

# Lärm im Alltag

## Was ist eigentlich Lärm?

Explosion	dB(A)		dB(A)	Schmerzschwelle
Flugzeugstart	90	●	90	Kennzeichnungspflicht ab 90 dB(A)
Güterzug	87	●	87	Gehörschäden ab 85 dB(A)
Autobahnbrücke	84	●	84	Dauerbelastung
Hauptstraße	81	●	81	Minderung der menschlichen Leistungsfähigkeit ab 75 dB(A)
DLR Werkstatt	74	●	74	Aufwachselle ab 60 dB(A)
Platzregen	68	●	68	wird als Belästigung empfunden ab 55 dB(A)
Froschquaken	62	●	62	Unge störte Nachtruhe höchstens 35 dB(A)
Unterhaltung	57	●	57	Hörschwelle
Regen	50	●	50	
Leichter Wind	42	●	42	
Hörschwelle	0	●	0	

Lärm ist allgegenwärtig und eine Begleiterscheinung unseres technischen Fortschritts. Die Lärmproblematik hat dabei in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Mehr als 70% der Bevölkerung fühlen sich durch Straßenverkehrslärm belästigt, aber auch Schienen- und Fluglärm stellen eine ernstzunehmende Belästigung dar. Lärm ist dabei nicht nur störend, sondern kann auch die Gesundheit beeinträchtigen.

**Doch was ist eigentlich Lärm:** Unter Lärm verstehen wir ein unerwünschtes Geräusch, das den Menschen stört, belästigt, die Leistungsfähigkeit beeinträchtigt oder sogar zu gesundheitlichen Schäden führt. Lärm ist keine exakt messbare physikalische Größe, sondern wird individuell unterschiedlich wahrgenommen. Um jedoch Lärm physikalisch messbar zu erfassen, wurde ein, dem Ohr nachempfunden, logarithmisches Pegelmaß durch Graham Bell (1847-1922) eingeführt.

$$L = 10 \cdot \lg \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right) \text{ dB} \quad p = \text{gemessener Schalldruck, } p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa (Hörschwelle)}$$

Berücksichtigt man zusätzlich die Hörempfindlichkeit (hohe und tiefe Töne werden schlechter wahrgenommen) für verschiedene Frequenzen (A-Bewertung), so ergibt sich der Schallpegel in dB(A). Unser Ohr kann Geräusche von 0 dB(A) (Hörschwelle) bis etwa 120 dB(A) (Schmerzschwelle) erfassen.

**Rechnen mit Pegeln:** Auf Grund der logarithmischen Skalierung von Schallpegeln ergeben sich ungewohnte Zusammenhänge. So erhöht sich der Schallpegel um 3 dB, wenn man statt einer, zwei gleiche Schallquellen verwendet:

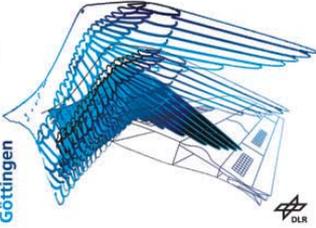
$$\text{„70 dB + 70 dB = 73 dB“}$$

Bei freier Schallausbreitung bewirkt eine Verdoppelung der Entfernung zur Schallquelle eine Reduzierung des Schallpegels um 6 dB:

68 dB in 100 m Entfernung

74 dB in 50 m Entfernung

80 dB in 25 m Entfernung



## Kármánsche Wirbelstraße

### **Versuchsverlauf:**

Verschieden dicke Schläuche von ca 1 m Länge werden nacheinander und verschieden schnell mit der Hand in Rotation versetzt. Einer der Schläuche wird dann mit Pfeifenreinigern spiralförmig umwickelt und auch herum geschwungen.

### **Beobachtung:**

Schwingt man einen der Schläuche schnell genug, entsteht ein pfeifendes Geräusch. Je größer die Rotationsgeschwindigkeit wird, desto höher wird das Geräusch.

Bei etwa gleicher Rotationsgeschwindigkeit: Je dicker ein Schlauch ist, desto tiefer ist das Pfeifen, das man hört.

Lässt man nacheinander einen unumwickelten und den gleichen umwickelten Schlauch etwa gleich schnell rotieren, so stellt man deutlich einen Lautstärkeunterschied fest.

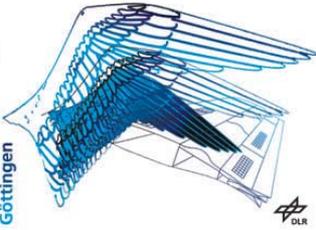
### **Erklärung:**

Der Schlauch durchschneidet die ruhende Luft und bei hinreichend großer Geschwindigkeit weicht sie nicht nur zur Seite und fließt hinter dem Seil wieder ruhig zusammen, sondern es bilden sich rechts- und linksdrehende Wirbel, die sich in regelmäßigen Zeitabständen von dem Seil ablösen. Diese sich abwechselnd ablösenden Wirbel bilden die Kármánsche Wirbelstraße.



Durch das periodische Ablösen wird der Schlauch in Schwingung versetzt. Wie man im Versuch festgestellt hat, ist das Geräusch abhängig vom Durchmesser des Schlauches und von der Rotationsgeschwindigkeit. Weil die Schlauchgeschwindigkeit dicht am Mittelpunkt klein und außen groß ist, hört man nicht nur einen Ton sondern ein Gemisch von Tönen.

Durch Umwickeln des Schlauches stört man die Wirbelbildung und vermindert die Lautstärke des Geräusches.



## Licht hören!?



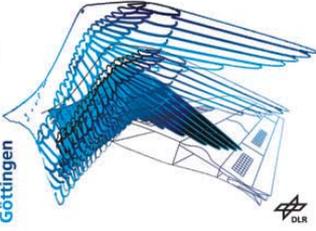
## Lärm

### **Versuchsverlauf:**

Das Licht einer Glühlampe (dünner Glühfaden) fällt durch die durchsichtige Seite eines Gurkenglases auf die rußgeschwätzte Innenseite der Glaswand. Durch die in den Glasdeckel eingebrachte Bohrung ist es nun möglich, das Licht zu hören.

### **Erklärung:**

Die Glühlampe wird mit einer Spannung von 230 V bei einer Netzfrequenz von 50 Hz versorgt. Der dünne Glühfaden (kleine Wärmekapazität -> geringe Trägheit) emittiert sein Licht (Strahlungsenergie) mit einer Frequenz von 100 Hz. Unter Vernachlässigung der Reflexionen an der Außenseite und der Innenseite des transparenten Glases trifft das Licht auf die Rußschicht (ideal Schwarzer Strahler) im Innern des Glases. Die idealtypische Energieumwandlung eines „Schwarzen Strahlers“ (ideale Absorption und Emission) erhitzt die Luft in der Nähe der Rußschicht mit der Frequenz von 100 Hz. Durch die sich bei Erwärmung ausdehnende Luft entsteht eine gleichfrequente, minimale Druckschwankung im Glas. Diese ist direkt an der Bohrung im Deckel des Glases wahrnehmbar.



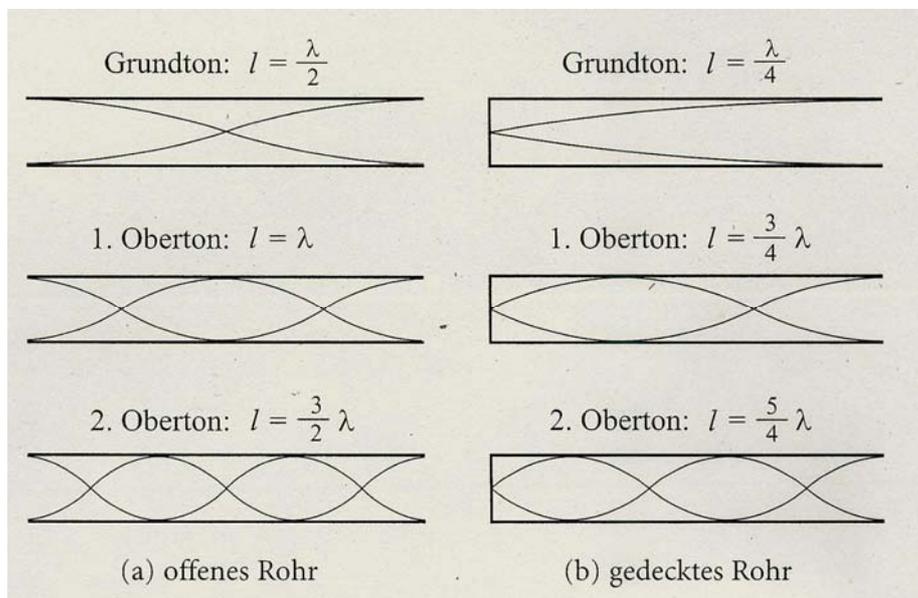
## Offene und gedackte Pfeifen

### Versuchsverlauf:

Mit einem beidseitig offenen 20 bis 90 cm langen Glas- oder Papprohr, dessen Durchmesser etwa 3 cm ist, lassen sich Töne durch Aufschlagen mit der flachen Hand erzeugen. Klopft man hart und kurz auf ein Glas- oder Papprohr und nimmt die Hand gleich wieder weg, hört man einen Ton, dessen Frequenz von der Länge des Rohres abhängt. Man hört den Ton einer „offenen“ Pfeife. Lässt man die Hand nach dem Klopfen liegen, hört man den Ton, der um eine Oktave tiefer als der andere ist. Das ist der Ton der „gedackten“ Pfeife (aus dem Orgelbau: oben geschlossene Pfeife) gleicher Länge.

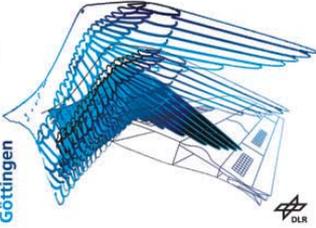
### Erklärung:

Im Rohr bilden sich stehende Wellen aus. Das Bild zeigt, wo Geschwindigkeitsbäuche und wo Geschwindigkeitsknoten für die Grundtöne und die ersten beiden Obertöne entstehen.



Aus  $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2l}$  ergibt sich für die Grundfrequenz der offenen Pfeife  $f = \frac{c}{2l}$  und für die „gedackte“ Pfeife  $f = \frac{c}{4l}$  mit  $c \approx 340$  m/s.

Die Tonhöhe der Pfeife wird durch ihre Länge bestimmt. Orgeln haben für verschiedene Klänge desselben Tons verschiedene Pfeifen, die sich z.B. durch Querschnittform und Material unterscheiden.



## Richtungshören



### **Versuchsverlauf:**

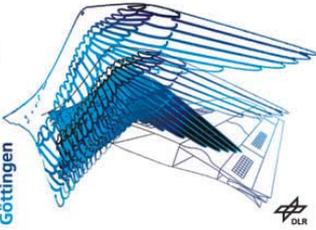
Ein Teilnehmer hält die Enden eines Plastikschauchs, der sich hinter seinem Rücken befindet, an die Ohren. Er schließt die Augen. Ein zweiter Teilnehmer klopft irgendwo mit einem Bleistift nicht zu stark auf den Schlauch. Der Horchende zeigt an, aus welcher Richtung das Geräusch kommt.

### **Beobachtung:**

Es ist deutlich zu hören, ob sich die Klopfstelle weit oder nah am rechten oder linken Ohr befindet und auch, ob genau auf die Mitte des Schlauches geklopft wurde. Aber der Horchende zeigt bei „Mitte“ genau nach vorne. Wird nur um 1 cm von der Mitte abweichend geklopft, so zeigt er schon um 5° zur Seite.

### **Erklärung:**

Der Versuch soll zeigen, dass auf Grund der Schallgeschwindigkeit Richtungshören möglich ist. Schon eine Zeitdifferenz von 30  $\mu\text{s}$  zwischen dem Eintreffen eines kurzen Geräusches in beiden Ohren kann wahrgenommen werden. Lang anhaltende Geräusche machen es schwieriger, die Richtung, aus der sie kommen, festzustellen. Man muss mit beiden Ohren hören, um die Richtung festzustellen.



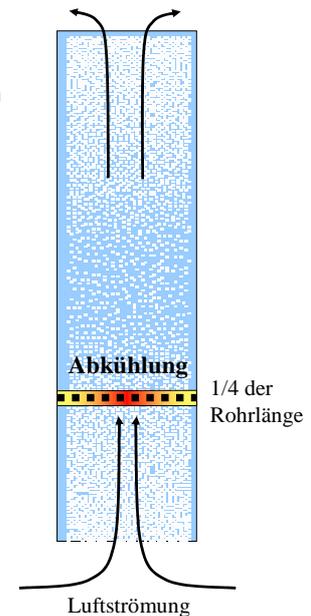
## Rijke-Rohr

### Das Rijke-Rohr

Hierbei handelt es sich um einen komplizierten nicht-linearen Effekt.

Das glühende Drahtgeflecht erwärmt die umgebende Luft, die sich ausdehnt und nach oben strömt. Es entsteht eine Schallwelle, die durch den heißen Draht mit Energie versorgt wird, bis das Drahtgeflecht sich abgekühlt hat.

Die entstehende Schallwelle schaukelt sich auf, da deren Dichteschwankungen von Temperaturschwankungen begleitet ist. Wird der Luftdruck am Drahtgeflecht kleiner, die Luft also kühler, kann sie die thermische Energie rascher aufnehmen, dehnt sich aus und es wird weitere Energie in die Welle gepumpt.



## Lärm

### Versuchsverlauf:

In einem Plastikrohr ist ein Metallgitter bei 1/4 der Rohrlänge eingeklemmt. Dieses wird von unten mit einer Flamme erhitzt, wobei der leuchtende Teil der Flamme das Gitter nicht erreichen sollte, bis das Metall zu glühen anfängt. Die Flamme wird entfernt.

### Beobachtung:

Beim Abkühlen fängt das Rohr an zu tönen. Hält man es waagrecht, hört es auf. Beim Aufrichten klingt es wieder. Das Rohr ist eine auf beiden Seiten offene Pfeife.

Der Grundton hat die Frequenz  $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2l} = \frac{c}{2l}$ .

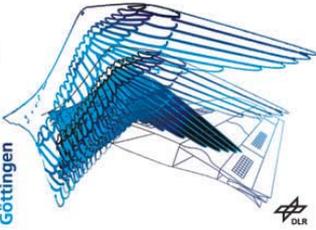
Für das 60cm – Rohr berechnet man 280 Hz als Grundfrequenz.

Gemessen wurden 287 Hz.

Für das 40cm - Rohr berechnet man die Frequenz 425Hz.

Gemessen wurden 413 Hz.





## Ringwirbel

### Erzeugung eines einfachen Ringwirbels

#### Physikalische Erklärung:

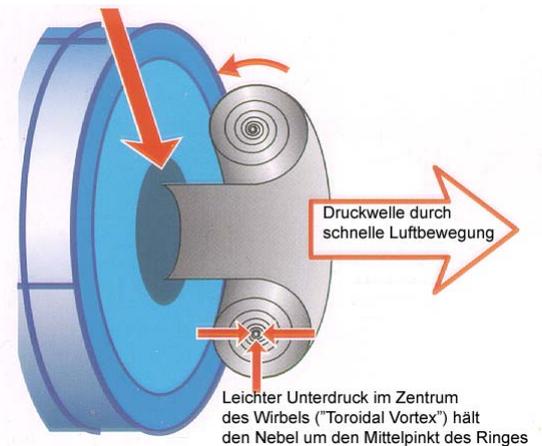
Die Nebelring-Struktur nennt man Wirbel („Torodial Vortex“) = kreisende oder zirkulierende Bewegungen von Flüssigkeit oder Luft. Die Wirbel haben die Tendenz, einen Unterdruck in ihrem Zentrum zu erzeugen. Tornados und Hurrikans sind natürlich vorkommende Wirbel, während die Wirbelschlepe eines Düsenflugzeuges eine relativ stabile, jedoch künstliche Wirbelstruktur ausbildet.

#### Zum Versuch:

Durch Bewegung einer Membran entsteht eine annähernd ebene Druckwelle, die sich im Innern des mit Nebel gefüllten Volumens ausbreitet.

Die Verengung des Volumens durch die kreisförmige Öffnung hat eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Nebels zur Folge. Nach Bernoulli tritt dadurch ein Unterdruck am Rand der Öffnung auf, zudem wird die Strömung an der scharfen Kante des Randes abgebremst. Aufgrund der unterschiedlichen Strömungs-

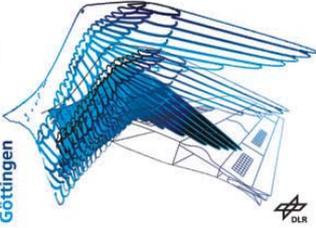
geschwindigkeiten (radialer Geschwindigkeitsgradient) kommt es zur Ausbildung eines in sich rotierenden Ringwirbels. Der zentrale Anteil der durchgelassenen Wellenfront wird von dem entstandenen ringförmigen Unterdruck-Zentrum angezogen und bildet den vollständigen Ringwirbel aus. Dieser bewegt sich nach passieren der Öffnung, gebremst durch seinen Luftwiderstand, geradlinig im Raum.



#### Materialbedarf:

1. Ringwirbelgenerator:
  - Papierkorb oder Haushaltseimer
  - Sperrholz  $d = 8 \text{ mm}$  (Baumarkt)
  - Gewindestangen mit Muttern und Scheiben (Baumarkt)
  - Nebelerzeuger z.B. Disco-Nebelmaschine (Conrad)
  - Tief- Mittenlautsprecher 80 Watt (Conrad)
  - Subwoofer-Einbauverstärkermodul (Conrad)
  - Anschlusskabel Cinch / 3,5 mm Klinke (Conrad)
  - Signalgenerator für Sägezahnspannung, z.B. Laptop mit Soundkarte und entsprechender Software
2. Ringwirbelkanone:
  - (wie oben)
  - Tamburin (Conrad, Musikfachhandel)
3. Zero-Blaster: (Ringwirbelpistole) (Conrad)
  - Nebelfluid (Conrad)





## Schlauchtelefon



## Lärm

### **Versuchsverlauf:**

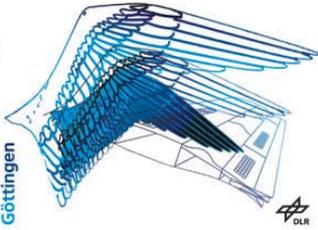
Auf die Enden eines mehrere Meter langen, dünnen Schlauches werden Trichter gesteckt. Wie bei einem Schnurtelefon sprechen und hören zwei Personen.

### **Beobachtung:**

Das Gespräch, sogar Geflüster, ist selbst in einem Raum mit anderen Geräuschen von den Teilnehmern deutlich zu verstehen.

### **Erklärung:**

Die Schallwellen können sich nicht zur Seite ausbreiten, ihre Energie wird nur im Schlauch weitergegeben. Energieverluste entstehen zwar durch Reibung; aber die Fläche der Wellenfront, d.h. der Schlauchquerschnitt, bleibt gleich. Im Raum breitet sich der Schall als Kugelwelle aus und die Fläche einer Wellenfront wächst mit dem Quadrat der Entfernung.



## Antischall im Schreikasten



Im Schreikasten sind zwei Lautsprecher aufgebaut, die einzeln oder als Paar einen Sinuston abgeben.

### **Versuchsteil 1:**

Mit dem Schallpegelmesser werden die Lautsprecher einzeln und zusammen vermessen. Im Einzelbetrieb liefern die Lautsprecher jeweils die gleiche Schallleistung. Schaltet man den zweiten Lautsprecher hinzu, erhöht sich der Schallpegel merklich. Diese Erhöhung liegt bei ca. 5 dB, welches mit dem Schallpegelmesser erfasst wird. Bei einem Rauschsignal erwarten wir bei einer Intensitätsverdoppelung ca. 3 dB, bei reinen Sinustönen 6 dB. Dieses kann mit verschiedenen Signalen ausprobiert werden. Mit höheren Schulklassen ist auch eine theoretische Berechnung möglich.

### **Versuchsteil 2:**

Wie im ersten Teil werden die Lautsprecher wieder einzeln vermessen. Dieses Mal handelt es sich aber um einen gegenphasigen Sinuston. Die Einzelpegel entsprechen den Werten des ersten Teils, durchzuschalten des zweiten Lautsprechers vermindert sich die Lautstärke aber hörbar. Gemessen ergibt sich eine Verminderung um ca. 10 dB. Dieses ist das Prinzip des Antischalls. Ein Lautsprecher stellt die Geräuschquelle dar, der zweite Lautsprecher wird zur Erzeugung des Antischalls benutzt. Dieses kann bei verschiedenen Frequenzen untersucht werden (frequenzabhängige Effektivität) oder auch mit verschiedenen Signalformen z.B. Rauschen.

Das Prinzip ist somit klar und verschiedene Möglichkeiten können ausprobiert werden.

### **Versuchsmöglichkeiten:**

- Umrechnung Intensitäten in dB-Werte
- Auslöschung von Wellen
- Gleichphasig-Gegenphasig
- Prinzip des Antischalls
- Umgang mit Schallpegelmessern
- Messung von Schallpegeln