



TIEFFREQUENTER SCHALL UND INFRASCHALL

**ALD-Informationen
(2020)**

Impressum

TIEFFREQUENTER SCHALL UND INFRASCHALL

Autor:

Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahé

Herausgeber:

Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA)

Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD)

Alte Jakobstraße 88, 10179 Berlin

Tel.: 030 / 340 60 38 02

E-Mail: ald@ald-laerm.de

www.ald-laerm.de

Gefördert von:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Umweltbundesamt

Abschlussdatum:

Oktober 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung.....	3
2. Tieffrequenter Schall	4
3. Infraschall.....	5
4. Physikalische Eigenschaften	6
5. Gehörsinn und Wahrnehmung	8
6. Ermittlung und Bewertung	11
7. Gegenmaßnahmen	13
8. Hinweise für Betroffene	14
9. Literatur.....	17

1. Einführung

Infraschall und tieffrequenter Schall (ITFS) werden in den letzten Jahren immer intensiver von nicht wenigen Menschen als starke Umweltbelastung empfunden bzw. eingeschätzt. Die Diskussion um den Infraschall nahm insbesondere durch den Ausbau der Windenergieanlagen (auch Windkraftanlagen genannt) zu.

Unter tieffrequentem Schall wird im Folgenden Schall im Frequenzbereich von 8 Hz bis 100 Hz verstanden. Das entspricht der Festlegung in der deutschen Norm DIN 45680. Zu beachten ist, dass Schall unterhalb von 20 Hz bisweilen auch unterhalb von 16 Hz als Infraschall bezeichnet wird. Die Begriffe „tieffrequenter Schall“ und „Infraschall“ sind nicht klar abgegrenzt, da sie Bereiche mit fließenden Übergängen bezeichnen. Es bestehen keine naturgegebenen harten Grenzen, sondern die Begriffe erfassen Bereiche, die sich überlappen.

Probleme mit tieffrequentem Schall bzw. Lärm sind kein neues Phänomen. Als Quellen kommen Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren etc., aber auch z.B. Fahrzeuge mit großen, langsam laufenden Verbrennungsmotoren in Betracht. Mit einer Kombination aus Kompressor und Ventilator haben Luftwärmepumpen in letzter Zeit vorwiegend dann für manchen Ärger gesorgt, wenn sie nicht fachmännisch installiert wurden.

Infraschall und tieffrequenter Schall können eine starke Belästigung – umgangssprachlich eher eine Belastung – hervorrufen, die sich bis hin zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung auswirken kann.

Anm.: Als Belastung wird in der Fachwelt der physikalische Reiz verstanden, als Belästigung die durch diesen Reiz von der betroffenen Person empfundene Beeinträchtigung.

Wirkungen, die häufige im Zusammenhang mit ITFS genannt werden, sind:

- Einschlafschwierigkeiten
- Kopfschmerzen
- Nervosität
- Schwindel
- Niedergeschlagenheit
- Konzentrationsschwierigkeiten
- Furcht
- Frustration

Manche dieser Wirkungen mögen direkt von ITFS hervorgerufen werden, andere eher indirekt vornehmlich aufgrund von Schlafstörungen, die vielfach im Zusammenhang mit ITFS genannt werden.

Dabei können schon Geräusche an der Schwelle der Wahrnehmbarkeit zu erheblichen Belästigungen führen. Die Hörschwelle (siehe Abb. 3 und Tabelle 1) wird von der Lärmwirkungsforschung aus der Untersuchung vieler Personen abgeleitet und stellt einen mittleren Wert dar. Die individuelle Hörschwelle kann tiefer oder höher sein. Das hat zur Folge, dass Dritte die Geräusche oft nicht wahrnehmen oder deren stressige Wirkung nicht empfinden.

Wie bereits vermerkt, können Infraschall und tieffrequenter Schall nicht als zwei klar trennbare Bereiche gesehen werden. Die Eigenschaften und Wirkungen von Infraschall sind auch bei tieffrequentem Schall zu beobachten, allerdings zu höheren Frequenzen zunehmend weniger ausgeprägt. Hinzu kommt noch, dass Geräusche, wenn sie Infraschall beinhalten, sich selten auf diesen Bereich beschränken, sondern in der Regel auch tieffrequente Schallanteile besitzen. Bei der mit zunehmender Frequenz zunehmenden Hörempfindlichkeit stellt sich in solchen Fällen oft die Frage, was von den Betroffenen wahrgenommen wird, zumal sich die Geräuschanteile in ihrer Wahrnehmung gegenseitig beeinflussen können.

Warum ITFS sich als Lärmproblem stark von anderen Lärmproblemen unterscheidet, reduziert sich nicht auf die Frage der Wahrnehmbarkeit und Wirkung. Physikalische Gesetze bedingen bei der Schallausbreitung ein Verhalten, das einen Schutz vor ITFS sehr erschwert. Auch unser Gehörsinn zeigt für tieffrequente Geräusche ein anatomisch bedingtes Verhalten, das vom normalen Hörempfinden zunehmend abweicht.

2. Tieffrequenter Schall

Über die Belastung durch tieffrequenten Schall gibt es recht klare Erkenntnisse. **Tieffrequenter Schall wird bereits potenziell als Belästigung empfunden, wenn eine spektral herausragende Komponente (tonales Geräusch) gerade wahrgenommen wird und damit die Hörschwelle im Bereich von 8 Hz bis 100 Hz überschreitet.** Eine solche Grenzziehung wäre recht eindeutig, wenn die Hörschwelle eindeutig wäre. Auch eine einfache Festlegung von tonal / nicht tonal ist nur in Extremfällen möglich (siehe Abschnitt 6).

Hörschwelle

Zur Hörschwelle sind weltweit viele Untersuchungen durchgeführt worden – eine zusammenfassende Betrachtung ist in [1] zu finden. Eine solche Schwelle als Ergebnis einer statistischen Auswertung **besagt nicht, dass bei Unterschreiten keine Person den Schall mehr wahrnehmen kann,** sondern stellt das nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit fest. Beim Medianwert als Schwelle ist die Wahrscheinlichkeit 50 %, d.h. 50 % der Menschen nehmen noch unterhalb dieser Schwelle etwas wahr. Für 20 Hz beträgt er nach der ISO 28961 ca. 78 dB. Das ist deutlich höher als die Schwelle nach der DIN 45680, die für 20 Hz die Schwelle bei 71 dB ansetzt und die damit ein entsprechendes Geräusch deutlich kritischer bewertet. Nach der ISO 28961 würden nur 10 % diese Schwelle unterschreiten. Die Hörschwelle ist aber sicher nicht oder nicht allein das Kriterium, wonach der tieffrequente Schall (und auch der Infraschall) als unangenehm eingeschätzt werden kann. So wurde in einer Untersuchung festgestellt, an der ältere und jüngere Probanden beteiligt waren, **dass die Älteren zwar eine höhere Hörschwelle hatten, aber trotzdem eher durch die Testgeräusche genervt waren** [2].

Folgende Eigenschaften von tieffrequentem Lärm, die die Wirkung bzw. die **Betroffenheit durch tieffrequenten Schall verstärken,** sind:

- Eine **zeitliche Variation des Geräusches (Impulshaltigkeit, Modulation)** steigert die Wahrnehmbarkeit. Das bewirken adaptive physiologische Vorgänge sowie eine Art Mustererkennung bei sich wiederholenden Ereignissen. Letzteres dürfte insbesondere im Zusammenhang mit Windenergieanlagen von Relevanz sein.
- Die schwierige bis unmögliche Ortung/Zuordnung einer tieffrequenten Quelle führt beim Menschen nicht selten zu Irritationen und verstärkt damit die psychische Belastung. Auch mit technischen Mitteln ist physikalisch bedingt eine Ortung nur begrenzt möglich. Der nicht selten gegebene Ausweglosigkeit, die Quelle zu finden und abzustellen, können sich manche **nur durch einen Umzug entziehen,** ohne dabei die Garantie zu haben, dass am neuen Wohnort nicht Ähnliches eintritt.

Durch zusätzliche Geräuschanteile mit höheren Frequenzen kann die Lästigkeit von tieffrequentem Schall auch gemindert werden. Betroffene berichten nicht selten, dass sie ein Fenster öffnen und der dann gut hörbare Verkehrslärm die Situation erträglich macht, obwohl dadurch der Lärmpegel im Raum deutlich ansteigt. Das mag auch ein Hinweis darauf sein,

weshalb wie anfangs bemerkt, ITFS ein wachsendes Problem ist. Die zunehmenden Schallschutzmaßnahmen wirken sich primär auf die höheren Frequenzanteile aus. Statt das Fenster zu öffnen, stellen andere das Radio oder den Fernseher an, wenn der Lärmpegel draußen eher gering ist. Und das ist häufig der Fall: Die Mehrzahl derjenigen, die über ITFS klagen, wohnen in sonst ruhigen Gegenden. Das kann ein Grund dafür sein, dass eine solche Geräuschbelastung in so einem Umfeld besser wahrgenommen werden kann.

3. Infraschall

Infraschall war schon in den 1980er Jahren ein Thema, das in Fachkreisen viel Interesse fand. Eine Anzahl von Literaturhinweisen ist in [3] zu finden. Damals stand jedoch die Frage im Vordergrund, bei welchen Pegeln eine direkte gesundheitliche Beeinträchtigung – vor allem im Arbeitsbereich – eintreten kann. Solche Pegel liegen weit über denen, die bei Umgebungslärm eine Rolle spielen. Die Empfindung, die ein Infraschallgeräusch bei einem Pegel nahe der Hörschwelle auslöst, hat oft einen diffusen Charakter. Sie kann nicht eindeutig einer Hörwahrnehmung zugeordnet werden, da jede räumliche Abhängigkeit und damit jede Orientierung hinsichtlich einer Quelle fehlen. Die bei Messungen gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass solche Geräusche von natürlichen und anthropogenen Quellen hervorgerufen werden können. Allerdings liegen deren Pegel aber in der Regel weit unterhalb der Hörschwelle.

Wie ist das einzuschätzen, wenn bei Frequenzen unterhalb von 1 Hz und Pegeln deutlich unterhalb 100 dB schon von einer Belastung gesprochen wird, wobei bei 1 Hz die Hörschwellen oberhalb 120 dB liegen (Abbildung 3)? Und wenn dem so ist, um welche Art von Belastung handelt es sich? Tritt eine aurale Belastung auf, eine die direkt auf das Ohr einwirkt, oder eine extraaurale, die indirekt über Reaktionen des Nervensystems (bewusst oder unbewusst) z.B. die Schlafqualität vermindert und dadurch eine Beeinträchtigung der Gesundheit nach sich zieht?

Noch ist die Forschung nicht soweit, diese Fragen befriedigend beantworten zu können. Aber erste Schritte sind gemacht. So hat die Untersuchung mittels eines MRT [4] viel Aufmerksamkeit bekommen, bei der gezeigt wurde, dass bei einer Anregung mit 12 Hz mit einem Pegel leicht unter der zuvor ausgemessenen persönlichen Hörschwelle schon eine Reaktion in für das Hören zuständigen Hirnarealen (im auditiven Cortex) festgestellt werden konnte. Dieses Ergebnis, von einigen schon als Beweis für eine unterbewusste Wahrnehmung gesehen, ist in seiner Gültigkeit jedoch noch sehr eingeschränkt. Die Methode ist aber wegweisend für weitere Untersuchungen.

Häufig wird noch entgegengehalten, dass bei solchen Untersuchungen die Probanden nur relativ kurz dem Schall ausgesetzt seien und erst mit langandauernder (Wochen, Monate, Jahre) oder gar kontinuierlicher Exposition die negativen Reaktionen eintreten und sich bemerkbar machen. In diesem Zusammenhang wird von einer Sensitivierung gesprochen. Die wird es sicher geben, aber in welchem Maße? Um dies nachzuweisen und erst recht, um das Ausmaß einer Sensitivierung quantifizieren zu können, müsste eine Vielzahl von Betroffenen unter umfänglich kontrollierten Bedingungen dem Infraschall ausgesetzt sein. Es ist kaum vorstellbar, wie eine solche Untersuchung durchzuführen wäre. Es wäre aber schon ein bedeutender Schritt getan, wenn verstanden würde, welche physiologischen Reaktionen bei schon sensitivierten Menschen durch ITFS ausgelöst werden können und warum sich manche so negativ bemerkbar machen. Eine Untersuchung mit einem Ansatz in diese Richtung wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführt und kann von der Website des UBA heruntergeladen werden [5].

Aus dem Bereich der Wirkung von Umgebungslärm in Frequenzbereichen des Hörschalls (größer 20 Hz) ist bekannt, dass die Einstellung zu der vermuteten oder bekannten Lärmquelle eine wichtige Rolle spielt. Die mit dem Geräusch transportierte Information über Eigenheiten der Quelle tritt in den Vordergrund, wenn heftige Reaktionen von Betroffenen kaum durch die physikalischen Eigenschaften des Geräuschs erklärbar sind. (Ein häufig herangezogenes Beispiel: Das Surren einer Mücke ist rein akustisch gerade wahrnehmbar, die Reaktion darauf wird möglicherweise eher durch die vermeintliche Aversion gegenüber einem Mückenstich bestimmt.) Aber – wie schon angesprochen – mag gerade auf psychologischer Ebene dieses unbestimmte Gefühl einer nicht einschätzbaren Beeinträchtigung bei einer grenzwertigen Wahrnehmung von Infraschall die Reaktion noch steigern.

Die Forschung zeigt ebenso, dass Erwartungen und (mediale) Informationen zu ITFS die Lärmbelästigung erhöhen und wahrgenommene Gesundheitsbeschwerden (z.B. Schlafstörungen) nach sich ziehen können, die dann dem Infraschall zugeschrieben werden. Das bedeutet definitiv *nicht*, dass in der Weise betroffene Menschen sich ihre Wahrnehmungen und erlebten Gesundheitsbeschwerden einbilden – die Beschwerden und die erlebte Belästigung sind eine Tatsache, und Betroffene leiden darunter. Es kann angenommen werden, dass die Erwartungen und Informationen die Aufmerksamkeit Betroffener auf die ITFS-Quelle lenken, die Wahrnehmung „schärfen“ und durch die Sorgen und Befürchtungen Gesundheitsbeschwerden auftreten bzw. verstärkt werden können. Wird von Betroffenen ITFS wahrgenommen, so stellt der Informationsgehalt des ITFS-Geräusches eine Gedankenverbindung zu den Erwartungen und medialen Informationen her, das ITFS-Geräusch fungiert quasi als Erinnerung/Mahnung.

Aber es ist nicht so, dass unser Gehörsinn schutzlos dem Infraschall ausgeliefert ist. Schon der Aufbau unseres Ohres stellt sicher, dass unsere auditive Wahrnehmung nicht durch die vielen Umweltgeräusche im Infraschallbereich überlagert und damit bestimmt wird, indem die Hörempfindlichkeit zu tiefen Frequenzen hin stark abnimmt.

Dazu ein kleines Gedankenspiel: Ein Kind sitzt auf einer Schaukel mit einer Pendellänge von 2 m und schaukelt bis zu einer Neigung von ca. 45°. Daraus ergibt sich zwischen dem höchsten Punkt und dem niedrigsten Punkt ein Höhenunterschied von etwa 60 cm. Wie leicht auszurechnen ist, entspricht die Differenz des höhenabhängigen statischen Luftdrucks einem Schalldruckpegel von knapp über 100 dB. Kann das für das Ohr des Kindes schädlich sein?

Möglicherweise ist die bei manchen Menschen nachvollziehbare Beeinträchtigung durch Infraschall, aber auch durch tieffrequenten Schall, auf neuronale Prozesse zurückzuführen. Die mentalen Wirkungen wie Konzentrationsschwierigkeiten, Angstgefühle, Schlaflosigkeit etc. sprechen dafür. Nicht nur diese Wirkungen sind belegt, sondern durch vielfache Beobachtungen und Höruntersuchungen auch der Umstand, dass durch zusätzliche Geräusche mit höheren Frequenzen, die nervige Wirkung von Schall bei tiefen Frequenzen gemildert wird [6]. Diese Wirkung durch ein funktionales Modell zu beschreiben, wird ein lohnendes Ziel sein.

4. Physikalische Eigenschaften

Wesentliche physikalische Eigenschaften von ITFS sind bestimmt durch die große Wellenlänge. Die Wellenlänge λ (Abstand gleicher Phasen) ist aus der Frequenz f und der Schallgeschwindigkeit c (ungefähr 340 m/s) mit $\lambda = c / f$ zu bestimmen. Eine Schallwelle mit der Frequenz 20 Hz hat demnach eine Wellenlänge von 17 m.

Die großen Wellenlängen führen zu starken Beugungseffekten, sodass solche Wellen Hindernisse (Gebäude, Schallschutzwälle etc.), die in den Abmessungen kleiner sind als die Wellenlänge, diese mehr oder minder unbeeinflusst umlaufen können. Abbildung 1 zeigt

anhand einer zweidimensionalen Simulation, wie aufgrund des Beugungseffektes ein Hindernis auf eine Welle von 100 Hz und von 800 Hz wirkt. Hier ist das Hindernis eine kurze Mauer (gedachte Höhe beliebig groß), die die 100 Hz-Welle fast ungehindert umläuft, während bei der 800 Hz-Welle der Bereich hinter der Mauer schon deutlich abgeschirmt wird. Im Realen kann die Mauer natürlich nicht beliebig hoch sein, sodass hier die dritte Dimension nicht außer Betracht gelassen werden kann. Ist die Mauer in Relation zur Wellenlänge eher niedrig, so kann sich die Welle ungehindert über die Mauerkrone weiter ausbreiten. Ein kaum nennenswertes Hindernis stellen auch Bäume, Sträucher, Hecker etc. dar.

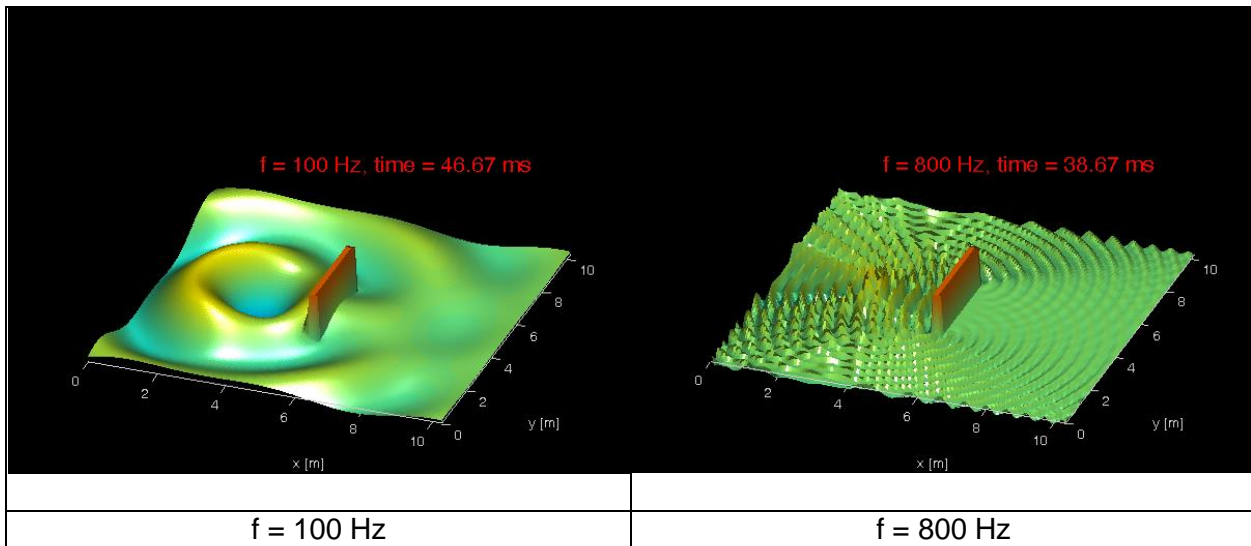


Abbildung 1: Wirkung des Beugungseffekts an einem Hindernis bei Schallwellen verschiedener Frequenz; Ergebnis einer Simulation mit jeweils einer Quelle links der Mauer: Die 100 Hz-Welle „umläuft“ die Mauer und wird kaum von ihr beeinflusst, während bei der 800 Hz-Welle sich schon deutlich ein Schallschatten ausbildet.

Aber auch ohne Hindernisse wird die Ausbreitung von ITFS über die Luft kaum oder gar nicht gedämpft, während höhere Frequenzanteile in der Luft stark gedämpft werden. Der Beugungseffekt und dieser Effekt führen dazu, dass von weiter entfernten Quellen nur der Tieftonanteil zu hören ist. Das Auto mit der Diskomusik wird hier gerne zitiert. Nur das rhythmische Wummern von Bässen ist hörbar, wenn die Entfernung zum Auto groß ist. Auch ist schwer abschätzbar, aus welcher Richtung der Schall eintrifft. Letztlich führt das dazu, dass tieffrequente Quellen sehr schwer zu orten sind. Aufgrund der fast ungehinderten Ausbreitung überlagern sich zudem die Geräusche mehrerer Quellen häufig in einer Weise, die eine Trennbarkeit nach Quellen verhindert. Als natürliche Geräuschquelle trägt regelmäßig auch Wind dazu bei.

Tieffrequente Schallwellen und erst recht Infraschallwellen durchdringen geschlossene Fenster und leichte Wände praktisch ungedämpft. Nur massive, also schwere Wände sind in der Lage, diese Wellen von einem Eindringen in ein Gebäude abzuhalten (Prinzip der Massenträgheit). Fenster oder leichte Wände können von ITFS leicht selbst in Schwingungen versetzt werden, die sie an die Luft im Raum weitergeben. Analog zu diesem Verhalten können auch **tieffrequente Schwingungen, die über den Boden ein Gebäude erreichen,** Gebäudeteile in Schwingungen versetzen, z.B. eine Wand, die dann ihrerseits die Luft im Raum zu Schwingungen anregt. Die Art von Hörschall wird auch Sekundärschall genannt.

Darüber hinaus können Schallwellen – einmal in einen Raum eingedrungen – **bei tieferen Frequenzen zu einer Bildung von Moden führen.** Moden entstehen durch die Reflexionen der Schallwellen an den Raumbegrenzungen (Wände, Boden, Decke). Die mehrfach reflektierten Komponenten überlagern sich, wobei folgende Situationen eintreten können: Stimmen diese Komponenten in der Phase an einer bestimmten Stelle im Raum genau überein, kommt es dort

zu einer konstruktiven Überlagerung: **In der Summe verstärkt sich dort der Schalldruck.** An anderer Stelle können die Komponenten im Mittel genau gegenphasig sein, und es kommt zu einer destruktiven Überlagerung: Der Schalldruck geht im Extremfall gegen Null.

Zusammenhang Mode und Wellenlänge

Die erste Mode entsteht bei einer Frequenz, bei der die halbe Wellenlänge der längsten Abmessung eines Raumes gleich ist. In dem Fall beträgt die Laufstrecke von der Mitte des Raumes bis zur weitest entfernten Wand ein Viertel der Wellenlänge, also hin und zurück eine halbe Wellenlänge. Die Folge ist eine destruktive Überlagerung in der Mitte des Raumes und der Schalldruck verschwindet an der Stelle. Dagegen überlagern sich die Wellen direkt an der Wand konstruktiv und der Schalldruck kann bis zu 6 dB zunehmen.

Abbildung 2 zeigt die örtliche Verteilung des gemessenen Schalldruckpegels in einem Raum von 3m x 6m, die sich bei einer Anregung mit einem Sinuston von 57 Hz mittels eines Lautsprechers in einer Ecke des Raumes (hier unten / links) ergibt. Durch das einfache Verhältnis in den Raumabmessungen entstehen fast zweiachsig symmetrische Verhältnisse. (Anm.: Nur „fast“ wegen der nicht mittigen Position des Lautsprechers in der Ecke). Auffällig ist der große Unterschied zwischen den Schalldruckpegeln in der Ecke und in der Mitte des Raumes, der deutlich wahrnehmbar war.

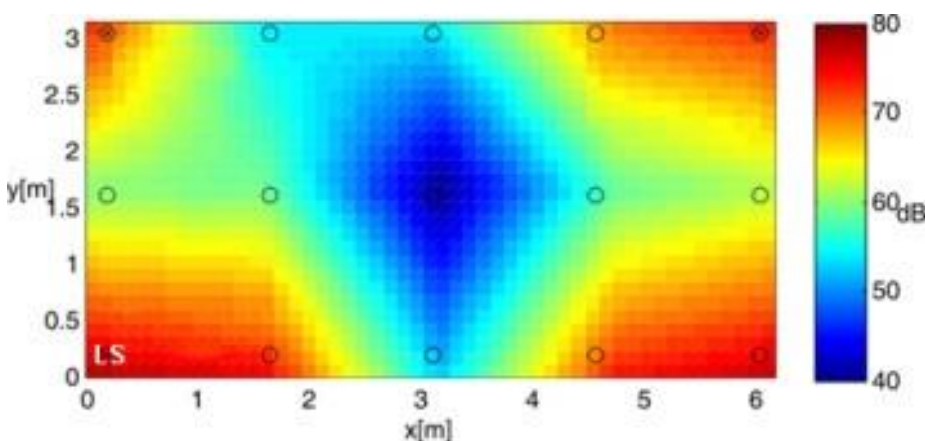


Abbildung 2: Zweidimensionale Verteilung des gemessenen Schalldruckpegels bei einer Anregung mit einem Sinuston der Frequenz von 57 Hz. (Anm.: Hier bildet sich eine 2-1-Mode, das bedeutet, in X-Richtung passen zwei halbe Wellenlängen, in der Y-Richtung eine.)

Ein solches Ergebnis kann auch in normalen Wohn- / Schlafräumen eintreten. Das kann bedeuten, dass ein gemütlicher Sessel in einer Ecke oder ein Bett mit dem Kopfende in der Nähe einer Wand unter solchen Umständen keine gute Wahl ist. Für eine Messung bedeutet dies, dass in diesem Fall eine Messung in der Mitte des Raumes in der Bewertung der Belästigung zu einem erheblich falschen Ergebnis führt.

5. Gehörsinn und Wahrnehmung

Unser Gehörsinn ist der komplexeste Sinn. Er ist stets auf „Empfangsbereitschaft“ und wesentliches Element, uns in unserer Umgebung zurechtzufinden und u.U. zu schützen. In der alltäglichen Geräuschkulisse nehmen wir ein auffallendes Geräusch wahr, orientieren uns, bewerten es und reagieren je nach Sachlage darauf. Bei ITFS funktioniert das allenfalls eingeschränkt. Was unter Infraschall und tieffrequentem Schall zu verstehen ist, wurde definiert.

Aber gibt es Unterschiede in der Wahrnehmung zwischen beiden? Zu tiefen Frequenzen hin nimmt die Hörempfindlichkeit stetig ab. Ist ein 100 Hz-Ton bei einem Pegel von etwas über 20 dB im Mittel noch wahrnehmbar, so liegt die entsprechende Schwelle bei 10 Hz schon bei knapp unter 100 dB. Abbildung 3 zeigt als Erweiterung zu tiefen Frequenzen den Vorschlag zu einer standardisierten Hörschwelle bis hinunter zu 2 Hz. Diese Erweiterung wurde durch die Auswertung vieler Hörschwellenmessungen von Møller, H. und Pedersen, C.S. bestimmt (Abbildung 3) [1].

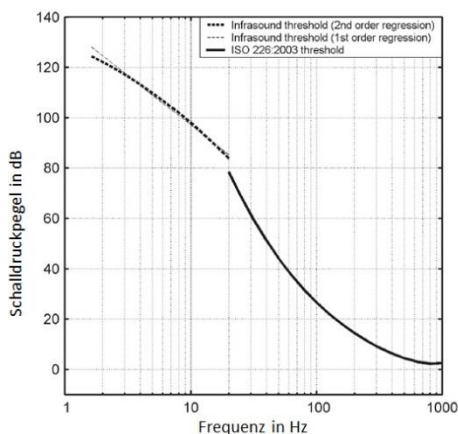


Abbildung 3: Hörschwelle bis in den Infraschallbereich (linker Teil der Kurve) Der rechte Teil der Kurve entspricht der Hörschwelle nach der ISO226 -2003, die bis 20 Hz hinunter reicht. Quelle: [1]

Ein weiteres Merkmal ist die abnehmende Erkennung der Richtung, aus der die Schallwelle wahrgenommen wird. Die Richtung, aus der ein Transformator einen 100 Hz-Grundton abstrahlt, ist noch ziemlich genau anzugeben. Mit abnehmender Frequenz geht diese Fähigkeit zunehmend verloren. Da der Grund dafür rein physikalischer Natur ist, ist die Messtechnik davon in gleicher Weise betroffen.

Beim beidohrigen Hören, dem sogenannten binauralen Hören, was ja dem natürlichen Hören entspricht, werden durch den Gehörsinn die Differenzen zwischen den beiden Ohrsignalen zur Bestimmung der Richtung ausgewertet. Durch den Beugungseffekt und den zeitlich gedehnten Verlauf von ITFS, treten bei ITFS zwischen den Schalldruckverläufen an beiden Ohren zunehmend weder wahrnehmbare Pegeldifferenzen noch Laufzeitdifferenzen auf, egal aus welcher Richtung die Schallwelle einfällt. Aus dem Grund hilft kein Kopfdrehen bei dem Versuch, die Richtung festzustellen, aus der das Geräusch kommt. Dieses Phänomen, nämlich die Quelle des tieffrequenten Schalls nicht orten zu können, wird von manchen als sehr belastend empfunden, da es für sie eine Art Kontrollverlust bedeutet.

Aber wodurch ist die Grenze zwischen Infraschall und tieffrequentem Schall bestimmt? Wie es der Natur vielfach eigen ist: Es gibt keine harte Grenze. Worin besteht die Grenze überhaupt? Auf jeden Fall nicht darin, dass Infraschall nicht hörbar sei.

Ein Blick auf den anatomischen Aufbau des Ohres hilft weiter: Die von außen über das Außenohr (per Luft) und das Mittelohr (per Gehörknöchelchen) in das Innenohr (Cochlea = Schnecke) übertragenen Schwingungen (Abb. 4), pflanzen sich dort in einer Flüssigkeit an einer Membran (Basilarmembran) entlang als Welle (Wanderwelle) fort. Dabei werden eingangs des Innenohrs die hohen Frequenzen durch eine verstärkte Auslenkung der Basilarmembran erfasst. Zum Ende der Cochlea werden die tiefen Frequenzen in gleicher Weise erfasst. Bei sehr tiefen Frequenzen erreicht die Wanderwelle also die Spitze der Cochlea und läuft dort auf das Helicotrema auf (Abb. 5). Das Helicotrema verbindet die beiden Flüssigkeitskanäle, die durch die Basilarmembran sonst getrennt sind. Die dabei auftretenden Vorgänge sind sehr

komplex. Mit ihnen werden teilweise unterschiedliche Reaktionen der Menschen auf tieffrequenten Schall – dann eigentlich schon Infraschall – erklärt.

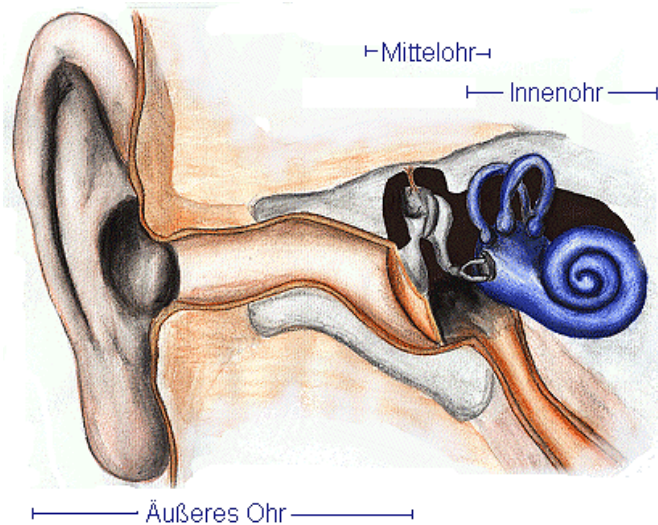


Abbildung 4: Anatomie des Ohres; © Ars Auditus, Martina Kremer

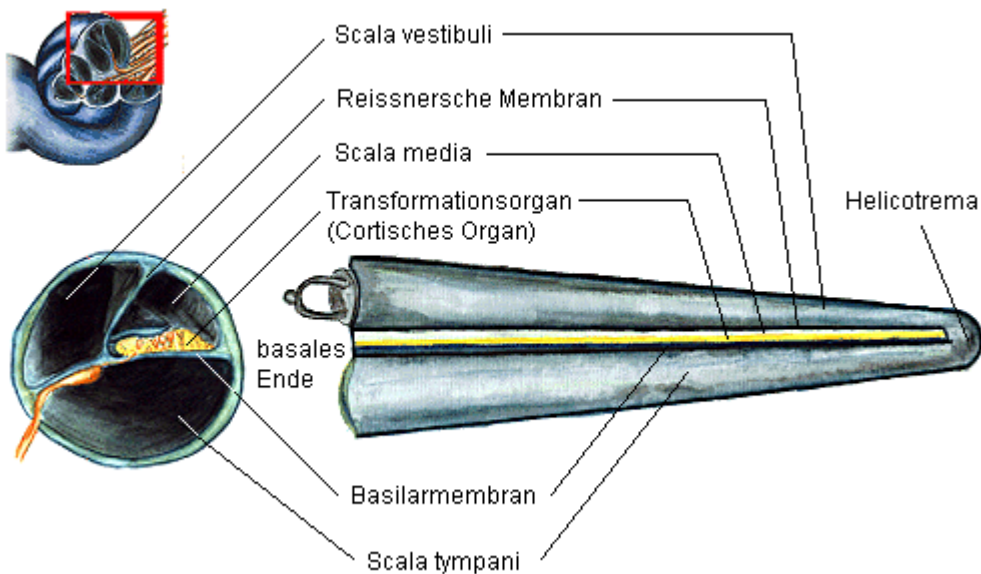


Abbildung 5: Aufbau des Innenohrs (Cochlea abgewickelt); © Ars Auditus, Martina Kremer

Erreicht die Wanderwelle die Schneckenspitze, hört zu tieferen Frequenzen hin ein differenziertes Tonhöhenempfinden auf. Diese Grenze gibt die Literatur mit ca. 30 Hz an, was dann eher als Grenze zwischen Infraschall und tieffrequentem Schall angesehen werden könnte. Dieser Übergang ist, wie schon angemerkt, ziemlich abrupt. Natürlich kann trotzdem ein 10 Hz-Sinuston von einem 20 Hz-Sinuston (bei hinreichenden Pegeln) unterschieden werden, aber nicht anhand der Tonhöhe (tiefer / höher), sondern anhand der Geschwindigkeit der Schwingung (schwingt langsamer / schneller).

Da die tieffrequenten Wellenanteile die Bereiche auf der Basilarmembran überlaufen, auf denen höherfrequente Anteile erfasst werden, kann die Wahrnehmung und Empfindung der tieffrequenten Anregung durch das Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein höherfrequenter

Anteile beeinflusst werden. Dieses Phänomen wurde bereits dahingehend angesprochen, dass durch höherfrequente Geräusche die Lästigkeit durch ITFS gemindert werden kann.

Warum der (sehr) tieffrequente Schall und der Infraschall von einem Teil der Menschen so belästigend, so stark beeinträchtigend empfunden wird, dafür gibt es verschiedene Hypothesen, die einzeln, aber auch in Kombination zutreffen können. Bestätigt ist aber noch keine.

Ohne den Anspruch auf Vollständigkeit: Häufig werden die Arbeiten von Alec Salt genannt, in denen er als ein wesentliches Merkmal die sehr unterschiedliche Erregung der inneren und äußeren Haarzellen bei sehr tiefen Frequenzen als eine Ursache ansieht [7]. Die äußeren Haarzellen werden auch bei sehr tiefen Frequenzen in starkem Maße bewegt, sind aber nicht die eigentlichen (direkten) Sensoren für die Erregung. Sie sind Teil der komplexen Steuerung bei der auditiven Wahrnehmung, durch die der große Dynamikbereich erreicht wird (Unterschied zwischen dem gerade noch wahrnehmbaren Schall bis zu einem Schall, der beginnt, schmerzhaft zu werden.). Sie beeinflussen die Wahrnehmung mehr indirekt.

Eine weitere, nicht selten vorgetragene Hypothese geht von einer Beteiligung des Gleichgewichtsorgans aus, das aus drei Bogengängen besteht, die mit der Cochlea verbunden sind (Abb.4). Über einen sehr schmalen Kanal kann unter gewissen Bedingungen ein Druck von der Cochlea auf das Gleichgewichtsorgan ausgehen, der zu Irritationen führt. Erklärbar wäre damit das Schwindelgefühl, über das allerdings nur gelegentlich berichtet wird [8].

Einiges deutet darauf hin, dass ebenfalls ungewöhnliche Prozesse im Nervensystem Ursache für die spezielle Wirkung von ITFS sein können, ähnlich wie es durch Lichtflackern bei der visuellen Wahrnehmung passiert, wo Adaptions- und Synchronisationseffekte eine Rolle spielen.

6. Ermittlung und Bewertung

Infraschall und tieffrequenter Schall werden in den Rechtsgrundlagen zum Schutz gegen Lärm stiefmütterlich behandelt. Einzig die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm [9] geht explizit auf diese Geräusche ein, doch bleiben die Festlegungen vage. Dort werden Geräusche mit vorherrschenden Energieanteilen im Frequenzbereich von 100 Hz und darunter als tieffrequent bezeichnet. Zudem wird ein Kriterium angegeben, wann bei deutlich wahrnehmbaren tieffrequenten Geräuschen von speziellen negativen Einwirkungen ausgegangen werden kann. Danach muss die Differenz zwischen dem C- und dem A-bewerteten Pegel (entweder L_{eq} oder L_{Fmax}) mindestens 20 dB betragen. Die Geräusche müssen dabei innerhalb von schutzbedürftigen Räumen und bei geschlossenen Fenstern auftreten. Abweichend von der sonstigen Messpraxis sind tieffrequente Geräusche innerhalb von Räumen zu messen. Im Anhang zur TA Lärm erfolgt nach einigen allgemeinen Hinweisen zur Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche ein Verweis auf die DIN 45680 „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräusche in der Nachbarschaft“.

Bei der Überprüfung an Hand der Kriterien, ob tieffrequenter Schall vorliegt, wurde nicht selten der Fehler gemacht, diese überprüfende Messung außerhalb des Hauses durchzuführen. Bei der DIN 45680 wird nämlich die Messung nicht vor der Hausfassade vorgenommen, sondern innerhalb des Raumes, der nach Aussage der Betroffenen am stärksten vom Lärm betroffen ist. Bedingung ist aber, dass dieser Raum nicht nur gelegentlich genutzt wird. Auch ist zu beachten, dass innerhalb dieses Raumes an der Stelle zu messen ist, an der der Lärm am deutlichsten wahrgenommen wird. Auf die Bildung von Moden wurde bereits unter dem Abschnitt *Physikalische Eigenschaften* hingewiesen. Da sich der Schall in der Regel entweder in der Nähe einer Wand oder einer Ecke am ehesten verstärkend überlagert, soll die Messung

vorzugsweise dort vorgenommen werden. Ausschlaggebend sind aber letztlich die Hinweise der Betroffenen, wo die Geräusche am stärksten wahrnehmbar sind.

Nach der DIN 45680 werden die Terzspektren von 8 Hz bis 100 Hz gemessen. Die Terz ist eine logarithmische Einteilung der Frequenz. Drei Terzen entfallen auf eine Oktave und eine Oktave steht für eine Verdoppelung der Frequenz.

Die in der jeweiligen Terz gemessenen Schalldruckpegel werden mit dem zugehörigen Wert der Hörschwelle (siehe Tabelle 1) verglichen. Schalldruckpegel unterhalb der Hörschwelle werden nicht weiter berücksichtigt. Das ist der erste Schritt zur Ermittlung des sogenannten Beurteilungspegels. Bei dieser Vorgehensweise wird ignoriert, dass sich mehrere unterschwellige Komponenten zu einer zumindest zeitweise überschwelligen Geräuschbelastung verbinden können.

Tabelle 1: Hörschwelle nach DIN 45680 (97) in Abhängigkeit von den Terzmittenfrequenzen

Terzmittenfrequenz in Hz	Hörschwelle in dB
8	103
10	95
12,5	87
16	79
20	71
25	63
31,5	55,5
40	48
50	40,5
63	33,5
80	28
100	23,5

Im Weiteren wird unterschieden, ob das Geräusch einen tonalen oder einen nicht-tonalen Charakter hat. Davon hängt ab, nach welchem Modus das Geräusch bewertet wird. Die eng gefasste Festlegung der DIN 45680, was noch als tonal gilt und was nicht, führt dazu, dass kleinste Differenzen im gemessenen Spektrum des Geräusches, die sicher nicht hörbar sind, dennoch die Bewertung des Geräusches erheblich bestimmen können. Die nach der **DIN 45680** vorgeschriebene Vorgehensweise **hinkt** zwar **hinter dem Stand der Lärmwirkungsforschung hinterher**, doch ist sie aus formalrechtlichen Gründen für die Beurteilung tieffrequenter Geräusche bindend. Aus dem gleichen Grund bleibt eine **zeitliche Strukturierung des Geräusches (Modulation / Impulshaltigkeit) bisher unberücksichtigt**.

Der so ermittelte Beurteilungspegel wird mit zwei Werten verglichen, den Anhaltswerten für den Tag und für die Nacht. Als Tag gilt die Zeit von 6 bis 22 Uhr, als Nacht die Zeit von 22 bis 6 Uhr. Für den Tag wird über den entsprechenden Zeitraum gemittelt, für die Nacht die lauteste Stunde zugrunde gelegt. Im Falle der Überschreitung der in der DIN 45680 genannten Anhaltswerte ist eine erhebliche Belästigung nicht auszuschließen. Da Anhaltswerte keine Grenzwerte sind, muss die zuständige Behörde bei der Beurteilung der Belastung durch ITFS das ihr zustehende Ermessen pflichtgemäß ausüben. Sie wird in der Regel den Einzelfall betrachten und kann dazu weitere Kriterien für die Beurteilung heranziehen, insbesondere wie hoch die Anhaltswerte überschritten sind, ob eine Minderung der tieffrequenten Geräuschemissionen technisch machbar ist und ob der Aufwand in einem angemessenen Verhältnis zum Nutzen steht.

Die DIN 45680 reicht zwar bis in den Infraschallbereich, aber nur bis 8 Hz, darunter gibt es keine Regelung. Besteht der Bedarf, für den Bereich bis hinunter zu 1 Hz eine Beurteilung

vorzunehmen, kann die dänische Norm (No.45) [11] als Erkenntnisquelle herangezogen werden, in der die Terzpegel G-bewertet [12] werden und die Grenze auf 85 dB(G) gesetzt wird.

Nur mit einer erschöpfenden Erfassung und aussagekräftigen Dokumentation von Problemfällen, speziell im Infraschallbereich, werden zukünftig die Daten zur Verfügung stehen, die einer wissenschaftlich fundierten Reglementierung von Infraschall zu einer breiten Akzeptanz verhelfen können. Da für **Messungen bis hinunter zu 1 Hz spezielle Messmittel** und Erfahrungen Voraussetzung sind, sollte diese Aufgabe ausgewiesenen Gutachtern und Akustikbüros übertragen werden.

7. Gegenmaßnahmen

Die übliche strukturierte Vorgehensweise bei Lärminderungsmaßnahmen besteht zunächst in Maßnahmen an der Quelle, dann in Maßnahmen auf dem Übertragungsweg und letztlich in Maßnahmen am Immissionsort. Die Ursachen von ITFS können sehr vielfältig sein, sodass zur Minderung des Geräusches kaum generell wirkende Maßnahmen an der Quelle benannt werden können. Quelle kann z.B. eine Maschine mit einer Unwucht sein. Oder Turbulenzen in einem Abgaskanal. Maßnahmen zur Minderung an der Quelle, wenn diese denn bekannt ist, sind dementsprechend spezieller Natur und erfordern erfahrene Akustikingenieure. Nicht selten sind jedoch Maßnahmen an der Quelle technisch nicht realisierbar.

Der nächste Schritt, die Ausbreitung des Geräusches zu behindern, ist schon aufgrund der in Abschnitt 4 beschriebenen physikalischen Eigenschaften wenig aussichtsreich. Bleiben Maßnahmen am Immissionsort.

Sich mit passiven Maßnahmen (dickere Fensterscheiben, Absorber etc.) gegen ITFS zu schützen, ist nur sehr begrenzt möglich. Über die Massenträgheit wurde schon gesprochen. Wird auf dieses Wirkungsprinzip gesetzt, werden bei tiefen Frequenzen Massen erforderlich, deren Einsatz aus technischer Sicht, bisweilen auch aus wirtschaftlicher Sicht kaum zu vertreten ist. Bei Absorbern nimmt das Material die bewegte Luft auf und dämpft die Welle durch Umsetzung von Bewegungsenergie in Reibungswärme. Je tiefer die Frequenz ist, desto größer ist das Luftvolumen, das für eine wirksame Absorption aufgenommen werden muss. Entsprechend ist das Volumen des absorbierenden Materials auszulegen. Auch hier gibt es praktische Grenzen. Die Wirksamkeit der Absorption kann durch Resonanzabsorber gesteigert werden, doch ist dies wegen der Abstimmung des Absorbers auf einen festgelegten, eingegengten Frequenzbereich beschränkt.

Eigentlich sollte nicht die Minderung der akustischen Energie das primäre Ziel sein, sondern die Minderung des Schalldruckes, denn auf den reagiert unser Gehör im Wesentlichen. Ein wirksamer Mechanismus kann aus der Modenbildung abgeleitet werden: Bei der Überlagerung von Schallfeldern kommt es zu Interferenzen, die den Schalldruck verstärken aber auch stark mindern können. Diese Minderung gezielt durch ein zusätzlich aktiv erzeugtes Schallfeld zu erreichen, ist die Idee des Gegenschalls, auch bekannt als Antischall, aktive Lärminderung oder im Englischen als Active Noise Control (ANC).

Bei der aktiven Lärminderung wird das vorhandene Schallfeld (Primärfeld) mit einem zusätzlich erzeugten Schallfeld (Sekundärfeld) so überlagert, dass sich beide durch destruktive Interferenz im Idealfall gegenseitig auslöschen. Hierzu muss das Sekundärfeld invers zum Primärfeld sein.

Damit ist das Prinzip bereits erklärt und so einfach stellt es sich auch in der vielzitierten Patentanmeldung von Lueg aus dem Jahre 1932 dar. Dass diese Technik jetzt 90 Jahre später nicht auf breiter Basis eingesetzt wird, wo der Lärm ein immer stärkeres Problem geworden ist, lässt vielleicht erahnen, dass es mit der Umsetzung dieser Idee nicht so einfach ist.

Denn, damit die Lärminderung deutlich wahrnehmbar wird, muss das Sekundärfeld, abgesehen von dem Vorzeichenwechsel, ziemlich genau dem Primärfeld entsprechen. Diese Aufgabe (hohe relative Genauigkeit) ist umso schwerer zu erfüllen, je

- größer die Ausmaße der Lärmquelle oder des zu schützenden Bereiches sind.
- kleiner die kürzeste Wellenlänge bei den relevanten Schallkomponenten ist.

Weitere Schwierigkeiten können sich durch zeitlich und/oder örtlich ändernde Schallausbreitungsbedingungen ergeben.

Die Anforderungen waren mit den früheren technischen Möglichkeiten nicht zu bewältigen, und so war man erst in den 50er Jahren überhaupt in der Lage, hierzu grundlegende Experimente durchzuführen. Auch die weitere Entwicklung verläuft sehr zögerlich und ist stets von dem Ansatz geprägt, es bei möglichst großen Wellenlängen (sprich tiefen Frequenzen) mit möglichst kleinen Abmessungen / Abständen zu tun zu haben.

Doch das häufig gehörte Gegenargument des zu großen Aufwandes relativiert sich immer mehr. Wurden noch Mitte der 90er Jahre die Möglichkeiten von ANC sehr kritisch gesehen, so hat die dynamische Entwicklung in der Mikroelektronik und auf dem Gebiet der digitalen Signalverarbeitung neue Möglichkeiten eröffnet. Mit Fortschreiten dieser Entwicklung können im verstärkten Maße Regelungskonzepte eingesetzt werden, die aufgrund des Aufwandes bisher nur auf dem Papier funktionierten. Schon sehr verbreitet wird der Kopfhörer mit ANC-Funktion eingesetzt, der bei geringem Aufwand sogar Komponenten höherer Frequenz gut dämpfen kann. Möglich ist dies, weil beim ANC-Kopfhörer alle Komponenten (Mikrofon, Lautsprecher) und zudem das Ohr in engem Abstand zueinander sind. Leider ist das Tragen eines Kopfhörers nicht in jeder Situation passend und wird auch nicht von allen gleich gut getragen.

Es ist bestimmt nicht unrealistisch zu hoffen, dass in Zukunft mit der ANC-Technik mehr ITFS-Lärmprobleme wirkungsvoll gemindert werden können. Ansätze gibt es schon zahlreich.

8. Hinweise für Betroffene

Mit der Wahrnehmung eines unangenehmen Geräusches beginnt für die meisten auch schon direkt die Suche nach einer möglichen Quelle. Nach den Ausführungen in diesem Text ist dies bei ITFS nicht ganz einfach. Daher wird ein strukturiertes Vorgehen vorgeschlagen:

1. Führen Sie ein Protokoll, in dem alle Umstände genau erfasst werden. Alles kann einen Einfluss haben: die Tageszeit, der Wochentag, die Witterung (Temperatur, Windrichtung, Wolkenbildung, Regen, Schnee, Nebel, Sichtverhältnisse) etc.
2. Machen Sie den Modentest
Anm.: Durch Abschreiten des Raumes kann erkundet werden, ob es wie in Abb. 2 klar feststellbare Bereiche gibt, in denen das Geräusch gut oder andererseits weniger gut hörbar ist. Ist dies der Fall, so ist das Vorhandensein eines tieffrequenten Schallfeldes sehr wahrscheinlich. Zur Verbesserung der Wahrnehmung empfiehlt es sich, dabei ein Ohr zuzuhalten.
3. Fragen Sie Nachbarn, ob sie ebenfalls ein von Ihnen beschriebenes Geräusch hören. Ggf. fragen, ob Sie sich das in deren Wohnung anhören dürften.
4. Gibt es irgendwelche Veränderungen im Haus oder in der Nachbarschaft, z.B. baulicher Art, neue Aktivitäten etc.? Aber Achtung, voreilige Schlüsse können auf eine falsche Spur führen. Aufgrund der ungehinderten Ausbreitung kann die Quelle auch 1-2 km entfernt sein.
5. An wen wende ich mich?
 - a. Hausverwaltung, Vermieter, Eigentumsgemeinschaft
 - b. Allgemeine Beratung, z.B. Umweltverbände
 - c. Behörden: Zuständige Stelle der Gemeinde / Stadt erfragen

6. Überlegungen zur Lärminderung:

- a. Was kann ich selbst machen? Weitere Informationen: [13,14]
- b. Wann sollte ein Akustiker zu Rate gezogen werden?
- c. Wann sollte ein Anwalt zu Rate gezogen werden?
- d. Wer trägt die Kosten?
- e. Was muss hingenommen werden?

Einige Erläuterungen dazu:

Für Betroffene ist die Situation dann besonders belastend, wenn sie als einzige von dem tieffrequenten Schall und/oder dem Infraschall beeinträchtigt zu sein scheinen und die anderen im Extremfall den Schall noch nicht einmal wahrnehmen können.

Ein Test, ob der beschriebene Modeeffekt vorhanden ist, kann erste Klarheit schaffen, ob ein Schallfeld vorhanden ist.

Wer einerseits etwas technisch versiert ist, aber andererseits Schwierigkeiten hat, etwas analytisch zu hören, der kann mit einem relativ preiswerten Rekorder, der auch ab einem Preis von ca. 100.- Euro schon annähernd Studioqualität bieten kann, ein akustisches Tagebuch führen. Aufnahmen können mit Kommentaren versehen werden, die später eine systematische Auswertung unterstützen. Mit Open-Source-Software können die Aufnahmen analysiert werden. Dann ist schnell geklärt, ob und ggf. welche Geräusche vorhanden sind. Ferner sind die Aufnahmen sehr hilfreich, wenn es gilt, Dritte (z.B. Familienmitglieder, Vermieter, Gutachter, Anwalt etc.) einzubinden. Auch selber kann man durch wiederholtes Abhören vermehrt Klarheit über die Geräuschsituation gewinnen. Das Abhören ist in der Regel mit einem guten Kopfhörer möglich. Zudem kann das Geräusch verstärkt wiedergegeben werden

Sprechen die Anzeichen (Vorhandensein von ITFS, gesundheitliche Beeinträchtigung, die Protokolle) für eine nicht akzeptable Geräuschbelastung, kann sich der/die Betroffene an die zuständige Behörde wenden und eine Prüfung des Sachverhaltes beantragen. Gute Vorarbeit steigert die Erfolgsaussichten bei einem solchen Antrag, denn brauchbare Ermittlungen in Verbindung mit Messungen können recht aufwändig sein. Sieht die Behörde sich nicht veranlasst, eine Messung durchzuführen oder die Ermittlungen fortzusetzen, so kann eventuell ein selbst beauftragtes Gutachten weiterhelfen, dessen Kosten, die man selbst übernehmen muss, allerdings erheblich sein können.

Bevor man eine normgerechte Messung von einem Fachmann durchführen lässt, sollte deshalb genau überlegt werden, was damit erreicht werden soll bzw. kann. Das wesentliche Ziel wird ohne Zweifel die Beseitigung der Geräuschbelastung sein. Dafür muss aber der Verursacher identifiziert werden. Falls bereits relativ eindeutige Beobachtungen auf einen Verursacher hinweisen, gelingt das gelegentlich auch ohne eine kostspielige Messung, wenn der vermeintliche Verursacher kooperativ ist und z.B. den Zugang zu der infrage kommenden Lärmquelle erlaubt oder diese nach Absprache aus- und einschaltet. Betriebe, die eine gute Nachbarschaft pflegen, haben selbst ein Interesse daran, mögliche Ursachen festzustellen und ggf. auch zu beseitigen. Einen Anspruch auf ein solches Vorgehen hat man allerdings nicht. Häufig sind die vermeintlichen Verursacher nicht kooperativ. Spätestens hier kann eine Messung weiterhelfen.

Kann durch eine normgerechte Messung festgestellt werden, dass die erwähnten Anhaltswerte überschritten werden, so sollte dies die zuständige Behörde veranlassen, der Ursachen weiter nachzugehen. Kann der Verursacher bzw. die Quelle identifiziert werden, so kann die Forderung nach einer Minderung der Lärmbelastung erhoben werden. Ein bedingungsloser Anspruch darauf besteht aber nicht, weil es sich bei den Anhaltswerten nicht um Grenzwerte handelt und zudem Gerichte die technische Machbarkeit und den finanziellen Aufwand zur Beseitigung der Belastung in die Waagschale werfen.

Werden die Anhaltswerte nicht überschritten, so ist die Wahrscheinlichkeit groß, eine Minderung der Lärmemission nicht erreichen zu können. Selbst beim juristisch belastbaren Nachweis der Kausalität, der in der Regel eine hohe Kompetenz des Gutachters voraussetzt, kann sich der Verursacher darauf berufen, dass er die Anforderungen der TA Lärm einhält. Gerichte werden in der Regel diesem Argument folgen. Bei nur leichter Unterschreitung der Anhaltswerte ist jedoch nicht auszuschließen, dass ein Gericht zumindest einen Versuch verlangt, ob nicht durch eine einfache Maßnahme der Lärm gemindert werden kann.

Leider muss gesagt werden, dass die Quelle häufig nicht gefunden oder der juristisch belastbare Nachweis der Kausalität nicht erfüllt werden kann. Die fast unbehinderte Ausbreitung hat häufig eine Überlagerung der Geräusche von mehreren Quellen zur Folge. In dem Fall kann die Immission in der Wohnung nur schwer nachweislich mit einer bestimmten Quelle in Verbindung gebracht werden.

Besteht die Geräuschimmission fort, kann versucht werden, die Wahrnehmung des Geräusches zu verhindern. Die im Abschnitt *Aktive Lärmkontrolle* vorgestellte Technik steht leider noch nicht breit zur Verfügung, wobei sich aber manche schon mit dem ANC-Kopfhörer weiterhelfen. Eine andere Maßnahme, die eine gewisse Wirkung zu haben scheint, beruht auf dem beschriebenen Umstand, dass zusätzliche Geräusche mit höheren Frequenzanteilen die unangenehme Wirkung von tieffrequentem Schall und Infraschall mildern, wenn nicht gar aufheben können. Hierzu werden Geräusche, die einen angenehmen Charakter (z.B. Regen) haben, über einen Lautsprecher wiedergegeben. Diese Lösung findet allerdings ihre Grenzen, wenn der Partner oder die Partnerin dadurch plötzlich auch ein Lärmproblem haben. Aber vielleicht kann man sich ja auf ein für beide Seiten angenehmes Geräusch einigen.

Erfolglosigkeit bei der Suche nach der verantwortlichen Lärmquelle kann aber auch einen anderen Grund haben. Ist ein Zusammenhang zwischen dem, was objektiv festgestellt wird, und dem, was von der betroffenen Person berichtet wird, nicht erkennbar, so ist in dem Fall eine medizinische Ursache, die sich möglicherweise durch einen Tinnitus bemerkbar macht, nicht auszuschließen. Bei einem solchen Verdacht ist eine medizinische Beratung angeraten, um eventuell verdeckte gesundheitliche Probleme aufzuklären.

Es gibt viele Formen des Tinnitus. Der temporäre Tinnitus kann zu besonders komplexen Situationen führen, während der permanente schon leichter einzuordnen ist. Ein temporärer Tinnitus kann durch ein tieffrequentes Schallereignis ausgelöst (induziert) werden und noch eine Zeit lang weiter bestehen, selbst wenn der auslösende Schall nicht mehr vorhanden ist. Damit kann beispielhaft Folgendes eintreten: Wird bei der Suche nach der Quelle der/die Betroffene zu einem Hörtest gebeten, bei dem z.B. das als Quelle in Betracht kommende Gerät wiederkehrend kurzzeitig ein- und ausgeschaltet wird, wird dies unter Umständen von dem/der Betroffenen gar nicht so wahrgenommen, und der fatale Schluss gezogen, dass dieses Gerät nicht als Quelle der Belästigung infrage käme.

Weitere Irritationen können dadurch auftreten, dass sich, neben der zeitlichen Unschärfe bezüglich der Wahrnehmung des Geräusches, die Wahrnehmung der spektralen Zusammensetzung des Geräusches nicht den objektiven Gegebenheiten zuordnen lässt. Die Möglichkeit einer solchen Situation sollte nicht ausgeschlossen werden, insbesondere wenn sich Aussagen der Betroffenen mit objektiven Beobachtungen nicht schlüssig zur Deckung bringen lassen und unerklärbar bleiben.

9. Literatur

- [1] Møller, H.; Petersen, C.S.: *Hearing at Low and Infasonic Frequencies*; Noise & Health 2004, 6; 23 page 37 - 57
- [2] Moorhouse, A.T.; Waddington, D.C.; Adams, M.A.: *A procedure for assessment of low frequency noise complaints*; JASA 126 (3), Sept. 2009, p. 1132-1141
- [3] Krahé, D.; Schreckenber, D.; Ebner, F.; Eulitz, C.; Möhler, U.: *Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall - Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Ermittlung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen*; Umweltbundesamt 2014
- [4] Koch, C.: *Hearing beyond the limit: Measurement, perception and impact of infrasound and ultrasonic noise*, ICBEN 2017, Zürich;
http://www.icben.org/2017/ICBEN%202017%20Papers/Keynote02_Koch_4163.pdf
- [5] Krahé, D.; Alaimo Di Loro, A.; Müller, U.; Elemenhorst, E.-M.; De Giuoannis, R. Schmitt, S.; Belke, C.; Benz, S.; Großart, S.; Schreckenber, D.; Eulitz, C.; Wiercinski, B.; Möhler, U.: *Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen*; Umweltbundesamt 2020
- [6] Burke, E.; Steder, E.P.; Uppenkamp, S.; Koch, C.: *Investigation of the unpleasantness of infrasound combined with audio sound using psychoacoustic scaling methods*; 23rd International Congress on Acoustics, Aachen, Germany, 2019.
- [7] Salt, A.; Hullar, T.E.: Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines; *Hearing Research*, Vol. 268, Issue 1-2, 2010, page 12 – 21
- [8] Schomer, P.D.; Erdreich, J.; Pamidighantam, P.K.; Boyle, J.H.: - *A theory to explain some physiological effects of the infrasonic emissions at some wind farm sites*; JASA, 2015 Mar; 137 (3); page 1356-65
- [9] TA Lärm – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, https://www.verwaltungs-vorschriften-im-internet.de/bsvwwvbund_26081998_IG19980826.htm
- [10] Beckert, C.; Fabricius, S.: *TA Lärm – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm mit Anleitungen*; Erich Schmidt Verlag 2009
- [11] Norm Nr.45; *Environmental noise regulation in Denmark*; 2012
- [12] G-Bewertung: ISO 7196 (1995) *Acoustics – Frequency weighting characteristic for infrasound measurements*
- [13] Möhler, U.; Eulitz, C.: *Tieffrequente Geräusche im Wohnumfeld - Ein Leitfaden für die Praxis*; Umweltbundesamt 2017
- [14] Eulitz, C.; Zobel, P.; Ost, L.; Möhler, U.; Schröder, M.: *Ermittlung und Bewertung tieffrequenter Geräusche in der Umgebung von Wohnbebauung*; Umweltbundesamt 2020