



Nullrunde für den Lärm – aktive Geräuschminderungs-Systeme

**Robert Koch sagte es schon am Anfang des vorigen Jahrhunderts:
„Eines Tages wird der Mensch Lärm ebenso bekämpfen müssen wie die Cholera
und die Pest.“ Dabei kannte der berühmte Arzt noch nicht einmal den
heutigen Alltag an und auf Autobahnen, Flughäfen oder in Helikoptern ...
Effiziente Lärmbekämpfung nimmt heute vielfältige Formen an. Wir wollen
einige ausgefeilte Methoden der elektronischen Geräuschminderung
genauer unter die Lupe nehmen.**

Krankmacher Lärm

Er ist der Preis, den wir für immer schnellere Fortbewegung zahlen, für Flexibilität, Bequemlichkeit, Komfort und andere Annehmlichkeiten der modernen Zeit. Lärm kann man heute gewiss als „Geißel unserer Zivilisation“ (Jürgen Trittin) betrachten. Irgendwie leiden wir alle darunter, jedoch sind allein in Deutschland mehr als zehn Millionen Menschen akut gesundheitsgefährdet, weil sie unter Lärm-Dauerstress

stehen. Denn Lärm im negativen Sinne erzeugt typische Stresserscheinungen mit allem, was dazu gehört: Schlaf- und Konzentrationsstörungen, Immunsystem-Schwächung, Gereiztheit und schließlich Herz-Kreislauf-Erkrankungen, gipfelnd in Tausenden Herzinfarkten im Jahr, die direkt oder indirekt aus Lärm-Dauerstress hervorgehen. Dauereinwirkung von Lärm führt aber immer mindestens zu Dauerschäden am Gehör.

Fragt man einmal einen Makler, steht „die ruhige Wohnung“ bzw. die „ruhige

Wohnlage“ bei den allermeisten seiner Kunden mit ganz oben auf deren Wunschliste. Denn schläft ein lärmgeplagter Großstadtmensch einmal, etwa im Urlaub, in einer tatsächlich absolut ruhigen Umgebung, empfindet er dieses längst vergessene Gefühl als so positiv, dass er das Erlebnis kaum vergessen wird.

Denn wir sind in irgendeiner Form alle vom allgegenwärtigen Lärm beeinflusst, wie in Abbildung 1 zu sehen ist. Das fängt beim Computer im Büro an, geht über richtig laute Arbeitsgeräusche, wie sie in



Bild 1: Die Skala der im Alltag vorkommenden Schallpegel (Quelle: Sennheiser)

LKW fällt vielen zuerst ein, wenn es um Verkehrslärm geht. Aber auch der Fluglärm „erklimmt“ die Charts der Lärmverursacher zielstrebig in Richtung Spitze. Anwohner von Flughäfen sind hier besonders beeinträchtigt – die derzeit anrollende Billigflieger-Welle wird deren Leben nicht gerade angenehmer machen ...

Wir wollen uns jedoch an dieser Stelle nicht den Hausaufgaben der zuständigen Politiker widmen, die die Voraussetzungen für die „großen“ Maßnahmen von der Lärmschutzwand bis hin zu den Vorschriften für die Reduzierung von Reifen-Abrollgeräuschen, leiseren Bahntrassen oder Außengeräuschen bei Fahr- und Flugzeugen zu schaffen haben.

Denn jeder, der in irgendeiner Weise lärmgeplagt ist, hat eigentlich heute Zugriff auf wirkungsvolle Mittel, dem Lärmstress individuell zu begegnen – nur wissen die wenigsten davon! Wir sprechen von akustisch-elektronischen Systemen, die störende Anteile des Umgebungsschalls reduzieren, ohne dabei jedoch Nutzschall zu eliminieren. So kann man mit derartigen Systemen heute äußerst angenehm reisen, leben und arbeiten und dabei z. B. sogar noch gleichzeitig ungetrübtem Musikgenuss frönen.

Werkstätten, Werkhallen oder auf Baustellen permanent auftreten, und endet bei zunehmendem Verkehrslärm. Letzterer wird nach Umfrageergebnissen individuell als am gravierendsten empfunden. Nahezu jeder nennt Verkehrslärm als belastendste Lärmart. Und gerade der nimmt permanent zu. Bis 2010 wird durch die Öffnung der EU nach Osten der LKW-Verkehr im Transitland Deutschland um bis zu 100 Prozent ansteigen – und der

Balanceakt Lärminderung

Einige der einfachsten Arten, störenden Schall auszusperren, sind die bekannten Ohrstöpsel (z. B. Ohropax) und der im Berufsleben oft zu sehende Gehörschutz in Kopfhörerform (Abbildung 2). Letzterer wurde neuerdings sogar verfeinert und firmiert als elektronischer Gehörschutz. Dieser kompensiert einen entscheidenden Mangel des an sich sehr wirkungsvollen passiven Gehörschutzes, der, einmal aufgesetzt, den Träger weitgehend von seiner Umwelt abschirmt.

Was aber, wenn es Warnsignale zu beachten gilt oder man sich mit anderen verständigen muss? Der elektronische Gehörschutz, wie er in Abbildung 3 in Aktion zu sehen ist, erfasst die Geräusche in der Umgebung und gibt sie zunächst über einen integrierten Kopfhörer wieder – schön komfortabel mit variierbarer Lautstärke, mitunter sogar mit angenehm angepasstem Frequenzgang. Sobald jedoch ein Geräusch auftritt, das oberhalb einer bestimmten Grenze, z. B. 85 dB (A) liegt, schaltet die Elektronik blitzschnell das Außenmikrofon ab und erst wieder ein, wenn das Geräusch abgeklungen ist.

Solche Systeme sind eine wirkungsvolle Hilfe an lärmgefüllten Arbeitsplätzen, wo es nur von Zeit zu Zeit zu lauten Geräuschen kommt, etwa auf der Baustelle oder in einer Werkhalle.

Ganz anders liegt die Problematik jedoch an ständig mit einem hohen Grundschallpegel erfüllten Arbeitsplätzen, stellvertretend seien hier diejenigen von Piloten betrachtet. Diese sind permanent einem zwar recht gleichförmigen, aber dennoch hohen Lärmpegel durch Triebwerke und Windgeräusche ausgesetzt. Gleichzeitig haben die Piloten aber auch auf vielfäl-



Bild 2: Passiven Gehörschutz kennen wir bereits seit langem aus der Arbeitswelt.



Bild 3: Der elektronische Gehörschutz schützt den Träger vor auftretenden starken Schallereignissen, während die Verständigung und die Aufnahme von Warnsignalen gewahrt bleibt.

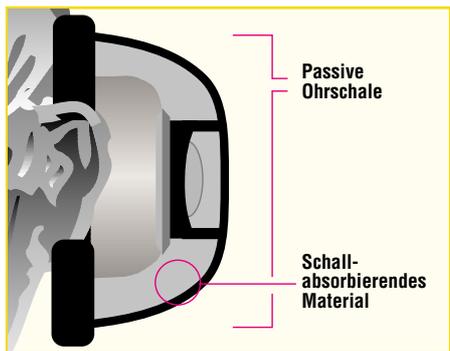


Bild 4: Der passive Lärmschutz wird durch eine dichte Abkapselung des Hörraums und schallabsorbierende Materialien im Hörergehäuse erreicht. Grafikidee: Bose

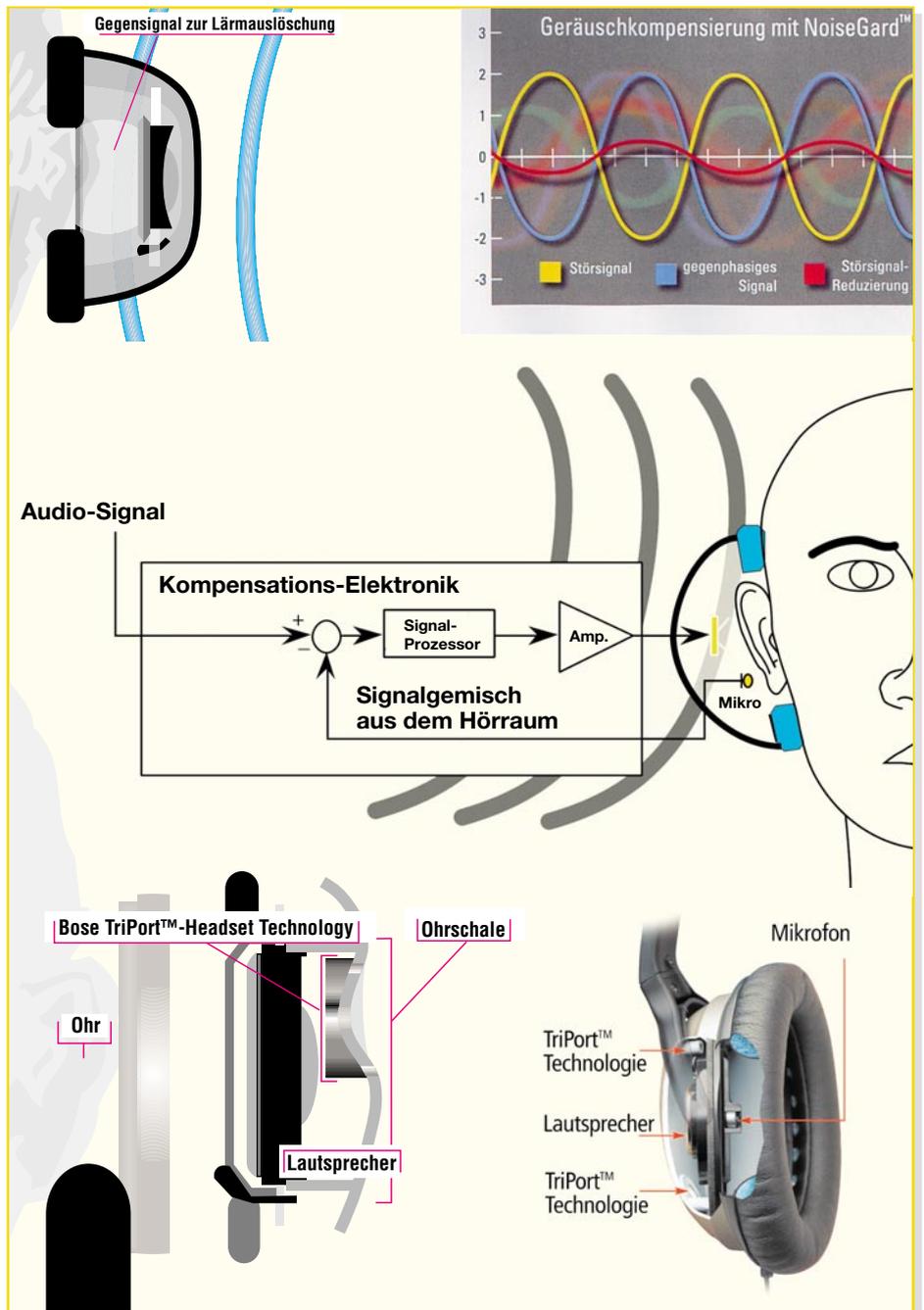


Bild 5: So funktioniert das Gegen-schallprinzip: Unerwünschte Schall-anteile werden gegenphasig in den Hörraum eingespeist und heben damit den Störschall auf. Unten ist anhand des Bose-Systems sehr gut der konstruktive Aufbau eines solchen Hörers zu erkennen. Grafikidee: Bose (links, Mitte, unten); Sennheiser (rechts)

tigste Geräusche in ihrer Umgebung zu achten. Das beginnt bei eben jenen Triebwerken, geht über die Verständigung im Cockpit bis hin zur ständigen Beobachtung bestimmter akustischer Signale wie des ATC (ATC – Air Traffic Control, Flugfunk). Um das in einem lärmefüllten Cockpit sicher hören zu können, muss die Lautstärke des Funks oft bis zum „Anschlag“ eingestellt werden.

Traditionell tragen Piloten ja ohnehin entweder einen Helm mit integrierter Wechselsprecheinrichtung für den Bord- und Flugfunk oder ein so genanntes Head-Set, einen gut gegen die Umgebung abschirmenden, geschlossenen Kopfhörer mit Mikrofon. Mit diesen Einrichtungen wird bereits durch die dichte Abkapselung des Hörraums in der Hörmuschel eine wir-

kungsvolle Reduzierung von hochfrequentem Schall erzielt. Dabei ist eine recht große Hörmuschel mit schallschluckendem Material gefüllt (Abbildung 4). Sie dient als akustische Barriere. Allerdings gelangen tieffrequente Anteile des Störschalls dennoch an das Ohr. Insoweit hat man hier im Prinzip die verbreitete Technik des passiven Gehörschutzes übernommen.

Das allein genügt jedoch nicht, wie jeder bestätigen wird, der schon einmal Kopfhörer in einem Flugzeug, einem Zug oder Auto benutzt hat. Die Umgebungsgeräusche sind zwar etwas gedämpft, aber dennoch deutlich zu hören – der erhoffte Musikgenuss ist eigentlich dahin.

Also muss man gezielt unerwünschte Geräusche eliminieren, ohne jedoch die

wichtige Anforderung zu vergessen, dass z. B. der Pilot trotzdem die Geräusche des Triebwerks unter Kontrolle haben sowie sonstige Umgebungsgeräusche registrieren muss.

Lärm gegen Lärm

Diesen Spagat realisieren die Akustiker mit einem bereits seit 1934 patentierten Prinzip – dem Gegenschall. Schon damals ließ sich der deutsche Physiker Paul Lueg ein Patent auf die Idee erteilen, zur Beseitigung von Störgeräuschen gegenphasigen (um 180° phasenverschobenen) Schall einzusetzen. Das heißt, der Störschall wird mit einem Mikrofon erfasst, ein genau gegenphasiger Schall erzeugt und in Richtung Ohr abgestrahlt. Damit löscht man

dann die unerwünschten Schallanteile weitgehend aus. Eine einfache Veranschaulichung dieses Prinzips wäre ein Auto, dessen Motor die Vorderachse nach vorn und die Hinterachse nach hinten antreiben würde. Gleichmäßige Kraftverteilung auf beide Achsen vorausgesetzt, bewegt sich das Auto keinen Millimeter, da sich die Kräfte gegenseitig aufheben. In Abbildung 5 ist das Prinzip noch einmal verdeutlicht.

In den Anfängen dieser Kompensationstechnik erreichte man jedoch nur die Eliminierung einzelner Frequenzen, aber immerhin konnte man, großtechnisch zum Teil bis heute angewendet, sehr lästige Geräusche beseitigen, vom Brummen einer Klimaanlage bis zur Lärmkompensation von austretenden Abgasen bei Kraftwerken.

Erst mit der Mikroelektronik und dem Entstehen der Signalprozessortechnik waren die Techniker in der Lage, ganze Frequenzgemische, wie sie die Motoren-geräusche eines Verbrennungsmotors nun einmal darstellen, komplex zu verarbeiten und einen entsprechenden Gegenschall zu erzeugen. Dabei werden dann auch nur bestimmte Frequenzbereiche abgesenkt, um die Aufnahmefähigkeit von wichtigen Umgebungsinformationen zu erhalten.

So eliminieren die Kompensationssysteme beispielsweise wirkungsvoll den Lärm der Triebwerke des Flugzeugs und die Windgeräusche, Sprache ist jedoch nach wie vor gut aufnehmbar. Damit wird auch z. B. einer vorzeitigen Ermüdung des Piloten vorgebeugt. Wie gut es funktioniert, zeigt Abbildung 6 in einer Gegenüberstellung von passiver und aktiver Geräuschkompensation. Mit der elektronischen, aktiven Kompensation ist eine gezielte, starke Absenkung interessierender Frequenzbereiche möglich.

Gut, damit hatte man irgendwann das Problem prinzipiell gelöst. Dass es bis zum



Bild 7: Bequem, leicht und mit Hi-Fi-Wiedergabe – die geräuschkompensierten Kopfhörer dämpfen wirkungsvoll unerwünschten Lärm, lassen dennoch eine ausreichende Verständigung zu und ermöglichen gleichzeitig Hi-Fi-Musikgenuss. Bild: Bose/Sennheiser

heutigen Stand der Technik noch ein weiter Weg war, erkennt man sicher schon allein daran, dass gleichzeitig zur Eliminierung des Störsignals auch das Nutzsignal, also Funk, Kommunikation und – noch recht neu – Musik- oder Kinoton in erstklassiger Qualität wiederzugeben sein soll.

Denn veranschaulicht man sich den Aufbau eines modernen geräuschkompensierten Kopfhörers, ist schnell zu erkennen, dass der in den relativ kleinen Hörraum in der Hörmuschel gelangende Störschall dort, und nicht außen am Hörer, erfasst wird. Um den gleichzeitig über den Lautsprecher des Systems abgestrahlten Nutzschall nicht zu beeinträchtigen, ist eine komplizierte Signalaufbereitung notwendig. Sie muss beide Frequenzgemische, einschließlich deren ständig wechselnder Dynamik, in Echtzeit trennen und entsprechend aufbereiten. Den Gesamtvorgang nennt man aktive Geräuschkompensation.

Auch noch Hi-Fi

Dies gelingt mit modernen Kopfhörern/Sprechgarnituren, wie sie etwa von Sennheiser (NoiseGard™) oder Bose (Acoustic NoiseCancelling®) kommen, bereits hervorragend (Abbildung 7). Derartige Systeme werden inzwischen nicht nur von Piloten eingesetzt. Sie erlangen zunehmende Bedeutung erstens in anderen Berufsfeldern und zweitens im privaten Bereich.

Einige Systeme wie beispielsweise der „HDC 451 NoiseGard™ mobile“ von Sennheiser sind auch im Büro einsetzbar, um die nervenden Geräusche von Computerfestplatten oder Computerlüftern zu eliminieren. Im Heimbereich fällt einem hier wohl sofort der lärmintensive Staubsauger ein.

Gleichzeitig dienen diese Kopfhörersysteme zur stark verbesserten Wiedergabe von Audio-Signalen in lärmgefüllter Umgebung. Das kann das Diktiergerät im Büro

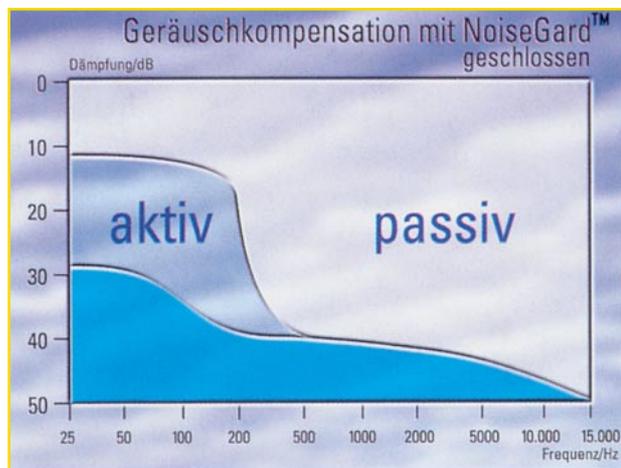


Bild 6: Systemvergleich von aktiver und passiver Geräuschkompensation für geschlossene Systeme

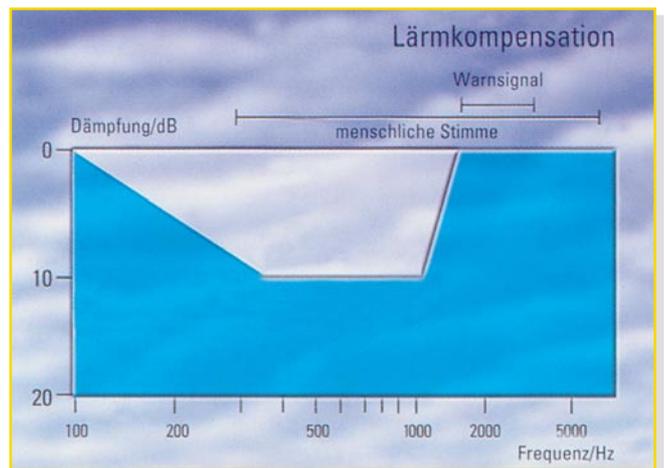


Bild 8: Offene, geräuschkompensierte Systeme dämpfen gezielt störende Hintergrundgeräusche, ermöglichen aber gleichzeitig die allgemeine auditive Wahrnehmung. Grafik: Sennheiser

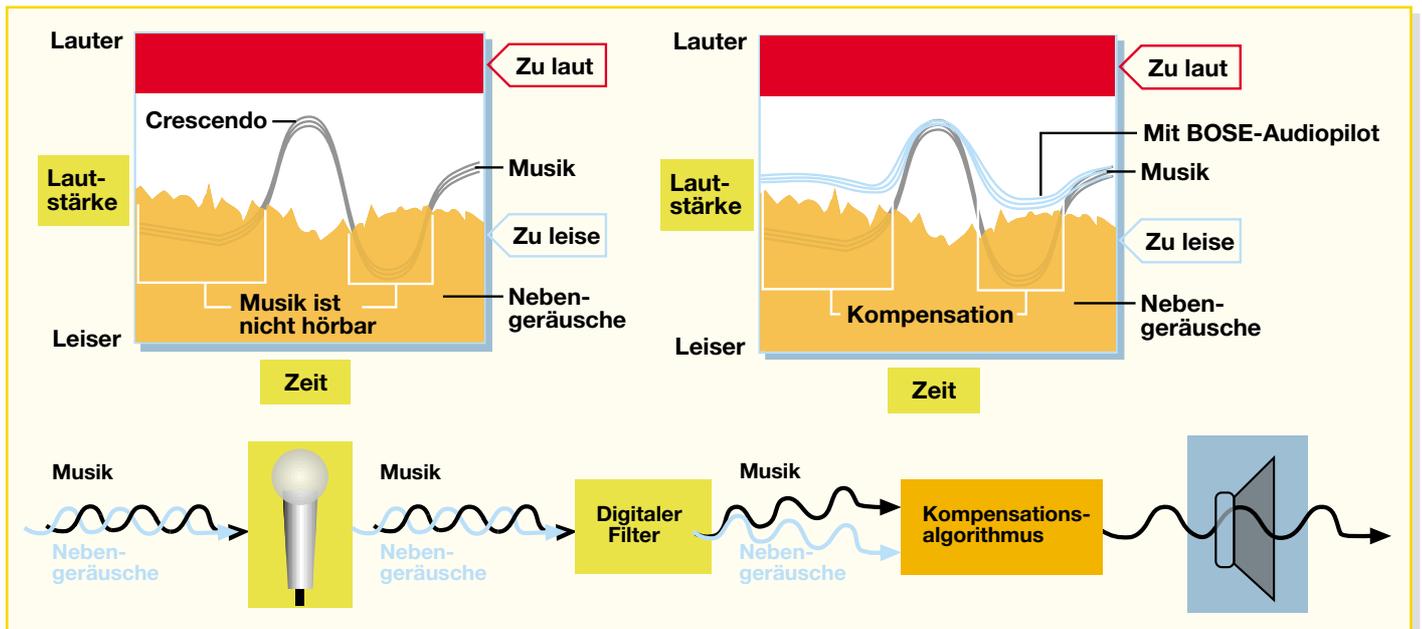


Bild 9: So arbeitet das „AudioPilot™ Noise Compensation“-System von Bose. In einem mehrstufigen Signalbearbeitungsverfahren werden die Einflüsse von Störschall bei der Musikwiedergabe im Auto ausgeglichen. Grafikidee: Bose

als Audio-Quelle ebenso sein wie der Kinofilm im Flugzeug. Aber auch beim „einfachen“ Hören der Lieblingsmusik zu Hause können derartige Systeme zeigen, was sie können. Jeder kennt es wohl, nachts ist es im Haus immer stiller als am Tage. Es gibt keine oder weniger Straßengeräusche, der Grundschallpegel durch die Bewohner fehlt, viele technische Einrichtungen arbeiten nicht bzw. mit reduzierter Leistung usw. Um eben diesen Grundschallpegel zum Musikhören jederzeit ausblenden zu können, erweisen sich aktiv lärmkompensierte Kopfhörer quasi als Ei des Kolumbus. Man erlebt einen weitgehend neben-geräuschfreien Hörgenuss, den man selbst mit dem guten alten, geschlossenen Hi-Fi-Kopfhörer nicht kannte.

Trotz der komplizierten Signalverarbeitung halten die lärmkompensierten Kopfhörer durchaus mit spezialisierten Hi-Fi-Kopfhörern mit. Frequenzumfänge von 20 bis 18.000 Hz bei einem Klirrfaktor von unter 1 % und einem linearen Schalldruckpegel bis 100 dB sprechen für sich. Gleichzeitig realisieren die Kopfhörer eine aktive Störschalldämpfung von bis zu 15 dB. Die offene Form dieser Kopfhörer schränkt jedoch die Sprachverständlichkeit der Umgebung kaum ein, da man sich bei der Dämpfung am typischen Lärmspektrum von Düsenflugzeugen orientiert und gezielt den Bereich zwischen 400 und 1000 Hz kompensiert (Abbildung 8).

Damit sind derartige Kopfhörersysteme geradezu prädestiniert für jede Art der Reise, ob mit dem Zug, dem Flugzeug oder mit dem Auto. Mittlerweile gibt es sogar für den Straßenverkehr zugelassene Hörer, die, solange kein Audio-Signal eingespeist wird, vom Autofahrer getragen werden

dürfen. Das sollte besonders Transporter-, LKW- oder andere Fahrer interessieren, die sich mit besonders lauten Motoren- und Fahrgeräuschen plagen müssen.

Ruhe im Auto

Das Thema Geräuschkompensation hat jedoch noch mehr Facetten. Insbesondere Bose hat sich der Geräuschkompensation im PKW gewidmet und installiert mittlerweile sein patentiertes System „AudioPilot™ Noise Compensation“ ab Werk in Fahrzeugen von Audi über Maybach und Mercedes Benz bis Porsche, integriert in die dort installierten Bose-Soundsysteme. Damit will man dem Problem beikommen, dass verschiedene Fahrgeräusche die Wiedergabe der Auto-Hi-Fi-Anlage beeinträchtigen. Mal ist also das Radio zu laut, mal zu leise, mal sind bestimmte Frequenzbereiche von Fahrtwindgeräuschen überlagert oder gar ganz ausgelöscht, mal stört das Brummen des Motors ...

Das Bose-System erfasst das Frequenzspektrum aus Fahr-, Außen- und Innengeräuschen und passt die Musikwiedergabe so an, dass diese stets gegenüber den Störgeräuschen dominieren kann – ohne jedoch die Insassen mit zu hohen Lautstärken zu überfordern. Abbildung 9 zeigt das Arbeitsprinzip des Systems.

Das System beruht wieder auf der Überwachung durch ein Mikrofon, das in Hörernähe, z. B. am Innenspiegel, angebracht ist. Ein folgendes digitales Filter trennt die Stör- von den Nutzgeräuschen – und das in Echtzeit. Dazu sind leistungsfähige Signalprozessoren im System verbaut, die eine schnelle, parallele Signalverarbeitung ermöglichen. Allein, wenn man bedenkt, dass

nicht nur das Frequenzgemisch an sich, sondern auch wechselnde Dynamikumfänge und Geräuschintensitäten zu verarbeiten sind, kann man sich leicht vorstellen, welcher technische Aufwand an dieser Stelle nötig ist. Schließlich nimmt eine Kompensationsstufe die automatische Optimierung des Frequenzganges und der Dynamik vor, um den Insassen des Fahrzeugs eine gleichbleibende Musikqualität zu liefern.

Das Gesamtsystem ist eingebunden in die bei der Konzeption der Anlage vorgenommene Abstimmung auf den jeweiligen Fahrzeugtyp. Denn jedes Fahrzeug weist andere Schwerpunkte in der Schallverteilung im Innenraum auf. Entsprechend sind die dabei entstehenden Besonderheiten zu berücksichtigen. Damit bekommt der Autofahrer einen stets gleich bleibenden Lautstärke- und Klangeindruck, unabhängig davon, ob das Fahrzeug schnell oder langsam fährt, auf Beton oder Asphalt, ob die Räder über Baustellen-Fahrbahnbegrenzungen rattern, ob es regnet oder ein Sturm tobt. Lautstärke und Klang müssen nicht mehr nachgeregelt werden – auch ein Beitrag zur Verkehrssicherheit!

Abschließend bleibt festzustellen, dass derartige Geräuschkompensationssysteme wie die hier vorgestellten sehr wirkungsvoll unerwünschten Lärm bekämpfen können und damit Stress, Ermüdungs- und gar Krankheitserscheinungen in unserer lauten Welt recht gut begegnen. Erfreulich ist auch, dass derartige Systeme nicht mehr dem beruflichen Einsatz vorbehalten sind, sondern zunehmend auch den privaten Bereich erobern. Wer sich also vor Lärm in der Umwelt zumindest punktuell schützen will, kann dies tun – und gleichzeitig wirkungsvoll Nutz- und Störschall trennen. **ELV**