ein Vergleich der Untersuchungsergebnisse hat gezeigt, dass negative Auswirkungen von Infraschall im Frequenzbereich unter 10 Hz auch bei Schalldruckpegeln unterhalb der Hörschwelle nicht ausgeschlossen sind." [22, Seite 14] Allerdings weisen die bisherigen wissenschaftlich gesicherten Erkenntnisse noch Lücken auf [22, Seite 14].

Anmerkung: Eine aktuelle Studie der PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt) [37] belegt eindeutig, dass Menschen Infraschall bis 8 Hz „hören“ und dass dies im MRT nachweisbar ist. Es werden Hirnregionen angesprochen, die für emotionale Empfindungen (z.B. Angst) verantwortlich sind (extraaurale Wahrnehmung).

Wichtig für die Beurteilung der gesundheitlichen Auswirkungen auf die Menschen ist die Feststellung:

"... denn mit steigender Dauer der Exposition nimmt die Empfindlichkeit zu (Sensibilisierung)." [22, Seite 15]

"Eine Hypothese ist, dass durch tieffrequenten Schall und Infraschall neuronale Prozesse verursacht werden, die bei einem mehr oder minder leichten Anstoß durch einen akustischen Stimulus ein andauerndes „Eigenleben“ entwickeln." [22, Seite 15]

"Die Veröffentlichungen zeigen, dass die Erfassung von Abstrahlung und Ausbreitung der Geräusche von Windenergieanlagen mit Unsicherheiten behaftet sind, die eine fundierte Geräuschprognose erschweren. Mit wachsender Höhe der Windenergieanlagen durchschneiden die Rotorblätter ein stärker variierendes Windprofil. Es ist daher fraglich, ob das Abstrahlungs-

und Ausbreitungsmodell für kleinere Windenergieanlagen auf moderne, große Anlagen übertragbar ist. Aufgrund theoretischer Betrachtungen von Strömungsakustikern ist nicht davon auszugehen." [22, Seite 15]

"... auch der Frequenzbereich unter 8 Hz sollte im ganzheitlichen Immissionsschutz berücksichtigt werden." [22, Seite 25]

"Es kann ... gezeigt werden, dass komplexe Geräusche auch schon dann wahrnehmbar sind, wenn die einzelnen Komponenten unterhalb der Hörschwelle liegen." [22, Seite 25]

"Aufgrund der großen Wellenlänge von Infraschallphänomenen von mehreren Metern und der äußerst geringen Abnahme von Infraschall über den Abstand gibt es auch zahlreiche Fälle von nicht identifizierbaren Infraschallimmissionen." [22, Seite 42]. Mehrere Meter bezieht sich dabei auf die Größenordnung von 0,25 Hz entsprechen rund 1.370 m, 1 Hz entsprechend rund 340 m und 20 Hz rund 17 m.

"Die A-Bewertung wird in der Literatur vielfach als ungeeignet angesehen, um tieffrequente Geräusche in ihrer Belästigung richtig einschätzen zu können ... " [22, Seite 55], siehe dazu auch Kap. 4.3)

"... ist es derzeit kaum möglich, sich wirksam gegen den tieffrequenten Lärm von außen zu schützen ..." [18, Seite 55]

"... dass Prognosen nicht selten von den gemessenen Ergebnissen erheblich abweichen." [14, Seite 56] "Bei Windenergieanlagen scheint dieses Problem vorzuherrschen, denn bei entsprechenden Untersuchungen werden häufig Abweichungen zwischen Modell und Messung ... festgestellt." [22, Seite 56]

Weiter heißt es:

„Zur Verbesserung der Prognose werden deshalb nach Turnbull et al. (2012) [150]¹³ Alternativen zum Kugelwellenmodell vorgeschlagen, mit denen eine Abstandsverdopplung mit einer Reduktion von 6 dB verbunden wäre. Hierdurch würden allerdings die Pegel am Immissionsort regelmäßig unterschätzt werden. Bei einem Zylinderwellenmodell, von dem bei größeren Windenergieanlagen eine Verbesserung der Prognose erwartet wird (vgl. [94][54]), wären dies nur 3 dB pro Verdopplung. Wahrscheinlich ist aber auch dieses Modell zu einfach. Das charakteristische pulsierende Geräusch von Windenergieanlagen, das lange Zeit mit dem Passieren eines Rotorblatts am Turm erklärt wurde, wird derzeit mit dem Durchschneiden verschiedener Schichten im Windprofil erklärt. Dabei entstehende Turbulenzen könnten nach Kameier et al. (2103) [65] einen impulshaltigen Charakter verursachen. Bei solchen Turbulenzen können sich Wirbel ablösen, die auch über größere Entfernungen sehr formstabil zu einer stark gerichteten Abstrahlung führen können“.

"Durch Van den Berg (2006) ... konnte ... nachgewiesen werden, dass nachts systematisch andere Ausbreitungsbedingungen vorliegen Nicht selten ist festzustellen, dass Pegel mit zunehmendem Abstand nicht kontinuierlich abnehmen, sondern auch zunehmen können. Dieser Effekt ist durch das Windprofil bedingt." [18, Seite 57]

"Eine detaillierte Analyse der verfügbaren Literatur zeigt, dass weitgehend auf den tieffrequenten Bereich konzentrierter Schall schon bei niedrigen Pegeln das mentale Wohlbefinden deutlich beeinträchtigen kann." [18, Seite 57]

¹³ Nummern der Literaturstellen beziehen sich auf die Literaturangaben in der UBA-Studie

"Betrachtet man die exemplarisch aufgeführten Untersuchungsergebnisse, wird deutlich, dass Infraschall ab gewissen Pegelhöhen vielfältige negative Auswirkungen auf den menschlichen Körper haben kann. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass viele der negativen Auswirkungen von Infraschalleinwirkungen die Bereiche Herz-Kreislaufsystem, Konzentration und Reaktionszeit, Gleichgewichtsorgane, das Nervensystem und die auditiven Sinnesorgane betreffen." [18, Seite 62]

"Mit wachsender Höhe der Windenergieanlagen durchschneiden die Rotorblätter ein stärker variierendes Windprofil. Es ist daher fraglich, ob das Abstrahlungs- und Ausbreitungsmodell für kleinere Windenergieanlagen auf moderne, große Anlagen übertragbar ist. Aufgrund theoretischer Betrachtungen von Strömungsakustikern ist nicht davon auszugehen [18, Seite 67]

Allein aus diesen Zitatstellen ist es geboten, an den heutigen genehmigungsrechtlichen Grundlagen zu zweifeln. Die heutigen Grundlagen schützen die Anwohner vor den Auswirkungen der Windkraftanlagen nicht ausreichend. Bis zur Klärung ist zumindest eine Nachtabschaltung von Windkraftanlagen in einem Einflussbereich von 3.000 Meter zu Wohnhäusern erforderlich, um Schaden von den Menschen abzuwenden.

Die von Befürwortern der Windenergie gerne verharmlosend zitierte Aussage der Studie: *„Für eine negative Auswirkung von Infraschall unterhalb der Wahrnehmungsschwelle konnten bislang keine wissenschaftlich gesicherten Erkenntnisse gefunden werden, auch wenn zahlreiche Forschungsbeiträge entsprechende Hypothesen postulieren.“* [22, Seite 67] ist kein Beweis für die Unschädlichkeit.

In der UBA-Studie wird vielmehr zum Ausdruck gebracht, dass die Forschung starken Nachholbedarf aufweist. Speziell im Bereich der Messmittel für Frequenzen zwischen 0,1 und 8 Hz, die reale, hoch auflösende Erfassung der Frequenzspektren und die damit möglichen medizinischen Laboruntersuchungen fehlt derzeit bei den Behörden und den meisten Laboren die Basis. Geeignete Messgeräte und Auswertemöglichkeiten sind auf dem Markt vorhanden (Microbarometer, FFT-Analysatoren, Korrelation mit Körperschall), werden aber von den Behörden oder den beauftragten Laboren nicht beschafft.

3.4.2 Falmouth, MA, USA

Michael Bahtiarian [30] hat nach Beschwerden der Anwohner durch Messungen im Dez. 2014 in **Falmouth, Massachusetts, USA**, den Infraschall eines Windparks im Frequenzbereich von 0 - 10 Hz näher untersucht. Er hat nachgewiesen, dass sich die Grund-Frequenz (1x BPF, Blade Pass Frequency) und die Vielfachen davon (Flügelharmonische 2x BPF; 3x BPF usw.) deutlich vom Umgebungsgeräusch abheben. Das Frequenzspektrum des Umgebungsgeräusches ist in der schwarzen Kurve dargestellt (Windturbine steht). Es ist im Wesentlichen ein Rauschen. Würde an dieser Stelle kein Windpark stehen, wäre das Grundgeräusch deutlich niedriger, da alleine das Vorhandensein der Anlagen zu Strömungsgeräuschen führt (Praktisches Beispiel: Luft durch den Mund ausblasen und einen Finger in den Luftstrom führen ==> der Schallpegel steigt beim Durchgang des Fingers durch den Luftstrom).

Die rote Kurve ist das Frequenzspektrum des Schalldrucks im Haus, wenn die Windturbine in Betrieb ist, die grüne Kurve ist die Messung außerhalb des Hauses, ebenfalls bei Betrieb. Tonale Anteile (Frequenzspitzen) im Schallspektrum wirken dabei störender und schädlicher als breitbandiges Rauschen.

Die Wirkung auf den menschlichen Körper ist in [Kap. 2.6](#) beschrieben.

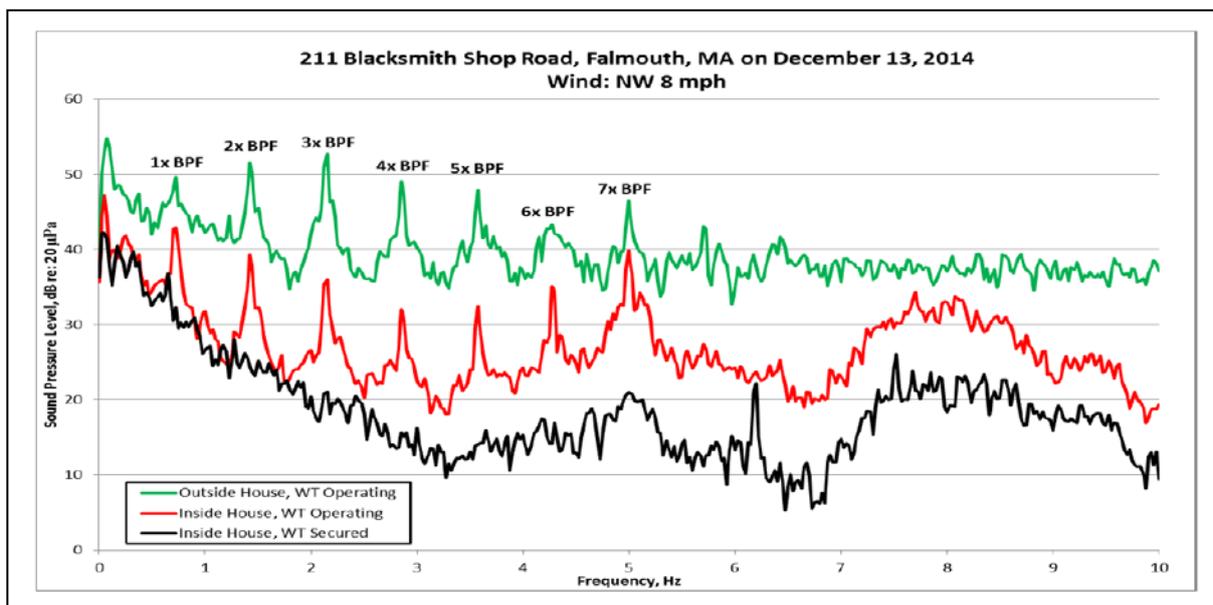


Bild 24: Frequenzanalyse eines tieffrequenten Schallsignales einer Windkraftanlage

Im abgebildeten Beispiel (Bild 24) ist die Grund-Frequenz (1xBPF) bei etwa 0,7 Hertz gut zu erkennen.

Die nachfolgenden Spitzen entstehen, weil sich auch Vielfache (2xBPF usw.) der ersten Frequenzspitze ausbreiten. Die Spitzen treten deutlich aus dem Umgebungsgeräusch hervor. Wie oben beschrieben führen gerade die hervortretenden Spitzen auf Dauer zu gesundheitlichen Schäden.

In diesem Fall hat ein US-Gericht entschieden, dass beide Windturbinen in der Zeit von 19:00 bis 07:00 Uhr abgeschaltet werden müssen.

Anzumerken ist, dass die Graphen in Bild 24 aus über 20.000 Punkten bestehen. Bei der Auswertung des LUBW oder den anderen Behörden wird nur ein einziger Messpunkt bei 8 Hz dargestellt.

Im betrachteten Fall handelte es sich um mittlere Anlagen, Vestas V82, mit 1,65 MW, Rotorfläche 5.281 Quadratmeter. Sie standen rund 400 und 800 Meter vom Anwesen entfernt. Dies sind auch die typischen Mindestabstände in den Bundesländern z.B. Schleswig-Holstein. Es kann davon ausgegangen werden, dass die heutigen größeren Anlagen, z.B. Vestas 112, mit 3,3 MW oder Enercon E-126 mit 7,58 MW signifikant höhere Schallpegel bei deutlicher Verschiebung zu Infraschall-Frequenzen (vergl. [Kap. 3.4.2](#)) emittieren, welche sich noch deutlicher vom Umgebungsgeräusch abheben. Die in Schleswig-Holstein und den meisten Bundesländern festgelegten Mindestabstände sind deutlich zu gering. Nur Bayern macht mit der 10 H Regel eine löbliche Ausnahme und weist zumindest in die richtige Richtung.

3.4.3 Messung BGR, Ceranna

Bereits 2004 hatten Lars Ceranna, Gernot Hartmann und Manfred Henger, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in ihrer Untersuchung, die sie an einer Windkraftanlage in der Nähe von Hannover durchführten, vermerkt [6]: *„Der durch die Flügelbewegung hervorgerufene Lärm beschränkt sich dabei nicht nur auf den hörbaren Bereich, denn auf Grund ihrer Größe und geringen Rotationsgeschwindigkeit wird ein erheblicher Energieanteil unterhalb von 20 Hz, als Infraschall abgestrahlt.“* Die Autoren konnten deutlich die Grund-Frequenz, die sich aus der Drehzahl und dem Vorbeistreichen am Mast ergibt, und die Vielfachen davon nachweisen (Bild 25).

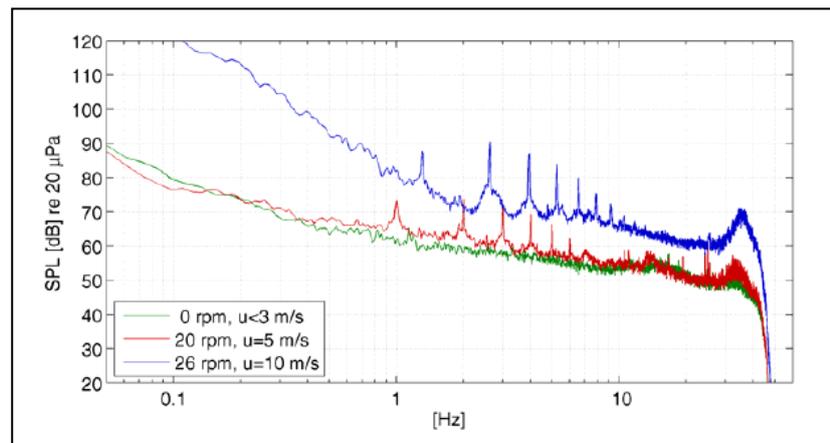


Bild 25: Frequenzanalyse des Schallsignales einer Windkraftanlage bei Hannover [6]

Von Windkraftbefürwortern wird eingewendet, dass diese Messung in nur 200 Meter von der Anlage entfernt aufgenommen worden ist und damit nicht aussagekräftig sei. Dem ist zu entgegnen, dass bei einer Frequenz von 1 Hertz die Wellenlänge 343 Meter beträgt und die Infraschallwelle bei 200 Meter noch gar nicht richtig ausgeprägt, trotzdem deutlich zu erkennen ist. Ferner wurde in weiteren Untersuchungen ermittelt, wie weit sich die Infraschallwellen verschieden großer Anlagen ausbreiten. Bild 26 zeigt deutlich, wie weit sich der Infraschall heutiger Windkraftanlagen mit etwa 3 MW Leistung ausbreitet [6].

Da die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Auswertungen für zur Erdbebenforschung und Messungen zur Überwachung des Atomtestabkommen durchführt, besitzt diese Anstalt entsprechen geeignete Mess- und Auswerteeinrichtungen.

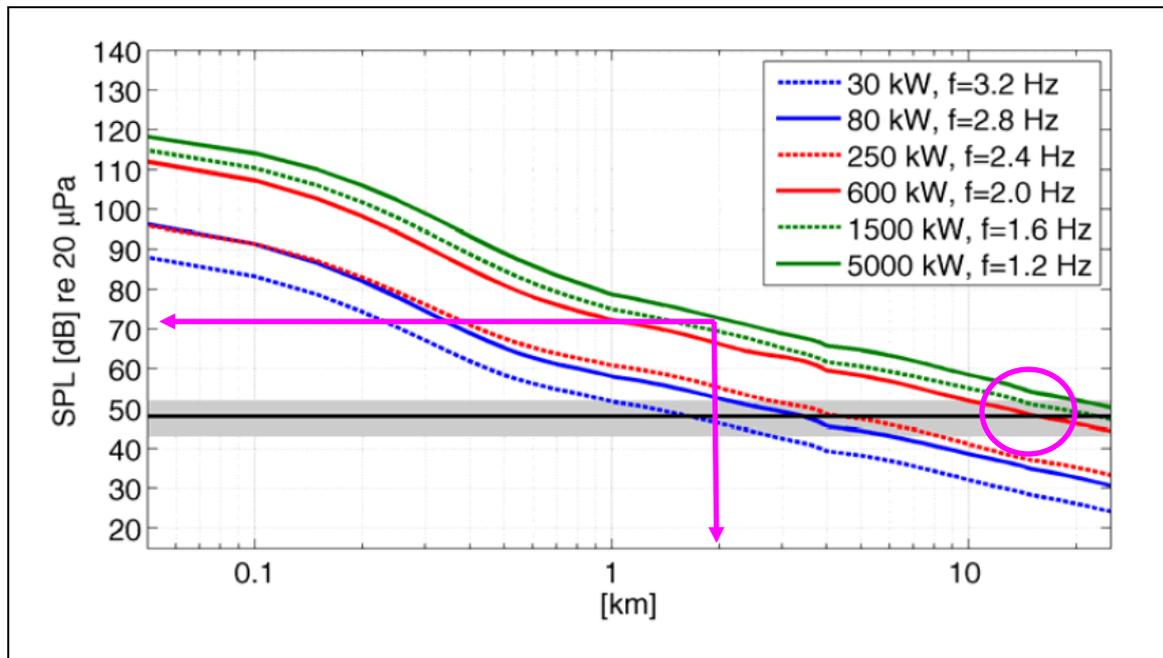
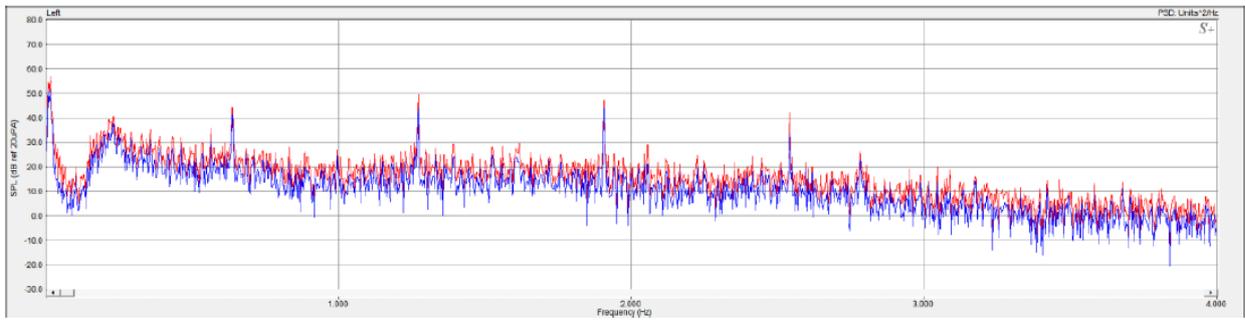


Bild 26: Verlauf des emittierten Schalldruckpegels (SPL) mit der Entfernung zur Quelle für die 2. Flügelharmonische = zweite Blattdurchauffrequenz. [6]

Dargestellt ist der Schalldruckpegel (SDP) der zweiten Flügelharmonischen (in den Kurven Bild 25 jeweils als zweite Spitze von links zu sehen). Sie hebt sich nach mehr als 10 km immer noch vom Hintergrundgeräusch (grauer waagerechter Balken) ab. Nach 2 km liegt der Schalldruckpegel noch 20 dB über dem Hintergrundgeräusch und über 10 dB über der Reaktionsschwelle des menschlichen Ohres. Dieser Wert, der etwa bei 60dB liegt, wird erst in einem Abstand von 4 km unterschritten. Dies führt unweigerlich bei einem Teil der Bevölkerung zu Störungen und Irritationen im Körper, auch wenn offiziell die sogenannte Wahrnehmungsschwelle nicht überschritten ist. Damit sind wir bei den gesundheitlichen Auswirkungen des Infraschalls.

Eine Messung durch GuSZ GmbH im Sept. 2015 bestätigt die Aussagen von Ceranna. GuSZ konnte die Flügelharmonischen in einer Entfernung von knapp über 10 km nachweisen.¹⁴ Sie heben sich über 20 dB (also deutlich) vom Umgebungsrauschen ab. Die Flügelharmonische bei 1,28 Hz erreicht z.B. etwa 50 dB, während das Grundrauschen bei etwa 20 dB liegt (siehe Bild 27).

¹⁴ Eigene Messungen von GuSZ; <http://umweltmessung.com/infraschall-von-windkraftanlagen/>



0-4 Hz, PSD (lin), FFT Size 65536, Spectral Line Resolution 0,001 Hz

Bild 27: Schalldruckpegel (SPL) analysiert mit hochauflösender FFT,
Entfernung zur Schallquelle knapp über 10 km. Messung: GuSZ GmbH

3.4.4 Untersuchung Cape Bridgewater Wind Farm, Australien, 2014

In Australien, CAPE BRIDGEWATER WIND FARM, wurde durch **Steven Cooper** ebenfalls ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Windkraftanlagen und gesundheitlichen Beschwerden hergestellt [29]. Auch in Bild 28 sind die charakteristischen Frequenz-Spitzen im tieffrequenten Bereich zwischen 0-8 Hz zu sehen, welche weder in der TA-Lärm noch der DIN 45680 berücksichtigt werden. (vergl. Bild 8). Das Besondere an dieser Untersuchung ist, dass der Windkraftbetreiber voll kooperierte und die Anlagen an- und abgestellt hat. Die Bewohner protokollierten alle 2 Stunden den Zeitpunkt und ihre Beschwerde-Lage. Sie wussten nicht, wann der Betrieb der Windkraftanlagen zu Frequenzspitzen führte und wann nicht.

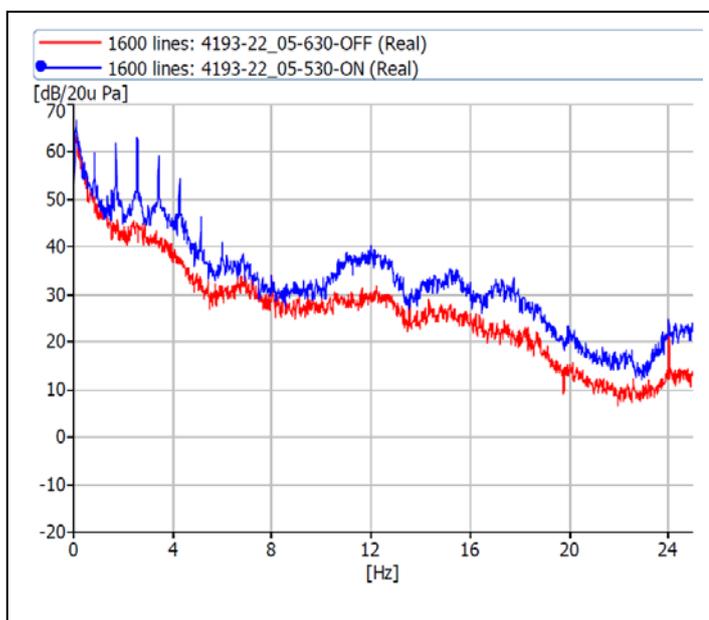


Bild 28: Charakteristische Frequenzspitzen
Cape Bridgewater Wind Farm, Australien

Diese Frequenz-Spitzen besitzen mal einen hohen Schalldruckpegel (in dB) und mal einen niedrigen. Das hängt von der momentanen Leistung der Windkraftanlage und ihrer zeitlichen Änderung ab (abhängig von der Windgeschwindigkeit selbst und deren Änderung).

Cooper entdeckte nun Folgendes:

Genau zu dem Zeitpunkt, zu dem die Frequenz-Spitzen einen hohen Schalldruck aufwiesen, traten bei den Bewohnern viele Beschwerden (sensations) auf. Bei niedrigen Schalldruckwerten traten wenig Beschwerden auf.

Nun sollen für die Leser diese Erkenntnisse bildlich dargestellt werden. Cooper zeigt im nachfolgenden Bild 29 diesen Zusammenhang auf. Die Diagrammachsen (Frequenz und dB) sind von den Frequenzanalysen übernommen. Cooper bezieht in seine Analysen auch den Frequenzbereich um die 30 Hertz mit ein, weil dort ebenfalls charakteristisch hohe Spitzen vorkommen. Die Frequenzspektren sind allerdings nicht dargestellt, damit das Bild übersichtlich bleibt. Die roten und blauen Punkte zeigen die Häufung der Beschwerden in Abhängigkeit von diesen Frequenzspitzen.

Die roten Punkte bedeuten, viele Beschwerden (sensations) treten auf, wenn auch die Frequenzspitzen hoch sind. Weniger Beschwerden treten auf, wenn die Frequenzspitzen tief sind (blau Punkte). Cooper hat damit einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Betrieb eines Windparks und Beschwerden der Anwohner herstellen können.

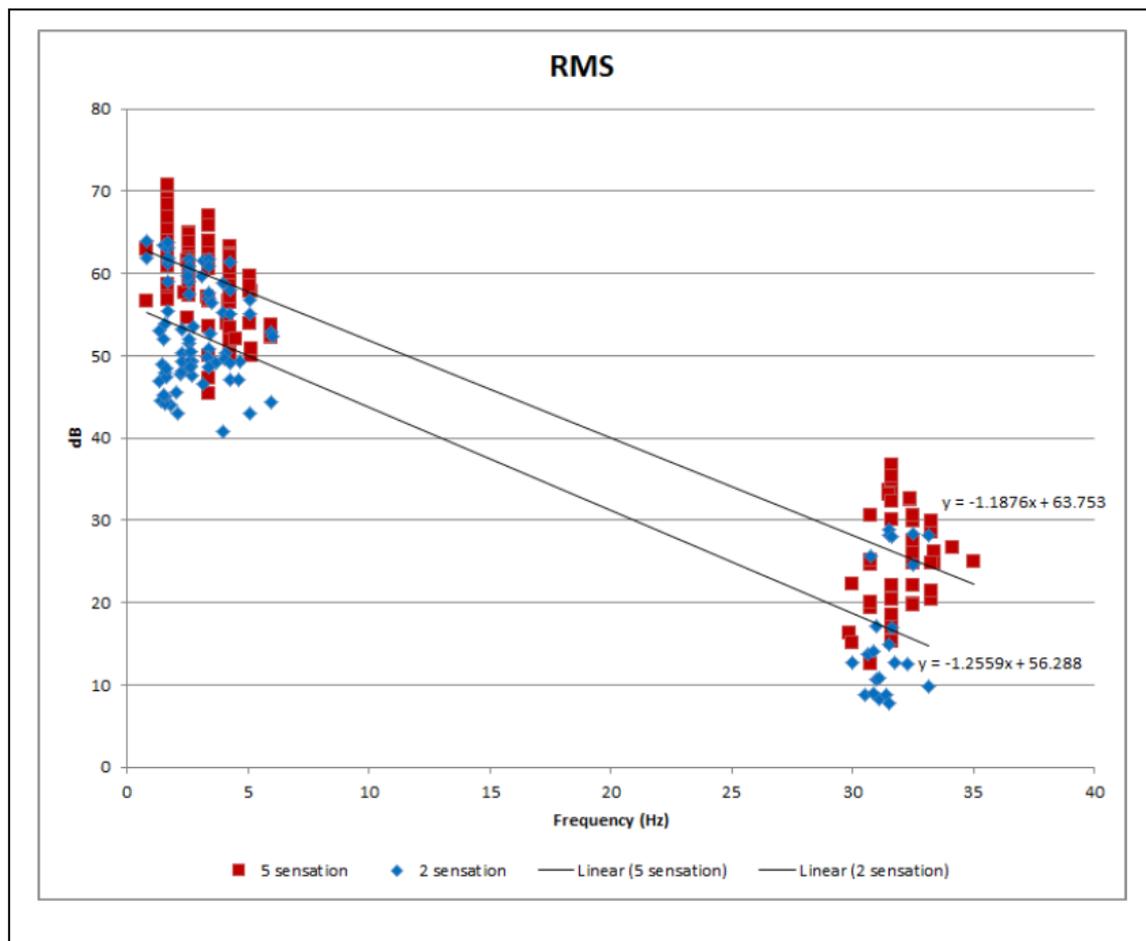


Bild 29: Abgleich Betrieb, Änderungen und Nicht-Betrieb bzw. hohe Frequenzspitzen und niedrige mit Häufigkeit der Beschwerden [29]

Der Bericht von Cooper umfasst über 230 Seiten plus zahlreiche Anhänge. In dieser Kommentierung konnte daher nur ein Teil dargestellt werden. Dies ist aber ausreichend, um den wesentlichen Zusammenhang zwischen Betrieb von Windkraftanlagen und gesundheitlichen Beschwerden aufzuzeigen.

3.5 Fazit aus den bisherigen Studien

Ein Hauptproblem aller Deutschen Studien ist, dass Frequenzen unter 8 Hz nicht berücksichtigt sind. Weiterhin sind die für die Messungen herangezogenen Normen nicht für die Messung und Bewertung großer Windkraftanlagen konzipiert. Es werden Terz- oder Oktavmessungen und Mittelwertbildungen verwendet, welche die schmalbandigen tonalen Schallspitzen der Windkraftanlagen unterhalb von 8 Hz extrem „einebnen“, so dass diese nicht mehr als Peak gesehen werden. Fourieranalysen sind in keiner relevanten Deutschen Norm verankert vgl. [Kap. 2.5](#).

Nach Stand der medizinischen Erkenntnisse sind es aber genau diese kontinuierlich wiederkehrenden, deutlich herausstehenden Peaks, die gesundheitliche Probleme verursachen.

Ferner ist die A-Bewertung nicht geeignet, die Schallemissionen von Windkraftanlagen richtig zu bewerten (vgl. [Kap. 2.7](#) und [Kap. 4.3](#)).

4 Beurteilung der heutigen Basis der Genehmigung

4.1 TA Lärm

Die Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) ist vom 26. August 1998. Sie *„dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche sowie der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche.“*

Weiter heißt es in der TA Lärm: *„Eine Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb einer genehmigungsbedürftigen Anlage ist nach § 6 Abs. 1 Nr. 1 in Verbindung mit § 5 Abs. 1 Nr. 1 und 2 BImSchG nur zu erteilen, wenn sichergestellt ist, dass die von der Anlage ausgehenden Geräusche keine schädlichen Umwelteinwirkungen hervorrufen können ...“*

„Bei Geräuschübertragungen innerhalb von Gebäuden oder bei Körperschallübertragung betragen die Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel für betriebsfremde schutzbedürftige Räume nach DIN 4109, Ausgabe November 1989, unabhängig von der Lage des Gebäudes ... nachts 25 dB(A)“.

Es ist mittlerweile Stand der Technik und des Wissens, dass aufgrund der Schallcharakteristik der Windräder die vorgegebene A-Bewertung der Schalldruckpegel ungeeignet ist, Schaden von der betroffenen Bevölkerung abzuwenden. Zur Schallcharakteristik von Windkraftanlagen siehe Studien in [Kap. 3.4](#).

Warum der A-bewertete Schallpegel als Beurteilungspegel grundsätzlich ungeeignet ist, wird in [Kap. 2.7](#) und [Kap. 4.3](#) behandelt.

Die TA Lärm ist auf dem Wissensstand von Anfang 1990. (Siehe beispielhaft die nachfolgenden Zitate aus der TA Lärm.)

2.6 Schalldruckpegel $L_{AF}(t)$

Der Schalldruckpegel $L_{AF}(t)$ ist der mit der Frequenzbewertung A und der Zeitbewertung F nach DIN EN 60651, Ausgabe Mai 1994, gebildete momentane Wert des Schalldruckpegels. Er ist die wesentliche Grundgröße für die Pegelbestimmungen nach dieser Technischen Anleitung.

Mittelungspegel L_{Aeq}

Der Mittelungspegel L_{Aeq} ist der nach DIN 45641, Ausgabe Juni 1990, aus dem zeitlichen Verlauf des Schalldruckpegels oder mit Hilfe von Schallpegelmessern nach DIN EN 60804, Ausgabe Mai 1994, gebildete zeitliche Mittelwert des Schalldruckpegels.

Nach TA Lärm A 2.3.1 soll die Berechnung der Immissionspegel in Oktaven, in der Regel für die Mittenfrequenzen 63 bis 4000 Hz erfolgen. Ein großer Teil der Schallleistung von WKA wird aber im tieffrequenten Bereich emittiert. Diese Schallleistungen der WKA bleiben unberücksichtigt.

4.2 Normen sind nicht mehr auf dem Stand des Wissens

4.2.1 Ausbreitungsrechnung DIN 9613-2

Die DIN 9613-2, Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, stammt aus dem Jahr 1996. Da man für die Schallprognoseberechnung nichts Besseres kannte, wurde diese DIN als Berechnungsgrundlage für die Genehmigungsverfahren von Windkraftanlagen herangezogen. Da die Windkraftanlagen noch unter hundert Meter maßen und die Abstände zu den Wohnbebauungen annähernd der 10-H-Regel folgten, fiel eine ungenaue Berechnung zu Gunsten der Betreiber kaum auf. Grundlegendes siehe auch [Kap. 2.8](#).

Zum Anwendungsbereich schreibt die DIN 9613-2, dass der „A-bewertete Dauerschalldruckpegel (wie in ISO 1996-1 bis ISO 1996-3 beschrieben) von Schallquellen mit bekannter Geräuschemission unter schallausbreitungsgünstigen Witterungsbedingungen vorausberechnet“ werden kann. Die in der DIN 9613 genannten Bedingungen „gelten für die Mitwindausbreitung nach ISO 1996-2 : 1987, 5.4.3.3, oder gleichwertig für Schallausbreitung bei gut entwickelter, leichter Bodeninversion, wie sie üblicherweise nachts auftritt.“ Man könnte also meinen, in der DIN sind die meteorologischen Aspekte ausreichend berücksichtigt.

Der Absorptionskoeffizient α der Luft (= Luftdämpfungskoeffizient) in dB/km ist stark von der Schallfrequenz, der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchte abhängig [DIN 9613-2 Anmerkung 8]. Damit ist auch die Luftabsorption A_{atm} stark von diesen Größen abhängig.

Üblicherweise wird bei der Schallprognose mit einem Luftdämpfungskoeffizient α gerechnet, der für die Temperatur 10°C, die relative Feuchte 70 % und die Mittenfrequenz 500 Hz gilt. Der Luftdämpfungskoeffizient α beträgt dann 1,9 dB/km. Für die Bandmittenfrequenz 63 Hz beträgt der Luftdämpfungskoeffizient α lediglich 0,1 dB/km, siehe nachstehende Tabelle.

Temperatur	Rel. Feuchte	Luftdämpfungskoeffizient α , dB/km							
		Bandmittenfrequenz, Hz							
°C	%	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1,0	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

Tabelle 4.2.1: Luftdämpfungskoeffizient α für Oktavbänder gemäß DIN 9613-2, Tabelle 2

Für die Ausbreitungsrechnung wird mit 10°C gerechnet. Im Winter, in der Übergangszeit und nachts herrschen aber meist Temperaturen unter 10°C. Die Ausbreitungsrechnung führt also zu niedrigeren Schalldruckpegeln am Immissionsort als dann bei Betrieb tatsächlich auftreten. Die Behörden weigern sich in der Regel, echte Messungen durchführen zu lassen, da laut Prognose keine Überschreitung zu erwarten ist.

Die Prognose des Schalldruckpegels nach der Norm ist also unzureichend. Dass der Pegel in der A-Bewertung bei 63 Hz auch noch stark abgewertet wird, wird in [Kap. 2.7](#) und [Kap. 4.3](#) behandelt.

Die tatsächlichen Schallimmissionswerte sind im Vergleich zu den prognostizierten Pegeln speziell für Mitwindwetterlagen und Abstände über 500 m höher als die nach DIN 9613-2 berechneten [7; 26; 35]. Die Studie von Engelen und Wenzel, Uppenkamp & Partner im Auftrag des Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) zeigt eindeutig, dass je nach Entfernung mehr als 4 bis 5 dB(A) gegenüber dem allgemeinen Verfahren nach DIN 9613-2 gemessen werden [35, Seite 17]. Die Berechnungsart nach DIN 9613-2 ist zum Vorteil der Anlagenbauer und Betreiber, weil diese eine Genehmigung erhalten, wo eigentlich keine erteilt werden dürfte. Sind die Anlagen dann gebaut, haben zuerst die Anwohner das Problem und müssen sich um Nachmessungen kümmern. Meist werden dann höhere Immissionswerte gemessen (z.B. von Engelen und Wenzel [35]). Dies wird auch durch Urteile bestätigt [z.B. OLG München AZ 27 U 3421/11 und 27 U 50/12. vom 14.08.2012 und BVerwG 4 C 2.07 – Urteil vom 29. August 2007, Aufhebung der Baugenehmigung wegen Lärmbelästigungen durch Windenergieanlage].

Eine Schallprognose als Basis für ein Genehmigungsverfahren muss aber so zuverlässig sein, dass mit Sicherheit die Richtwerte eingehalten werden. Eine gesundheitliche Gefährdung der Bewohner im Einwirkungsbereich muss ausgeschlossen werden.

Luftschall wird bei hohen und mittleren Frequenzen mit zunehmendem Abstand durch Hindernisse und Bodenrauigkeiten stärker gedämpft als tieffrequenter Schall. Tieffrequenter Schall und Infraschall unterliegen auf Grund der großen Wellenlänge (343 m bei 1 Hz) deutlich geringerer Abstandsämpfung. Je niedriger die Frequenz, desto weiter reicht der Schall. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass in der Nacht oft stabile Luftschichtungen vorliegen, welche Schallwellen reflektieren und sogar verstärken können (vgl. [Kap. 2.9](#) und [Kap. 4.4](#)). Dies ist auch in der Studie des UBA thematisiert (vergl. [Kap. 3.4.1](#)).

R.A. Dietrich [7] wies bereits 2005 auf die Unzulänglichkeiten hin.

In der DIN 9613-2 sind meteorologischen Aspekte ebenfalls nicht ausreichend berücksichtigt (siehe [Kap. 2.9](#) und [Kap. 4.4](#)). Dadurch treten insbesondere nachts höhere Schalldruckpegel am Immissionsort auf als berechnet.

Der Schutz der Bevölkerung ist durch diese Norm in Zusammenhang mit den großen Windkraftanlagen nicht mehr gewährleistet.

Wie oben angeführt ist in Fachkreisen bekannt ist, dass die heutigen Richtlinien und Normen für die Genehmigung von Windkraftanlagen nicht dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Die Schallprognose wird zu gering berechnet. Der Unterausschuss für Normung NA 001-02-03-19 UA „Schallausbreitung im Freien“ hat daher ein „**Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen**“ herausgegeben.¹⁵

Dort heißt es:

"Für die Prognose von Immissionspegeln von Windkraftanlagen gibt es kein nationales Regelwerk, das ohne Einschränkungen oder Sonderregelungen auf die Schallausbreitung anwendbar ist."

Ferner heißt es in der Einleitung:

¹⁵ <http://www.beuth.de/de/publikation/dokumentation-schallausbreitung/235920529>

"Diese Norm (gemeint ist die alte, aber noch gültige DIN 9613-2) schließt aber explizit ihre Anwendung auf hochliegende Quellen aus."

Es wird also empfohlen, für Windkraftanlagen als hochliegende Quellen die Schallausbreitung nach dem Interimsverfahren durchzuführen. **In der Praxis wird dieses Interimsverfahren von den Behörden aber nicht angewendet, weil es zu größeren Abständen zwischen Windkraftanlagen und Wohnbebauung führt.**

4.2.2 Tieffrequente Geräusche DIN 45680

DIN 45680 ist veraltet und wird gerade überarbeitet. In der Beratungsgruppe herrscht Einigkeit, dass das zu betrachtende Spektrum wesentlich nach unten erweitert werden muss.

Laut Frank Kameier, „Messung und Darstellung von Infraschall – abweichend von der DIN 45680“, 2014 [23], *„wird vermutet, dass bei einer Infraschallbelastung die strenge Monotonie für körperliche Beschwerden verantwortlich ist, obwohl die Pegel deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des menschlichen Ohres liegen.“* [23, Seite 1]

Insbesondere die Monotonie des Geräusches und die Dauerbelastung sind verantwortlich für die Belästigung und die gesundheitliche Beeinträchtigung.

4.2.1 Bestimmung der Tonhaltigkeit DIN 45681

Die Tonhaltigkeit eines Geräusches wird üblicherweise nach DIN 45681, Entwurf Ausgabe Mai 1992 messtechnisch bestimmt. Auch diese Norm ist nicht auf dem Stand des Wissens.

4.3 Schallpegelbewertung (A, B... G ...Z)

Die Grundlagen der Schallpegelbewertung sind in [Kap. 2.7](#) behandelt. Für die Genehmigungsverfahren wird der A-bewertete Schallpegel benutzt. Bereits Krahe hat in der UBA-Studie aufgeführt:

"Die A-Bewertung wird in der Literatur vielfach als ungeeignet angesehen, um tieffrequente Geräusche in ihrer Belästigung richtig einschätzen zu können" [22, Seite 55].

Die A-Bewertung bei den Schallemissionen der Windkraftanlagen ist aufgrund der energetischen Verteilung zu den tiefen Frequenzen ungeeignet. Die A-Bewertung passt eher für Schallquellen mit der Hauptemission bei 500 bis 4000 Hz.

Bild 30 zeigt eine Schallmessung im Haus bei geschlossenen Fenstern an einem Immissionspunkt etwa 820 Meter von der nächsten Windkraftanlage entfernt. Unterschiede zwischen Betrieb und Nicht-Betrieb treten bei geschlossenen Fenstern hier erst unter 500 Hz auf. Die größte Erhöhung liegt dabei an der unteren Grenze des hörbaren Bereichs bei 20 bis 25 Hz. Die A-Bewertung ist daher völlig irreführend (siehe auch Bilder in [Kap. 2.7.2](#)).

Es ist nicht anzunehmen, dass jedes menschliche Gehör exakt der A-Bewertung folgt. Der Anstieg des Schallpegels im Frequenzbereich um die 20 Hertz kann gerade nachts zu erheblichen Störungen des Schlafes führen. Abhilfe kann hier eine Nachtabschaltung oder eine größere Distanz zwischen Windkraftanlage und Wohnhaus bringen.

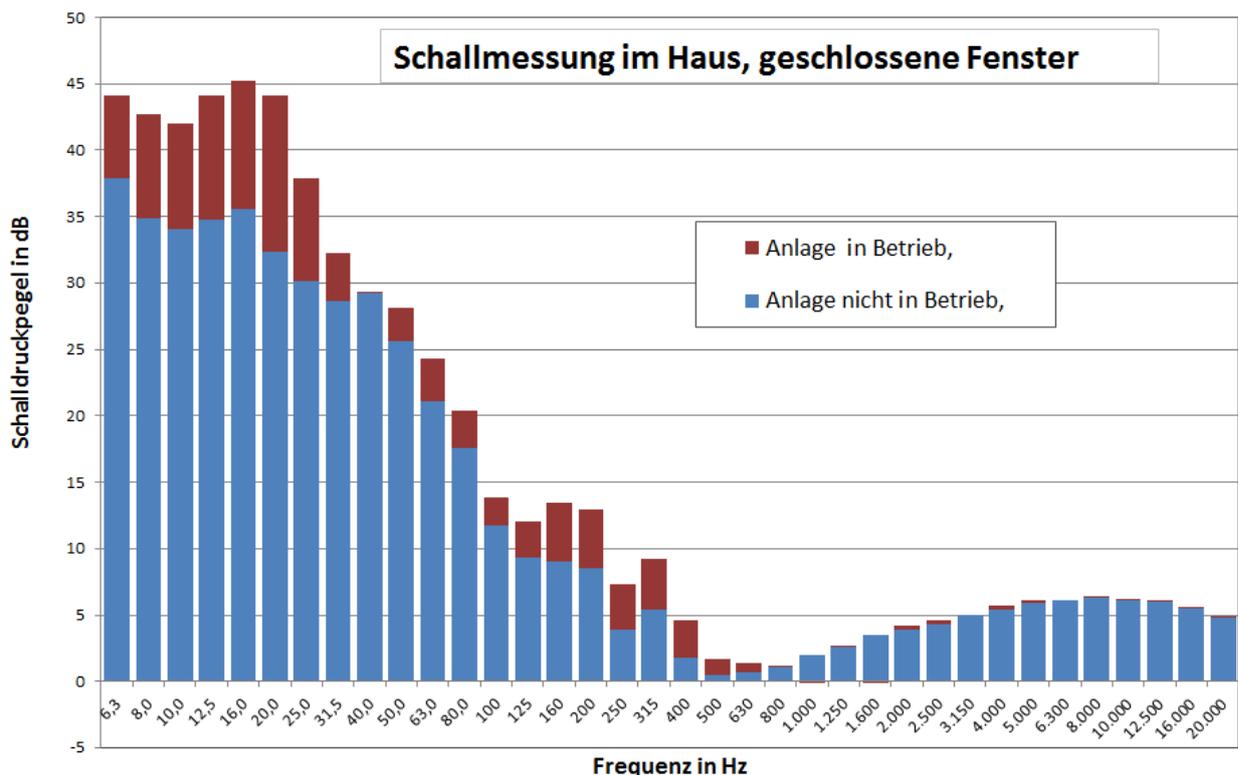


Bild 30: Terz-Frequenzanalyse des äquivalenten Dauerschallpegels, WKA in Betrieb, gemessen innen bei geschlossenen Fenstern

Der A-bewertete Summenpegel zwischen Betrieb und Nicht-Betrieb unterscheidet sich lediglich um etwa 1 - 2 dB(A), da die tiefen Frequenzen durch die A-Bewertung nicht berücksichtigt werden. Der C-bewertete Pegel unterscheidet sich um etwa 8 dB(C), da hier tiefere Frequenzen besser, aber immer noch nicht ausreichend, berücksichtigt sind, siehe Bild 31.

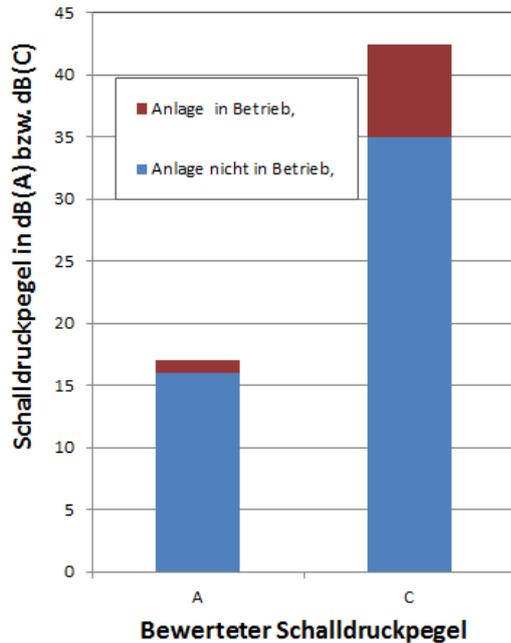


Bild 31: Vergleich A- und C-Bewertung bei ein und demselben Schallsignal

Welche Schwellen für die Bewertung der tieffrequenten Geräusche anzusetzen sind, wird in [Kap. 2.6](#) erläutert.

Grundsätzliches zur Schallpegelbewertung ist in [Kap. 2.7](#) beschrieben.

4.4 Meteorologische Aspekte bezogen auf Windkraftanlagen

Unter Begriffe und Grundlagen in [Kap. 2.9](#) wurden diese Aspekte bereits angesprochen. Hier soll nochmal betont werden, dass bei den heutigen Schallberechnungen, die insbesondere nachts herrschende Luftschichtung nicht ausreichend im Berechnungsmodell enthalten ist. Die Abstände zu Wohnbebauung werden zu kurz bzw. die Schalldruckpegel werden zu niedrig berechnet.

5 Fazit und was ist zu tun?

Hinsichtlich bestehender Gesundheitsgefahren ignorieren die Genehmigungsbehörden den Stand der Technik in den Genehmigungsverfahren von Windkraftanlagen mit der Begründung, dass alle vom Gesetzgeber vorgegebenen Normen eingehalten werden. Gerichte klären bei Klagen Betroffener ausschließlich, ob die (noch) gültigen Rechtsvorschriften eingehalten werden oder verweisen auf den Gesetzgeber. Der Gesetzgeber beruft sich wiederum auf Untersuchungen zu Schallimmissionen, welche auf eben jenen veralteten Normen beruhen, die die relevanten Schallimmissionen gar nicht messen oder berücksichtigen können.

Von namhaften Wissenschaftlern, Ärzten und Staatlichen Stellen angemahnte vertiefende Untersuchungen werden seit Jahren auf die lange Bank geschoben, um den Ausbau der Windkraft im politischen Zielkorridor zu halten.

Der Aspekt des Umwelt- und Klimaschutzes wird von der Politik nur vorgeschoben. Wirksame Werkzeuge, die eingesetzt werden könnten, um z.B. den CO₂-Ausstoß zu reduzieren, werden durch die Politik nicht genutzt. Die inzwischen beschlossene Herausnahme von 900 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten aus dem europäischen Emissionshandel, um diese in die Marktstabilitätsreserve zu nehmen, ist beispielsweise ein solches wirksames Mittel. Der Bau von Windrädern führt jedoch zu keiner Verringerung der CO₂-Emissionen. Siehe auch Jahresgutachten 2014 der Expertenkommission Forschung und Innovation; übergeben an die deutsche Bundesregierung am 26. Februar 2014 [24]. Durch geringfügiges Absenken der jährlich maximal erlaubten CO₂-Mengen könnte effizient mehr erreicht werden.

Auf der anderen Seite werden vor den gesundheitlichen Risiken die Augen geschlossen. Nach dem Motto „was ich nicht höre, sehe oder schmecke, kann doch nicht gefährlich sein“, werden die Risiken ausgeblendet. Die Realität hat uns vielfach eines Besseren belehrt (Radioaktivität, Asbest, Cadmium...).

In Anlehnung an die Länder-Öffnungsklausel sind die Menschen in Deutschland unabhängig vom Bundesland gleich zu behandeln.

Bis zur definitiven Klärung der abstandsbedingten Unschädlichkeit von Schallimmissionen verursacht durch Windkraftanlagen ist ein Moratorium notwendig und angesagt. Alternativ halten wir einen Sicherheitsabstand von 15H als notwendige Gesundheitsschutz-Sofortmaßnahme für angemessen. Als absolutes Minimum (bei weiterhin deutlichen Gesundheitsrisiken), ist ein Mindestabstand zu Wohnhäusern nach der 10-H-Regel in Anlehnung an die Länder-Öffnungsklausel und unter Hinweis auf die Gleichbehandlung der Menschen innerhalb Deutschlands erforderlich.

6 Literaturhinweise

Für interessierte Leser und Leserinnen einige Literaturhinweise und Verweise ins Internet.

6.1 Normen

- DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen
 - Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, 2001-06
 - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, 1999-06
 - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlage, 1999-02
- DIN 9613-2 Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien -
 - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, 1996
- DIN 45401, Akustik, Elektroakustik; Normfrequenzen für Messungen (zurückgezogen)
- DIN 45645-1 Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen -
 - Teil 1: Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft, Juli 1996
- DIN 45651, Oktavfilter für elektroakustische Messungen (zurückgezogen)
- DIN 45680 Tieffrequente Geräusche, 1997
- DIN EN 61260: 2003-03; Elektroakustik - Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven
- DIN EN 61400-11 „Windenergieanlagen, Teil 11: Schallmessverfahren“, September 2013
- Unterausschuss für Normung NA 001-02-03-19 UA; Schallausbreitung im Freien, Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen, 2015-05.1
<http://www.beuth.de/de/publikation/dokumentation-schallausbreitung/235920529>

6.2 Fundstellen

- [1] Bruce Nuclear Generating Station A Safety Report, NK21-SR-01320-00001, Rev. 002, July 4, 2003, predicts stability class using the Sigma defined by the US NRC (Nuclear Regulatory Commission) Proposed Revision 1 to Regulatory Guide 1.23: Meteorology Programs in Support of Nuclear Power Plants, 1980, and the US EPA (Environmental Protection Agency) "Guidelines on Air Quality Models" Report No, EPA-450/2-78-027R, Table 9-3, pp 9-21, 1986.
- [2] Frommhold, W., Teige, K., Fleischmann, T; Tieffrequente Schallfelder in kleinen belüfteten Räumen, Fraunhofer Institut Bauphysik, IBP-Mitteilung 257, 21, 1994
- [3] HAMMERL, C. U. J. FICHTNER (2000): "Langzeit-Geräuschimmissionsmessung an der 1-MW-Windenergieanlage Norde N54 in Wiggensbach bei Kempten (Bayern)". Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Januar 2000
- [4] Auslegung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen, Lastermittlung und Nachweis der Ermüdungsfestigkeit von Hybridtürmen für Windenergieanlagen am Beispiel einer 3,6-MW-WEA mit 100m Rotordurchmesser, Beton- und Stahlbetonbau 97 (2002), Heft 11, S. 564-575
http://www.marc-seidel.de/Papers/Hybridtuerme_fuer_WEA.pdf

- [5] SCHOLZ, S. (2003): Güte der visuellen und auditiven Geschwindigkeitsdiskriminierung in einer virtuellen Simulationsumgebung. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades im Fachbereich Sicherheitstechnik. Bergischen Universität Wuppertal. S. 117
- [6] Lars Ceranna, Gernot Hartmann & Manfred Henger;
Der unhörbare Lärm von Windkraftanlagen - Infraschallmessungen an einem Windrad nördlich von Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Referat B3.11, Seismologie, 2004
- [7] R.-A- Dietrich; Ist die DIN ISO 9613-2 zur Durchführung einer Schallprognose für Windenergieanlagen geeignet? 2005
<http://www.rudolf-adolf-dietrich.de/IN007/B-06.pdf>
- [8] Lal, Rattan. "Encyclopaedia of Soil Science" ISBN: 0849350530, Page 618, Erosion by Wind: Micrometeorology; 2006
- [9] G.P. van den Berg; The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise, RIJKSUNIVERSITEIT GRONINGEN, 2006
- [10] Hochschule Emden/Leer, 2010, Messung mit Schallkamera
http://www.google.de/imgres?imgurl=http://www.pro-physik.de/SpringboardWebApp/userfiles/prophy/image/Hightech/101022_kamera_350.jpg&imgrefurl=http://www.pro-physik.de/details/news/1117381/Schall_sehen.html&h=186&w=350&tbid=hzAkV6SRKN4uKM:&zoom=1&tbnh=90&tbnw=169&usq=TgB3QakC-tWB7PTFhGpWsYmA5C0=&docid=6U60sYSenZ5F_M
- [11] Ärzteforum Emissionsschutz Unabhängiger Arbeitskreis Erneuerbare Energien - Bad Orb
Gefährdung der Gesundheit durch Windkraftanlagen (WKA), Okt. 2013
- [12] Ärzte für Immissionsschutz, <http://www.aefis.de/>
- [13] Vorträge zu Schallemissionen von Windkraftanlagen
Dr. med. Johannes Mayer <https://www.youtube.com/watch?v=V5ZkfXbXmzo>
Dr. med. Holger Repp <https://www.youtube.com/watch?v=YsqeM0913Ws>
Dr. Eckard Kuck <https://www.youtube.com/watch?v=9MJOFxxiuJg>
- [14] Studiensammlung zum Thema Infraschall und tieffrequenter Lärm
<http://www.windwahn.de/index.php/wissen/hintergrundwissen/studien-sammlung-zum-thema-infraschall-und-tieffrequenter-laerm>
- [15] Das Zusammenspiel Emissionshandel, EEG, Stromerzeugung und CO2-Einsparung
<http://www.vernunftkraft.de/de/wp-content/uploads/2014/09/Vortrag-Gerhard-Artinger.pdf>
- [16] Bayerischen Landesamt für Umwelt; UmweltWissen – Klima und Energie, Windenergie in Bayern Neufassung: Juli 2012, Überarbeitung Sept. 2013
- [17] Bayerischen Landesamt für Umwelt; UmweltWissen – Klima und Energie, Windkraftanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit?“ Neufassung: März 2012, 4. aktualisierte Auflage: November 2014
- [18] LUBW: Tieffrequente Geräusche und Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen. Zwischenbericht über Ergebnisse des Messprojektes 2013-2014
http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/223895/2015-02-04_Zwischenbericht_final.pdf?command=downloadContent&filename=2015-02-04_Zwischenbericht_final.pdf

- [19] Håkan Enbom; MD, PhD, HNO-Facharzt, Otoneurologe , Spezialist für Erkrankungen des Gleichgewichtsorgans
Inga Malcus Enbom; HNO-Facharzt , Allergologin und Spezialistin für Überempfindlichkeitsreaktionen; beide HNO-Klinik Ängelholm, Schweden
Infraschall von Windenergieanlagen– ein ignoriertes Gesundheitsrisiko
Deutsche Übersetzung entnommen von
<http://www.windwahn.de/index.php/krankheit-56/infraschall/schwedische-studie-ueber-infraschall>
Originaltext im Schwedischen Ärzteblatt vom 06.August 2013:
<http://www.lakartidningen.se/Opinion/Debatt/2013/08/Infrajud-fran-vindkraftverk---en-halsorisk/>
- [20] A. N. Salt, J.T. Lichtenhan; „Perception-based protection from low- frequency sound may not be enough“, InterNoise 2012. <http://oto2.wustl.edu/cochlea/>
- [21] A. N. Salt, J.T. Lichtenhan; “How does wind turbine noise affect people?” 2014
<http://waubrafoundation.org.au/resources/salt-n-lichtenhan-j-t-how-does-wind-turbine-noise-affect-people/>
<http://waubrafoundation.org.au/wp-content/uploads/2014/04/Salt-Lichtenhan-How-Does-Wind-Turbine-Noise-Affect-People.pdf>
- [22] Detlef Krahe, Dirk Schreckenberg, Fabian Ebner, Christian Eulitz, Ulrich Möhler;
Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall, Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Ermittlung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen, UBA Texte 40/2014,
<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/machbarkeitsstudie-zu-wirkungen-von-infraschall>
- [23] Frank Kameier; Messung und Darstellung von Infraschall – abweichend von der DIN 45680, 2014; Fachhochschule Düsseldorf, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Fachgebiet Strömungstechnik und Akustik, Josef-Gockeln-Str. 9, 40474 Düsseldorf, Deutschland, Email: frank.kameier@fh-duesseldorf.de
- [24] EEG, Jahresgutachten 2014 der Expertenkommission Forschung und Innovation; übergeben an die deutsche Bundesregierung am 26. Februar 2014
<http://www.e-fi.de/gutachten.html>
- [25] ÄRZTEFORUM EMISSIONSSCHUTZ Bad Orb; Machbarkeitsstudie des Umweltbundesamtes zu den Wirkungen von Infraschall 2014; – Eine Auswahl der wichtigsten Zitate mit zusammenfassender Wertung – 20.12.2014
- [26] ÄRZTEFORUM EMISSIONSSCHUTZ Bad Orb; Windenergie und Abstandsregelungen, Abstand von Windenergie – eine wissenschaftsbasierte Empfehlung, Bad Orb, 15.12.2014
- [27] Kugler K, Wiegrebe L, Grothe B, Kössl M, Gürkov R, Krause E, Drexl M.; Low-frequency sound affects active micromechanics in the human inner ear, 18. August 2014
<http://rsos.royalsocietypublishing.org/>
- [28] Claire Paller; Exploring the Association between Proximity to Industrial Wind Turbines and Self-Reported Health Outcomes in Ontario, Canada, Master thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada, 2014
- [29] Steven Cooper; THE RESULTS OF AN ACOUSTIC TESTING PROGRAM CAPE BRIDGEWATER WIND FARM
44.5100.R7:MSC; Prepared for: Energy Pacific (Vic) Pty Ltd, Level 11, 474 Flinders Street, MELBOURNE VIC 3000, Date: 26th Nov, 2014
<http://www.pacifichydro.com.au/files/2015/01/Cape-Bridgewater-Acoustic-Report.pdf> oder
<https://www.wind-watch.org/documents/results-of-an-acoustic-testing-program-cape-bridgewater-wind-farm/>

- [30] Michael Bahtiarian, Allan Beaudry; Infrasound Measurements of Falmouth Wind Turbines Wind #1 and Wind #2, February 27, 2015,
Prepared by: NOISE CONTROL ENGINEERING, LLC 799 Middlesex Turnpike, Billerica, MA 01821
- [31] M.A.Swinbanks; MAS Research Ltd, 8 Pentlands Court, Cambridge CB4 1JN, Direct Experience of Low Frequency Noise and Infrasound within a Windfarm Community.
6th International Meeting on Wind Turbine Noise, Glasgow 20-23 April 2015
- [32] Bundesverband für Windenergie (BWE), Hintergrundpapier Infraschall, März 2015:
<https://www.wind-energie.de/sites/default/files/attachments/page/infraschall/20150312-hintergrundpapier-infraschall-windenergieanlagen.pdf>
- [33] Land Hessen, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (HMWEVL); Bürgerforum Energieland Hessen: Faktenpapier Windenergie und Infraschall (Entwurf, Feb. 2015), http://www.energieland.hessen.de/faktenpapier_infraschall
- [34] Kommentar der Ärzte für Immissionsschutz und des Ärzteforum Emissionsschutz Bad Orb zum Entwurf des „Faktenpapier Windenergie und Infraschall“ herausgegeben durch die Hessen Agentur GmbH im Auftrag des hessischen Wirtschaftsministeriums [19], Bad Orb, 17. April 2015
- [35] Engelen J, Wenzel P; Uppenkamp & Partner, Schalltechnischer Bericht der erweiterten Hauptuntersuchung zur messtechnischen Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen für die Geräusche von hohen Windenergieanlagen zur Nachtzeit und Vergleich der Messergebnisse mit Ausbreitungsberechnungen nach DIN ISO 9613-2, LANUV NRW, Forschungsvorhaben Nr.14 1446 11-2, 11.11.2014
- [36] Manfred Schmidt, Müller BBM; Forschungsprojekt zu Kurven gleicher Lautstärke für DIN 45680, Abschlussbericht Nr. M111460/04, 30. März 2015
- [37] Martin Bauer, Tilmann Sander-Thömmes, Albrecht Ihlenfeld, Simone Kühn, Robert Kühler, Christian Koch; INVESTIGATION OF PERCEPTION AT INFRASOUND FRE-QUENCIES BY FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IM-AGING (FMRI) AND MAGNETOENCEPHALOGRAPHY (MEG), The 22nd International Congress on Sound and Vibration, Florence, Italy 12-16 July 2015
- [38] Engelen; Ahaus; Piorr; Messtechnische Untersuchung der Schallausbreitung hoher Windenergieanlagen, Lärmbekämpfung 2015-10 Nr.6
- [39] LUBW: Windenergie und Infraschall, Tieffrequente Geräusche von Windkraftanlagen. aktualisierte Fassung 2015-10, 6. Auflage
<http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/223628/>

6.3 Aus UBA Machbarkeitsstudie (Auszug)¹⁶:

- [54] Hubbard, H.H., Shepherd, K.P. (1991). Aeroacoustics of large windturbines. Journal of the Acoustical Society of America (JASA), 89(9), 2495-2508
- [65] Kameier, F., Pohlmann, T., Köhl, M. (2013). Wind turbines – could they be too noisy? AIA-DAGA, Meran 2013
- [94] Møller, H., Pedersen, C.S. (2011). Low-frequency noise from large wind turbines. Journal of the Acoustical Society of America, 129(6), 3727
- [150] Turnbull, C., Turner, J., Walsh, D. (2012). Measurement and level of infrasound from wind farm and other sources. Acoustics Au, 40(1), 45-50

6.4 Spezielle Links im Internet

- [401] Schichtungsstabilität der Erdatmosphäre
https://de.wikipedia.org/wiki/Neutrale_Atmosph%C3%A4renschichtung
- [402] Pasquill Stability Classes A –F
<http://ready.arl.noaa.gov/READYpgclass.php>

¹⁶ Nummerierung entspricht der UBA-Studie