

■ Schall gegen Schall – aktive Lärmunterdrückung

Wer seine Ruhe haben möchte, dem helfen Ohrstöpsel. Doch wenn man auch bei Lärm noch etwas hören muss, dann bedarf es einer intelligenteren Unterdrückung störender Geräusche.

Musik wird oft nicht schön gefunden, weil sie stets mit Geräusch verbunden. Diese Worte Wilhelm Buschs zeigen: Lärm ist oft relativ. Beim permanenten Turbinendöhnen im Cockpit eines Flugzeugs ist der Lärm jedoch nicht mehr eine Frage des Könnens oder des Geschmacks: Das Störgeräusch behindert den unverzichtbaren Funkverkehr und würde auf Dauer das Gehör der Piloten schädigen. Deshalb werden im Flugverkehr schon seit vielen Jahren Kopfhörer eingesetzt. Die schirmen nicht nur passiv gegen das Dröhnen ab, sondern bekämpfen den permanenten Umgebungslärm auch aktiv mit „Antischall“.

Erwachsene können im Allgemeinen Töne hören, deren Frequenzen zwischen 16 Hz und 20 kHz liegen. Ihre Lautstärke wird unter anderem als Schalldruckpegel in der logarithmischen Einheit Dezibel (dB) gemessen: Bei 0 dB nimmt das gesunde Ohr einen Ton gerade eben wahr, während die durchschnittliche Lautstärke für Sprache um 60 dB noch als leise gilt. Die Schmerzgrenze ist individuell und liegt zwischen 100 und 140 dB. In diesen Bereich fällt ein Presslufthammer oder ein startendes Düsenflugzeug in etwa 100 Meter Entfernung. Hier ist Lärm nicht nur ein bloßer Störfaktor, sondern



Kopfhörer mit aktiver Geräuschreduzierung werden vor allem im Flugverkehr eingesetzt, um trotz Turbinendöhnen und Windgeräuschen den Piloten im Cockpit einen problemlosen Funkverkehr mit der Flugüberwachung zu gewährleisten.

kann das ungeschützte Gehör auch dauerhaft schädigen.

Wer also Sprache oder auch Musik trotz Hintergrundlärm in einer angenehmen Lautstärke hören möchte, kann auf Kopfhörer zurückgreifen, die einerseits über die in den Hörmuscheln integrierten Lautsprecher den Schall direkt in das Ohr abstrahlen und andererseits den Umgebungslärm dämmen. Die Güte der Dämmung hängt dabei vom Design der Kopfhörer ab: Man unterscheidet zwischen offenen und geschlossenen Systemen. Während offene Kopfhörer die Ohren nur teilweise bedecken, umschließen geschlossene Systemen die Ohren vollständig mit einer Schaumstoff-Polsterung.

Diese sorgt nicht nur für einen besseren Tragekomfort, sondern dient auch als Schallschlucker für die störenden Nebengeräusche. Bei der Polsterung handelt es sich in der Regel um poröse Absorber, in die der Schall eindringt: Durch die Bewegung (und Reibung) der schwingenden Luftteilchen in den Poren wird ein Teil der aufgenommenen Schallenergie in Wärmeenergie umgewandelt. Die Absorption ist stark frequenzabhängig und je tiefer die zu dämpfenden Frequenzen sind, desto dicker muss das dämmende Material sein. Aus diesem Grund ist die Absorption

bei diesen so genannten passiven Kopfhörern lediglich bei höheren Frequenzen wirksam, deren Wellenlänge in der Größenordnung der Kopfhörer-Abmessungen ist. Grundsätzlich dämmt das schalldichte Material nicht nur den von außen kommenden Umgebungslärm, sondern auch teilweise die von den in den Kopfhörermuscheln integrierten Lautsprechern abgestrahlten Schallwellen, z. B. Musik, sodass diese Personen in der unmittelbaren Umgebung nicht stören.

Mit Phasenverschiebung zum Antischall

Um niederfrequenten Schall mit seinen deutlich längeren Wellenlängen dämmen zu können (die Wellenlänge von Frequenzen um 50 Hz liegt bei etwa 7 Metern), müsste die Dicke des Absorbermaterials deutlich erhöht werden. Da dies nicht ohne weiteres möglich ist, können Geräusche im mittleren und tiefen Frequenzbereich, wie z. B. Motorbrummen, Pumpenrauschen oder Turbinendöhnen, durch Standard-Kopfhörer nicht genügend unterdrückt werden.

Für Personen, deren Gehör permanent solchen niederfrequenten Lärmquellen ausgesetzt ist, wurde deshalb eine Technologie entwickelt, die mit Hilfe von kleinen Mikrofonen, Lautsprechern und

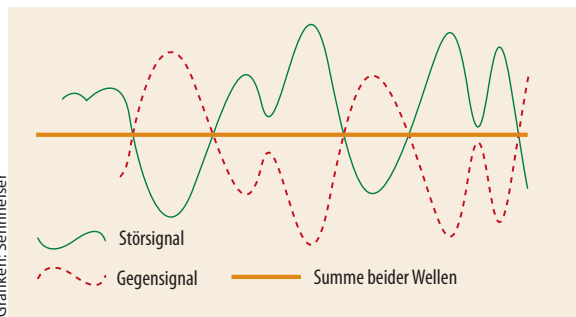


Abb. 1 Der auf die Kopfhörermuscheln auftreffende Lärm wird mit Mikrofonen detektiert und in einem elektronischen Schaltkreis analysiert, invertiert und verstärkt. Der daraus resultierende Antischall wird dann über einen Lautsprecher dem Störschall überlagert und der Lärm im Idealfall auf diese Weise ausgelöscht.

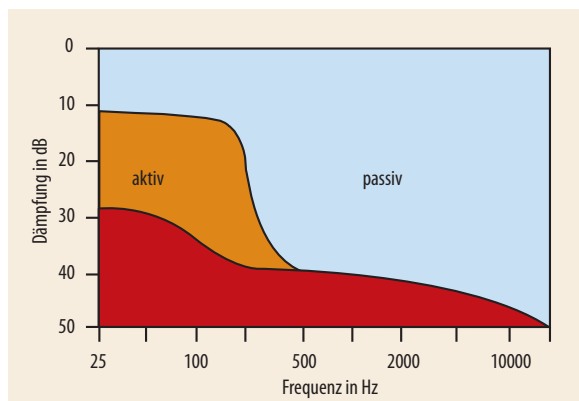


Abb. 2 Bei geschlossenen Kopfhörern lässt sich mit aktiver Schallreduzierung Lärm im niederfrequenten Frequenzbereich zwischen 25 und 500 Hz um mehr als 20 dB reduzieren.

(batteriebetriebener) Elektronik einen zum Lärm gegenphasigen „Antischall“ erzeugt und diesen dem unerwünschten Hintergrundgeräusch überlagert¹⁾, um diesen nach Möglichkeit vollständig auszulöschen.

Um einen Antischall erzeugen zu können, muss das störende und niederfrequente Außengeräusch, das nicht von der Polsterung der Kopfhörerohrmuscheln absorbiert wird und deshalb zum Ohr gelangt, zunächst über kleine, in die Außenseite der Kopfhörerohrmuscheln integrierte Mikrofone detektiert werden. Sie wandeln als elektroakustische Sender die auftreffenden Schallwellen bzw. ihre akustische Energie in elektrische Signale entsprechender Größe um.

Die Signale werden in einem elektronischen Schaltkreis analysiert und so ihre zeitliche Abfolge, also Frequenz, und die Amplitudenverteilung ermittelt. Für eine erfolgreiche Lärmreduzierung muss dieses Signal nun invertiert werden. Das invertierte Signal wird anschließend von den in die

Kopfhörerohrmuscheln integrierten Lautsprechern innerhalb der Kopfhörerohrmuschel mit den von außen eindringenden Lärmschallwellen überlagert und löscht diese fast vollständig aus (Abb. 1). Mit diesem Antischallprinzip lässt sich Lärm im niederfrequenten Frequenzbereich wirkungsvoll reduzieren (Abb. 2): Da eine Verminderung um 10 dB etwa der Halbierung der empfundenen Lautstärke entspricht, ist diese aktive Lärmbekämpfung mit mehr als 70 % sehr effektiv.

Die aktive Lärmreduzierung (engl. Active Noise Reduction, ANR) funktioniert deshalb bei tiefen Frequenzen besser als bei hohen, da hier der Schall über die gesamte Fläche der Kopfhörer die gleiche Phasenlage aufweist und sich somit durch ein invertiertes Signal effektiv unterdrücken lässt. Nur wenn das Störgeräusch keinen schnellen Schwankungen unterliegt, kann mit Hilfe der ANR-Elektronik das Antischallsignal in wenigen Millisekunden ermittelt werden. Allerdings ist eine vollständige

Auslöschung aufgrund einer immer vorhandenen, wenn auch geringen Aperiodizität der Geräusche nur theoretisch möglich, sodass ein gewisser Restlärm auch bei qualitativ hochwertigen Kopfhörern nicht zu vermeiden ist.

Da die ANR-Technik aufgrund der Richtungscharakteristik und einer möglichen Dephasierung der Schallwellen, die zu einer komplizierten Feldverteilung führt, nur für relativ kleine und feste Raumabschnitte ohne übertriebenen Aufwand realisiert werden kann, bieten sich Kopfhörerohrmuscheln mit ihrem definierten Volumen geradezu an.

Antischall im Fenster

Die ANR-Technologie ist aber längst nicht mehr nur im Flugverkehr anzutreffen – sicher auch aufgrund der mittlerweile kostengünstigeren und kompakteren Modelle: Das Ausblenden von störendem und niederfrequentem Umgebungslärm, z. B. dem gleichmäßigen Rattern von Zügen, erhöht mit angepasster Lautstärkenregelung durchaus den Hörgenuss. Aber damit nicht genug: Wissenschaftler der schweizerischen EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) arbeiten an Fenster-Prototypen mit integrierter Antischall-Technik, bei denen Mikrofone den Straßenlärm aufnehmen: Eine Antischall-Welle, die sich im Hohlraum zwischen den Scheiben ausbreitet, könnte dann in Zukunft für die nötige Ruhe sorgen.

Katja Bammel

1) Bereits 1933 meldete der deutsche Wissenschaftler Paul Lueg in Deutschland eine auf dem Antischall-Prinzip basierende Lärmreduzierung zum Patent an.

Dr. Katja Bammel, science & more redaktionsbüro, kb@science-and-more.de