

Brummtton

Tieffrequenter Schall kann in Wohnungen zu erheblichen Beeinträchtigungen des Wohlbefindens führen. Der Körper ist durch den teilweise unbewusst wahrgenommenen Schall in erhöhter Alarmbereitschaft. Stresshormone werden ausgeschüttet und lösen eine ganze Kaskade von Reaktionen im Körper aus.

Von besonderem Interesse sind Schallanteile mit Frequenzen unterhalb von 200Hz.

Sie haben folgende Eigenschaften

- Sie können durch das menschliche Gehör nicht geortet werden. Der Schall ist gefühlt „überall“
- Typische Dämmstoffe sind nahezu wirkungslos.
- Massive Baumaterialien schirmen jedoch gut ab. In Kirchen ist der Verkehrslärm durch die dicken Mauern kaum hörbar.
- Fenster sind hingegen für Frequenzen unterhalb von 100Hz nahezu durchlässig
- Im Freien haben tiefe Frequenzen eine enorme Reichweite.
- Schlafzimmer sind meist mit Decken, Teppichen, Vorhängen etc. ausgerüstet. Hohe Frequenzen werden dadurch stark bedämpft, sind aber für tieffrequenten Schall praktisch wirkungslos. Dadurch tritt Brummen besonders störend in den Vordergrund.
- Je tiefer die Frequenz, desto schwieriger ist die Bekämpfung durch passive Maßnahmen.
- Durch die lange Wellenlänge, „kriecht“ der Schall um jede Ecke (Beugungseffekte)
- In Räumen bilden sich häufig Resonanzen.

Schall ist bis etwa 20Hz hörbar. Tieffrequentere Signale werden dann als Erschütterungen wahrgenommen. Die bewusste Wahrnehmung ist umstritten, allerdings scheinen tieffrequente Anteile für Störungen im Wohlbefinden verantwortlich zu sein.

Die Ursachen für Brummen sind meist technischer Natur

- Industrie
- Verkehr
- Windkraftanlagen
- Baumaschinen
- Transformatoren
- Pipelines
- Wärmepumpen
- Etc.

Tieffrequenter Schall und Infraschall wird aber auch im hohen Maße durch Wind und Wellen erzeugt, ganz ohne menschliches Einwirken.



Leider kommen auch Sinneseindrücke vor, die wie Brummen wirken, aber keine physikalische Ursache haben. Ein Tinnitus kann nur nicht in Form von „Pfeifen“ erscheinen sondern auch als „Brummtön“. Diese Form wird als Brumm-Tinnitus bezeichnet.

Systematische Ursachenforschung

Der erste und wichtigste Schritt ist, daß Sie andere Mitmenschen bitten, das Brummen auch zu hören und zu beschreiben. Selbstverständlich ist das Hörvermögen bzw. Wahrnehmungsvermögen jedes Menschen unterschiedlich. Falls sich jedoch keine andere Person finden lässt, die dieses auch Brummen hört, können wir Ihnen nicht weiterhelfen, da hier keine physikalische Ursache verantwortlich ist. Solche Fälle bearbeiten wir nicht weiter, da die hier auch keine Messtechnik weiterhelfen würde. Grundsätzlich verfügen wir über Messtechnik, die weitaus empfindlicher ist als das menschliche Ohr. Wenn dort keine Signale erfassbar sind, dann liegt hier auch nicht die Ursache.

Wir erhalten häufig Anfragen, dass ein „böswilliger“ Nachbar, ein spezielles Gerät installiert habe, das Infraschall erzeugt, um dadurch Ihre Gesundheit zu beeinträchtigen. Die „Betroffenen“ klagen über Schwindel, Kopfschmerzen usw. So etwas ist zumindest prinzipiell denkbar. Die notwendigen Pegel wären jedoch so hoch, dass die eigene Wohnung des Nachbarn unbewohnbar wäre. Es sei denn, er hat bei sich zusätzlich ein „Anti-Schallgerät“ installiert (Was es aber nicht gibt...). Infraschall kann prinzipiell mit Lautsprechern erzeugt werden. Aufgrund der enormen Wellenlänge sind solche Lautsprecher aber sehr groß. Selbst mit Subwoofern in der Größe eines Kühlschranks lässt sich kein Infraschall mit höheren Pegeln erzeugen. Alternativ könnte man „Vibrationserzeuger“ verwenden, die das gesamte Mauerwerk in Schwingungen versetzen. Diese Art der Anregung würde man aber deutlich mit der Hand spüren.

In solchen Fällen des „böswilligen Nachbarn“ in Verbindung mit „unhörbarem“ Schall können wir Ihnen leider nicht weiterhelfen und wir bearbeiten solche Anfragen nicht. Manche probieren es mit einem doppelwandigen Teelichtofen aus richtgegossenem Silikonkupfer zur kohärenten Infraschall Absorbierung.

Häufig kommen jedoch z.B. Wärmepumpen vor, die in der Nachbarschaft für Streit sorgen.

Im nächsten Schritt sollten Sie erfassen in welchen Räumen das Brummen hörbar ist und wie stark.

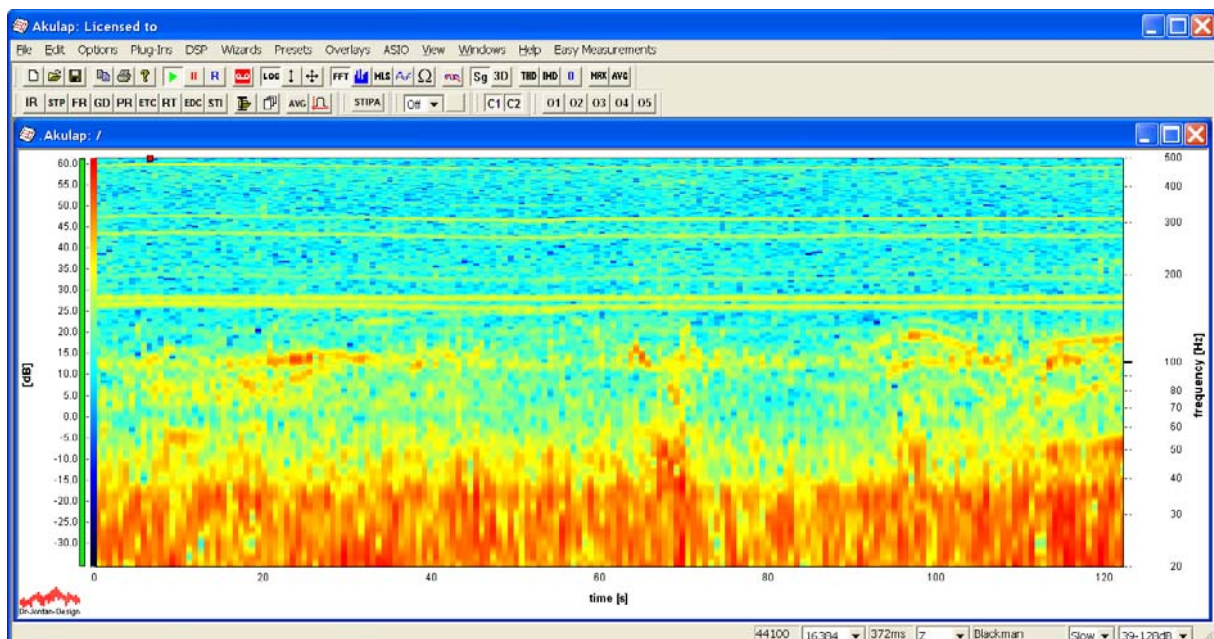
Protokollieren Sie, wann das Brummen auftritt.

Sie sollten soweit wie möglich alle elektrischen Verbraucher bei sich ausschalten. Mit etwas Glück finden Sie die Ursachen.

Für weitere Schritte benötigen Sie geeignete Messtechnik, um den Störton quantitativ zu erfassen. Sie können die Frequenz, den Pegel sowie die Verteilung über den Tag erfassen. Hilfreich sind auch Messungen im Garten, um Übertragung durch Luftschall zu erfassen.

Ermittlung der Frequenz

Sie können mit einfachen Mitteln die Frequenz der Brummtöne selbst ermitteln. Sie benötigen hierfür einen durchstimmbaren Sinusgenerator. Hierfür können Sie auch unseren kostenlosen Software Signalgenerator verwenden. Schließen Sie einen geeigneten Lautsprecher an den Generator und variieren Sie die Frequenz bis es dem Höreindruck entspricht. Einfacher und schneller können Sie das mit geeigneten Analyse-Werkzeugen durchführen. Hier ist ein Spektrogramm am wichtigsten, da es den frequenzabhängigen Pegelverlauf über der Zeit darstellt.

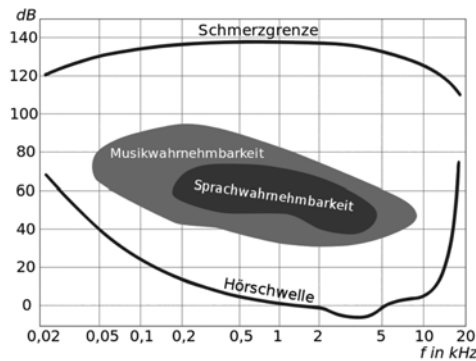


Hier erkennt man unterhalb von 50Hz Verkehrslärm. Die horizontalen Linien sind Lüftergeräusche bei 150Hz sowie deren harmonische. Die Signalanteile bei 100Hz sind auch dem Strassenverkehr geschuldet.

Mikrofone

Die Kurzfassung ist, selbst einfachste Mikrofone eignen sich für Analyse von Brummtönen. Sie benötigen allerdings geeignete Filter.

Zur Begründung müssen wir allerdings etwas ausholen. Das menschliche Ohr wird bei tieferen Frequenzen immer unempfindlicher. Bei 100Hz sind dies ca. 20dB gegenüber 1kHz. Bei 50Hz über 40dB. Selbstverständlich ist diese Hörkurve nur eine Statistik über viele Menschen. Einzelne Menschen können durchaus „besser“ hören und auch niedrigere Pegel wahrnehmen.

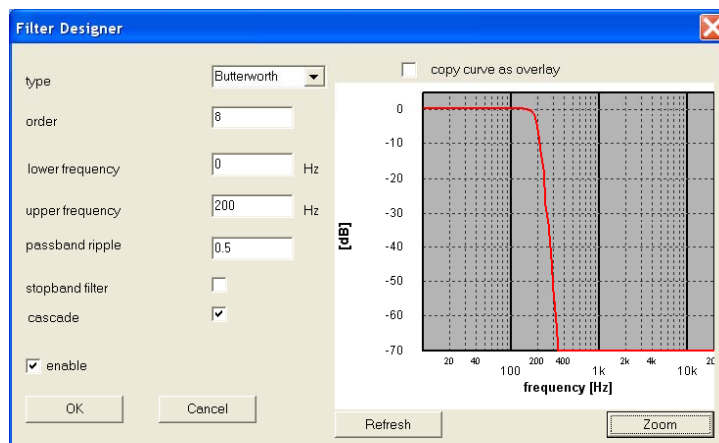


Typische Mikrofone haben jedoch eine gleichbleibende Empfindlichkeit im Bereich 20-20kHz. Gerade im Bereich unter 500Hz sind auch extrem preiswerte Elektretkapseln sehr linear. Sehr teure und hochwertige Mikrophonkapseln zeichnen sich durch einen linearen Frequenzgang oberhalb von 3kHz aus. Für Messungen von Brummtönen spielt dies jedoch keine Rolle.

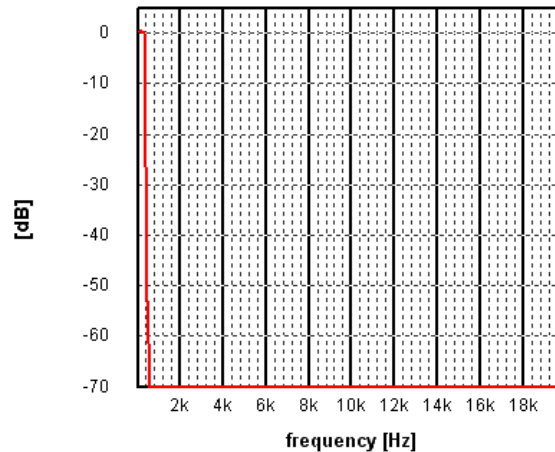
Wenn Sie Aufnahmen mit preiswerten Mikrofonen machen, werden Sie in der Regel auf diesen ein deutliches Rauschen erkennen. Einfache 1/4" Kapseln haben ein Eigenrauschen von ca. 34dB(A) also deutlich über der Hörschwelle. Die Hauptenergie des Rauschens liegt aber oberhalb von 1kHz. Uns interessiert jedoch nur einen sehr schmalen Frequenzbereich von 10Hz bis 100Hz. Wir benötigen nur 90/20000~0,45% der Bandbreite des Mikrofons und können damit 99,65% des Rauschens durch Filter entfernen. Für die Bandbreite von 90Hz gewinnen wir 23dB. Die eigentlichen Brummtöne sind noch viel schmalbandiger (<5Hz). Durch geeignete Signalanalyse (FFT) können Töne auch bei starkem Rauschen deutlich unterhalb der Hörschwelle identifiziert werden.

Der Schlüssel für aussagekräftige Analysen sind geeignete Filter. Grundsätzlich sind rauscharme Mikrofone von Vorteil sind aber nicht zwingend erforderlich. Bei rauscharmen Mikrofonen können Sie den Brummtön ggf. direkt in den Aufnahmen hören. Er ist nicht durch hochfrequenten Rauschen überlagert, das bei preiswerten Kapseln zunächst gefiltert werden muss.

Leistungsfähige Audio-Analyser wie Akulap verfügen über ein Vielzahl von Filter, mit denen ein solcher möglichst steilflankiger Tiefpass integriert werden kann.



Typischerweise werden Frequenzgänge mit logarithmischer Frequenzachse dargestellt, da dann den Verlauf der Flanke besser erkennen kann. Verwendet man jedoch eine normale lineare Frequenzachse, so sieht man deutlich, dass der größte Teil der Bandbreite des Audiosignals, und damit das Rauschen weggefiltert wird.



An dieser Stelle bleibt anzumerken, dass durch das starke Filtern, der Rauschanteil zwar stark verringert wird, gleichzeitig werden aber auch harmonische Signalanteile - die Oberwellen- entfernt, die Hinweise auf die Signalquelle geben könnten.

Smartphones oder ähnliche Geräte sind zur Erfassung von Brummtönen ungeeignet, da im allgemeinen ein Hochpass integriert ist, der Signalanteile unter 50-100Hz entfernt.

Am sinnvollsten sind $\frac{1}{2}$ " Messmikrofone (Mit „echter“ $\frac{1}{2}$ " Kapsel und kein $\frac{1}{4}$ " im $\frac{1}{2}$ " Gehäuse).



(links $\frac{1}{2}$ " Kapsel rechts ECM8000)

Die Mikrofone haben ein geringes Eigenrauschen und können mit einem handelsüblichen Schallpegelkalibrator kalibriert werden. Eine Klassifizierung nach IEC/DIN 61672 Klasse 1 oder Klasse 2 stellt kein Merkmal für die Brummtton-Analyse dar, da diese Anforderungen im wesentlichen für den Frequenzgang gelten,

Selbst mit einfachen $\frac{1}{4}$ " Mikrofonen (Behringer ECM8000, Beyerdynamic MM1) sind aussagekräftige Analysen möglich. Hier sind aber geeignete Filter und eine präzise Aussteuerung zwingend erforderlich. Deutlich rauschärmere Messungen lassen sich mit $\frac{1}{2}$ " Kapseln durchführen. Dies entspricht auch dem Standard für professionelle Audio-Messtechnik. Für Brummtöne liegt man hier deutlich unterhalb der Hörschwelle.

Kalibrierung

Für eine Beurteilung einer Aufnahme ist es sehr wichtig, dass die Aufzeichnung kalibriert ist. Nur damit kann der absolute Schallpegel erfasst werden. Dies ist wichtig, um einen Bezug zur Hörkurve herzustellen. Hochwertige Schallpegelmesser machen dies automatisch (und müssen nur zur Kontrolle kalibriert werden). Gerade Ausrüstung aus dem Bereich der Tonstudio-Technik ist hierfür nicht ausgelegt, da der absolute Schallpegel dort keine Rolle spielt. Typischerweise nimmt man zunächst einen Kalibrier-Ton (1kHz 94dB) auf und startet danach die eigentliche Aufnahme.



Bruel&Kjaer 4231 und Centertek 326

Infraschall

In der üblichen Literatur wird angegeben, dass Schall bis zu einer Frequenz von 20Hz hörbar ist. Schall mit tieferen Frequenzen bezeichnet man als Infraschall und gilt als nicht hörbar.

Häufig wird berichtet, daß Infraschall Symptome wie Druck auf dem Herz, Schwindel, manchmal Übelkeit verursacht.

Infraschall kann prinzipiell solche Symptome hervorrufen, allerdings erst bei sehr sehr hohen Pegeln. In Verkehrsmitteln Zug, Auto, Flugzeug oder am Meer mit Wellengang ist der Infraschallanteil wesentlich höher als in Wohngebäuden.

Und selbst bei diesen Pegeln sind keine Gesundheitsprobleme bekannt. Die Symptome treten erst bei extrem hohen Pegeln auf, wie man sie technisch nur mit hohem Aufwand erzeugen kann.

Die Physikalisch Technische Bundesanstalt in Braunschweig (PTB) hat vor einigen Jahren umfangreiche Versuche gemacht welche Frequenzen bei welchem Pegel wahrnehmbar sind. Hierfür wurden Probanden in einen speziellen Raum gesetzt, in dem über Lautsprecher Infraschall erzeugt werden konnte. Pegel und Frequenz wurden verändert. Die Probanden mussten angeben, ob sie ein Signal wahrnehmen konnten. Zusätzlich wurden bildgebende Verfahren des Gehirns verwendet, um unbewusste Erregungsmuster zu erkennen. Diese Studie genügt hohen Standards und brachte neue Erkenntnis über unser Wahrnehmungsvermögen. Die kurze Zusammenfassung ist, dass Infraschall wahrnehmbar ist, aber hierfür sind hohe Pegel notwendig.

Zur Zeit ist die gesundheitliche Wirkung von Infraschall bei geringen bis moderaten Pegeln umstritten. Klare Beweise für eine schädliche Wirkung gibt es bisher nicht. Dies ist Gegenstand der Forschung. Umgekehrt konnte aber bisher auch niemand die Ungefährlichkeit nachweisen.

Analyse von Tonaufzeichnungen

Wir verfügen über entsprechende Werkzeuge und die notwendige Erfahrung, um Tonaufzeichnungen auswerten zu können. Hierfür reichen .wav Dateien aus. Allerdings sind für eine seriöse Analyse folgende Voraussetzungen notwendig:

- 1) Aufzeichnung muss kalibriert sein. (Getrennte .wav Datei mit 1kHz 94dB Kalibrierton)
- 2) Eigenrauschen über der Frequenz des Messsystems muss dokumentiert sein. Das breitbandige Eigenrauschen sollte kleiner als 20dB(A) sein.
- 3) Frequenzgang des Messsystems muss dokumentiert sein
- 4) Die Aufnahme muss sinnvoll angesteuert sein.

Bitte haben Sie Verständnis, dass wir keine Tonaufzeichnungen auswerten, die nicht alle diese Voraussetzungen erfüllen. Wir möchten den Brummtton identifizieren und nicht das Messsystem „analysieren“.



Digital Signal Processing Audio Measurements Custom Designed Tools

Wir erhalten vielfach „Gutachten“ von Bau-Biologen, die nicht **eine** dieser Voraussetzungen erfüllen. Die Aussagekraft ist damit Null.

Ein seriöses Gutachten enthält immer eine Auflistung der verwendeten Messgeräte. Umgekehrt sind keinesfalls geeichte Schallpegelmesser der 10.000Euro Klasse notwendig. Gehen Sie davon aus, dass ein seriöses Messsystem ab ca. 1300Euro verfügbar ist.

Schirmung und Dämpfung

Durch schirmende und dämpfende Maßnahmen versucht man den Schallpegel insbesondere im Ruhebereich einer Wohnung zu reduzieren. Durch Schirmung wird der Schallanteil reduziert, der von Außen kommend, überhaupt in den Innenbereich eindringt. Durch dämpfende Maßnahmen versucht man den Schallpegel innen zu reduzieren.

Schirmung

Eine schirmende Wirkung lässt sich bei tiefen Frequenzen nur über **schwere** Bauteile erreichen. Masse, Masse und wiederum Masse.

Dämmwolle, Styropor oder Hohlblocksteine sind wirkungslos. Gerade die moderne hoch-energieeffiziente Bauweise ist kontraproduktiv. Die Hersteller werben sogar mit hohem Schallschutz. Die Angaben sind nach DIN formal korrekt, allerdings werden hier im wesentlichen höhere Frequenzen erfasst. Die Schirmwirkung ist für höhere Frequenzen sehr hoch, für tiefe Frequenzen nahe null. Dadurch treten die tiefen Frequenzen sogar viel störender in Erscheinung.

In der Außenfassade sind überwiegend Fenster, Holzkonstruktionen oder andere leichte Materialien die Schwachstelle.

Dämpfung

Ist der Schall erst mal im Innenbereich wird es schwierig, da übliche Dämpfung mit Wolle, offenporiger Schaumstoff usw. nahezu wirkungslos ist. In quaderförmigen Räumen bilden sich stehende Wellen aus. Sie werden beobachten, dass in den Ecken der Pegel am höchsten ist. Hier kann man mit großen speziellen Schaumstoffabsorbern eine gewisse Wirkung erzielen. Wirkungsvoller sind Helmholtzresonatoren, die allerdings nur für eine Frequenz wirken und auf diese Frequenz abgestimmt werden müssen. Ähnliches gilt für Tiefenabsorber, die aus einer großen schwingenden Platte bestehen.

Aktive Maßnahmen

Sehr wirkungsvoll sind aktive Maßnahmen (also mit Einbringung von Energie). Sie sollten Active Noise Canceling Kopfhörer einfach mal testen. Bei tiefen Frequenzen ist schlagartig Ruhe. Diese Systeme sind weitaus wirksamer als passive Schallschutz-Kopfhörer und wesentlich leichter und damit angenehmer zu tragen. Allerdings verursachen diese System ein leises Rauschen. Zudem ist es nicht jedermanns Sache ständig einen solchen Kopfhörer zu tragen. Beim Einschlafen kann dies durchaus hilfreich sein.

Aktive elektronische Bassfallen, die in den Raumecken platziert werden, haben sich noch nicht am breiten Markt durchgesetzt, können theoretisch aber sehr wirkungsvoll sein.



Als letztes Mittel können Sie „Comfort Noise“ probieren. Spielen Sie Geräusche (Strand usw.) über einen Stereoanlage ab. Der Brummtton wird dadurch nicht weniger, aber viele Menschen nehmen diesen dann nicht so störend war. Der Vorteil eine solchen Maßnahme ist, dass diese nahezu kostenlos ist. Manche Menschen empfinden dies als deutliche Erleichterung. Einen Versuch sollte es wert sein.

Messgeräte

Wir verfügen über eine breite Palette an Messgeräten, die nahezu alle Anwendungen abdecken. So verfügen wir auch über spezielle Messmikrofone, die weit empfindlicher sind als das menschliche Ohr. Ein Teil der Geräte vermieten wir an Sachkundige. Diese Produkte finden Sie in unserem Webshop. Mit dem reinen Messgerät ist es aber nicht getan. Sie müssen mit der Bedienung vertraut sein und das akustische Hintergrundwissen haben. Bitte haben Sie Verständnis, dass wir Messungen und Beratungen nicht „so mal eben für 20Euro“ durchführen können. Dies wäre nicht nur für uns nicht wirtschaftlich tragbar sondern auch unseriös. Wir verfügen über Messsysteme, die weit über 10000Euro kosten und über langjährige Erfahrung in diesem Bereich. Hinzukommt die Ausbildung als Ingenieur.

Allerdings bieten wir auch ein leistungsfähiges Messsystem an, das auch von Laien bedient werden kann. Eine solche Messung kann seriös den Nachweis eines Brummtons erbringen. Dabei wird auch der Pegel und die Frequenz gemessen.

Das System besteht aus einem Audio-Rekorder (Kein PC oder Laptop sondern ein eigens Gerät, das ähnlich wie ein klassischer Kassettenrekorder bedient wird) einem rauscharmen 1/2" Mikrofon und einem Schallpegelkalibrator. Sie messen selbst. Wir analysieren die .wav Dateien mit unseren Werkzeugen und Sie erhalten einen Bericht. Selbstverständlich ist dies nur der erste Schritt, der klare Nachweis einer Störquelle. Damit kann man dann aber systematisch weiter untersuchen und es wird nicht als „esoterische Spinnerei“ abgetan.

Dieses Paket besteht aus:

- Vermietung der Messgeräte
- Auswertung von 5 .wav Dateien
- 60min Beratung per Telefon oder Email

Tipps für einfache Messgeräte

Sie finden bei Ebay und co. vielfach sehr günstige Schallpegelmesser teilweise für 20Euro.



Die reine Pegelgenauigkeit liegt bei ca 1-2 dB und ist völlig ausreichend. Üblicherweise liegt das Eigenrauschen bei 34dB(A) also weit über der Hörschwelle. Unterhalb von 50Hz können die Ergebnisse aber auch fragwürdig sein. Wichtig ist, daß die Geräte dB(A) und dB(C) anzeigen. Als sehr einfache Messung bildet man die Differenz dieser beiden Werte. Ist der dB(C) Wert ca. 10dB über dem dB(A) Wert so ist das ein Hinweis auf tiefe Töne. Zusätzlich lohnt die Anwendung einer kostenlosen Smartphone App. Diese können Pegel eher nicht genau messen, aber eine Frequenzmessung ist sehr gut, zumindest oberhalb von 50Hz. Diese Smartphones Apps führen durchaus die gleichen Berechnungen durch wie ein professionelles Schallpegelmessgerät. Allerdings sind die Apps durch das Mikrofon des Smartphones stark limitiert.

Mit dem notwendigen Hintergrundwissen kann man sogar mit sehr einfachen Messgeräten aussagefähige Ergebnisse erzielen. Hier ist natürlich der Haken, das Sie sich das Wissen selbst erarbeiten müssen. Sehr fundiertes Wissen finden Sie in der Fachliteratur z.B. Michael Möser, Messtechnik der Akustik, Springer Verlag 2009, 754Seiten ca. 150Euro.

Es gibt aber auch ein Vielzahl von Foren wo viel Wissen aber leider auch Halbwissen geteilt wird. Wir geben Tipps in Form von allgemeinen Informationen und Hinweisen weiter und veröffentlichen diese auf unserer Webseite. Bitte haben Sie Verständnis dafür, das wir individuelle Beratung nur auf Honorarbasis durchführen.

Schallpegelmesser sollten folgende Funktionen haben. Die obersten Eigenschaften sind auch in einfachen Schallpegelmessern enthalten. Die unteren Eigenschaften beschreiben professionelle Geräte. Wir haben diese Liste nach unserer Erfahrung sortiert.

- 1) Messwert dB(A)
- 2) Messwert dB(C)
- 3) Energieequivalente Mittelung LEQ
- 4) Tonaufzeichnung als .wav
- 5) Datenlogger für Langzeitmessungen
- 6) Klassifizierung nach IEC/DIN 61672
- 7) Frequenzbereich ab 5Hz
- 8) Eigenrauschen unter 20dB(A), preiswerte Geräte haben 34dB(A)
- 9) Terzanalyse
- 10) Spektralanalyse FFT
- 11) Bauartprüfung durch die PTB (wird nur in Sonderfällen benötigt)



Zusammenfassung

- 1) Versuchen Sie andere Menschen zu finden, die den Ton auch hören können
- 2) Machen Sie eine Tonaufzeichnung. Bitten Sie andere Menschen, die Aufnahme zu beurteilen.
- 3) Normale Kopfhörer für den Schallschutz sind nahezu unwirksam für tiefe Frequenzen. Dagegen sind Kopfhörer mit Active Noise Canceling (Bose, Sony) sehr wirksam in diesem Frequenzbereich. Ändert sich dadurch Ihre Wahrnehmung?
- 4) Die Tonaufzeichnungen können mit speziellen Werkzeugen analysiert werden (z.B. Spektrogramm). Dadurch können Frequenz und Pegel ermittelt werden
- 5) Alle elektrischen Verbraucher abschalten
- 6) Haben Ihre Nachbarn Wärmepumpen?
- 7) Versuchen Sie ein zeitliches Muster der Störung zu erkennen.
- 8) Besteht ein Zusammenhang mit der Außentemperatur und dem Wetter?

Unsere Kontaktinformationen

Dr-Jordan-Design
Inhaber Dr.-Ing. Frank Jordan
Schanzenstrasse 27
01097 Dresden
Germany

Tel: +49-3518104394
FAX: +49-3518104395
EMail: sales@dr-jordan-design.de

URL: <http://www.dr-jordan-design.de>
<http://www.akulap.de>