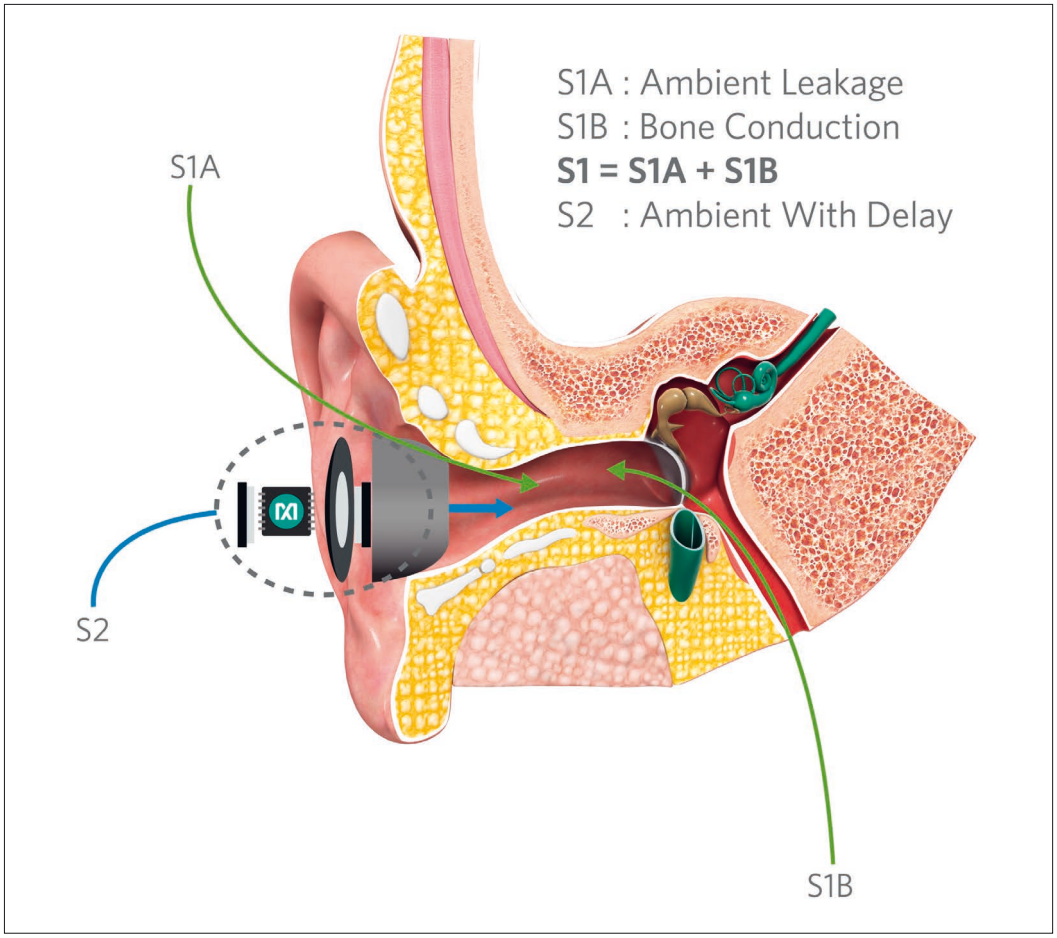
# Verbesserte PSAP-Audioleistung und Energieeffizienz in Hearables mit Gegenschall




*Zwei Geräusche erreichen das Trommelfell bei PSAP*

In diesem Artikel wird das Problem des Kammfiltereffekts erläutert, das bei PSAP-Systemen für Hearables auftritt. Die Auswirkungen langer Verzögerungszeiten auf die PSAP-Verarbeitung werden unter Berücksichtigung verschiedener Verstärkungsstufen untersucht. Die Verringerung der Verzögerungszeiten in PSAP-Systemen führt zu schlechter Leistung und höherem Stromverbrauch. Basierend auf dem ersten stromsparenden, dauerhaft aktiven Codec MAX98050 stellt Analog Devices eine auf Gegenschall basierende Lösung zur Abschwächung des Kammfiltereffekts in PSAP-Systemen vor, die zu einer verbesserten Audioleistung, reduziertem Stromverbrauch sowie zu einem flexiblen Systemdesign für Hearables der nächsten Generation führt.

## Besseres Hörerlebnis

Hearables sollen das Hörerlebnis des Nutzers verbessern, indem sie Umgebungsgeräusche reduzieren. Dies geschieht durch den Einsatz passiver und aktiver Geräuschunterdrückung (ANC) und die Verstärkung des gewünschten Umgebungsgeräusches. Hearables, die die Verstärkung der gewünschten Umgebungsgeräusche unterstützen, werden gemeinhin als Persönliche Klangverstärker (PSAPs) bezeichnet. In diesem Artikel wird ohne Verlust der Allgemeingültigkeit PSAP als eine Funktion des unterstützten Hörens bei Hearables betrachtet.

PSAPs werden zur Verbesserung des Hörvermögens in schwierigen Umgebungen eingesetzt und sind für Menschen mit und ohne Hörbehinderung geeignet. Zu den Grundbausteinen eines PSAP-Systems können unter anderem gehören:

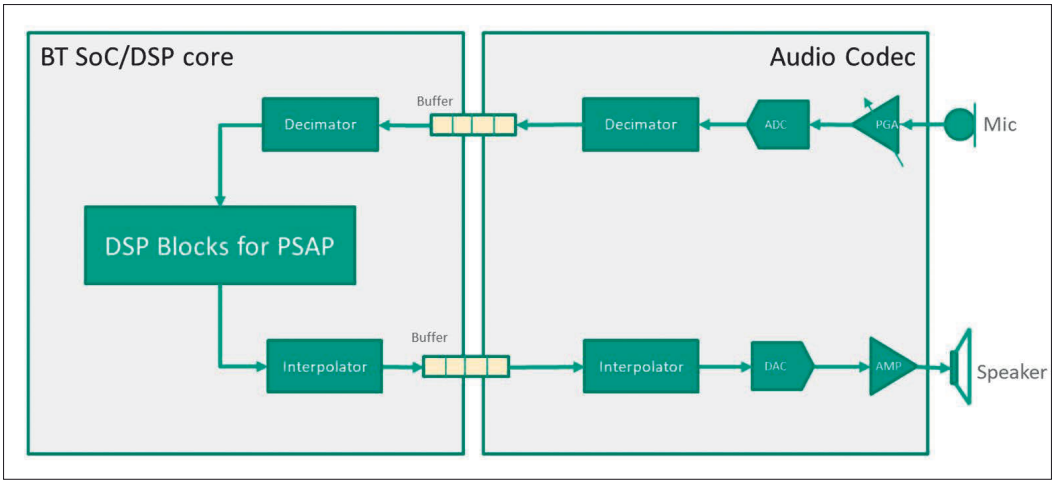



*Bild 1: Typische Ansicht eines Audiosystems für PSAP*

*Autoren:*
*Jianjun He,*
*Senior Member of Technical Staff*
*und Vivek Nigam,*
*Senior Principal Member of*
*Technical Staff*
*Analog Devices*
*www.analog.com*

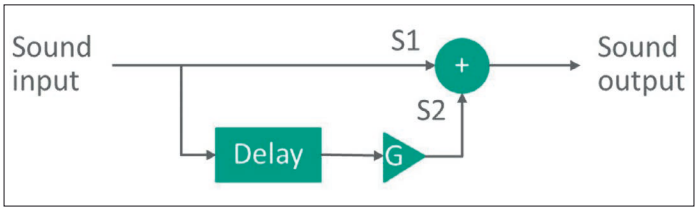



*Bild 2: Vereinfachtes Signalmodell für zwei Geräusche*

- ein oder mehrere externe Mikrofone zur Erfassung des Umgebungsgeräuschs
- ein oder mehrere interne Mikrofone, die den Restschall im Gehörgang auffangen
- einen Kopfhörer zur Wiedergabe des verbesserten Geräuschs
- digitale Signalverarbeitungsblöcke (DSP) wie beispielsweise Strahlformung, Rückkopplungsunterdrückung, Unterdrückung von Umgebungs-/Wind-/Impuls-/Mikrofongeräuschen, Verstärkung, Entzerrung, Kompression des Dynamikbereichs, Begrenzer usw.

Eine vereinfachte Ansicht eines typischen Audiosystems für PSAP ist in Bild 1 dargestellt. Das analoge Mikrofonsignal wird in ein digitales Signal umgewandelt, im Audiocodec dezimiert und über einen Puffer an das Bluetooth System-on-Chip (SoC) oder den DSP-Kern übertragen. Das Signal wird anschließend in den DSP-Blöcken verarbeitet, über einen Puffer zurück zum Codec übertragen und interpoliert, bevor es für den Verstärker zur Ansteuerung des Lautsprecherausgangs in ein analoges Signal rückgewandelt wird.

## Zwei Geräuscharten

Bei aktiviertem PSAP erreichen zwei Arten von Geräuschen das Trommelfell des Benutzers, wie im Aufmacherbild dargestellt. Geräusch S1 ist das restliche Umgebungsgeräusch (und/oder die eigene Stimme des Nutzers). Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Hearable die Ohröffnung verschließt und den Schall daran hindert, das Innere des Gehörgangs zu erreichen und aus dem Gehörgangs zu entweichen. Geräusch S2 ist das PSAP-Ausgangssignal des vom Mikrofon aufgenommenen und von den DSP-Blöcken verarbeiteten Umgebungsgeräusches. Es wird schließlich vom Lautsprecher erzeugt, wobei je nach Aufbau der Audioverarbeitungskette eine durch das Audiosystem bedingte Verzögerung auftreten kann. Diese beiden Geräusche addieren sich im Trommelfell des Benutzers (d. h. die akustischen Wellen überlagern sich), um ein vollständiges PSAP-Erlebnis zu erzeugen.

## Das Problem des Kammfiltereffekts

Um zu verstehen, wie sich die Überlagerung zweier Geräusche bei Vorhandensein einer relativen Verzögerung und Verstärkung auswirkt, wird in Bild 2 ein vereinfachtes Signalmodell dargestellt. Auf der Grundlage dieses Modells hat Analog Devices eine Untersuchung durchgeführt, um zu verstehen, wie sich Verzögerungszeit und Verstärkung auf die Geräuschwiedergabe auswirken. Es wurden zwei Verzögerungszeiten von 3 ms und 0,4 ms sowie Verstärkungen von 0, 15 und 30 dB verwendet.

Bild 3 zeigt den normalisierten Frequenzgang der Summe von zwei Geräuschen, wobei sowohl die Verzögerungszeit als auch die Verstärkung das Ergebnis erheblich beeinflussen. Bei einer Verstärkung von 0 dB ist eine deutliche Verzerrung in Form von mehreren Kerben zu beobachten. Diese Verzerrung wird als Kammfiltereffekt bezeichnet und kann die Klangqualität verschlechtern sowie einen Echo- oder Nachhalleffekt erzeugen. Eine längere Verzögerungszeit (z. B. 3 ms) erzeugt mehr Kerben, darunter Kerben mit einer viel niedrigeren Frequenz als eine kürzere Verzögerung (z. B. 0,4 ms). Mit zunehmender Verstärkung wird der Kammfiltereffekt stark gemildert und erzeugt eine Welligkeit von 2 - 3 dB bei einer Verstärkung von 15 dB bzw. eine nahezu flachen Frequenzgang bei einer Verstärkung von 30 dB, was auf einen minimalen Unterschied zwischen den beiden Verzögerungen hinweist.

Analog Devices hat den Kammfiltereffekt einer herkömmlichen PSAP-Lösung in typischen Hearables-Anwendungsfällen untersucht. Wie in Bild 4 dargestellt, ist das Geräusch S1 in der Regel das Ergebnis einer passiven Dämpfung, die nur bei hohen Frequenzen eine Abschwächung (z. B. 15 dB) aufweist. Geräusch S2 ist das PSAP-Ausgangssignal. Es sind zwei Fälle von PSAP mit einer Verstärkung von 0 dB bzw. 15 dB dargestellt. Die Simulationsergebnisse des Kammfiltereffekts sind in Bild 5 dargestellt. Sie zeigen, dass eine lange Latenzzeit (z. B. 3 ms) zum Kammfiltereffekt führen kann, wenn die Verstärkung

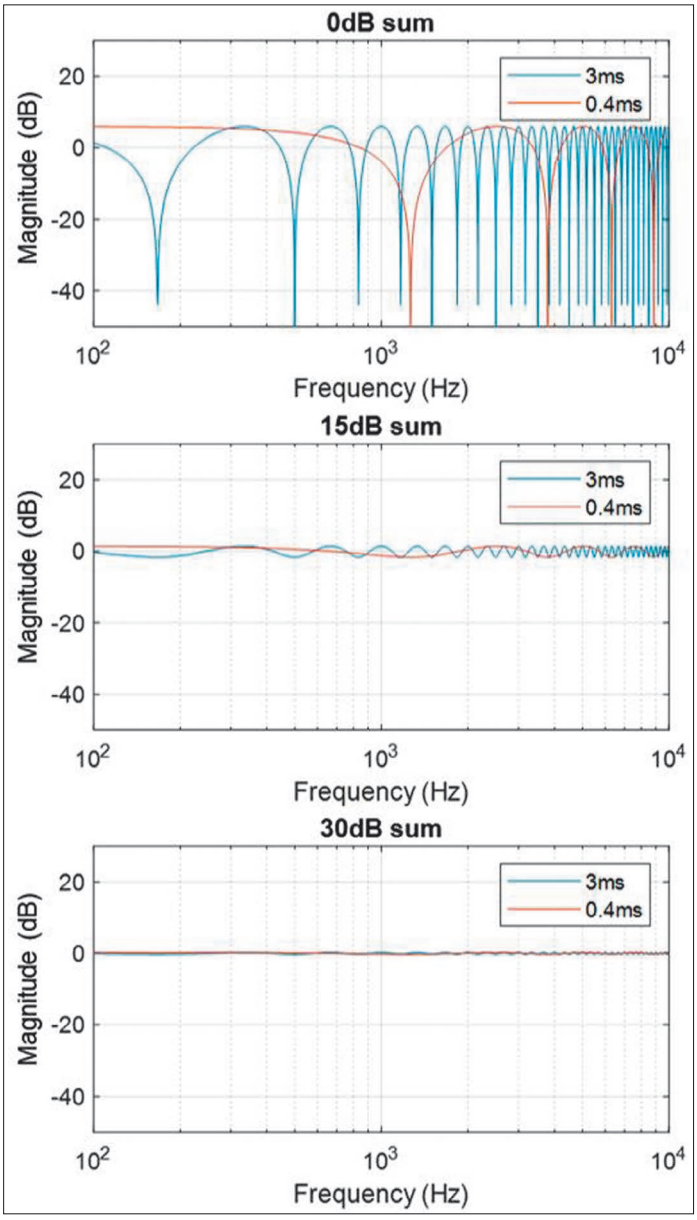



*Bild 3: Frequenzgang der Summe von zwei Geräuschen auf Grundlage des vereinfachten Signalmodells*

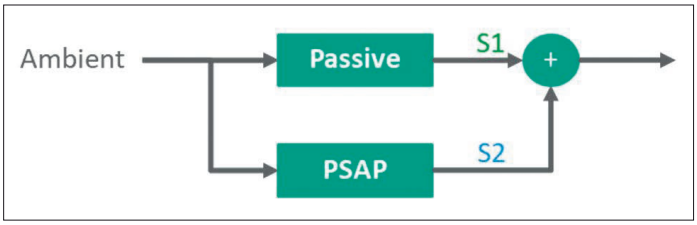



*Bild 4: Herkömmliche PSAP-Lösung*

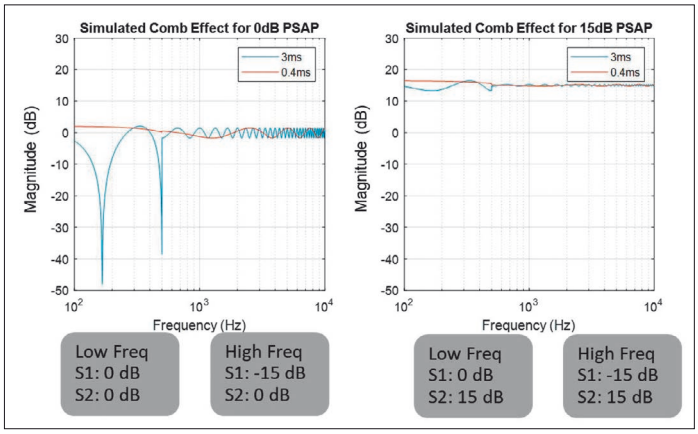



*Bild 5: Ergebnisse der herkömmlichen PSAP-Lösung*

niedrig ist (z. B. 0 dB), was zu Audioverzerrungen und einem schlechteren Hörerlebnis führt.

## Abschwächung des Kammfiltereffekts mit Gegenschall

Die Abschwächung des Kammfiltereffekts bei PSAP kann auf zwei Arten erreicht werden: durch eine Verringerung der Verzögerungszeit und/oder durch eine Erhöhung der Verstärkungsdifferenz zwischen den beiden addierten Geräuschen, wie in der obigen Untersuchung angedeutet. Die Verringerung der Verzögerungszeit in Audiosystemen erfordert in der Regel eine sehr hohe Abtastrate und kleine Puffer bei der Audiowandlung (Analog-Digital und Digital-Analog), der Audiodatenübertragung zwischen Codec und SoC/DSP-Kernen und den DSP-Blöcken. Diese Anforderungen führen zu einer höheren Rechenlast, geringerer Energieeffizienz, schlechterer Audioleistung oder eingeschränkter Flexibilität bei Systemdesign und -abstimmung.

Um diese Probleme zu überwinden, wurde eine Lösung auf der Grundlage von Gegenschall vorgeschlagen, die es PSAP-Systemen ermöglicht, die Verstärkungspegel zwischen zwei Geräuschen zu steuern und insbesondere den Pegel von S1 im unteren Frequenzbereich zu reduzieren. Der MAX98050 ist der erste stromsparende Hochleistungs-Audiocodec, der für Hearables im Dauerbetrieb entwickelt wurde und differenzierende Funktionen wie Geräuschunterdrückung und Verbesserung der gewünschten Sprach- und Umgebungsgeräusche ermöglicht. Die zum Patent angemeldete Gegenschall-Lösung für PSAP wird durch die integrierte digitale Filterkette mit geringem Stromverbrauch und niedriger Latenz ermöglicht, die zur Erzeugung von Gegenschall konfiguriert ist. Dies geschieht gleichzeitig mit dem Senden der Mikrofon-Aufnahme- und -Wiedergabe-Audiodaten an den Host-Prozessor (z. B. Bluetooth-SoC) mit typischen Audio-Abtastraten und Pufferschemata für die flexible und optimale Gestaltung und Abstimmung der PSAP-Algorithmen.

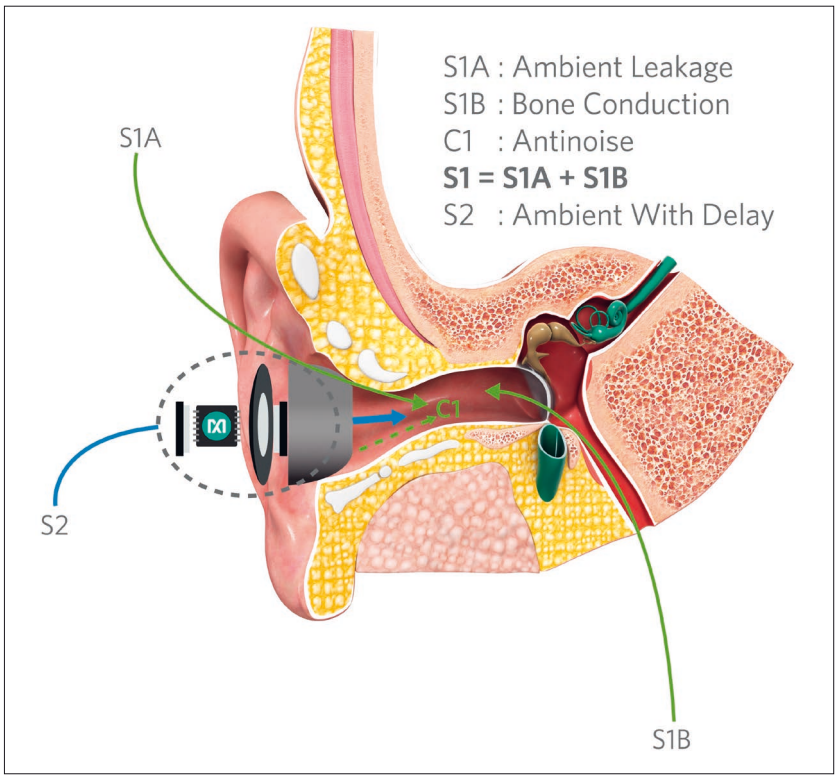



*Bild 6: Zwei Geräusche erreichen das Trommelfell bei PSAP-Systemen mit Gegenschall*

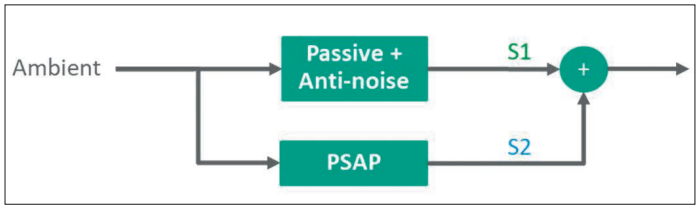



*Bild 7: PSAP-Lösung mit Gegenschall*

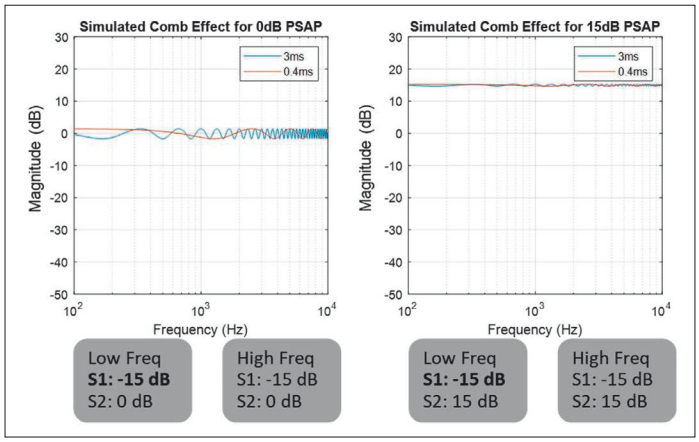



*Bild 8: Ergebnisse der PSAP-Lösung mit Gegenschall*

## Reduzierter Pegel

Wie in Bild 6 dargestellt, erzeugt der MAX98050 einen Gegenschall C1, der mit dem ursprünglichen passiven Umgebungsgeräusch interagiert und ein neues Geräusch S1 mit einem reduzierten Pegel bei tiefen Frequenzen bildet. Bild 7 zeigt ein vereinfachtes Blockdiagramm dieser Lösung auf der Grundlage der Ergebnisse des simulierten Kammfiltereffekts, der eine Dämpfung der niedrigen Frequenzen um 15 dB bewirkt. Wie in Bild 8 dargestellt, erzeugt die Gegenschall-Lösung eine größere Verstärkungsdifferenz zwischen S1 und S2, was zu einer ähnlichen Leistung bei langen und kurzen Verzögerungen in beiden PSAP-Verstärkungsfällen führt. Zusätzlich zur Simulation wurden Messungen auf der Grundlage eines realen Formfaktors und eines Echtzeit-Evaluierungssystems für die vorgeschlagene Gegenschall-Lösung validiert.

## Literatur


- Bluetooth ist eine eingetragene Marke der Bluetooth SIG, Inc.
- Video: Introduction to the MAX98050 Low-Power, High-Performance Audio CODEC
- Video: Getting Started with the MAX98050 Evaluation System ◄