



# Aktive Lärmkompensation im Kopfhörer

Von Dr. Ivar Veit,  
Sennheiser electronic KG  
3002 Wedemark

***Lärm kann man mit sich selbst bekämpfen, indem man von diesem eine Probe entnimmt, diese elektronisch geeignet aufbereitet und das dabei gewonnene Signal als „Antischall“ wieder abstrahlt, z. B. über einen Kopfhörer. Das funktioniert im Kraftfahrzeug genauso gut wie im Cockpit eines Verkehrsflugzeuges.***

Der bekannte Bakteriologe Robert Koch (1843–1910) hat vor etwa hundert Jahren prophezeit, daß der Mensch eines Tages den Lärm genauso unerbittlich bekämpfen wird wie einst die Cholera und die Pest [1] [2]. Wahrlich – eine weise Voraussage. Der Lärm gilt heute weltweit als ein unerträgliches und nicht selten auch gesundheitsschädigendes Abfallprodukt unseres hochtechnisierten Zeitalters; quasi – eine Art „hörbarer Müll“. Zum Glück ... so möchte man sagen – gibt es inzwischen eine Reihe von gesetzlichen Regelungen und Richtlinien [3] [4], die die rechtlichen Grundlagen für einen ausreichenden persönlichen Schallschutz bilden. Eine für unser Land, die Bundesrepublik Deutschland, besonders wichtige Verord-



**Beispiel einer aktiven Lärmkompensation über Kopfhörer im Flugzeug**

nung ist die „Unfallverhütungsvorschrift (UVV)-Lärm“ [4] der Berufsgenossenschaften. Danach (§ 2, Abs. 3) versteht man unter dem Begriff „Lärmbereich“ heute einheitlich alle Aufenthaltsbereiche, in denen Lärm mit einem Beurteilungspegel von 90 dB (A) und mehr auftritt. Ausgehend davon schreibt der Gesetzgeber heute vor, daß überall dort, wo unter Ausnutzung aller technologisch möglichen und ökonomisch vertretbaren Maßnahmen eine weitere Lärminderung am Ort der Entstehung, d. h. an der Schallquelle selbst, nicht mehr möglich ist, seitens des Arbeitgebers Mittel für den persönlichen Schallschutz (z. B.: Gehörschutzwatte, Gehörschutzstöpsel, Gehörschutzkapseln...) ab 85 dB (A) bereitgestellt werden müssen und ab 90 dB (A) von den Betroffenen unbedingt zu benutzen sind. Arbeitnehmer, die von intensivem Arbeitslärm umgeben sind und diese Vorschriften mißachten, können im Falle einer dadurch erworbenen Lärmschwerhörigkeit keinerlei Entschädigungsansprüche geltend machen.

Nicht alle der heute angebotenen Mittel für einen wirkungsvollen persönlichen Schallschutz sind immer und unter allen Einsatzbedingungen auch als sehr tragefreundlich zu beurteilen. Die Dämmwirkung von Kapselgehörschützern z. B. ist um so besser, je dichter diese das Ohr nach außen abschließen. Bekannt sind auch Kopfhörer, die die Ohren akustisch fast genauso gut abdichten wie Kapselgehörschützer. Leider sind diese meist sehr schwer und drücken entsprechend bei längerer Benutzungsdauer. Des weiteren zu bemängeln sind in solchen Fällen die Ausbildung eines Wärmestaus vor den Ohren sowie eine bedrückende Isolierung gegenüber der akustischen Umwelt. Bei der Ausübung ganz bestimmter Berufe kann eine nahezu vollständige Abkapselung gegenüber allen Umgebungsgeräuschen durchaus verhängnisvolle Folgen

haben, beispielsweise bei Flugzeugführern: Würde ein Pilot extrem gut abdichtende Kopfhörer benutzen, so könnte er u. U. bestimmte Geräusche, deren Wahrnehmung für eine gehörmäßige Beurteilung aller Flugfunktionen und somit für die Flugsicherheit von großer Bedeutung sind, nicht mehr hören.

A propos Flugzeugführer! Auch der Arbeitsplatz eines Zivil-Piloten kann unter bestimmten Bedingungen zu einem Lärmarbeitsplatz im Sinne der heute gültigen Definition werden [5] [6]. Vor einigen Jahren wurde aus gegebenem Anlaß eine Untersuchung durchgeführt, um ein

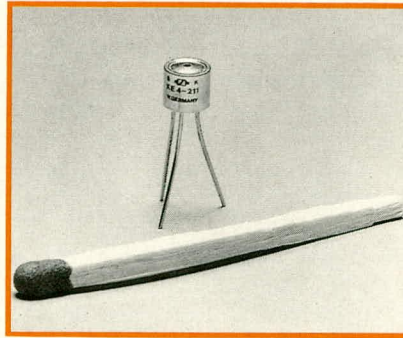
genaues Bild über die Lärmbelastung von Cockpit-Besatzungen in modernen Verkehrsflugzeugen zu gewinnen. Die dabei gewonnenen Meßwerte lagen überraschend hoch: Je nach Flugzeugtyp und Flugphase wurden in Ohrnähe der Besatzung Beurteilungspegel zwischen 76...86 dB (A) ermittelt [7]. Da Flugzeugführer, insbesondere auf mehrstündigen Fernflügen meist leichte akustisch offene Kopfhörer bevorzugen, gelangen diese Pegel nahezu in voller Höhe bis vor deren Ohren. Kommt jetzt noch der Funksprechverkehr hinzu, so wird dessen Lautstärke aus Gründen einer ausreichenden Sprachverständlichkeit i.a. soweit erhöht, daß der im Kopfhörer erzeugte Sprachschallpegel noch etwa 10...15 dB darüber liegt. Damit ergeben sich für die Cockpit-Besatzung Arbeitsbedingungen, die über gehörige Zeiten denen eines Lärmarbeitsplatzes gemäß der UVV-Lärm entsprechen.

Speziell für diesen Einsatzfall ist jetzt bei Sennheiser electronic ein aktives Lärmkompensationsverfahren entwickelt worden, das für einen akustisch offenen und leicht zu tragenden Kopfhörer ausgelegt ist. Das Funktionsprinzip ist einfach und leicht verständlich: Das unmittelbar an den beiden Kopfhörerkapseln, d. h. in Ohrnä-

## Literatur

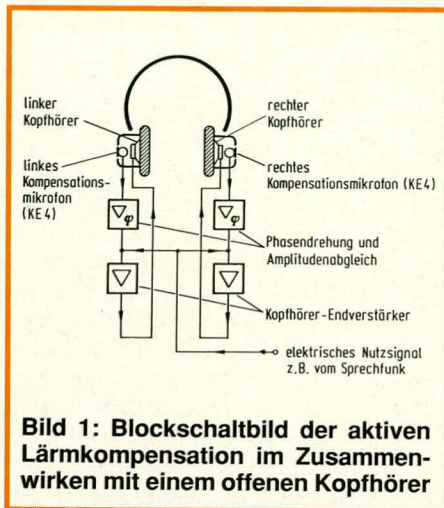
1. Macht Lärm uns krank? Informationsschrift des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung, Baden-Württemberg, 1975
2. Berendt, J.-E.: Das Dritte Ohr. Rowolt Taschenbuch Verlag GmbH, Reinbeck, 1988
3. VDI-Richtlinie 2560 – Persönlicher Schallschutz. VDI-Kommission Lärminderung
4. UVV-Lärm (VGB 121) – Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, 1975
5. Veit, I.: Eine Hör/Sprechgarnitur mit aktiver Lärmkompensation. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 35 (1988), H. 1, S. 24-25
6. Veit, I.: A Lightweight Headset with an Active Noise Compensation. inter-noise '88, Proceedings Vol. II p. 1087-1090
7. Wittenbecher, H. und Hoormann, H.: Ermittlung der Schallbelastung im Cockpit der LH-Flotte unter Berücksichtigung aller einflußnehmender Parameter. Bericht – Juli 1984

he, auftretende Umgebungsgeräusch wird von zwei dort befindlichen Kleinstmikrofonen aufgenommen, elektronisch aufbereitet und in kompensierenden „Antischall“ umgesetzt, und zwar durch seitenrichtige Abstrahlung über die beiden Kopfhörerkapseln. Auf diese Weise erreicht man direkt vor den Gehörgängen eine Geräuschkompensation von bis zu 20 dB und mehr. Die praktische Umsetzung dieses Verfahrens erweist sich allerdings als nicht

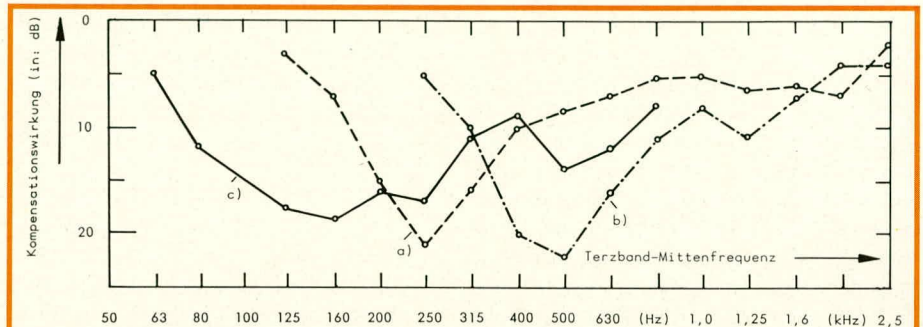


dessen Ausgang man mit Optimismus entgegensehen darf: Sämtliche für den Fahrer wichtigen Informationen, wie Martinshorn oder Gespräche mit den Beifahrern, können den akustisch offenen Kopfhörer passieren, kompensiert werden

**Bild 2: Elektret-Mikrofon Typ KE 4 (Länge: 4,2 mm; Durchmesser: 4,75 mm) zur Aufnahme des zu kompensierenden Umgebungs lärms im Größenvergleich zu einem Streichholz .**



**Bild 1: Blockschaltbild der aktiven Lärmkompensation im Zusammenwirken mit einem offenen Kopfhörer**



**Bild 3: Kompensationswirkung (in dB) von aktiv lärmkompensierten Kopfhörern bzw. Hör/Sprechgarnituren, gemessen bei Beschallung mit Terzband-Rauschen an drei verschiedenen Ausführungen:**  
a) und b) Hör-/Sprechgarnituren mit unterschiedlich eingestelltem Kompensationsspektrum für den Einsatz im Flugzeug-Cockpit  
c) Kopfhörer für den Einsatz im KFZ (siehe großes Bild S.8)

ganz so einfach; hier stecken die Probleme regelrecht im Detail.

Bild 1 veranschaulicht das Funktionsprinzip noch einmal an Hand eines Blockschaltbildes. In jeder der beiden akustisch offenen Hörerkapseln befindet sich ein kleines Elektretmikrofon (= Kompensationsmikrofon) gemäß Bild 2 zur beidseitigen Aufnahme des Außengeräuschs. Die grundlegende Überlegung für den hier gewählten Aufbau war die, daß der zu kompensierende Störschall (z. B. Triebwerksgeräusche von Flugzeugen, Fahrgeräusche von Kraftfahrzeugen, etc.) hauptsächlich tief- bis mittelfrequenter Natur ist, so daß die wirklich störenden Schalldruckpegel innerhalb und außerhalb der Kopfhörer nahezu gleich groß sind. Die von den beiden Kompensationsmikrofonen aufgenommenen Umgebungsgeräusche werden vorverstärkt und über separate Phasendreh- und Amplitudenabgleichschaltungen einschließlich zweier nachfolgender Kopfhörer-Endverstärker an die seitenrichtigen Kopfhörerkapseln weitergeleitet, wo sie akustisch abgestrahlt werden und bei richtigem Abgleich der Elektronik als „Antischall“ mit dem von außen direkt in den Hörerinnenraum eindringenden Geräusch interferieren. Die auf diese Weise erzielte Lärmkompensation – gemessen an drei verschiedenen Geräteausführungen – zeigt das Diagramm im Bild 3. Damit werden Kompensationswerte bis zu > 20 dB erreicht. Außer zur Erzeugung des Antischalls kann

der gleich Kopfhörer auch zur Übertragung von Nutzsignalen beliebiger Art (z. B.: Flugzeugsprechfunk, Autoradiodarstellungen, etc) mit verwendet werden. Die gewünschten Audiosignale werden dabei an den Eingängen der beiden Kopfhörer-Endverstärker eingespeist, s. Bild 1. Eine in dieser Art aufgebaute lärmkompensierte Hör-/Sprechgarnitur für den Einsatz bei Piloten und Co-Piloten der zivilen Luftfahrt befindet sich z. Z. bei einer großen europäischen Luftfahrtgesellschaft in der Erprobungsphase.

Außer im Cockpit gibt es diverse andere Einsatzmöglichkeiten für eine derartige Lärmkompensation. Von verschiedenen Kfz-Herstellern ist inzwischen bereits Interesse an einem aktiv lärmkompensierten (HiFi-) Kopfhörer bekundet worden, mit dem man gleichzeitig auch Autoradiosendungen in hochwertiger Qualität hören kann. Auf der diesjährigen „Audio-Video“-Messe in Düsseldorf wurde auch schon der Prototyp eines speziell für fahrgeräuschgeplagte Pkw-Insassen entwickelten lärmkompensierten Kopfhörers (auf der Basis des Sennheiser-Hörers Typ HD 540) vorgestellt. Der bei simuliertem Fahrlärm demonstrierte Kopfhörer rief ein außerordentlich positives Echo bei den Besuchern hervor.

Unklar war bislang nur noch die rechtliche Situation hinsichtlich der Benutzung eines solchen Kopfhörers durch den Fahrer selbst. Es wurde daher ein diesbezügliches Zulassungsverfahren eingeleitet,

vornehmlich nur die tieffrequenten Umgebungsgeräuschanteile (z. B. von Wind, Motor und Reifen). Mehr noch – infolge des reduzierten Geräuschaufkommens kann der Fahrer alle für ihn bedeutsamen und nützlichen Signale sogar noch besser wahrnehmen als ohne Lärmkompensation. Die mit den bisher entwickelten Lärmkompensationseinheiten erzielten Frequenzgänge des Kompensationseffekts sind im Bild 3 dargestellt. Zur Messung dieser Frequenzgänge wurde das in der Praxis zu kompensierende Umgebungsgeräusch durch Terzband-Rauschen simuliert, das von einem Lautsprecher abgestrahlt wurde. Der auf sein Kompensationsvermögen zu prüfende Kopfhörer befand sich währenddessen auf einem akustischen Meßkuppler. Mit diesem Meßaufbau wurde der durch den offenen Hörer hindurch in den Kuppler gelangende bzw. im Kompensationsfalle dort entstehende Terzbandpegel gemessen. Diese Messung wurde zweimal nacheinander mit denselben Terzband-Mittenfrequenzen durchgeführt, und zwar bei aus- und eingeschalteter Kompensationselektronik. Die Pegeldifferenz aus diesen beiden Messungen ergab die im Bild 3 gezeigte Kompensationswirkung. Wie daraus zu ersehen ist, kann man mit offenen aktiv geräuschkompensierten Kopfhörern je nach Ausführung (Kopfhörertyp, Elektronik) im besonders lärmbeeinträchtigten tieffrequenten Bereich Kompensationswerte bis zu  $\geq 20$  dB erreichen.