

Der **Balanced Mode Radiator** ist ein neuartiger Lautsprecher mit einzigartigen visuellen und akustischen Merkmalen, die stark von den Materialeigenschaften der Membran bestimmt sind. Das **Scanning Vibrometer** ermöglicht es mit seinem berührungslosen Messverfahren, Materialabweichungen während der Produktentwicklung leicht zu identifizieren.



Sound vom Feinsten

Die Laservibrometrie steht Pate in der Lautsprecherentwicklung

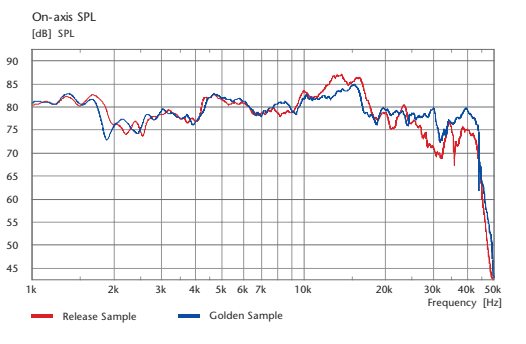


Bild 1: Axialer Frequenzgang des Schalldruckpegels am Freigabemuster (rot) und Golden Sample (blau)

Einführung

Der „Balanced Mode Radiator“ (BMR) repräsentiert eine neue Klasse von Lautsprechern mit einer speziellen Bauweise, die ihn von konventionellen, elektrodynamischen Lautsprechern mit konischen Membranen unterscheidet.

Wie im Titelbild ersichtlich, ist das augenfälligste Merkmal die Verwendung einer im Chassis aufgehängten, kreisförmigen flachen Scheibe als Membran. Dies ermöglicht innovative industrielle Designs in Verbindung mit außergewöhnlichen akustischen Eigenschaften. Der BMR ist als Breitbandlautsprecher konzipiert, der fast den gesamten hörbaren Frequenzbereich abdeckt. Oberhalb der Frequenz der ersten Eigenschwingung des Membranpanels arbeitet der BMR als Biegewellenwandler,

dessen akustisches Verhalten im Wesentlichen durch die Massendichte, die Biegesteifigkeit, das Scherungsverhalten und das Dämpfungsverhalten des Panels bestimmt ist. Diese Parameter sind von höchster Bedeutung für die akustische Güte des BMR.

Vom Prototypen zur Serienfertigung

Heutzutage werden die meisten Lautsprecher aus Kostengründen in China gefertigt. Auch der BMR soll in China produziert werden. Während seiner Entwicklung in Deutschland wurden alle wesentlichen Teile in China bearbeitet, aber in Deutschland zusammengebaut. Die Geometrie jedes Bauteils wurde so lange verändert, bis eine erstklassige Performance erreicht wurde. Dann wurde die Produktionslinie in China anhand einer Aufbauanleitung und eines Prototypen, des sogenannten „Golden Sample“, eingerichtet. Vor Aufnahme der Produktion wurde ein Satz von Lautsprechern als Freigabemuster („Release Sample“) in Deutschland getestet. Die Freigabemuster wiesen jedoch einen weniger hellen Klang auf als der Prototyp, obwohl alle Module nach denselben Spezifikationen gebaut wurden. Daher galt es, anhand einer Schwingungsanalyse die Ursache dieser Abweichung herauszufinden.

Axialer Frequenzgang

Üblicherweise beginnt die Bewertung eines Lautsprechermoduls mit der Aufnahme des axialen Frequenzganges, der in Bild 1 dar-

gestellt ist. Oberhalb 12 kHz ist das Freigabemuster etwas lauter als das „Golden Sample“, was auf einen etwas helleren Klang hinweist. Offensichtlich wurde jedoch bei der akustischen Prüfung der Module das Gegenteil festgestellt. Folglich musste eine weitergehende Schwingungsanalyse mit dem Scanning Vibrometer vorgenommen werden.

Schwingungsanalyse

Die Schwingungscharakteristik des Lautsprechermoduls wurde mit einem PSV-300 Scanning Vibrometer untersucht. Das Vibrometer erzeugte zur Anregung des

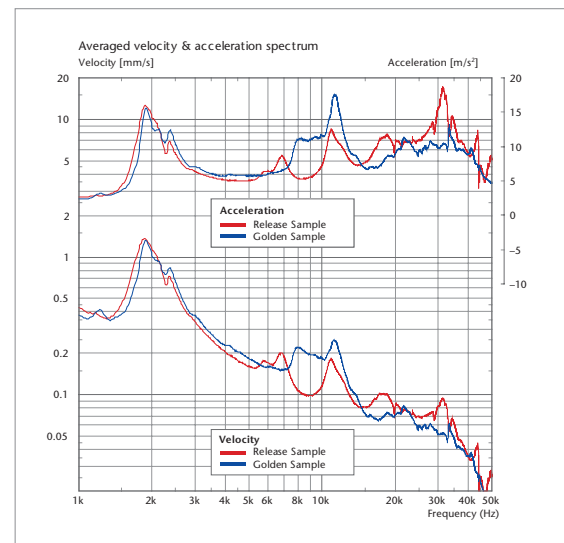


Bild 2: Gemittelte Geschwindigkeits- und Beschleunigungsspektren



Membranpanels ein von 150 Hz bis 50 kHz durchgestimmtes Sinussignal und erfasste gleichzeitig die Frequenzantwort der Schwinggeschwindigkeit an 1781 Punkten, die gleichmäßig auf einem rotations-symmetrischen Messgitter über das Panel verteilt waren. Die PSV Software errechnet daraus gemittelte Spektren, welche eine schnelle Bewertung der mittleren Schwinggeschwindigkeiten (Bild 2, unten) und Beschleunigungen (oben) erlauben.

Die deutlichsten Abweichungen zwischen den beiden Mustern treten im Bereich von 7 kHz bis 12 kHz auf. Das heller klingende „Golden Sample“ weist hier in beiden Spektren eine höhere Aktivität auf als das Freigabemuster, was das Ergebnis der subjektiven Beurteilung bestätigt.

Unterschiede in diesem Frequenzbereich lassen sich eher als hell oder dunkel einstufen als solche im Bereich von 12 kHz bis 20 kHz, in dem die vorangegangenen Schalldruckpegel-Messungen markante Abweichungen aufwiesen.

Modalanalyse

Die obigen Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass die Materialzusammensetzung der Panels unterschiedlich ist. In Bild 3 werden die Betriebsschwingformen bei 10 kHz verglichen. Das Panel des Freigabemusters führt offensichtlich eine rotationssymmetrische Biegeschwingung aus (im Bild links), das Panel des „Golden Sample“ dagegen eine nicht-rotationssymmetrische Mode (im Bild rechts).

Zur Verdeutlichung wurden im Bild 4 mit der Profilkfunktion der PSV Software zwei orthogonale Profilachsen über die Panel gelegt und die Geschwindigkeitsprofile dazu dargestellt.

Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass die Biegesteifigkeit des Panels beim „Golden Sample“ weniger isotrop ist als beim Freigabemuster. Anscheinend hat der Panelhersteller versucht, die Qualität des Panels durch die Wahl eines isotropen Materials zu verbessern, was sich nachteilig auf die wahrgenommene Klangqualität des BMR-Lautsprechers auswirkte.

Zusammenfassung

Scanning Vibrometer von Polytec ermöglichen eine zerstörungsfreie Charakterisierung von Lautsprechern und erlauben Rückschlüsse auf die Materialeigenschaften der Komponenten. Im vorliegenden Fall konnten dadurch Inkonsistenzen in den Ergebnissen verschiedener Voruntersuchungen aufgeklärt werden. Die Schwingungsanalyse verbessert darüber hinaus das Verständnis der akustischen Eigenschaften und vermeidet dadurch auch unnötige empirische Versuche während der Entwicklung.

Autoren – Kontakt

Dipl.-Ing. Charalampos Ferekidis,
Karl-Heinz Fink
Fink Audio Consulting, 45127 Essen
lampos@ferekidis.de;
karl-heinz@fink-audio.com

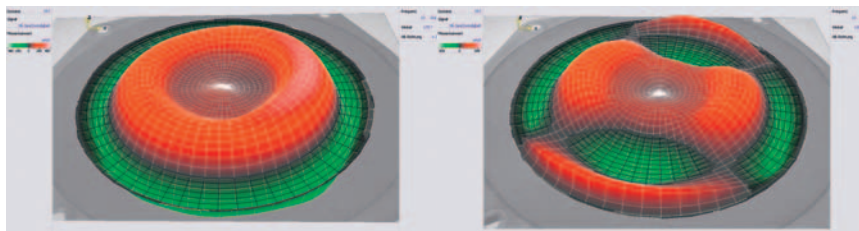


Bild 3: 3D-Schwingungsmuster bei 10 kHz, links: Freigabemuster, rechts: Golden Sample

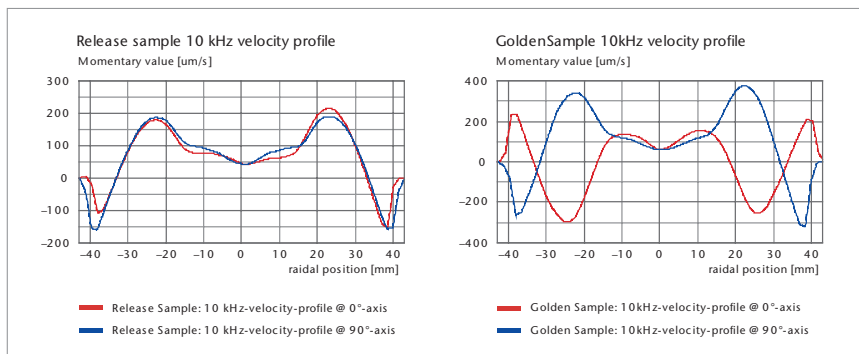
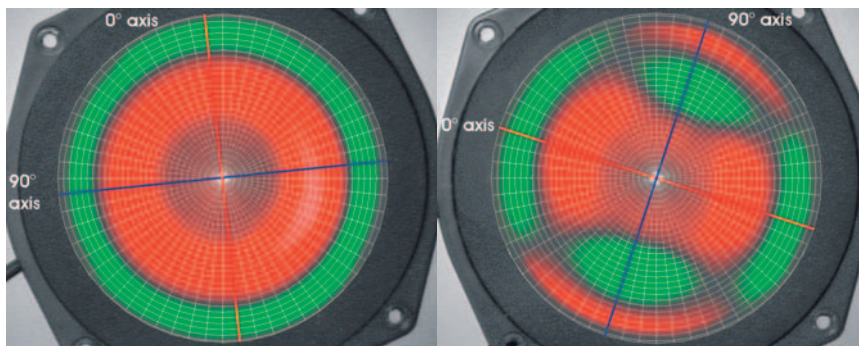


Bild 4: Schwingungsmuster und Schwingungsprofile bei 10 kHz, links: Freigabemuster, rechts: Golden Sample