



Akustik-Messtand

Ohne Ohrenschützer den Höllenlärm von Flugzeugturbinen aushalten!

Ich stehe auf der Aussichtstribüne des Flughafens und beobachte, wie ein Flugzeug zur Startbahn rollt. Dort wartet es kurz, aber dann gibt der Pilot Vollgas. Meine Güte, sind die Turbinen laut! Wie halten das die Passagiere nur aus, die doch ganz nahe bei den Motoren sitzen?

Nun, ja. – Wir sind ja nicht mehr in der Anfangszeit der Fliegerei, als der Pilot dem Knattern der Motoren in seinem offenen Cockpit ungeschützt ausgesetzt war. Heute werden die Passagiere gegen Lärm gut geschützt. Außerdem sind moderne Zweistromtriebwerke, obwohl sie leistungsfähiger sind, leiser als die älteren Einstromtriebwerke. Trotzdem ist hier weitere Entwicklungsarbeit nötig, um die Lärmbelastung weiter zu reduzieren.

An einem Stück Originalwand eines Airbusflugzeugs können auf diesem Versuchsstand der Schalldurchgang durch unterschiedliche Materialien und die Möglichkeiten der Schalldämmung untersucht werden.

Der Versuchsstand im DLR_School_Lab

Der Versuchsstand ist die Adaption eines professionellen Experimentes der TUHH im Akustiklabor des Technologiezentrums Hamburg-Finkenwerder. Dort wird nach neuen Wegen in der Schalldämpfung gesucht, da jedes gesparte Kilogramm an Dämmmaterial ein Kilogramm mehr bei der Beförderungskapazität bedeutet und damit einen Vorteil des Anbieters auf dem Flugzeugmarkt.

Für das Experiment simulieren leistungsstarke Lautsprecher in einer auf einer Test-Seite offenen und sonst extrem gut schallisolierten großen Kiste (dem als Hallraum ausgelegten simulierten Außenraum des Flugzeugs) den Lärm von Flugzeugturbinen in Form so genannten „rosa Rauschens“. Die offene Kisten-seite wird durch das zu prüfende Stück Flugzeugwand verschlossen, so dass der äußere Standpunkt der Experimentierenden dem Innenraum des Flugzeuges entspricht. Auf beiden Seiten der Wand werden Schallmessungen für verschiedene Innenverkleidungen durchgeführt und diese ins Verhältnis gesetzt. Es stellt sich die Frage, welche Wandaufbauten am besten dämmen.

Was ist Schall und wie breitet er sich aus?

Die schnelle Schwingung eines schallierenden Gegenstandes verdrängt Luft in der unmittelbaren Umgebung und verursacht so eine Verdichtung der Luftmoleküle. Beim Zurückschnellen entsteht umgekehrt ein Unterdruck. Diese sich wiederholende Druckstörung wirkt sich auf benachbarte Luftmoleküle aus und verbreitet sich dadurch dreidimensional im Raum. Eine Schallwelle ist entstanden. Bekannte Beispiele für mechanische Anreger einer Luftschallwelle sind Saiteninstrumente, Schlagzeug und die Knalltüte. Strömungsmechanische Anregungen treten bei Blasinstrumenten, Orgelpfeifen, der menschlichen Stimme und dem Autoauspuff auf. Der Lärm von Flugzeugturbinen ist eine Kombination aus beidem.

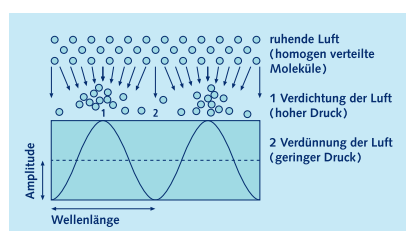


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Schallwelle

Anders als Wellen auf der Wasseroberfläche (Quer- oder Transversalwelle) sind Schallwellen in Gasen Längs- oder Longitudinalwellen.

Für eine Welle sind zwei Größen charakteristisch:

- die Frequenz (~Tonhöhe), das ist die Häufigkeit der Dichteschwingungen pro Zeiteinheit
- die Amplitude (~Lautstärke), welche der maximalen Abweichung vom Normaldruck entspricht

Die Frequenz wird in Hertz (Schwingungen pro Sekunde) gemessen, für die Amplitude wird oft dB (Dezibel) angegeben. dB ist eine Vergleichsangabe, wobei der zu beschreibende Schalldruck p_1 mit einem Referenzdruck p_0 über folgende Formel verglichen wird:

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p_1^2}{p_0^2} \right) \text{ dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{p_1}{p_0} \right) \text{ dB}$$

Bedingt durch den sehr großen Wahrnehmungsbereich des Menschen treten für den Quotienten p_1/p_0 starke Größenunterschiede auf. Während die Hörschwelle des Menschen (das ist die untere Grenze gerade noch wahrnehmbarer Geräusche) bei etwa 20 μPa liegt, liegt die obere (Schmerz-)Grenze etwa bei 20 Pa.

Die obere Grenze liegt damit bei dem millionenfachen Wert der unteren Grenze. Wählt man als Vergleichsdruck $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$, so erreicht das Verhältnis p_1/p_0 bis zu einer Million dieser »Grundeinheiten« für Schall. Diese etwas unhandliche Skala wird durch Anwendung des Logarithmus und des Faktors 20 auf die dem Menschen besser handhabbare Variationsbreite von etwa 100 herunterskaliert. Somit errechnet sich der primär relevante Schalldruckbereich von 20 μPa bis 20 Pa um in den Bereich von 0 bis 120 dB SPL (SPL = sound pressure level).

Warum wollen wir Schall dämmen?

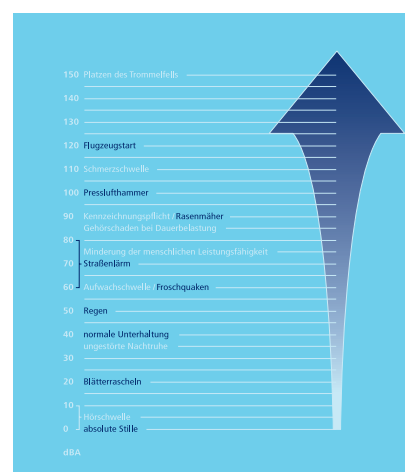


Abb. 2: dbA-Skala

Schall wird zu Lärm, wenn er den Menschen oder die Umwelt durch Stärke oder Struktur stört und belastet. Da das menschliche Ohr verschiedene Frequenzen unterschiedlich gut wahrnimmt, gewichtet man die dB SPL Stärken verschiedener Frequenzen mit Vorfaktoren. Die dadurch definierte dB(A)-Skala berücksichtigt so Empfindlichkeiten in speziellen Frequenzbereichen. Lärm kann nicht nur das Gehör

schädigen, sondern die Gesundheit insgesamt gefährden. Schon ab etwa 70 dB(A) Dauerbelastung kann der Körper unter Stress geraten und mit Bluthochdruck und bleibenden Schäden an Herz und Kreislauf reagieren. Ab 130 dB(A) kommt es zu Gehörschäden. Eine Flugzeugturbine erzeugt in ihrer direkten Umgebung einen Schalldruckpegel von 140-160 dB(A). Eine Schallisolierung ist aus diesem Grund unverzichtbar.

Wie dämmt man Schall?

Schalldämmung, die Verhinderung der Ausbreitung von Schall, kann durch Schallreflexion oder durch Schallabsorption geschehen. Bei Reflexion wird der Schall durch Hindernisse zurückgeworfen. Bei Absorption wird die »Schallwelle geschluckt« und die Energie des Schalls in Wärme umgewandelt. Diese »Schalldämpfung« wird meist durch Sperren aus porösem Material bewirkt. Es verhindert die Weiterleitung von Schallwellen, indem deren Energie durch Reibung der Luftmoleküle und der Skelettelemente des porösen Stoffes in Wärme werden. Dies klappt gut für höhere Frequenzen. Sehr tiefe Frequenzen können dagegen die ganze betrachtete Struktur (Flugzeug, Auto, ...) zum Mitschwingen anregen, so dass die Schwingungen in den zu schützenden Innenraum weitergegeben werden. Hier sind dann bauliche Maßnahmen an der Struktur selbst notwendig.

Versuche zur Schalldämmung

Im Versuch kann die Kabinenwand aus mehreren Schichten aufgebaut und die Dämmfähigkeit der einzelnen Schichten untersucht werden.

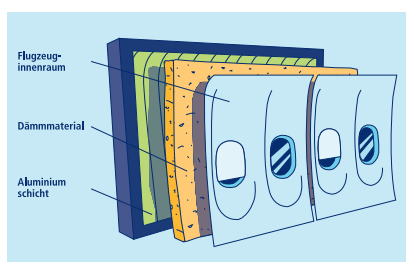


Abb. 3: Aufbau der Flugzeugwand aus der Versuchsanordnung

Dabei kann mit Hilfe des Programms Real Time Audio Spectrum Analyzer (RTA) die aufgezeichnete Schallintensität für verschiedene Frequenzbereiche getrennt dargestellt werden. Mit Hilfe verschiedener Schallerzeuger (Stimmgabeln, Pfeifen, Rasseln) und Schallpegelmessgeräte kann man in Vorversuchen die Bedeutung der Bildschirmanzeige erkunden.



Abb. 4: Doppelkammeraufbau der Versuchsbbox

Die Erwartung, dass die Isolation mit zunehmendem Wandaufbau besser wird, bestätigt sich in den Versuchen: Das Schalldämmmaß der einzelnen Schichten ist in der folgenden Tabelle (Dämmung in dB über Frequenz) wiedergegeben.

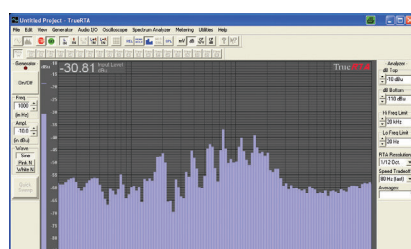


Abb. 5: True_RTAs für ein Pop-Musik-Stück

Die grüne Kurve stellt das Schalldämmverhalten der nackten Flugzeugaußenhülle dar. Mit ihr werden bereits bis zu 30 dB gedämmt. Die obere Kurve gibt das Schalldämmmaß des gesamten Aufbaus wieder, der bis zu 50 dB dämmt.



Abb. 6: Dämmung in dB über Frequenz: Das Diagramm zeigt, dass sich höhere Frequenzen besser dämpfen lassen.

Wichtige Begriffe

Akustik (v. griech.: akouein = hören) ist die Lehre vom Schall und seinen Wirkungen und ist ein Teilbereich der Physik. Sie beschäftigt sich mit der Erzeugung, der Ausbreitung, der Reflexion und der Absorption von Schallwellen. [Wikipedia.de]

Hallraum

Hallräume werden so konstruiert, dass möglichst viele ungerichtete Reflexionen auftreten und bei Vorhandensein von Schallquellen fast im gesamten Raum derselbe Schalldruck herrscht, was einem diffusen Schallfeld entspricht. Um ausgeprägte Resonanzen in Hallräumen zu vermeiden, werden Hallräume im Allgemeinen ohne parallel zueinander stehende Wände und Decken gebaut [Wikipedia.de]

Pascal

Ein Pascal entspricht einem Druck von einem Newton pro Quadratmeter. Zum Merken: 1 Newton entspricht der Gewichtskraft einer 100-Gramm-Tafel Schokolade auf der Erde.

Schallpegelmesser

Ein Gerät zur Messung von verschiedenen Parametern des Schalls z.B. SPL Sound Pressure Level, »Schalldruckpegel« in dB, die Grundeinheit der Lautstärke eines Geräusches.

A-Bewertung (oder A-Filter, Filter A)

Die Standard-Bewertung des Hörfrequenzbereiches, die sich am Frequenzverhalten des menschlichen Ohres orientiert.

Weißes Rauschen

Weißes Rauschen hat ein konstantes Leistungsspektrum (gleichbleibende Energie bei jeder Frequenz). Dieses Rauschen entspricht nicht der Schallabstrahlung von Flugzeugturbinen. Weißes Rauschen wird als sehr höhenbetont empfunden, klingt wie ein Radio, bei dem kein Sender eingestellt ist. (Anleihen bei www.hifi-forum.de)

Rosa Rauschen

Beim Rosa Rauschen sind die Pegel der höheren Frequenzen mit 3dB/Oktave abgeschwächt. Damit wird der Energiegehalt des Rauschsignals nicht pro Frequenzeinheitsintervall sondern pro Oktave konstant. Der Klang hört sich dumpfer an als weißes Rauschen. Er erinnert eher an Verkehrslärm in einem Tunnel oder – passend – an Flugzeugturbinen. Den Namen erklärt eine Analogie zum Licht: Weißes Rauschen entspricht weißem Licht (alle sichtbaren/hörbaren Frequenzen sind gleich stark vorhanden). Schwächt man bei weißem Licht die hohen (blauen, violetten, ...) Frequenzen analog dem Rosa Rauschen ab, kommen die niedrigen (roten) mehr zum Tragen. Das weiße Licht wird rosa. (Anleihen bei www.hifi-forum.de)

Zum Nachdenken

1. Gibt es weitere Möglichkeiten Schall zu dämmen, oder kann er durch technische Maßnahmen vielleicht sogar ausgelöscht werden?
2. Welchen Anforderungen müssen Flugzeugisolierungen außer der Dämpfung von Schall noch genügen? Welche Eigenschaften haben höhere Priorität und welche sind weniger wichtig?
3. Warum strebt man im Versuch eine Hallraum- Eigenschaft für die „Versuchskiste“ an?
4. Was wäre das optimale Dämmmaterial?



Das DLR im Überblick

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Es betreibt Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung. Das DLR Raumfahrtmanagement ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR Projektträger betreuen Förderprogramme und unterstützen den Wissenstransfer.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 54 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Seine mehr als 9.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Sie erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen sie dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

TU Hamburg

Die TU Hamburg ist eine Universität mit hohem Leistungs- und Qualitätsanspruch, die in der Grundlagenforschung und ihren Kompetenzfeldern Forschungsexzellenz anstrebt. Etwa 100 Professorinnen und Professoren mit knapp 700 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bilden hier derzeit mehr als 7500 Studierende der Ingenieurwissenschaften und der Technomathematik aus. Luftfahrt und maritime Systeme gehören zu den Forschungsschwerpunkten der TUHH. Das DLR_School_Lab TU Hamburg bietet Schülerinnen und Schülern Einblicke in diese Kompetenzfelder.



**Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt**

DLR_School_Lab

TU Hamburg

DLR_School_Lab TU Hamburg
Am Schwarzenberg-Campus 4 (C)
21073 Hamburg

Telefon: 040 42878-4363

schoollab@tuhh.de

<https://www.tuhh.de/nachwuchs/fuer-schulklassen-1/dlr-school-lab>
<https://www.dlr.de/schoollab>