



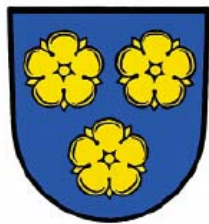
DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
PRÜFUNG E.V.

---

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

## OBERKOCHEN

---



Infraschall

Navin Metz

Schule:  
Ernst-Abbe-Gymnasium  
Oberkochen

**Thema: Infraschall**

**Verfasser:** Navin Metz  
Ernst-Abbe-Gymnasium, Oberkochen  
10. Klasse  
12.01.2014, 17.01.2014 (Nachtrag)

**Betreuer:** Herr Jens Hößler, Physiklehrer

Messtechnische Unterstützung durch Herrn Thomas Bien von  
der Fa. Nubert Electronic, Schwäbisch Gmünd

## Inhaltsübersicht

1. Was ist Infraschall?
2. Wo und wie entsteht Infraschall?
3. Wirkung auf den Menschen
4. Untersuchung zur Dämmung von Infraschall
5. Messaufbau
6. Messergebnisse
7. Fazit
8. Quellenangaben

## 1. Was ist Infraschall?

Schall breitet sich wellenförmig als periodische Schwingung in festen, flüssigen und gasförmigen Medien aus. In der Luft werden dabei Moleküle angeregt (Schalldruck), die für die Schallausbreitung erforderlich sind (Abb. 1).

Die Schallgeschwindigkeit  $c$  beträgt in der Luft 343m/s und ist in dichteren Medien größer. Im Vakuum (Weltall) hingegen kann sich der Schall nicht ausbreiten.

Die Frequenz gibt die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde an und ist ein Maß für die Tonhöhe.

$$\text{Einheit: } 1 \text{ Hz (Hertz)} = \frac{1}{s} = s^{-1}$$

Der Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit, Frequenz und Wellenlänge wird mit folgender Formel beschrieben (Quelle: Bergmann-Schäfer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 1, 1975):

$$c = \lambda \cdot f \quad [1]$$

$c$  = Schallgeschwindigkeit [m/s]

$\lambda$  = Wellenlänge [m]

$f$  = Frequenz [1/s]

Man erkennt, dass bei konstanter Schallgeschwindigkeit die Wellenlänge mit zunehmender Frequenz kleiner wird und umgekehrt.

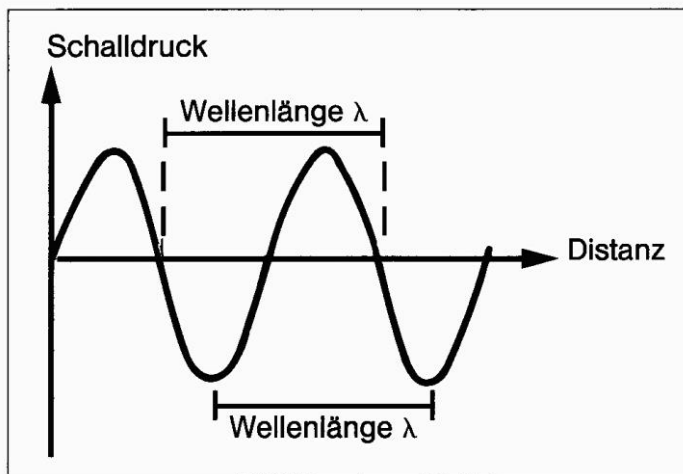


Abb. 1: Wellenlänge des Schalls (Quelle: Physik Grundlagen Akustik, TU Berlin).

Das gesamte Schallspektrum wird in der Akustik (Lehre vom Schall) in drei Frequenzbereiche aufgeteilt (Abb. 2):

- Hörschall (20Hz – 20.000Hz)
- Ultraschall (>20.000Hz)
- Infraschall (<20Hz)

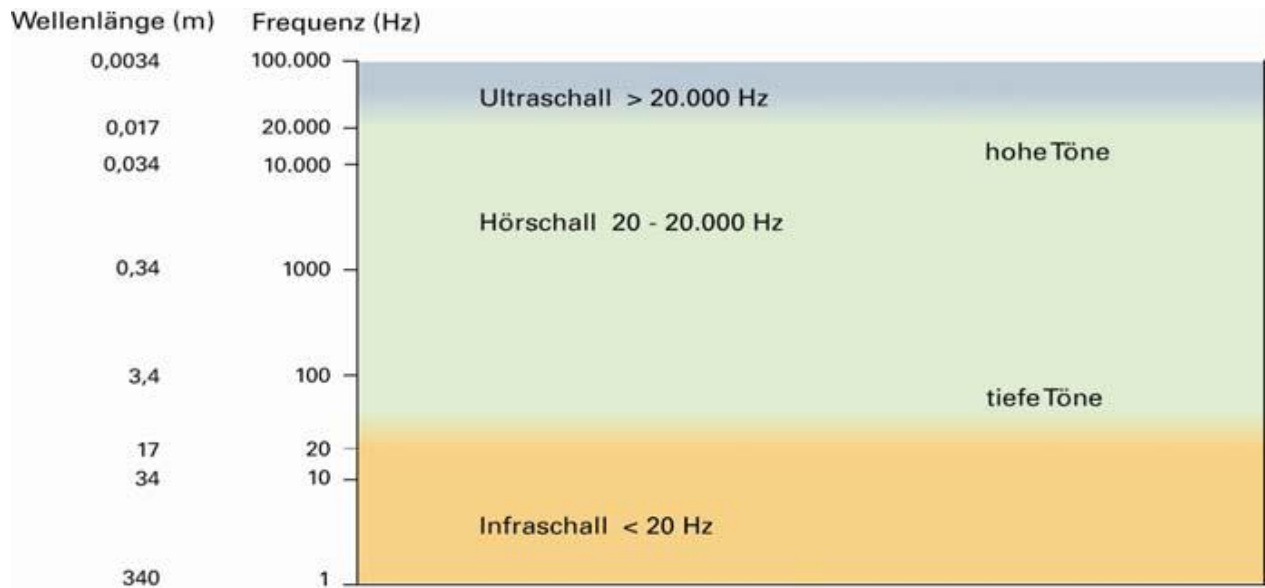


Abb. 2: Schallspektrum (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2012).

Die Definition des Infraschalls ist ein Luftschall, mit einer Frequenz unterhalb von 20Hz (Quelle: ISO 7196, März 1995).

Der Mensch kann in diesem Frequenzbereich keine Töne mehr wahrnehmen. Elefanten und Blauwale sind jedoch in der Lage über große Entfernungen mittels Infraschall zu kommunizieren.

Im Frequenzbereich zwischen 20Hz und 100Hz, dem sogenannten tieffrequenten Schall, ist der Mensch jedoch in der Lage noch Töne wahrzunehmen. Das menschliche Ohr ist am empfindlichsten im mittleren Frequenzbereich von 2.000Hz bis 5.000Hz.

## 2. Wo und wie entsteht Infraschall?

Generell verursachen alle physikalischen Vorgänge, die eine große Masse bewegen und somit einen hohen Schalldruck erzeugen auch Infraschall.

Hierbei unterscheidet man natürliche und künstliche Ereignisse, die den Infraschall auslösen.

### Natürliche Ereignisse:

- Erdbeben
- Vulkaneruption
- Meeresbrandung
- Schnee- und Geröll-Lawinen
- Stürme und Unwetter
- Donner bei Gewittern

### Künstliche Ereignisse (Abb. 3):

- Gasturbinen und Kompressoren
- Rüttler und Vibratoren
- PKW, LKW, Bahn, Schiffe, Flugzeuge und Raketen
- Chemische und nukleare Explosionen
- Überschallknall von Flugzeugen
- Windkraftanlagen (WKA)
- Subwoofer Lautsprechersysteme in geschlossenen Räumen



Abb. 3: Künstliche Infraschallauslöser (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2012).

Die Eigenschaften des Infrasschalls unterscheiden sich wegen seiner großen Wellenlänge deutlich vom Hörschall.

So werden Infrasschall-Wellen von der Umgebung weniger gedämpft als der Hörschall, bei dem ein Teil von der Luft oder dem Boden abgeschwächt wird. Selbst Hindernisse wie Bäume, Gebäude oder Schutzwälle dämmen den Infrasschall nicht wirkungsvoll ab, da diese im Vergleich zur großen Wellenlänge relativ klein sind.

Die Intensitätsabnahme des Infrasschalls (Kugelwelle) auf große Entfernungen erfolgt nach geometrischen Gesetzmäßigkeiten mit  $1/r^2$ . Verdoppelt sich die Entfernung zum Schallereignis, dann verteilt sich die Schallenergie auf die vierfache Fläche und der Schalldruckpegel (Einheit dB, Dezibel) sinkt um 6dB (Abb. 4).

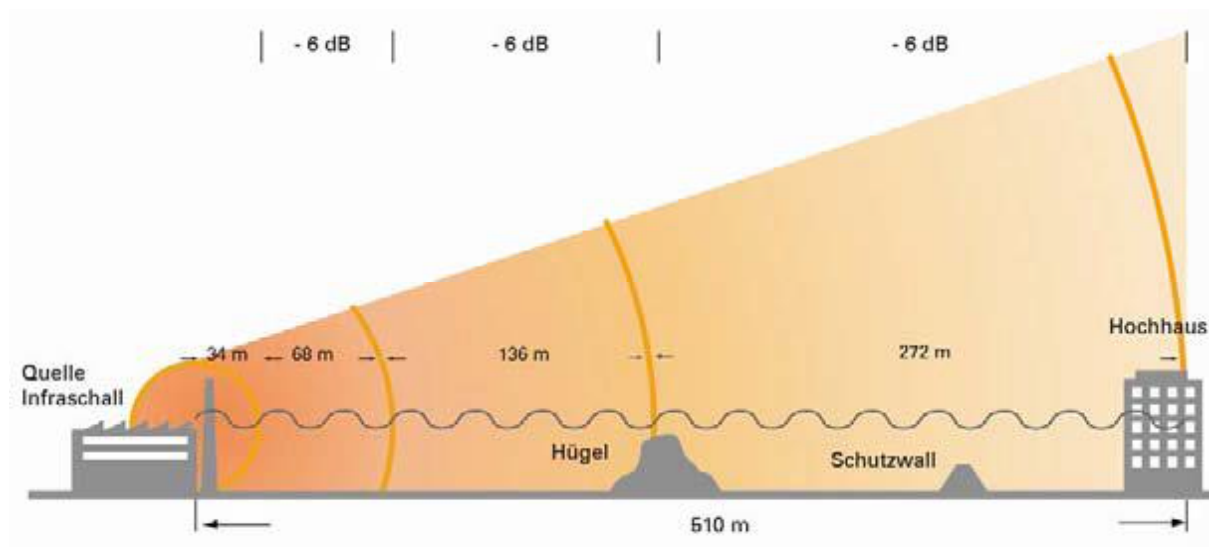


Abb. 4: Infrasschallausbreitung ,  $f = 10\text{Hz}$ ,  $\lambda = 34\text{m}$  (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2012).

Die Richtwerte zum Umgang mit tieffrequenten Geräuschen werden in der TA Lärm – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, Kapitel 7.3 geregelt (Quelle: DNR, Infrasschall, 04\_2011).

Die Messung des tieffrequenten Schalls mit sogenannten Schalldruckpegelmessern wird in der DIN 45680 und der ISO 7196 beschrieben (Quelle: DNR, Infrasschall, 04\_2011).

Im Kapitel 5, Messaufbau wird näher darauf eingegangen.





Der Mensch ist im täglichen Leben ständig der Einwirkung von tieffrequenten Schall ausgesetzt, weshalb häufig die Besorgnis geäußert wurde, der Infraschall könne das Gehör und die inneren Organe schädigen und allgemeine Befindlichkeitsstörungen verursachen bis hin zu Änderungen der Hirnströme und zu psychischen Reaktionen wie Angst, Unsicherheit und Schlafstörungen.

Um mehr Sicherheit über die Auswirkungen des Infraschalls auf den Menschen zu gewinnen, wurden zahlreiche Untersuchungen und Studien sowohl an Tieren als auch am Menschen durchgeführt, um den Grenzwert der Gehörschädigung zu ermitteln.

Die von Windkraftanlagen (WKA) erzeugten Infraschallpegel standen dabei besonders häufig im Mittelpunkt der Untersuchungen.

Wenn auch die verschiedenen wissenschaftlichen Studienergebnisse nicht immer übereinstimmend sind, so kann doch die Wirkung des Infraschalls auf den Menschen wie folgt zusammengefasst werden (Quellen: DNR, Infraschall, 04\_2011 und Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2012):

- „Beobachtungen am Menschen legen nahe, dass Infraschall mit Schalldruckpegeln von über 140dB zu Gehörschäden führen können. Bei 185dB bis 190dB kommt es zu einer Beschädigung des Trommelfells.“
- Auswirkungen auf das Herz-Kreislaufsystem werden diskutiert.
- Viele Organe des menschlichen Körpers haben ihre mechanischen Eigenfrequenzen (Schwingungsanregung) gerade im Infraschallbereich zwischen 4Hz und 5Hz.
- Berichtet wird von Ermüdungen, Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit, Benommenheit, Abnahme der Atemfrequenz, Beeinträchtigung des Schlafens und erhöhte Morgenmüdigkeit bei Einwirkung von Infraschall oberhalb der Hörschwelle.
- Infraschall kann ab der Hörschwelle (z.B. 103dB bei 8Hz) zu Störung und Belästigung führen.
- Bei Infraschallpegeln unterhalb der Hörschwelle konnten in Studien am Menschen weder Wirkungen auf das Gehör noch auf das Herz-Kreislauf-System beobachtet werden.
- Im Betrieb befindliche Windkraftanlagen erzeugen Infraschalldruckpegel auch im Nahbereich von 100m bis 250m Entfernung, die deutlich unterhalb der menschlichen Hörschwelle liegen und somit nicht wahrgenommen werden können (z.B. 75dB bei 8 Hz, 250m Abstand). Die gesetzlich vorgeschriebene Mindestentfernung zu Windkraftanlagen beträgt 500m.

#### 4. Untersuchung zur Dämmung von Infraschall

Im Rahmen dieser Jugend forscht Arbeit wird mit Hilfe eines Messaufbaues (Kapitel 5) untersucht, ob und in welchem Umfang Infraschallwellen mittels unterschiedlicher Materialien gedämmt und somit absorbiert werden können.

Als Testmaterialien wurden Glasscheiben (verschiedene Glasstärken), eine Bodenfliese, Holz und Schaumstoff verwendet.

##### Physikalischer Hintergrund:

Breitet sich eine ebene Welle in einem homogenen Medium aus, dann nimmt ihre Intensität längs des Weges ab.

Die folgende Gleichung beschreibt den physikalischen Vorgang (Quelle: Bergmann-Schäfer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 1, 1975):

$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu d) \quad [2]$$

$I$  = Schallintensitätspegel beim Austritt durch das Medium [dB]

$I_0$  = Schallintensitätspegel beim Eintritt in das Medium [dB]

$\mu$  = Absorptionskoeffizient [1/cm]

$d$  = Materialdicke [cm]

Nach Umformung der Gleichung kann dann der zu ermittelnde Absorptionskoeffizient  $\mu$  der unterschiedlichen Materialien wie folgt bestimmt werden:

$$\mu = (\ln I_0 - \ln I) / d \quad [3]$$

Aus der Bauakustik ist bekannt, dass die Dämmung mit der Masse des Materials und der Frequenz zunimmt, was mit folgender Formel beschrieben wird (Quelle: Akustik kompakt, tiefe Frequenzen, I. Veit, 09.2012):

$$R \approx 20 \cdot \lg(f \cdot m') - 47 \quad [4]$$

$R$  = Schalldämm-Maß [dB]

$f$  = Frequenz [Hz]

$m'$  = flächenbezogene Masse [kg/m<sup>2</sup>]

Somit ergibt sich für den Infraschall bei einer sehr kleinen Frequenz nur eine wirksame Dämmung mit einer großen Masse.

## 5. Messaufbau

Abbildung 6, 7 und 8 zeigen den Messaufbau zur Bestimmung der Absorptionskoeffizienten verschiedener Dämmmaterialien in Abhängigkeit von der Frequenz.

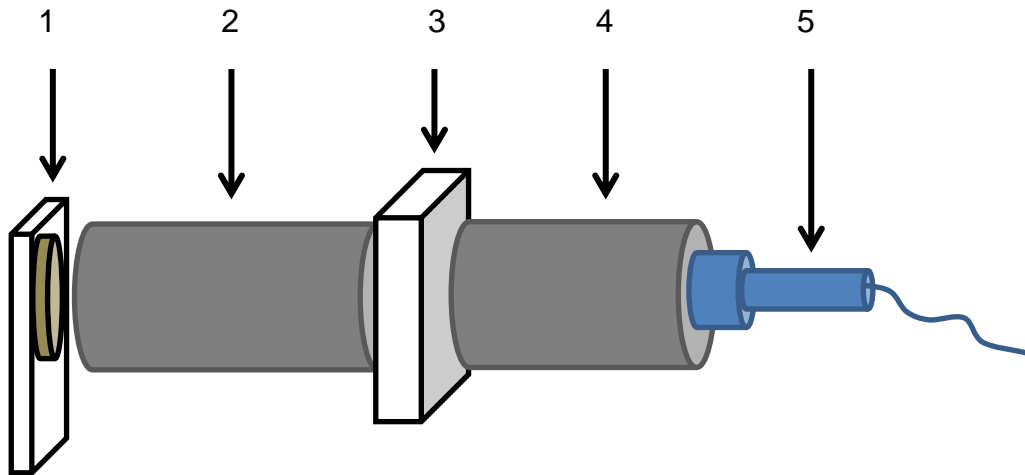


Abb. 6: Messaufbau

### Legende:

- 1 Lautsprecher mit Frequenzgenerator (Fa. Nubert Electronic)
- 2 Schallrohr
- 3 Dämmmaterial
- 4 Schallrohr
- 5 Schalldruckpegelmesser (Fa. Nubert Electronic, Schwäbisch Gmünd)

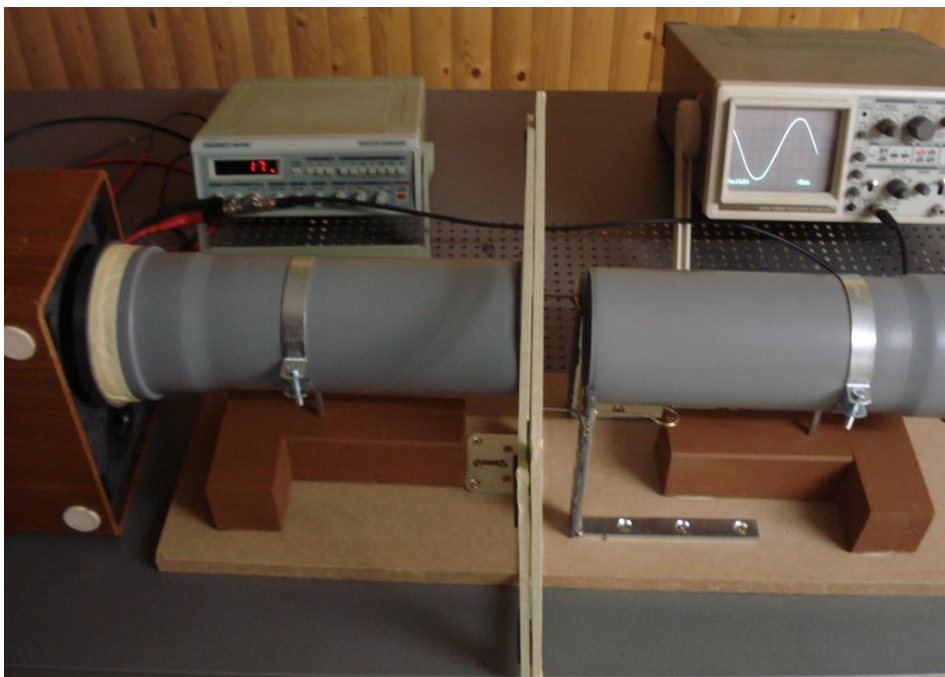


Abb. 7: Messaufbau auf einer Grundplatte mit Glas als Dämmmaterial ohne Schalldruckpegelmesser (Demonstrationsmodell für die Jugend forscht Ausstellung).

Schalldruckpegelmesser (Brüel & Kjaer 4191)

6 Zoll-Lautsprecher (NuVero)  
mit Tiefpassfilter

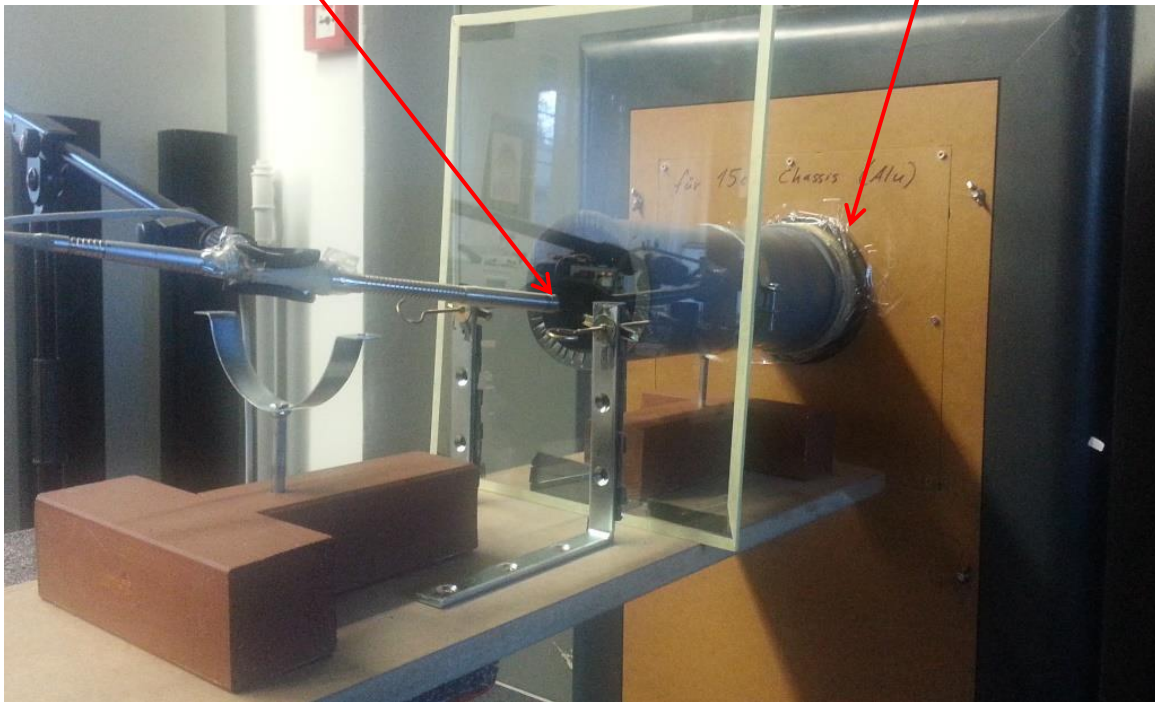


Abb. 8: Messaufbau bei Fa.Nubert, Schwäbisch Gmünd mit Glas als Dämmmaterial.

#### Beschreibung des Messaufbaues:

Mithilfe eines Frequenzgenerators (Typ: Brüel & Kjaer) wird der in einer Schallwand eingebaute 6 Zoll-Longstroke Tieftonlautsprecher aus der Nubert „NuVero“-Serie im Frequenzbereich von 5Hz bis 40Hz zum Schwingen angeregt. In dem anschließenden Schallrohr werden die Schallwellen weitergeleitet - von umgebenden, störenden Schallwellen getrennt - und treffen dann auf das zu untersuchende Dämmmaterial.

Direkt nach dem Dämmmaterial wird die austretende Schallintensität mit einem Schalldruckpegelmesser, bestehend aus einer Mikrophonkapsel der Eichklasse 0 (Typ: Brüel & Kjaer 4191), einem Mikrophonvorverstärker (Typ: Brüel & Kjaer 2609) gemessen und mit einem Audio-Messsystem (Typ: Audiomatica „Clio 10“, Version 10.31) aufgezeichnet.

Zur rechnerischen Ermittlung des Absorptionskoeffizienten  $\mu$  gemäß der Gleichung [3] auf Seite 9 werden  $I$ ,  $I_0$  und die Dicke  $d$  für verschiedene Dämmmaterialien in Abhängigkeit von der Frequenz experimentell bestimmt (Kapitel 6).

Als Ergebnis der Untersuchung sind in Kapitel 6 die Absorptionskoeffizienten der unterschiedlichen Dämmmaterialien in dem Frequenzbereich von 5Hz...40Hz graphisch dargestellt.

## 6. Messergebnisse

In Tabelle 1 sind alle Messwerte der bei Fa.Nubert Electronic durchgeführten Messungen aufgelistet.

	Glas1	Glas2	Glas3	Fliese	Holz	Schaumstoff
Dicke d [cm]	0,4	1,2	1,8	0,9	2,2	2
$I_0$ 5Hz [dB]	64	64	64	64	64	64
$I_0$ 10Hz [dB]	83	83	83	83	83	83
$I_0$ 15Hz [dB]	90	90	90	90	90	90
$I_0$ 20Hz [dB]	95	95	95	95	95	95
$I_0$ 25Hz [dB]	98	98	98	98	98	98
$I_0$ 30Hz [dB]	99	99	99	99	99	99
$I_0$ 35Hz [dB]	98	98	98	98	98	98
$I_0$ 40Hz [dB]	98	98	98	98	98	98
$I$ 5Hz [dB]	40	31	28	38	38	64
$I$ 10Hz [dB]	56	50	50	53	52	72
$I$ 15Hz [dB]	64	61	60	61	59	89
$I$ 20Hz [dB]	72	69	69	69	67	96
$I$ 25Hz [dB]	76	74	77	73	71	98
$I$ 30Hz [dB]	80	82	82	77	75	99
$I$ 35Hz [dB]	79	84	72	81	78	99
$I$ 40Hz [dB]	78	81	73	82	80	100

Tabelle 1: Messwerte für  $I_0$ ,  $I$  und der Dicke d verschiedener Dämmmaterialien

Mithilfe der in Tabelle 1 aufgelisteten Messwerte wurden in Tabelle 2 die Absorptionskoeffizienten unterschiedlicher Dämmmaterialien in Abhängigkeit von der Frequenz gemäß Formel [3] auf S. 9 berechnet.

Frequenz [Hz]	5	10	15	20	25	30	35	40
$\mu$ Glas1 [1/cm]	1,18	0,98	0,85	0,69	0,64	0,53	0,54	0,57
$\mu$ Glas2 [1/cm]	0,60	0,42	0,32	0,27	0,23	0,16	0,13	0,16
$\mu$ Glas3 [1/cm]	0,46	0,28	0,23	0,18	0,13	0,10	0,17	0,16
$\mu$ Fliese [1/cm]	0,58	0,50	0,43	0,36	0,33	0,28	0,21	0,20
$\mu$ Holz [1/cm]	0,24	0,21	0,19	0,16	0,15	0,13	0,10	0,09
$\mu$ Schaumstoff [1/cm]	0,00	0,07	0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01

Tabelle 2: Absorptionskoeffizient  $\mu$  für verschiedene Dämmmaterialien in Abhängigkeit von der Frequenz

Abbildung 9 veranschaulicht die in Tabelle 2 berechneten Absorptionskoeffizienten in Abhängigkeit von der Frequenz als graphische Darstellung.

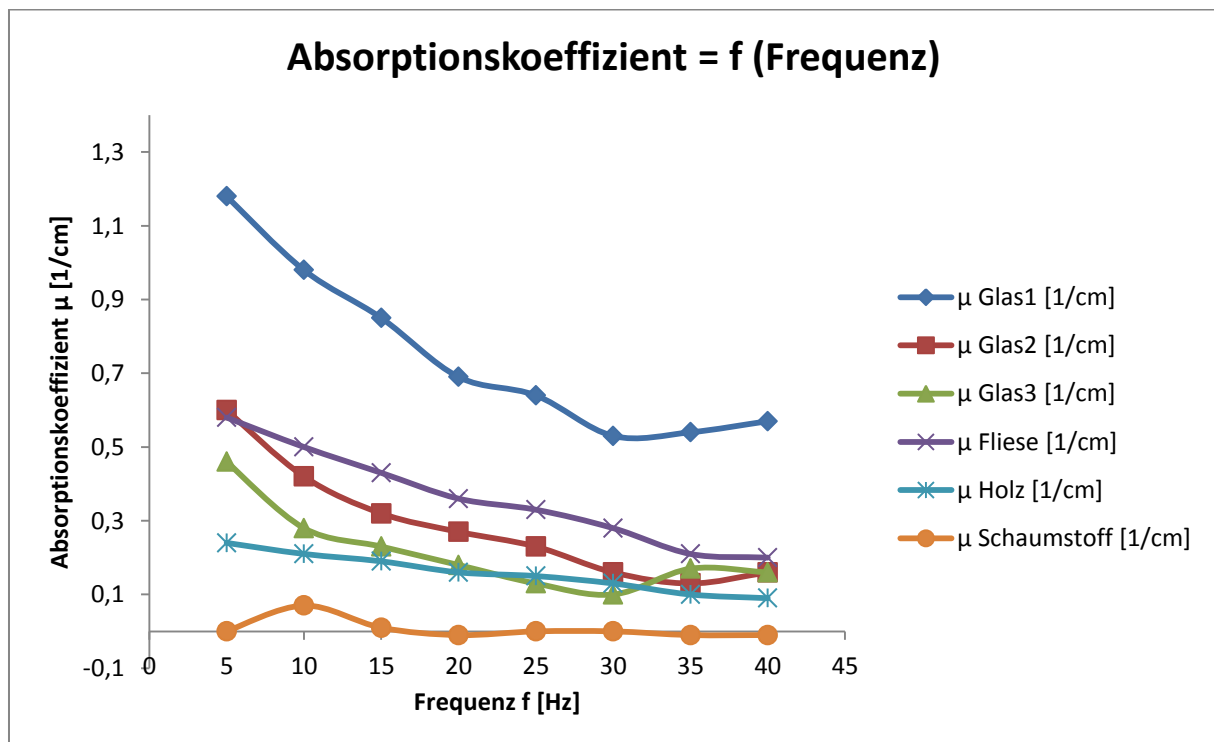


Abb. 9: Absorptionskoeffizient  $\mu = f$  (Frequenz) für verschiedene Dämmmaterialien

## 7. Fazit

Im Rahmen dieser Jugend forscht Arbeit wird die Infraschallentstehung und die Auswirkung des Infraschalls auf den Menschen beschrieben.

Mithilfe eines erstellten Messaufbaues konnten durch die technische Unterstützung der Fa. Nubert, Schwäbisch Gmünd mehrere Infraschall-Absorptionsmessungen im Frequenzbereich von 5Hz...40Hz an Glas, Holz, einer Bodenfliese und Schaumstoff durchgeführt werden.

Aus den erhaltenen Messwerten wurde für jedes Dämmmaterial der Absorptionskoeffizient in Abhängigkeit von der Frequenz berechnet und graphisch dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Dämmung des Infraschalls im Frequenzbereich von 5Hz...40Hz mit den getesteten Materialien nur bedingt möglich ist.

Holz und Glas haben die besten Dämmeigenschaften. Schaumstoff ist ein Ausnahmefall.

Einen großen Einfluss auf das Messergebnis hat die Oberflächengeometrie des Dämmmaterials.

## 8. Quellenangaben

- DNR, Deutscher Naturschutzring, Infraschall, 04.2011
- Bayerisches Landesamt für Umwelt, Windkraftanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit? 2012
- Akustik kompakt, tiefe Frequenzen, I. Veit, 09.2012
- Bergmann-Schäfer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 1, 1975
- Vorlesung Physik Grundlagen Akustik, TU Berlin

Dank an die Firmen Nubert, Herrn Thomas Bien, Schwäbisch Gmünd und Glas Trösch, Aalen für die Unterstützung.