

## Schall - Infraschall

Tieffrequente Geräuschmissionen und ihre Beurteilung

Vibration und Körper - Einwirkung kräftiger Vibrationen auf Menschen

Tieffrequente Geräuschmissionen und ihre Beurteilung

Physikalische Lehrbücher beschreiben das Problem des tieffrequenten Schalls häufig nur unzureichend. Die Aussagen darin lauten sinngemäß: "Die untere Frequenzgrenze des menschlichen Hörbereiches liegt bei etwa 16 bis 20 Hz – tieferfrequenter Schall, sogenannter Infraschall, ist nicht hörbar."

Verschiedene, zum Teil schon 60 Jahre alte Untersuchungen zeigen allerdings: das menschliche Ohr ist durchaus in der Lage, Luftdruckschwankungen im Infraschallbereich wahrzunehmen, und zwar bis herab zu etwa 1 Hz. Was bei höheren Frequenzen gilt, ist auch hier richtig: Infraschall kann erst nach Überschreiten eines bestimmten Schalldruckpegels wahrgenommen werden. Allerdings nimmt die Empfindlichkeit des Ohres zu tiefen Frequenzen hin sehr stark ab. So liegt die Hörschwelle bei 100 Hz um 23 dB, bei 20 Hz schon über 70 dB. Bei 4 Hz liegt die Wahrnehmbarkeitsschwelle gar um 120 dB.

In der Praxis treten immer wieder Lärmbeschwerden auf, bei denen trotz glaubhaft vorgetragener starker Belästigungen nur relativ niedrige A-bewertete Schalldruckpegel gemessen werden können. Solche Lärmeinwirkungen sind geprägt durch ihre tieffrequenten Geräuschanteile, in der Regel verbunden mit deutlich hervortretenden Einzeltönen. Im Wohnbereich werden tieffrequente Geräusche, insbesondere zu Zeiten allgemeiner Ruhe wie z.B. nachts, schon dann als störend empfunden, wenn sie gerade wahrnehmbar sind. Betroffene klagen über ein im Kopf auftretendes Dröhn-, Schwingungs- oder Druckgefühl, oft verbunden mit Angst- und Unsicherheitsempfindungen, sowie über eine Beeinträchtigung ihrer Leistungsfähigkeit.

Die Wahrnehmung und Wirkung überschwelliger tieffrequenter Geräusche weichen deutlich von der Wahrnehmung und Wirkung mittel- oder hochfrequenter Geräusche ab. Im Frequenzbereich unter 20 Hz fehlen Tonhöhen- und Lautstärkeempfindung. Man empfindet Luftdruckänderungen vielmehr als Pulsationen und Vibrationen, verbunden mit einem Druckgefühl auf den Ohren. Im Frequenzbereich von 20 Hz bis etwa 60 Hz ist die Tonhöhen- und Lautstärkewahrnehmung nur schwach ausgeprägt. Vielfach sind hier Fluktuationen (Schwebungen) wahrzunehmen. Im Frequenzbereich ab 60 Hz schließlich findet der Übergang zur normalen Tonhöhen- und Geräuschempfindung statt. Der Übergang von einem Frequenzbereich zum nächsten erfolgt fließend, Wirkungen überlappen sich. Aus Sicht der Lärmbekämpfung erscheint es allerdings unerheblich, ob man die Infraschallwahrnehmung als "Hören" oder eher als "Fühlen" bezeichnet.

## **Tieffrequente Schwingungen gehen "durch"**

Zur Ausbreitung tieffrequenter Geräusche von der Quelle in die Nachbarschaft kommen Körperschall- oder Luftschallausbreitung in Frage. Bei Körperschallausbreitung werden Schwingungen von der Quelle durch feste Stoffe (z.B. Fundamente, Erdreich, Decken, Wände) zum Einwirkungsort hin übertragen. Dort strahlen die Gebäudedecken oder Wände die Körperschallschwingungen als "sekundären Luftschall" in den Raum hinein ab. Bei der Übertragung tieffrequenter Schwingungen in festen Körpern sind die Dämm- und Dämpfungswirkungen auf dem Ausbreitungsweg weit geringer als bei höherfrequenten. Andererseits können bei der Anregung von Gebäudedecken und Wänden Resonanzeffekte auftreten. Auf dem gesamten Ausbreitungsweg können sich all diese Erscheinungen derart komplex ausprägen, daß – vom Emittenten gesehen – weiter entfernt gelegene Gebäude oder Gebäudeteile stärkere Einwirkungen zeigen als näher gelegene.

Auch bei der Übertragung von Geräuschen in der Luft wird auf dem Ausbreitungsweg tieffrequenter Schall weniger gedämpft als höherfrequenter. Ein ähnliches Frequenzverhalten zeigt die Schalldämmwirkung der Außenbauteile von Gebäuden, z.B. der Fenster oder Wände. Zusätzlich kann in geschlossene Räume eingekoppelter tieffrequenter Luftschall durch Raumresonanzen erheblich verstärkt werden. Es kommt dann zur Ausbildung sogenannter "stehender Wellen", wodurch zumindest lokal relativ hohe Pegel bei vergleichsweise geringem Schalleintrag verursacht werden. Dieser Effekt ist unabhängig von der Art der Transmission.

In den 80-er Jahren wurden die Erkenntnisse bezüglich tieffrequenter Schallimmissionen systematisch zusammengefaßt. Hierbei zeigte sich deutlich, daß tieffrequenter Schall als eine besondere Lärmart betrachtet werden sollte, deren Störwirkung sich nur unzureichend durch den A-bewerteten Geräuschpegel beschreiben läßt. 1992 wurde der Normentwurf DIN 45680 "Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft" veröffentlicht.

Nach dieser Norm werden die tieffrequenten Einwirkungen durch die jeweiligen Beurteilungspegel und Maximalpegel in den 10 Terzfrequenzbändern zwischen 10 und 80 Hz beschrieben. Zu ermitteln sind diese Pegel innerhalb eines Gebäudes, und zwar in dem am stärksten betroffenen Raum an der lautesten Stelle und bei geschlossenen Türen und Fenstern. Enthält das Geräusch einen hervortretenden Einzelton, so sind in demjenigen Terzband, das den Einzelton enthält, Terz-Beurteilungspegel und Terz-Maximalpegel mit der Hörschwelle zu vergleichen. Gegebenenfalls ist die Hörschwellenüberschreitung den Anhaltswerten nach dem Beiblatt 1 zu DIN 45680 gegenüberzustellen. Enthält das Geräusch keinen hervortretenden Einzelton, sind die Terzpegel nach der A-Bewertung zu gewichten und die Beurteilungspegel der 10 Terzbänder energetisch zu addieren. Die Ergebnisse können mit den entsprechenden Anhaltswerten verglichen werden. Im allgemeinen liegen keine erheblichen Belästigungen vor, wenn die Anhaltswerte nicht überschritten werden.

Die Rotorflügel sind exzellente Erzeuger von luftgeleitetem Infraschall. Leider ist dieser mit der bekannten Schallmeßtechnik nicht zu messen, deren Meßgrenze liegt in der Regel oberhalb 20 Hz, die Schallabstrahlung von Windkraftanlagen braucht sogar erst oberhalb 45 Hz gemessen werden. Infraschall liegt aber definitionsgemäß zwischen 0,1 und 20 Hz.

Ein normales Lärmmeßgerät kann nur den Pegel des „hörbaren“ Anteils bestimmen, über Pegelhöhen des ebenfalls vorhandenen Infraschall kann bestenfalls eine qualitative Aussage getroffen werden.

Bei der Frequenz von 5 Hz erreichen heute übliche Windblätter in Normalbetrieb Pegel von 80 dB etwa 150m in Windrichtung, Kompressoren und Rammbären können bei 10 Hz Frequenz Pegel von 120 dB erreichen. Angaben über neue Anlagen mit Masthöhen um und über 100m sind nicht bekannt. Übrigens auch das „Meeresrauschen“ hat viel Infraschall-Anteile, der bei Sturm beachtliche Pegel erreicht - nur ist Wind eben kein Sturm (Windräder werden dann meist stillgelegt) und der Sturm ist nach ein paar Stunden vorüber.

Viele gleichartige Anlagen erhöhen den Schallpegel (genau errechnet sich der Pegel nach einer logarithmischen Funktion). Wichtig ist auch, dass der allseits bekannte Hörschutz bei diesen niedrigen Frequenzen keine Dämmwirkung besitzt. Jeder kennt das: wenn im Mehrfamilienhaus eine Fete gefeiert wird, wummern die Bässe ungedämmt durchs ganze Haus und bringen die Mitbewohner zur Verzweiflung - weil sich die tiefen Frequenzen so schlecht dämmen lassen.

Grundsätzlich ist Infraschall Schall wie jeder andere. Die Auswertung von 100 Literaturquellen zeigt, dass die gleichen Wirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden wie bei hörbarem Schall und damit Lärm nicht auszuschließen sind. ....

Die zunehmende Quellenzahl von Infraschall durch die in letzter Zeit verstärkt errichteten und noch in Planung befindlichen Windkraftanlagen werden hoffentlich das öffentliche Bedürfnis nach Klärung verstärken und größere Forschungsprojekte ermöglichen.

Aus heutigem Kenntnisstand heraus sollten Windkraftanlagen deshalb lediglich weitab von menschlichen Ansiedlungen, besser noch, nicht in deren Sichtweite errichtet werden. Diese Faustregel hat keine besondere wissenschaftliche Begründung, sondern ist der Intensitätsabnahme von Schall pro Meter Abstand geschuldet, die für jede Art Schall gilt. Klar ist, dass es heute weder gesetzliche Regelungen noch standardmäßige Meßtechnik, geschweige denn ein standardisiertes Meßverfahren zur Bestimmung und Bewertung von Infraschall gibt. Lediglich der Flimmereffekt bei niedrigem Sonnenstand gilt für Windkraftanlagen als akzeptierter Kontrapunkt bei raumordnerischen Planung. Hoffnung besteht allein auf das Bundesimmissions-schutzgesetz, dass hörbare Pegel oberhalb 45 db nachts nicht zulässt.

Grundsätzlich muss auch für solche neuen Technologien, heute von Teilen der Bevölkerung als grundsätzlich positiv akzeptiert, die gleiche Unbedenklichkeit gelten, wie für alle andere Technik auch.

In einem Land mit einer Rasenmäherverordnung muss aber auch gelten, dass allein die Störung der Befindlichkeit - und diese wird bereits durch zahlreiche Bürgerinitiativen artikuliert - ausreichen muss, um von bestimmten Bauvorhaben Abstand zu nehmen. Erinnert sei an die Fluglärm- oder Verkehrslärmdebatte. Hier ging es in erster Linie nicht um zu erwartende Gesundheitsstörungen, sondern um Störungen von Kommunikation und Nachtruhe. - Dies muss die Windkraftlobby begreifen lernen.

Der Autor hat im Rahmen seiner wissenschaftlichen Tätigkeit 15 Jahre lang über extraurale Lärmwirkungen geforscht. Ein besonderer Schwerpunkt war dabei die individuelle Lärmempfindlichkeit des Menschen. - Dr. Reinhard Bartsch

**Infraschallmessungen: Messungen mit einem hochempfindlichen seismischen Schwingungsaufnehmer bzw. Infraschall-Mikrofon !**

## **Meßstationen Eichen !**

Schallprognosen werden nach einem Windprofil berechnet. Das logarithmische Windprofil liegt nur bei einer neutralen Temperaturschichtung vor, diese ist in der Regel nur zu bestimmten Tageszeiten kurzzeitig gegeben. Für den Großteil des Tages liegen stabile oder labile Temperaturschichtungen und damit abweichende Windprofile vor.

## **"Hohe Mühlen fangen viel Wind"**

Das Projekt der Uni Groningen versucht eine Erklärung für die Tatsache zu geben, dass Windturbinen bei bestimmten Wetterbedingungen mehr Geräusche produzieren und dadurch auf größeren Abstand zu hören sind als dies nach der üblichen Theorie möglich ist.

Diese Theorie besagt, dass die Windgeschwindigkeit logarithmisch mit der Höhe zunimmt. Aus unserem Projekt folgt, dass dieser Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Höhe bei einer stabilen Atmosphäre nicht gilt. Die Windgeschwindigkeit nimmt bei zunehmender Höhe schneller zu.

Ausgehend von der Windgeschwindigkeit auf 10 m Höhe wird die Windgeschwindigkeit auf Achsenhöhe größer sein, als es die logarithmische Funktion ausweist.

Eine Windturbine wird dadurch mehr Geräusche produzieren.

Ein ausgedehntes Netz von Einzelmeßstellen, um die Emission bewerten zu können Wetterlagen mit wenig Wind in Bodennähe, um Eigengeräusche an der Meßeinrichtung zu minimieren. Dazu stabile Wetterlagen mit bestenfalls geringfügiger Änderung der Windrichtung über die Meßdauer, weil ansonsten das gesamte Meßnetz immer wieder umgebaut werden müßte.

Nächte: Grund ist, daß das der berechneten Schallemission von WKA zu Grunde liegende "logarithmische Windgesetz" bei stabiler Schichtung der Atmosphäre nicht oder nur stark eingeschränkt gilt. Infolgedessen sind die Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe deutlich höher als sie sich nach dem logarithm. Windgesetz für instabile Schichtung (tagsüber bei thermisch induzierter Durchmischung der Atmosphäre) ergeben. Insofern haben alle Anwohner von WKA recht, wenn sie insbesondere nachts über Geräuschbelästigung klagen. Insofern sind auch alle Berechnungen zur Geräuschemission von WKA nachweislich falsch!

"Einige Nächte" deswegen, weil nachts die Atmosphäre überwiegend stabil geschichtet ist, die Schallsignale der WKA's also durchaus aus dem Umgebungslärm herauszuhören sind, aber auch, weil eine Einzelmessung nicht so ohne weiteres verwertbar ist, insbesondere vor Gericht angezweifelt werden kann.

Das Meßprogramm müßte umfassen:

- verschiedene Entfernungen von der/dem WKA/Windpark,
- Messungen in momentaner Windrichtung plus/minus 5, 10, 15, 20 Winkelgrade,
- Messung der Windgeschwindigkeit am Boden und in z.B. 5 Metern Höhe (Schalenkreuzanemometer auf entsprechender Stehleiter/Anlegeleiter).

Längstwellen (Schwingungen mit niedrigen bis sehr niedrigen Frequenzen) sind nur schwer zu orten, haben aber auch über große Distanzen nur minimale Dämpfungen.

Das gilt ausdrücklich auch für Schallwellen. Nehmen wir die Schallgeschwindigkeit in Luft mal mit 330 m/s an; dann hat eine Schallwelle mit 1 Hz eine Wellenlänge von 330 m, eine Schallwelle mit 0,1 Hz eine Wellenlänge von 3,3 km.

Die Schallemission eines Rotor ist proportional zur 5. Potenz der Windgeschwindigkeit, vulgo bei doppelter Windgeschwindigkeit habe ich den 32-fachen Schalldruck. Was das in Lautstärke definitiv ausmacht, weiß ich momentan nicht, eine Verdopplung dürfte drin sein; sicherlich gibt's jemanden, der hier weiterhelfen kann (Technische Akkustik als Stichwort).

... eine Erhöhung des Schalldruckpegels um den Faktor 10 entspricht einer Verdopplung der Lautstärke, bei dem Faktor 32 im Schalldruckpegel bei Verdopplung der Windgeschwindigkeit müßte etwa eine Zunahme der Geräuschbelästigung um etwa 15 dB herauskommen, also statt der berechneten 45 dB ca. 60 dB, was für Wohngebiete dann nicht mehr zulässig wäre.

## **Einwirkung kräftiger Vibrationen auf Menschen Vibration und Körper**

29.04.2002

Quelle: INDEKLIMA – LYD, Polyteknisk Forlag 1979

Tabelle 10.3

Beispiele für die Einwirkung kräftiger Vibrationen auf Menschen mit Circa-Angabe der Frequenzbereiche (nach STEPHENS)

Vibrationen können auf den Körper durch direkten Kontakt mit vibrierenden Bauteilen übertragen werden. Teile des Körpers können aber auch in Schwingungen versetzt werden durch kräftige Schallwellen in der umgebenden Luft, besonders Infraschall.

Wirkung	Frequenzbereich in Hz
Wahrnehmung	01, - 10.000
Bewegungskrankheit	0,1 - 1
Einfluss auf Gleichgewicht	0,1 - 10.000
Störung von Atmung und Sprechen	1 - 100
Herabgesetzte Arbeitsfähigkeit	1 - 1.000
Sehschwierigkeiten	3 - 1.000
Resonanz von Körperorganen	4 - 100
Schaden verursacht durch Erschütterungen	1 - 100
Leiden wegen Hadwerkzeug	100 - 10.000

In Gebäuden haben Vibrationen im Bereich über 80 Hz keine praktische Bedeutung. Unter 80 Hz können Vibrationen grob in zwei Frequenzbereiche mit verschiedenen Wirkungen aufgeteilt werden:

sehr niedrige Frequenzen (ca. 0,1 – 1 Hz) und

einen höheren Frequenzbereich (ca. 1 – 80 Hz).

Unter 1 Hz ist die wesentlichste Wirkung von Vibrationen Bewegungskrankheit, bei der die Symptome die gleichen sind wie für See- und Reisekrankheit, das heißt Übelkeit, Blässe, kalter Schweiß, allgemeines Unbehagen und eventuell Erbrechen. Darüber hinaus können Schwindel- und Gleichgewichtsstörungen auftreten. Es gibt keine vollständige Erklärung für das Entstehen der Bewegungskrankheit, aber es kann hingewiesen werden auf STEPHENS 3, Kap. 11 für eine Vertiefung des Themas.

Bei sehr niedrigen Frequenzen schwingt der ganze Körper als eine Einheit, aber bei Frequenzen über 1 bis 4 Hz werden einzelne Organe oder Teile des Körpers wegen Resonanz besonders kräftig schwingen, welches eine lange Reihe von Symptomen hervorruft, wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich. Der Tabelle liegen Versuche mit sehr kräftigen Vibrationen von 1 Minute und 3 Minuten Dauer zugrunde. Es geht aus den angegebenen Frequenzbereichen hervor, dass bei sehr niedrigen Frequenzen unter etwa 10 Hz besonders die zentral platzierten Organe mit relativ großer Bewegungsfähigkeit und niedrigen Resonanzfrequenzen beeinflusst werden. Umgekehrt sind Organe mit relativ kleiner Bewegungsfähigkeit und höheren Resonanzfrequenzen peripher platziert, und sie werden bei höheren Frequenzen beeinflusst

#### Tabelle 10.4

Die am deutlichsten erkennbaren Symptome zwischen 1 und 20 Hz bei Einwirkung auf sitzende Personen mit vertikalen Vibrationen im Grenzbereich gesundheitsschädlicher Einflüsse bei Exposition von mindestens 1 Minute (nach MAGID et al)

## **Symptom und Frequenzbereich**

### **Kopf und Hals**

Kopfschmerzen 13 - 20 Hz

Gefühl von "Kloß um Hals" 12 - 16 Hz

Unterkiefer in Resonanz 6 - 8 Hz

durch Resonanzen im Kehlkopf und Luftröhre beeinflusstes Sprechen 13 - 20 Hz

### **Brustkorb**

Atmung wird beeinflusst 4 - 8 Hz

Atemnot 1 - 3 Hz

Schmerzen in der Brust 5 - 7 Hz

### **Magenregion**

Muskelkontraktionen in der Bauchdecke 4,5 - 9 Hz

Magenschmerzen 4,5 - 10 Hz

### **Beckenregion**

Harndrang 10 - 18 Hz

Stuhldrang 10,5 - 16 Hz

### **Skelett und Muskeln**

Muskelkontraktionen in Armen und Beinen 4,5 - 9 Hz

Vermehrte Muskelverspannung in Beinen, Rücken und Nacken 8 - 12 Hz

Allgemeines Unbehagen 4,5 - 9 Hz

Für die Arbeit in extrem Infraschall-belasteter Umfeld gibt es Schutzanzüge!

## **INFRASCHALL**

Die größere Lautstärke des Brummtons in geschlossenen Räumen deutet auf ein Resonanzphänomen. Infraschall wäre dafür ein ideales Medium. Akustische Messungen des Gewerbeaufsichtsamtes Stuttgart belegen in einem Fall dessen Vorhandensein.

(Messung durch das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Stuttgart am Freitag, 19.11.1999 um 4.30-5.30 Uhr. Außentemperatur: 2°C. Es war fast windstill. Benutzt wurde ein Norsonic Sound Analyser Typ 110 Kl.1 mit Messmikrofon. Das Messgerät war auf den untersten Messbereich kalibriert. Die Messzyklen dauerten ca. 2 Minuten. Messwerteangaben in dB linear.)

Bei diesen Messungen wurde in einem Wohnhaus Betroffener sehr früh am Morgen ein Ton von 8 Hz bei 79,8 dB (L) registriert.

Die Abkürzung dB steht für "Dezibel". Dies meint den Schalldruck - vereinfacht gesagt: die "Lautstärke", auch "Amplitude" oder "Pegel" genannt.

(L) bedeutet eine lineare Messung, die nicht das menschliche Hörvermögen als Maßstab nimmt, sondern lediglich den physikalisch vorhandenen Schalldruck feststellt. In solchen Fällen spricht man auch von einer "unbewerteten Messung". In der englischen Literatur findet sich statt (L) die Abkürzung SPL für "Sound Pressure Level". Dies meint das Gleiche. Bei tieffrequentem Lärm ist solch eine unbewertete Messung allen anderen Verfahren vorzuziehen.

Die gemessene Frequenz von 8 Hertz (8 Schwingungen pro Sekunde) liegt im normalerweise unhörbaren Infraschall-Bereich. Zu diesem Wert gesellten sich in Tailfingen auch höhere Frequenzen im hörbaren Bereich. Dort war der Schalldruck geringer. Solch eine Verbindung von hörbaren und unhörbaren Tönen ist häufig anzutreffen. Die Suche nach dem Verursacher wird dadurch erleichtert: man kann seinem Gehör folgen.

Der Tailfinger Meßwert scheint für ein schlafendes Dorf bemerkenswert. Wie auch bei anderen schwäbischen Messungen mit positiven Ergebnissen (stets unterhalb der amtlichen Grenzwerte) wurde keine entsprechende Schallquelle gefunden - weder im Haus noch außerhalb (Stand: Oktober 2001).

Extrem langwelliger Infraschall (engl.: far infrasound) kann zwar bei entsprechender Amplitude mehrere tausend Kilometer zurücklegen. Die gemessenen 8 Hertz gehörten jedoch zum oberen Infraschallbereich (engl.: near infrasound). Töne dieser Kategorie tragen normalerweise nur wenige hundert Meter weit und entstammen meist einer künstlichen Quelle. Dass keine entdeckt wurde, könnte ein meßtechnisches Problem sein. Infraschall im Freien zu messen, ist schwierig.

## **Chronologie**

### **Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz**

1821: Das naturwissenschaftliche Multitalent beschreibt unter anderem das Entstehen der Töne:

„Schon die gemeine Erfahrung zeigt uns, dass alle tönenden Körper in Zitterungen begriffen

sind. Wir sehen und hören dieses Zittern, und bei starken Tönen fühlen wir, selbst ohne den tönenden Körper zu berühren, das Schwirren der uns umgebenden Luft. Spezieller zeigt die Physik, dass jede Reihe von hinreichend schnell sich wiederholenden Stößen, welche die Luft in Schwingung versetzt, in dieser einen Ton erzeugt.“

– Helmholtz, Hermann von: Über die physikalischen Ursachen der musikalischen Harmonien (Vorlesung); zit. n. Fritz Kraft (Hrsg.): Hermann von Helmholtz. Über die physikalischen Ursachen der musikalischen Harmonien; München 1971, S. 7 f.

## **26. August 1883, Indonesien, Krakatoa explodiert**

Der indonesische Vulkan schießt 21 Kubikkilometer Magma bis an den Rand des Weltraums. Die dabei erzeugte Flutwelle tötet in den nahen Küstenstädten auf Java und Sumatra 36 000 Menschen. Im Umkreis von 1600 Kilometern werden Fensterscheiben zerstört. Noch 4800 Kilometer entfernt ist die Explosion zu hören. Ein Vergleich von Barometer-Aufzeichnungen zeigt später, dass ein unhörbar-tiefer Anteil des Explosionsgeräuschs zweieinhalbmal die Erde umrundete. Damit entsteht das Interesse der Wissenschaft an Infraschall: an Luftdruckschwankungen im Bereich zwischen dem tiefsten, gerade noch hörbaren, Basston (oberes Ende des Infraschalls) und dem Wetter (unteres Ende). – Krakatoa; in: Encyclopaedia Britannica, CD-ROM 1999; – Krakatoa; in: Academic American Encyclopedia; hier: Danbury, CT 1995

## **Verwandtschaft von taktilen und auditiven Reizen bei tiefen Frequenzen**

1936: Dem Physiker und Mediziner Georg von Békésy gelingt bei Hörschwellenuntersuchungen am Menschen die Wahrnehmung eines Tones von 1 Hz. Békésy entdeckt bei solch tiefen Frequenzen eine Verwandtschaft von hörbaren Reizen und von Reizen, die per Tastsinn spürbar sind. Für seine Forschungen über das Selektionsvermögen des Ohrs erhält der gebürtige Ungar 1961 den Nobelpreis.

Nachfolge-Untersuchungen bestätigen Békésys Erkenntnisse: Infraschall bis hinab zu 1 Hertz kann durchaus wahrgenommen werden. Das aber verlangt eine immense „Lautstärke“ (richtiger wäre hier eigentlich die Bezeichnung „Amplitude“ oder „Pegel“).

Der Schwellenwert für die Wahrnehmung eines Tons von 16 Hz beträgt etwa 92 dB Sound Pressure Level (SPL). **Mit jeder Oktave nach unten (also: mit jeder Halbierung der Anzahl der Schwingungen pro Sekunde) steigt dieser Wert um 12 dB. Bei 1 Hz beträgt der Schwellenwert der Wahrnehmung etwa 130 bis 140 dB. Dann allerdings ist kein Ton mehr zu hören, sondern nur noch ein pumpendes, knallendes oder knatterndes Geräusch.** Die Wahrnehmung scheint in diesem Bereich individuell sehr unterschiedlich. Ein Ton mit diesen Werten läßt sich kaum mehr ertragen, denn die Hörschwelle (Empfindungsschwelle) und die Schmerzschwelle sind bei 1 Hz und 130 dB identisch. – Békésy, von G.: Akust. Z. 1 (1936) 13-23; s. a.: ders.: Experiments in Hearing; McGraw Hill 1960, S. 257-267 – Yeowart, N. S.: Thresholds of hearing and loudness for very low frequencies; in: W. Tempest (Ed.): Infrasound and low frequency vibration. London: Academic Press 1976

## **Schumann-Resonanz**

Aus einer Reihe immer genauerer Messungen ergibt sich Anfang der Sechziger Jahre ein Mittelwert von 7,83 Hertz. Diese Zahl wird als Schumann-Resonanz bekannt. Sie ist allerdings nicht konstant. Neben täglichen Frequenzschwankungen von etwa 0,5 Hertz ergeben sich weitere Variationen aus dem Wechsel der Jahreszeiten. Ausschlaggebend ist dabei eine Veränderung der Elektronendichte in der Unterkante der Ionosphäre. Zu den Einflußgrößen für dieses, noch nicht vollständig verstandene, Geschehen gehören der Wind, der Einstrahlungswinkel des Sonnenlichtes und die Temperatur der Atmosphäre. Durch diese Faktoren kann die Ionosphärenunterkante zwischen 60 und 90 Kilometern schwanken. Die

Höhe des „Hohlraums“ beeinflusst die Frequenz allerdings nur in der Größenordnung von 1/10 Hz.

Neuere Arbeiten zeigen, dass auch die Anzahl der Sonnenflecken eine Rolle spielt. Von ihnen freigesetzte, hochenergetische Partikel – sogenannte „Solar proton events“ (SPE) – bewirken eine stärkere Ionisation der Atmosphäre. Die reflektierende D-Schicht sinkt dabei von 80 km bis auf 50 km Höhe. Das wiederum verändert die schumannsche Frequenz um 0,04 bis 0,14 Hz (Schlegel, 1999).

USA, 1971

#### **Larson et al.: Mountain Associated Waves**

Wind, der über Bergrücken weht, kann weittragenden Infraschall erzeugen (0,1 - 0,01 Hz mit bis zu 150 dB SPL). Diese Wellen sind noch in 1000 km Entfernung zu messen. Sie werden nachgewiesen in British Columbia, in den Rocky Mountains (an der Grenze zwischen Alberta und British Columbia), in Colorado (Bedard 1978), in den Anden (Green & Howard in Bedard 1978) und auf Grönland (Thomas et al. 1974). Auch die Alpen stehen in Verdacht. Obwohl das Thema bereits während der Siebziger erforscht wurde, vermuten US-amerikanische Infraschall-Experten noch immer einen Zusammenhang zwischen Föhnbeschwerden und solchen Mountain Associated Waves. – Bedard, Alfred J. Jr., Thomas M. Georges: Atmospheric infrasound; in: Physics Today 3/1999. S. 32 fff – Gossard, Earl E. u. Hooke, William H.: Waves in the atmosphere; Amsterdam 1975, S. 301 ff

Italien, 1971

#### **Infraschall bei sehr niedrigen Pegeln (50 bis 65 dB) verlängert die Schlafperioden.**

– Fecci, R.; Barthelemy, R.; Bourgoïn, J.; Mathias, A. ; Eberle, H.; Moutel, A.; Jullien, G.; in: Med. Lavoro (1971), Nr. 62, S. 130/50

USA, 1973

#### **Infraschall unter 130 dB unschädlich?**

Zur Abwägung der akustischen Gefahren bei Raketenstarts untersucht das Aerospace Medical Research Laboratory in Ohio die Infraschallwirkung mit Pegeln bis zu 172 dB. Die Autoren arbeiten im Auftrag der NASA. Sie kommen zum Ergebnis, Infraschall unter 130 dB sei unschädlich. Dies wird von anderen Studien vehement bestritten. – Hartmut Ising et al.: Infraschallwirkungen auf den Menschen; Düsseldorf 1982, S. 1-5, Studie des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes Berlin; – Arbeitskreis nicht ionisierender Strahlung /Norbert Krause (Hrsg.): Leitfaden nicht ionisierender Strahlung; darin: Borgmann, Rüdiger: Infraschall; 9/97, S. 11

Deutschland, 1982

#### **Infraschall wirkt als Stressor und kann die Atemfrequenz senken.**

Eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie untersucht an 100 Probanden die Wirkung von Infraschall (hier: 3-20 Hz mit Pegeln zwischen 70 und 125 dB). Die Beschallung dauert von einigen Minuten bis zum wochenlangen Aufenthalt in einer Messkammer (täglich 8 Stunden).

Ergebnis: „Es wurden keine ausgeprägten Schädwirkungen wie Übelkeit, Gleichgewichtsstörungen, Nystagmus o. ä. beobachtet. Dagegen wirkt Infraschall als unspezifischer Stressor ähnlich dem Hörschall. Der Streßeffekt des Infraschalls steigt mit der subjektiv empfundenen Lautstärke, d. h. sowohl mit wachsendem Pegel als auch mit wachsender Frequenz.“ Die Studie wird heute u. a. dafür kritisiert, dass die Probanden überwiegend junge Menschen waren. – Ising, Hartmut, et al.: Infraschallwirkungen auf den Menschen; Düsseldorf 1982, S. 1-5, Studie des Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes Berlin; – Ising, Hartmut, Schwarze, C.: Infraschallwirkungen

auf den Menschen; in: Zeitschrift für Lärmbekämpfung 29, Heidelberg 1982, S. 79-82  
(Zusammenfassung)

USA, 1984

Tonbandaufzeichnungen von Elefanten in Kenia bestätigen später den Verdacht. Mit diesen Aufzeichnungen von Tönen unterhalb der menschlichen Hörschwelle gelingt Payne und ihren Kollegen der erste Nachweis von **Infraschall bei Landsäugetern**. Zoologen hatten sich zuvor gefragt, wie große Elefantenherden urplötzlich völlig koordiniert losmarschieren können. ohne dass ein Signal zu hören ist?

Im Etoscha-Nationalparks (Namibia) hilft bei dieser Langwellenkommunikation mit Einbruch der Nacht eine Inversionszone aus verschiedenen warmen Luftschichten. Die Grenze zwischen den Schichten liegt einige Meter über dem Boden. Sie reflektiert langwelligen Schall ähnlich gut, wie unter ihr die harte, nur niedrig bewachsene, Erde. Damit entsteht zwischen der Grenzschicht in der Luft und den Erdboden ein Kanal, der die Tieftöne über erstaunliche Entfernungen trägt. Mit Frequenzen bis hinab zu 14 Hertz kommunizieren die Tiere über mehr als 10 Kilometer hinweg. – Payne, Katharine B., u. Langbauer, William R. jr.u. Thomas, Elizabeth M.: Infrasonic Calls of the Asian Elephant (*Elephas maximus*); in: Behavioral Ecology and Sociobiology, 18(4), 297-301, 1986

USA, 1986, ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN

**Betriebsbeginn einer ELF-Station der U.S. Navy in Michigan**

**Sie dient zur Kommunikation mit Unterseebooten auf der Frequenz 76 Hertz, einer Extra Long Frequency (ELF). Die Anlage verändert die Vegetation vor Ort.** – F.A.Z., 08.03.1995, S. N2

Deutschland, 1992, Normentwurf DIN 45680

**Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft**

In diesem Entwurf wird erstmals tieffrequenter Schall als eine besondere Lärmart eingestuft. Für diesen Lärm sei ein eigener Bewertungsmaßstab anzulegen. Gemessen wird jedoch nur: „innerhalb eines Gebäudes, und zwar in dem am stärksten betroffenen Raum an der lautesten Stelle und bei geschlossenen Türen und Fenstern“. Für die Suche nach Infraschallquellen im Freien sind die zuständigen Behörden in der Regel nicht ausgerüstet. Eines der Probleme: die Störgeräusche durch den Wind. Besonders die Messung von Windkraftanlagen bei voller Leistung ist daher schwierig.

Deutschland, 9. August 2001

**Landesregierung Baden Württemberg beginnt Brumm-Messungen**

Ort der ersten nächtlichen Messung ist eine Wohnung in Schömburg (Zollernalbkreis). Hier hören den Ton eine Mutter und ihr 10jähriger Sohn. Die Mutter bemerkt zusätzlich an sich ein Muskelzittern, das zeitlich nicht an den hörbaren Brummtönen gekoppelt sein muß. Das staatliche Meßteam untersucht luftgeleiteten Schall und seismische Schwingungen. Heinrich Menges von der zuständigen Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) in Karlsruhe: „Wir konnten etwas messen und auf einer Skala, das war eindeutig, aber wir haben keine Ahnung, was es gewesen sein könnte.“ (Frankfurter Allgemeine Zeitung, nach dpa)

Deutschland, 19. November 1999

**Brummtöne in Tailfingen: 8 Hz**

Das Gewerbeaufsichtsamt Stuttgart mißt zwischen 22 Uhr und 6 Uhr Infraschall im Neubau von Carmen Mischke und Achim Häußler. Den höchsten Schalldruck notiert das Amt in einem Raum des Hochparterre: 79,8 dB bei 8 Hz. Ein beachtlicher Wert für ein Wohnhaus in einem schlafenden Dorf.

Auch höherfrequente Anteile werden gemessen (mit geringerem Schalldruck). Trotz einer eingehenden Suche im Haus, in dessen Umfeld und sogar in der Kanalisation ist keine Schallquelle zu entdecken.

Carmen Mischke und Achim Häußler gehen daraufhin an die Öffentlichkeit und werden Gründungsmitglieder der IAB. – amtliche Messprotokolle und persönliche Mitteilungen durch die Betroffenen und den zuständigen Behördenvertreter im Januar 2001

United Kingdom, April 1999

Der Gasversorger „British Gas“ findet heraus, dass 80% der Betroffenen medizinische Probleme aufweisen. Für die verbleibenden 20% nennt die Studie eine Vielzahl individueller Brumm-Quellen – von Fabriken über den Verkehrslärm bis hin zum **Antrieb eines fünf Kilometer entfernten Schiffes**. Die Autoren vermuten, dass die Wohnräume der Opfer als Resonanzkörper für tieffrequente Anteile dieses Lärm dienen und dass eine persönliche Disposition zum Hören tiefer Frequenzen nötig sei.

„British Gas“ sieht sich nach diesem Ergebnis nicht als Verursacher. Die LFNSA scheint wenig überzeugt. Sie verfolgt das Thema weiter. – Department of Civil and Environmental Engineering / Hughes, Dave, hier: University of Bradford, Last up-dated April 1999; 2001 im Internet entdeckt

**Niederlande Tieffrequenter** "Lärm, den nur Sie hören" (Titel eines Merkblatts) beschäftigt besonders die Region um Rotterdam. Angesichts einer kontinuierlich steigenden Anzahl von Beschwerden hat der dort zuständige DCMR Milieudienst Rymond ein weltweit vorbildliches Betreuungssystem aufgebaut. Dazu gehört unter anderem ein 24 Stunden-Dienst mit Spezialisten für das Aufspüren tieffrequenter Lärmquellen und für die Betreuung der Betroffenen. Die Eingreif-Teams nutzen als Grundlage ihrer Arbeit eine Datenbank (MIRR). Sie enthält Informationen zu 25 000 Fabriken der Region und über das normale akustische "Klima" der Wohngebiete. Die DCMR kennt eine ganze Reihe guter Argumente für eine schnellstmögliche Aufklärung der Klagen über tieffrequente Belästigungen.