

**EINE AUSARBEITUNG ZUM THEMA:
Physikalische Vibroakustik**

1. Definition: Schall, Lärm, Umweltlärm, Infraschall

Im vereinfachenden Sprachgebrauch werden als Schall alle Töne, Klänge, Geräusche bezeichnet, die Menschen und Tiere "mit ihrem Gehör" wahrnehmen können. Physikalisch versteht man unter Schall mechanische Druckwellen des hörbaren und nicht hörbaren Schallbereichs in einem gasförmigen, flüssigen oder festen Medium. Druck = Kraft pro Fläche

Unhörbarer Schall: Ultraschall >20 kHz

Hörbarer Schall: 20 Hz-20 kHz

Unhörbarer Schall (Vibrationen): Infraschall <20 Hz

Die Problematik der Wirkung des Infraschalls scheint u.a. darin zu liegen, dass die für alle menschlichen Organe spezifischen und lebensnotwendigen Eigenschwingungen (Resonanzfrequenzen) im Bereich der Frequenzen des niedrigen Infraschalls liegen. Die Eigenfrequenzen der Organe werden durch Infraschall mit etwa der gleichen Frequenz verstärkt bzw. gestört.

Als Humanschwingungen werden mechanische Schwingungen bezeichnet (Vibrationen, Schallwellen) die von außen auf den Menschen einwirken. Die Höhe der Schwingungsbelastung ist von der Intensität, der Frequenz der Schwingung, der Schalldruckamplitude, der Schwingungsbeschleunigung, der Art der Schwingung (harmonisch, stochastisch, chaotisch, stoßartig), der Schwingungsrichtung (vertikal, horizontal) und der Dauer der Schallbelastung abhängig.

Als Lärm wird unerwünschter Schall bezeichnet, der das Wohlbefinden und/oder die Gesundheit des Menschen beeinträchtigt.

Umweltlärm ist die Anhäufung aller hörbaren und nicht hörbaren Schallereignisse die in einer spezifischen Umwelt eines Menschen vorhanden sind und sein Wohlbefinden und seine Gesundheit beeinflussen.

Abweichungen der mit A-Filter gemessenen Schalldruckwerte in dBA von den realen linearen Schalldruckwerten in dBL (5, Fig 1)

Frequenz	dB
1000 Hz	0 dB
100 Hz	-20 dB
40 Hz	-40 dB
20 Hz	-50 dB
10 Hz	-70 dB

Abweichung des mit G-Filter gemessenen Schalldruckwerts in dBG von den realen linearen Schalldruckwerten in dBL (5, Fig 1)

Frequenz	dB
10 Hz	-8 dB
1 Hz	-40 dB

- Lit.:**1) Akustische Wellen und Felder, DEGA-Empfehlung 101 März 2006 <https://www.dega-akustik.de>
- 2) www.laermorama.ch
- 3) Eigenschaften von Schall, <https://grund-wissen.de/physik/akustik>
- 4) <https://de.wikipedia.org/wiki/Humanschwingung>
- 5) Alves-Pereira M, Bakker HHC, Occupational and Residential Exposures to Infrasound and Low Frequency Noise in Aerospace Professionals: Flawed Assumptions, Inappropriate Quantification of Acoustic Environments and the Inability to Determine Dose- Response Values, Scientific J Aerosp Eng Mech 1, 2017

Dr. med. Albert Scheuer

Frankfurter Weg 2 – 35117 Münchhausen OT Niederasphe

**EINE AUSARBEITUNG ZUM THEMA:
Physikalische Vibroakustik**

2. Normen, Prüfung, Zertifikate

ISO e.V ist eine internationale Vereinigung der Normungsorganisationen zahlreicher Länder die internationale Normen (auch für Schall und Infraschall) erarbeitet. Die nationalen Normungsorganisationen sind für die nationalen Übernahmen der Normen verantwortlich.

IEC e.V ist eine gemeinnützige, nichtstaatliche Normungsorganisation für Normen im Bereich der Elektrotechnik und Elektronik. Einige Normen werden zusammen mit der **ISO e.V** entwickelt.

TÜV e.V ist eine technische Prüforganisation die Sicherheitskontrollen durchführt.

TÜV Hessen ist eine internationale Prüfgesellschaft mit Sitz in Darmstadt. Arbeitsfelder: Elektrischer Strom, Kraftwerkstechnik, Bautechnik, Umweltschutz u.a.

Lit.: Wikipedia

**EINE AUSARBEITUNG ZUM THEMA:
Physikalische Vibroakustik**

3. ISO erkennt Bewegungserkrankungen durch Infraschall unter 1 Hz an, Nov. 2019

Die "International Standards Organisation" ISO ist die globale Fachbehörde die Normen industrieller Standards, einschließlich Schallstandards, festlegt.

Im gegenwärtig gültigen ISO Handbuch, ISO9996:1996 findet sich der Abschnitt: "Mechanische Vibrationen und Schock - Störung der menschlichen Aktivität und Leistung - Klassifikation"

In diesem Dokument wird von der ISO als allgemeiner und gemeinsamer Wissenstand anerkannt, dass durch oszillierenden Niederfrequenten Schall (Infraschall) gesundheitliche Beeinträchtigungen verursacht werden:

- a) mechanische Resonanzphänomene des menschlichen Körpers durch Frequenzen über 1 Hz
- b) Bewegungserkrankungen (motion sickness) durch Frequenzen unter 1 Hz

Zitate aus dem ISO Handbuch, ISO9996:1996 "Mechanische Vibrationen und Schock - Störung der menschlichen Aktivität und Leistung - Klassifikation"

3 Definitionen

Für den Zweck dieser Internationalen Normen gelten die Definitionen in ISO 2041 und ISO 5805 sowie folgende Definitionen...

3.6 Niederfrequente Bewegung (low-frequency motion)

Kontinuierliche oder vorübergehende oszillierende Bewegungen von Komponenten des Vibrationsspektrums, die auf Menschen wirken bei Frequenzen unter 1 Hz.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die konventionelle Frequenz von 1 Hz die niederfrequente oszillierende Bewegung von dem trennt, was allgemein als "Vibration" bekannt ist (obwohl eine solche Unterscheidung in der Physik nicht existiert) ist nicht völlig willkürlich und hat einige praktische Bedeutung was die menschliche Exposition mit Vibration betrifft. Zum Beispiel, mechanische Resonanzphänomene werden bei Menschen hauptsächlich durch Frequenzen über 1 Hz verursacht, während Bewegungserkrankung (motion sickness is provoked) nur durch oszillierende Bewegungen bei Frequenzen unter etwa 1 Hz verursacht werden.

Ein anderes praktisches Beispiel, spezialisierte Messsysteme und analytische Techniken können erforderlich sein zum Messen und Bewerten von Bewegungen mit sehr kleinen Frequenzen und großen Amplitudengrößen. Aber Ingenieurstechniken können möglicherweise nicht angewandt werden bei Kontrolle der Isolierung von Vibrationen und Kontrolle von Vibrationen sehr niedriger Frequenzen.

3.11 Sinnesempfindungen

Durch Organe und physiologische Mechanismen, durch welche das menschliche Gehirn Informationen erwirbt ("input"), ist der Mensch fähig die Außenwelt zu erkennen, Beziehung aufzunehmen und durch willentliche Handlungen zu beeinflussen. Die Sinnesorgane und neuronalen Mechanismen haben auch innere Funktionen, die bewusst oder unbewusst dem menschlichen Körper ermöglichen, seinen eigenen physiologischen Zustand und Veränderungen dieses Zustands, die sich aus inneren und äußeren Gründen ergeben zu überwachen.

Anmerkung 1 zum Begriff: Niederfrequente Bewegungen und Vibrationen werden durch eine Vielfalt von Sinnesorganen und Rezeptoren wahrgenommen. Diese beinhalten das Auge, das vestibuläre Organ des Innenohrs (Gleichgewicht) und eine Reihe von Mikroorganen (Mechanorezeptoren) die in den Geweben des lebende Körpers verteilt sind und auf mannigfaltige Weise wechselnden Druck, Spannung, Position, Vibrationsbewegungen usw. signalisieren. Diese speziellen Sinnesorgane, besonders des Hörens und Sehens liefern Hinweise der Bewegung und Vibration vieler Sachverhalte zum Gehirn.

Lit.:1) ISO 9996:1996, Mechanical vibration and shock - Disturbance to human activity and performance - Classification
ICS:13.60 Vibration and shock with respect to human beings
<https://www.iso.org/standard/17931.html>

Anmerkungen (A.S.):

1. Die "International Standard Organisation" ISO anerkennt als allgemeinen und gemeinsamen Wissenstand, dass Frequenzen des Infraschalls >1 Hz und Frequenzen <1 Hz die Gesundheit beeinträchtigen bzw. Krankheiten erregen können.
2. Die "International Standard Organisation" ISO weist darauf hin, dass im Ingenieurwesen verwendete Messsysteme möglicherweise nicht zum Messen sehr niedriger Frequenzen angewandt werden können.
3. Windturbinen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie entsprechend der Zahl der Rotorblattpassagen pro Sekunden am Mast pulsierenden Infraschall <1 Hz + <20 Hz mit hohem Schalldruck aussenden, der durch die Luft (Luftschall) und den Boden (Körperschall) zum Schallempfänger weitergeleitet wird.

**EINE AUSARBEITUNG ZUM THEMA:
Physikalische Vibroakustik**

4) Kennwerte zur Lärmbeurteilung

Windturbinen bei Niederasphe und Ernsthausen (1)

Windturbine	Emissionswerte	<u>dB(A)</u>
Vestas 162-5,6MW(a)	Sound power Maximum*	104 dB(A)
Vestas 90-2,0MW(b)	Beim Neubau	104 dB**
Tacke TW600-0,6MV(b)	Beim Neubau***	98 dB(A)

a) Niederasphe

b) Ernsthausen

* Katalog Vestas: "Sound Optimised Modus depend on site and country" (1)

** Katalog Vestas: "Noise modes available" (1)

*** Broschüre TW600-0,6MV (pdf liegt vor)

Definitionen (2)

2a.1TA Lärm Schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche

Schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne dieser technischen Anleitung sind Geräuschimmissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen.

Schallleistung einer Schallquelle bezeichnet die pro Zeiteinheit (z.B. Sekunde) von einer Schallquelle abgegebene Schallenergie. Als mechanische Welle überträgt Schall zwar keine Materie, aber Energie. Energie hat die Fähigkeit Arbeit zu leisten. Energie hat deshalb die gleiche Dimension wie Arbeit, nämlich Joule.

Der Energiefluss je Zeit wird, entsprechend der Definition der mechanischen Leistung, als Schallleistung bezeichnet.

$$\text{Schallleistung} = \frac{\text{Energie}}{\text{Zeit}} = \frac{\text{Joule}}{\text{Sekunde}}$$

Maßeinheit ist Watt.

In der Emissionsmessung ist dies eine sehr wichtige Schallgröße zur Bewertung einer Schallquelle, da ihre Schallleistung im Gegensatz zum Schalldruck und der Schallintensität eine von örtlichen und räumlichen Einflüssen unabhängige Größe ist.

Anmerkung A.S.:

Für die Wirkung auf organisches Gewebe (Mensch und Tier) ist der mit dem Schall übertragene Energiebetrag entscheidend. Energie ist das Produkt aus Leistung mal Zeit. Die Wirkung auf

organisches Gewebe hängt daher mit der Schallleistung der Schallquelle und der Einwirkungszeit zusammen.

Schallleistungspegel ist die zugehörige rechnerische logarithmische Größe. Der Schallleistungspegel ist ebenfalls eine von örtlichen und räumlichen Einflüssen unabhängige Größe. Die Größe wird mit der Hilfsbezeichnung dB benannt.

Schalldruck bezeichnet die dem atmosphärischen Luftdruck überlagerten Druckschwankungen einer Schallwelle. Eine Schallquelle erzeugt Schallleistung und diese erzeugt Schalldruckschwankungen der Luft. Als Schalldruck werden die Druckschwankungen eines kompressiblen Schallübertragungsmediums (z.B. Luft) bezeichnet, die bei der Ausbreitung des Schalls auftreten. Der Schalldruck verursacht die entfernungsabhängige Wirkung der Schallleistung. Schalldruck ist das, was Schalldruckmessgeräte messen und was auf den Körper von Mensch und Tier wirkt. Der Schalldruck ist eine objektiv zu messende Größe. Maßeinheit ist Pascal.

Anmerkung A.S.:

Gemessene Schalldrücke an einer Windenergieanlage können wegen unterschiedlicher lokaler Bedingungen nicht exakt von einem Ort auf einen anderen Ort übernommen werden.

Schalldruckpegel ist die zugehörige rechnerische logarithmische Größe. Der Schalldruckpegel ist ebenfalls eine von örtlichen und räumlichen Einflüssen abhängige Größe. Die Größe wird mit der Hilfsbezeichnung dB benannt.

Schallintensität ist die Schallleistung die in Abhängigkeit von der Entfernung zur Schallquelle durch eine durchschallte Flächeneinheit tritt. Maßeinheit ist Watt/Fläche.

Schallintensitätspegel ist die entfernungsabhängige zugehörige logarithmische Größe. Die Größe wird mit der Hilfsbezeichnung dB benannt.

Schalldruckamplitude

Die maximale Auslenkung der Teilchen des Schallübertragungsmediums von deren mittlerer Lage, also die Höhe eines Wellenbergs oder die Tiefe eines Wellentals einer Schalldruckschwingung wird Schalldruckamplitude genannt. Als Schalldruckamplituden bezeichnet man die Spitzenwerte dB max. des Schalldrucks.

Anmerkung A.S.:

Die Größe der Amplitude des Schalldrucks bestimmt den Energiegehalt der Amplitude und damit verbunden ist im hörbaren Frequenzbereich die wahrgenommene Lautstärke eines Signals. Je größer die Amplitude des Schalldrucks desto lauter das Signal. Die Schalldruckpegel von Amplituden können deutlich über die gemittelten Schalldruckwerte der Umgebungsgeräusche hinausgehen (4, 9, 10). Das kann von gesundheitlicher Bedeutung sein.

Gewichteter, bewerteter Schalldruckpegel

Der bewertete Schalldruckpegel wird ermittelt, indem ein Frequenzspektrum in schmalbandige Bereiche zerlegt wird und diese entsprechend der Frequenzabhängigkeit durch Filtermessung gewichtet (bewertet) werden. Durch Aufsummierung ergibt sich dann der bewertete Gesamtpegel. Um dies zu kennzeichnen, wird der jeweils verwendete Filter als Index zusätzlich hinter der dB-Angabe in Klammern ergänzt dB(A), dB(B), dB(C), dB(G).

Anmerkung A.S.:

Die mögliche Aussage, zu dem was durch Filterung gemessen wird im Vergleich zu dem, was in der akustischen Umgebung tatsächlich anwesend ist, muss aus den Filterkurven und ihrem Messbereich entnommen werden (4, 9).

Nicht gewichteter, nicht bewerteter Schalldruckpegel

Wenn eine nicht gewichtende Software im Schallmessinstrument eingebaut ist und die Messungen ohne Filter durchgeführt werden, bezeichnet man die Messungen als nicht gewichtet (nicht mit Filter gemessen). Das Messergebnis wird mit dB und teilweise dB(Z) benannt.

Gemittelte Schalldruckpegel:

Die akustische Umgebung (Schalldruck) variiert mit der Zeit über das gesamte Schallfrequenzspektrum. Mathematisch werden die variierenden Schalldruckpegel während einer Zeitspanne (z.B. 1 Stunde, 1 Tag) in eine handliche Zahl umgerechnet, die zwar die gleiche Energiemenge über die Zeitspanne beinhaltet, aber alle Schalldruckspitzen, Amplitudenspitzen (auch die „lautesten“ im hörbaren Frequenzbereich) sind nicht mehr erkennbar (4 Figur 3).

Anmerkung A.S.

Eine genaue Aussage zu einer in der Literatur angegebenen Schallpegelgröße kann bei Kenntnis der örtlichen Messbedingungen und der Filterkurve gemacht werden.

Schalldruckpegelangaben sind nicht korrekt beurteilbar, wenn nicht klar ersichtlich ist, ob es sich um einen Schalleistungspegel, einen Schallintensitätspegel oder einen Schalldruckpegel handelt, die alle mit dB bezeichnet werden können.

Schalldruckpegelangaben sind nicht korrekt beurteilbar, wenn nicht klar ersichtlich ist, ob es sich um einen unbewerteten Schalldruckpegel (ohne Filter gemessen) oder um einen bewerteten Schalldruckpegel (mit Filter A, B, C, D, G gemessen) handelt.

Als Schalldruckpegel wird fast immer der A-bewertete Schalldruckpegel dB(A) angegeben, der den niederfrequenten Schall und Infraschall teilweise nicht mitmisst.

Die mechanische Reaktion des menschlichen und tierischen Körpers und ihrer Organe hängt von der Größe der Schallenergie, des Schalldrucks, der Schallintensität, der Frequenz und der Expositionsdauer ab. Bestimmte enge Frequenzen des niederfrequenten Schalls und Infraschalls können eine spezifische Reaktion bei einem Organ auslösen, bei einem anderen daneben liegenden Organ nicht (4, 8). Von Bedeutung ist zusätzlich, dass jedes Organ seine eigene biologisch notwendige Resonanzfrequenz hat.

Die Reaktionen biologischer Gewebe auf niederfrequenten Schall und Infraschall wurden seit 1990 besonders bei Industriearbeitern, in Tiermodellen und Zellkulturen (Gehirnzellen (11), Knochenmarkzellen u.a.) studiert und die bisher bekannten biochemische Veränderungen von vielen Forschern beschrieben (5 u.v.a.).

Schallemission bezeichnet den Schall, den eine Schallquelle am Aussendungsort verursacht. Die emittierte Schalleistung einer Schallquelle ist ortsunabhängig. Der emittierte Schalleistungspegel ist ortsunabhängig. Eine Glühbirne hat z.B. 100 Watt, gleich von welcher Entfernung ich sie sehe.

Anmerkung A.S.:

Die Schallausbreitung von niederfrequentem Schall und von Infraschall hat einige Besonderheiten im Vergleich mit dem Schall im hörbaren Bereich.

Schallimmission bezeichnet das Einwirken von Schall aus der Umwelt auf Menschen, Tiere und Pflanzen. Bei Immissionsmessungen direkt am Einwirkort sind die Anzahl der vorhandenen Schallquellen sowie deren Abstand vom Messpunkt für das gemessene Ergebnis unerheblich.

Anmerkung A.S.:

Bei Immissionsmessungen muss aus gesundheitsrelevanten Gründen der ungewichtete Schalldruckpegel dB an dem Ort gemessen werden, an dem er auf Mensch oder Tier einwirkt. Die Schallimmission kann aus der Schallleistung der Schallquellen berechnet werden. In der Realität kann die Schallimmission am Messort höher sein als berechnet.

Addition der Schalldruckpegel mehrerer Schallquellen

Schalldruckpegel unterschiedlicher Schallquellen können nicht einfach addiert werden. Die Gesamtbelastung mit Schall ist die Belastung eines Immissionsortes, die von allen emittierenden Anlagen am Messort hervorgerufen wird.

(Niederasphe:

- 1. Schallquelle: 8 Windenergieanlagen bei Ernsthausen**
- 2. Schallquelle: Im Bau befindliche Bundesstraße 252**
- 3. Schallquelle: 6 Windenergieanlagen Wasserbehälter Niederasphe).**

Anmerkung A.S.:

Beim Bau eines zusätzlichen Emittenten von Schall mit stärkerem Anteil von niederfrequentem Schall <200 Hz + Infraschall <20 Hz, z.B. Neubau von Windenergieanlagen, muss der gesamte bereits vorhandene Hintergrundschall, einschließlich des gesamten niederfrequenten Schalls <200 Hz + Infraschalls <20 Hz bis 0,1 Hz (Straßenverkehr, Industrieanlagen, Windenergieanlagen), aus gesundheitsrelevanten Gründen beim heutigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand, am Immissionsort gemessen und berücksichtigt werden. Der Schallpegel-druck aller Schallquellen zusammen und der Spitzendruck dB max. bestimmter Frequenzen hat eine biophysiologicalische und biochemische Wirkung an jedem Immissionsort (4, 8).

Schallgeschwindigkeit (2c u.a.)

Die Schallgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit in der sich die Druckschwingungen in dem Schallüberträgermedium fortbewegen. Die Schallgeschwindigkeit ist eine Konstante, deren Wert nur vom Material des Schallüberträgermediums abhängt, von seiner Dichte und der Beweglichkeit seiner Materie.

Schallüberträgermedium	Schallgeschwindigkeit m/sec
Luft	344
Wasser	1480
Beton	3100
Holz	3300
Granit	3950
Quarzglas	5400
Stahl	5920
Fett, Gehirn, Muskeln	1500
Knochen	3600

Schalldruckpegelabhängigkeit:

Lautheit, objektiv gemessener Schalldruck (Richtwerte) (2d)

Gültigkeit zwischen 800 Hz und 8.000 Hz. Die Schallausbreitung des tieffrequenten Schalls und Infraschalls hat einige Besonderheiten:

Pegel +	Lautstärke	Schalldruck
+ 10 dB	2 fach, Verdopplung	3,16 fach
+ 20 dB	4 fach	10 fach
+ 40 dB	16 fach	100 fach
+ 60 dB	64 fach	1.000 fach

Pegel -	Lautstärke	Schalldruck
- 6 dB	0,66	0,5 fach
- 10 dB	0,5 fach, Halbierung	0,316 fach
- 30dB	0,125 fach	0,031 fach
- 40 dB	0,0625 fach	0,01 fach

Eine Pegelerhöhung von +10 dB entspricht ungefähr einer empfundenen Verdoppelung der Lautstärke und etwa dem 3,16 fachen Schalldruck.

Eine Pegelverminderung von -10 dB entspricht ungefähr einer empfundenen Halbierung der Lautstärke und etwa 1/3 des Schalldrucks.

Anmerkung A.S.:

Die psychoakustischen subjektiven Empfindungen der Lautstärke und der Lautheit des Schalls nehmen wir bei Frequenzen unter 100 Hz immer weniger als Ton hörend wahr, sondern mehr als Druck oder Vibration fühlend.

Niederfrequenter Schall und Infraschall sind physikalisch Größen, die auf den und in dem gesamten menschlichen und tierischen Körper wirken (Schallintensität: Watt/Fläche). Die von einer Schallquelle abgegebene Schallenergie jeder Frequenz ist eine mechanische Kraft, die nur in andere Energieformen umgewandelt werden und nicht verloren gehen kann.

Da niederfrequenter Schall und Infraschall physikalische Kräfte sind, die an jedem Ort auf den sie treffen eine frequenzabhängige Reaktion hervorrufen, sind die Begriffe Hörbarkeit und Wahrnehmbarkeit als Ausschlusskriterien für gesundheitsschädliche Wirkungen im Körper wissenschaftlich nicht allgemein akzeptiert (4, 5, 8, 9, 10) (Vergl. UV-Strahlen, Röntgenstrahlen, radioaktive Strahlen, Kohlenmonoxyd). Niederfrequenter Schall und Infraschall zeigen auch bei tauben Mäusen (8) und in Zellkulturen (11) biologische Reaktionen. Unklar ist, wie der menschliche und der tierische Körper auf niedrige Schalldruckpegeln, auf impulsive Schalleigenschaft von niederfrequentem Schall und Infraschall und einer Dauerbelastung über lange Zeitspannen (Jahre und Jahrzehnte) besonders auch bei Risikogruppen reagiert, da darüber kaum wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen.

Psychoakustik (2d)

Wir empfinden und beurteilen Schallereignisse nach:

Einwirkdauer

Spektraler Zusammensetzung

Zeitlicher Struktur

Schalldruckpegel

Informationsgehalt

Subjektiver Einstellung

Anmerkung A.S.:

Der Höreindruck eines Tons bei einer bestimmten Frequenz kann stark differieren. Er kann als angenehm bis unangenehm wahrgenommen werden. Es hängt auch davon ab, ob es sich um einen reinen Ton oder einen zusammengesetzten Ton (die Regel) gleicher Lautstärke handelt. Die Klangfarbe kann sehr angenehm oder sehr unangenehm wahrgenommen werden.

Immissionsrichtwerte

Immissionsrichtwerte sind keine rechtsverbindlichen Grenzwerte. Immissionsrichtwert besagt, wie die Bezeichnung „Richtwert“ deutlich macht, dass unter bestimmten Umständen Abweichungen nach oben zulässig und geboten sein können.

Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden (6.1TA Lärm) (2a)

- a) Industriegebiet **70** dB(A)
- b) Gewerbegebiet **65** dB(A) tags **50** dB(A) nachts
- c) Urbane Gebiete **63** dB(A) tags **45** dB(A) nachts
- d) Kerngebiete, Dorfgebiete, Mischgebiete **60** dB(A) tags **45** dB(A) nachts
- e) Allgemeine Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebiete **55** dB(A) tags **40** dB(A) nachts
- f) Reine Wohngebiete **50** dB(A) tags **35** dB(A) nachts
- g) Kurgebiete, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten **45** dB(A) tags **35** dB(A) nachts

Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen die Immissionsrichtwerte am Tag um nicht mehr als **30** dB (A) und in der Nacht um nicht mehr als **20** dB(A) überschreiten.

Immissionsrichtwerte für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden (6.2TA Lärm) (2a)

Bei Geräuschübertragungen innerhalb von Gebäuden oder bei Körperschallübertragungen betragen die Immissionswerte für den Beurteilungspegel unabhängig von der Lage des Gebäudes in einem der unter 6.1 unter den Buchstaben a bis g genannten Gebieten tags **35** dB(A) nachts **25** dB(A).

Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen die Immissionswerte um nicht mehr als 10 dB(A) überschreiten.

6.5 Zuschlag für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit

Für folgende Zeiten ist in Gebieten nach d) bis f) bei Ermittlung des Beurteilungspegels die erhöhte Störwirkung von Geräuschen durch einen Zuschlag zu berücksichtigen.

1. an Werktagen: 6-7 Uhr, 20-22 Uhr
2. an Sonn- und Feiertagen: 6-9 Uhr, 13-15 Uhr, 20-22 Uhr

Der Zuschlag beträgt **6 dB(A)**.

7.3 Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche

Für Geräusche, die vorherrschende Energieanteile im Frequenzbereich unter 90 Hz besitzen (tieffrequente Geräusche), ist die Frage, ob von ihnen schädliche Umwelteinwirkungen ausgehen, im Einzelfall nach den örtlichen Verhältnissen zu beurteilen.

Anmerkung A.S.:

Gebäudebauteile dämpfen die höherfrequenten Geräuschanteile deutlich besser als die tiefen Frequenzen des Infrschalls <20Hz. Der Anteil des niederfrequenten Schalls und Infrschalls am gesamten Schall nimmt im Gebäude zu.

A1.1.4 Körperschallübertragung

Bei Körperschallübertragung wird Schall von der Schallquelle über den Boden und/oder Bauteile zu den Begrenzungsflächen für schutzbedürftige Räume übertragen.

Immissionsgrenzwerte des Straßenverkehrs, Hessen (3)

5.1. Bei Neubauten müssen die Grenzwerte der Verkehrslärmschutzvorschrift-16. BImSCHV eingehalten werden.

- a) In Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten: **64** dB(A) tags **54** dB(A) nachts
- b) In allgemeinen Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebieten: **59** dB(A) tags **49** dB(A) nachts

Vergleichswerte einiger Schallquellen (Lärmometer (1d))

Schallquelle	Entfernung	dB(A)
Hauptverkehrsstraße*	5 m	Tagsüber 70-80 dB(A)
Autobahn (stark befahren)*	25 m	80 dB(A)
LKW (Dieselmotor)*	10 m	90 dB(A)
Autohupe	10 m	90 dB(A)
Handschleifgerät	1 m	90 dB(A)
Disco	1 m vom Lautsprecher	100 dB(A)
Kettensäge	1 m	110 dB(A)
Martinshorn	10 m	110 dB(A)
Düsenflugzeug	100 m	130 dB(A)

* Je höher das Verkehrsaufkommen, desto höher sind die tieffrequenten Geräusch- und Infrschalldruckpegel.

dB Reduktion der realen akustischen Umgebung bei A-Filtermessung (4)

Frequenz f	dB-Reduktion
200 Hz	- 10
60 Hz	- 26
20 Hz	- 50
10 Hz	- 70

Der Frequenzbereich kleiner 8 Hz wird bei Verwendung eines A-Filters nicht mitgemessen.

Anmerkung A.S.:

Die dB-Reduktion gibt etwa an, wieviel dB des niederfrequenten Schalls <200 Hz und Infrschalls <20 Hz einer bestimmten Frequenz an einem bestimmten Standort mit einem A-Filter weniger gemessen wird, als was in der akustischen Umgebung an diesem Ort etwa vorhanden

ist (Lit 2, Figur 1 u. 2, Lit 9 Figur 3 und 4). Die weggefilterten tiefen Frequenzen werden nicht bzw. zu niedrig gemessen. Der ungewichtete Schalldruckpegel steigt ab 800 Hz bis 0,1 Hz deutlich an (9).

Es ist durch wissenschaftliche Untersuchungen an Menschen, Tieren und Zellkulturen (11) nachgewiesen, dass der niederfrequent Schall <200 Hz und Infraschall <20 bis 0,1 Hz eine biologische Wirkung hat (5 u.a.).

Es ist durch wissenschaftliche Untersuchungen an Menschen, Tieren und Zellkulturen nicht nachgewiesen, dass der niederfrequente Schall <200 Hz und Infraschall <20 Hz bis 0,1 Hz einer starken Schallquelle für Menschen und Tiere im nahen und weiteren Umkreis gesundheitlich gefahrlos sind (z.B. auch gesundheitlich gefahrlos für Menschen und Tiere - einschließlich Nutztiere - ab dem Standort der Windenergieanlagen am Wasserbehälter Niederasphe bis zum entferntesten Haus von Niederasphe).

Vibrationen fester Körper (Boden) durch Windturbinen (2a)

A.4.1.5 (TALärm) Hinweise zur Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche:

Bestimmte Anlagen (z.B. Windenergieanlagen A.S.) leiten auch tieffrequente Schalldruckwellen in den Boden ein. Die dadurch erzeugten Schwingungen können als Körperschall in schutzbedürftige Räume übertragen werden.

Anmerkung A. S.:

Durch niederfrequenten Schall + Infraschall (von Windturbinen, Schienen-, Straßenverkehr, Flugzeuge u.a.) werden niederfrequente Schwingungen, Vibrationen, Erschütterungen erzeugt und im Boden weitergeleitet. Die Stärke der Vibrationen hängt von der Leitfähigkeit und Dämpfung der lokalen geologischen Bodenart ab. Die durch den Boden weitergeleiteten Vibrationen werden auf Häuser und den menschlichen Körper durch direkten Fest zu Fest-Kontakt übertragen. Auch Vibrationen wird eine gesundheitliche Bedeutung zugeschrieben (z.B. berufliche Vibrationserkrankungen). Innerhalb von Gebäuden muss auch die Wechselwirkung von tieffrequenten Körperschallschwingungen mit tieffrequentem Luftschall berücksichtigt werden.

Auf jeden Menschen an seinem Aufenthaltsort zwischen Windturbine und dem Inneren seines Hauses wirkt niederfrequenter Schall + Infraschall als Schallwellen des Bodens (Körperschall) auf den stehenden, sitzenden oder liegenden Menschen (das stehende oder liegende Tier) durch direkten Bodenkontakt als Wechseldruck (Vibrationen) ein.

Zusätzlich wirkt auf jeden Menschen an seinem Aufenthaltsort zwischen Windturbine und dem Inneren seines Hauses niederfrequenter Schall + Infraschall als Schallwellen der Luft (Luftschall) auf den stehenden, sitzenden oder liegenden Menschen (das stehende oder liegende Tier) durch direkten Luftkontakt als Wechseldruck (Vibrationen) ein.

Über die biologische Wirkung relativ schwacher impulsiver Vibrationen des Bodens durch niederfrequenten Schall + Infraschall auf die Körperorgane, auf die Gewebezellen von Mensch und Tier über eine lange Zeitdauer (Jahre und Jahrzehnte) liegen kein wissenschaftliche Erkenntnisse vor.

Immissionswerte und Gesundheit, Hessen (3)

40-60 dB(A): mittlere bereits als unangenehm empfundene Lautstärken

60-80 dB(A): belästigende Lautstärken

80-90 dB(A): aufdringliche, gesundheitsgefährdende Lautstärken, beginnende Schmerzgrenze

90-100 dB(A): starke Lautstärken mit Schädlichkeitscharakter

100-110 dB(A): schwere Gesundheitsschäden

Gesundheitliche Schäden entstehen jedoch bereits bei einer dauerhaften Beschallung oberhalb 65 dB(A) tagsüber (3).

Schalldruckpegel dB(A) und zulässige Einwirkzeit bei Lärm

Schalldruckpegel	Erlaubte Einwirkungszeit (Dauer, Dosis)
115 dB(A)	0,3 Minuten
105 dB(A)	4,8 Minuten
100 dB(A)	15 Minuten
94 dB(A)	1 Stunde
91 dB(A)	2 Stunden
85 dB(A)	8 Stunden
82 dB(A)	16 Stunden
80 dB(A)	24 Stunden

Quellen: NIOSH=National Institute for Occupational Safety and Health <https://www.cdc.gov/niosh>
CDC=Centers for Disease Control and Prevention <https://www.cdc.gov>

Leistungsbegrenzung und -regelung von Windenergieanlagen

Die Leistung aber auch gleichzeitig die Geräuschemissionen der Windturbinen nehmen mit der Windgeschwindigkeit bis zum Erreichen der Nennleistung der Turbine (Niederasphe: Vestas 162-5,6 MW Geräuschanstieg bis zu einer Windgeschwindigkeit von etwa 12-13 m/sec) zu. Ab einer Windgeschwindigkeit von rund 12 bis 13 m/sec wird die Rotorleistung durch optimierte Sturmregelung so begrenzt, dass die vorgesehene Nennleistung nicht überschritten und eine konstante Leistungsabgabe (durch reduzierte Effizienz) bis hin zum Abschalten der Anlage beim Sturm (25 m/sec) sichergestellt ist. Erst bei Stürmen mit 25 m/sec müssen die Windenergieanlagen aus Sicherheitsgründen ausgeschaltet werden. Die Leistungsbegrenzung bzw. Regelung am Rotor wird u.a. durch Pitch-System realisiert (Verdrehen des Anstellwinkels der Rotorblätter bis nahezu 90 Grad, Fahnenposition bei 25m/sec) (6).

Anmerkung A.S.:

Ein Antrag der Technischen Überwachungsvereine (TÜV) zur Kontrolle der Windenergieanlagen wurde von den nationalen Entscheidungsträgern als nicht nötig angesehen (7).

Lit.:1) Katalog Vestas: <https://www.vestas.com/en/products>

2) a) Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 9.6.2017 (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm-TA Lärm),

b) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umweltwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionsschutzgesetz-BimSchG) vom 8.4.2019,

c) Wikipedia

d) www.sengpielaudio.com

3) Hinz Priska, Lärmschutz in Hessen, Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz und Verbraucherschutz <https://umwelt.hessen.de>

4) Alves-Pereira M, Bakker HHC, Occupational and Residential Exposures to Infrasound and Low Frequency Noise in Aerospace Professionals: Flawed Assumptions, Inappropriate Quantification of Acoustic Environments, and the Inability to Determine Dose- Response Values, Scientific J Aerosp Eng Mech,1, 2017

5) Scheuer A, Infraschall Vibroakustische Erkrankung, Deutsche Schutzgemeinschaft Schall für Mensch und Tier, <https://www.dsgs.info/INFO/Artikel>

6) Windenergie im Binnenland-Charakteristische Punkte einer Leistungskurve, <http://www.windenergie-imbinnenland.de>

7) Wetzlar D, Bundesregierung lehnt TÜV-Pflicht für Windräder ab,19.8.2018 <https://www.welt.de>

8) Alves-Pereira M, Rapley B, Bakker H, Summers R, Infrasound and Low Frequency Noise: Medical Considerations,16.11.2018, Paris

9) Oud M, Low-frequency noise: a biophysical phenomenon, 2012 10) Johnson L, Papadopoulos P, Watfa N, Takala J,,

Anmerkung A.S.:

Für Benachrichtigung von Fehlern, die mir bei dieser Materie unterlaufen sind, bin ich dankbar. Ich bin interessiert daran, meine Fehler zu korrigieren!