

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse

Band: 105 (2014)

Heft: 8

Artikel: Audioprozessor für Klangillusionen

Autor: Novotný, Radomir

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856279>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Audioprozessor für Klangillusionen

High-End-Klangwelten mit ausgefeilten Algorithmen

Musikgenuss wird meist mit linearer, verzerrungsfreier Reproduktion gleichgesetzt. Dass dabei die heute grösste Schwachstelle, die Raumakustik, nur selten berücksichtigt wird, mutet seltsam an. Ein digitaler Audioprozessor ermöglicht nun eine Kompensation dieser Schwachstelle – und bietet dank einer ausgeklügelten Berechnung für bis zu 16 Kanäle noch mehr: Man hat den Eindruck, mitten im Konzert zu sitzen. DSP-Algorithmen und die Berücksichtigung der auditiven Wahrnehmung machen dies möglich.

Radomír Novotný

Illusonic, eine heute sechsköpfige Firma mit Sitz in Uster, befasst sich seit 2006 mit der Entwicklung von Algorithmen, Software-Libraries und Plug-ins für Audioanwendungen, die in Produkten anderer Hersteller eingesetzt werden. Die Produktpalette von Geräten mit Software von Illusonic ist breit und reicht von Echo-Cancellers in PC-Peripheriegeräten und Funkmikrofonen bis zu digitalen Surround-Mikrofonen. Das Lizenzgeschäft mit dieser Software ist die Haupteinnahmequelle des Unternehmens.

Nun ist der Wunsch gewachsen, ein Produkt zu entwickeln, in dem die Audio-Erfahrung der Illusonic-Ingenieure und der Forschungshintergrund des Firmengründers Christof Faller – auf seiner Publikationenliste findet man einige Bücher und über 100 wissenschaftliche Paper – voll zur Geltung kommt. Ein bisher unerreichtes Klanglebnis soll so ermöglicht werden. Da Illusonic bei Produkten anderer Hersteller auf die Hardware nur beschränkt Einfluss hat und die eigenen Audio-Vorstellungen nicht immer wunschgemäß umsetzen kann, entschloss sich die Firma, ein eigenes Gerät zu entwickeln: den Immersive Audio Processor IAP, einen integrierten Vorverstärker mit Prozessor und D/A-Wandler.

Die IAP werden nach Spezifikationen von Illusonic durch einen Partner in der Westschweiz, die Firma ABC PCB, entwickelt und produziert. Das elektronische Design, die Low-Level-Programmierung von FPGAs und der Zusammenbau werden in der Nähe von Lausanne ausgeführt. Auch das Lager ist dort.

Die Illusionsmaschine

Der IAP hat Eingänge für die gängigen Audioquellen wie HDMI, high-definition-Audio-USB, Ethernet und Phono. Der analoge Phono-Eingang mag zwar in diesem digitalen Umfeld überraschen, hat aber seine Berechtigung. Beziiglich Verzerrungen und Rauschen können LPs mit neuen digitalen Geräten zwar nicht mithalten, haben aber den Vorteil, dass die Aufnahmen oft spezifisch für LPs gemastert, d.h. abgemischt werden, mit dem Wissen, wie es dann auf der LP tönt. Diese Berücksichtigung des Produktionsprozesses führt manchmal zu einem aussergewöhnlich guten Klang.

Wie bei Vorverstärkern üblich, können an den IAP sowohl Endverstärker als auch Aktivlautsprecher angeschlossen werden. Die symmetrischen Ausgänge wurden so dimensioniert, dass auch professionelle Aktiv-Monitoren, die höhere Spannungen benötigen, verwendet werden können.

Wie andere audiophile Geräte ist auch der IAP mit einem einzigen digitalen Signalprozessor, DSP, ausgerüstet, der beispielsweise im 16-Kanal-Gerät alleine die Aufgabe übernimmt, 140 Equalizer, das 16-Kanal-Bass-Management und die 7.1 bis 15.1 Abmischung kontinuierlich zu berechnen. Überraschend dabei ist die bescheidene Stromaufnahme des DSP von 1 W. Ein Lüfter erübrigt sich, nicht einmal Lüftungsschlitz sind nötig. Das Gehäuse ist hermetisch dicht. Im Innern ist das System einfach, alles ist klar getrennt: das D/A-Wandler-Board, das DSP-Board, das separat zugekauftes HDMI-Board, der Probleme mit dem Takt vermeidende, hochqualitative asynchrone Resampler, der I²S-Bus.

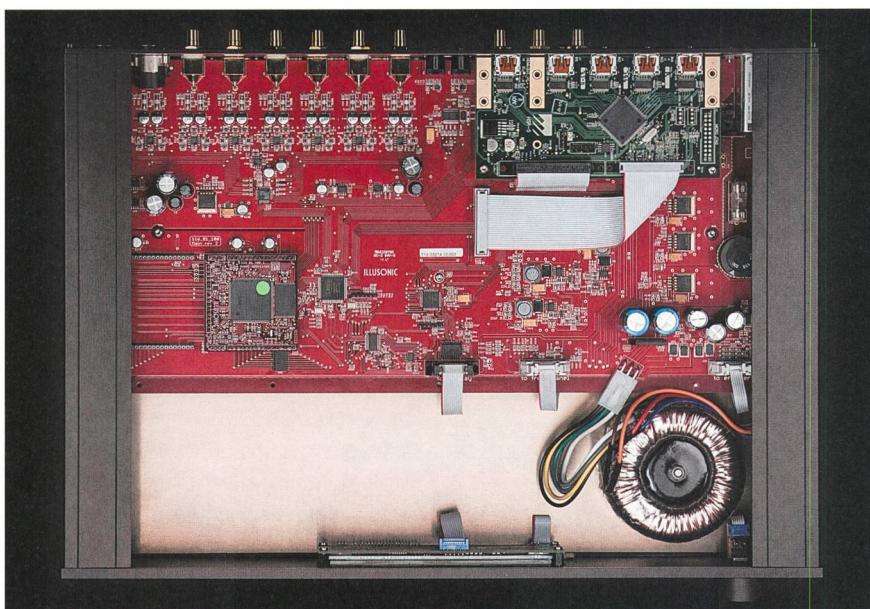
Bei der Musikwiedergabe des IAP geht es aber nicht nur darum, messtechnisch zu brillieren, sondern auch darum, den Eindruck zu vermitteln, man sitze mitten im Konzertsaal – oder im Cockpit eines Raumschiffs, wenn man den entsprechenden Film schaut. Deshalb das «Immersive» im Gerätenamen: ein Ein-tauchen in die Klangwelt.

Um dies zu erreichen, wird einerseits das heute schwächste Glied der Audio-kette, die Raumakustik, vom Audiosystem berücksichtigt und andererseits mit komplexen, dynamisch reagierenden Algorithmen und einem Mehrkanalsystem auf subtile Weise ein Klang erzeugt, bei dem das Gefühl vermittelt wird, man sitze mitten im Geschehen.

Die erste Version des IAP verfügt über 16 Kanäle. Je nach Situation und Budget kann man auch weniger Lautsprecher anschliessen, denn der IAP passt sich der gewünschten Situation an. Da ein 16-Ka-



Der neuere IAP ist als Zweikanal- und Vierkanal-Version erhältlich.



Blick in das Innere des 16-Kanal-Prozessors.

nal-System bei einem Katalogpreis ohne Mehrwertsteuer von 16 000 CHF und den zusätzlich benötigten Verstärkern und hochwertigen Lautsprechern für viele Kunden eine gewisse finanzielle Hürde darstellt, entschloss sich Illusonic, nun auch eine 2-Kanal- und eine 4-Kanal-Version zu produzieren. Erstere ist Stereo, Letztere kann beliebig konfiguriert werden: als Stereo mit Center-Lautsprecher und Subwoofer oder zwei Lautsprechern vorne und zwei hinten, die via HDMI die für einen Surround-Sound benötigten Signale aller Kanäle erhalten. Diese einfachere Lösung ist zwar nicht viel preisgünstiger – 11 500 CHF kostet das 2-Kanal-Gerät (ohne MwSt) und für die 4-Kanal-Version bezahlt man rund 1000 CHF mehr – aber bei den Lautsprechern sind die Einsparungen dann doch beträchtlich.

Raumschwächen kompensieren

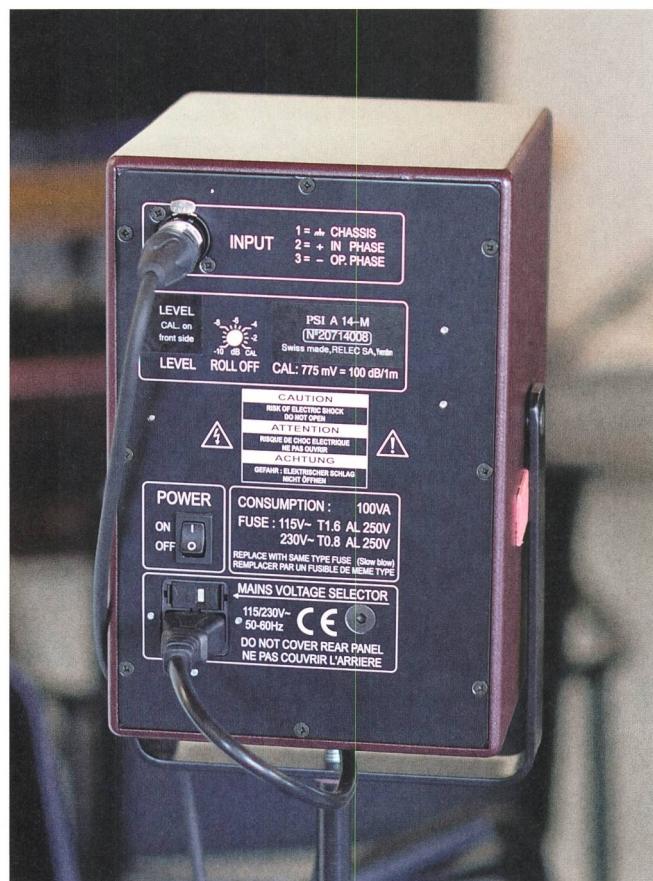
Heute ist weder der DA-Wandler, der Verstärker noch der Lautsprecher das schwächste Glied in der Audio-Kette, sondern meist die Raumakustik. Fehlt die Möglichkeit, um die Raumakustik mit architektonischen Massnahmen zu verbessern, bietet sich nun dank leistungsfähigen DSPs und entsprechenden Algorithmen die digitale Signalverarbeitung dafür an.

Das IAP verfügt über ein Tool, das «IAP Calibration» Software-Tool für Mac und PC, mit dem störende Resonanzen (Resonanzfrequenz je nach Hörort zu laut oder zu leise), Asymmetrien oder Effekte wie Bassüberhöhung durch wandnahe Lautsprecher eliminiert wer-

den können. Der Klang wird durch Mehrpunkt-Messungen im ganzen Raum besser, nicht nur punktuell. Dies im Unterschied zu Optimierungen, die sich auf den Sweet Spot, den optimalen Hörort im Stereo-Dreieck, beschränken. Dort liefern massive Korrekturen zwar gute Resultate, aber bewirken sonst einen seltsam unnatürlichen Klang, auch ausserhalb des Raums.

Damit die im Raum individuell aufgestellten Lautsprecher «harmonisch» zusammenarbeiten und jeder Kanal das für den jeweiligen Lautsprecherstandort optimale Audiosignal mit den richtigen Laufzeiten und Frequenzverläufen erhält, wird mit dem Tool eine Raumkalibrierung durchgeführt. Diese ist ein Test, bei dem man den Raum mit den installierten Lautsprechern manuell in den wichtigsten Hörpunkten ausmisst. Es genügt nicht, an einem Ort zu messen, denn stehende Wellen können im Sweet Spot unhörbar, aber an anderen Orten ausgeprägt sein. Dies geschieht mit einem einfachen, linearen Mikrofon und einer Einkanal-Soundkarte, Gesamtkosten 150 CHF. Da es nur darum geht, die Unterschiede zwischen den Kanälen zu erfassen, reicht ein Mikrofon aus, das nicht extrem hochwertig ist.

Der Händler oder der Kunde können die Raumkalibrierungs-Messungen mit dem Tool durchführen und die Resultate zum manuellen Ermitteln der Parameter anschliessend an Illusonic schicken. Die Illusonic-Experten bestimmen kostenlos für jeden Kanal die optimalen Einstellungen bezüglich Gesamtverstärkung, Verzögerungszeit und Equalizer. Der Kunde kann dann die optimierten Para-



Für Tests werden bei Illusonic meist aktive Studiomonitoren verwendet, mit denen sich klangliche Schwächen klarer zeigen.



20

Der Illusonic-Gründer Christof Faller.

meter auf seinen Audioprozessor laden und, bei Bedarf und durch den Händler unterstützt, mit Testsignalen den Einstellungen vor Ort noch den letzten Schliff geben.

Illusonic bietet im Bedarfsfall auch «Live-Unterstützung» mit Skype an, bei der man Probleme wie falsche Phasen bei gewissen Lautsprechern beim Kunden direkt analysieren kann. Ziel dieser Kalibrierung ist die Verbesserung des Klangs im gesamten Hörraum.

Dieser Vorgang ist bewusst manuell, denn automatische Raumkalibrierungen sind im High-End-Bereich unbeliebt – sie sind weniger exakt und selten transparent. Und eine Automatik, die nur einen linearen Frequenzgang anstrebt, berücksichtigt beispielsweise die zeitliche Dimension bei Raumresonanzen, das Ausklingen, nicht.

Um dem Sweet-Spot-Effekt entgegenzuwirken, setzt man beim IAP mehrere Kanäle ein. Am einfachsten ist der Einsatz eines Center-Lautsprechers bei der 4-Kanal-Version. Der Center-Lautsprecher wird mit einem aus dem Stereo-Signal berechneten Signal angesteuert. Dies macht den Sweet Spot deutlich breiter. Man kann natürlich auch auf eine bis zu 16-Kanal-Surround-Version setzen – jede Kombination mit weniger

Lautsprechern ist möglich – wodurch aus dem Sweet Spot sozusagen ein Sweet Space entsteht.

Reflexionen an virtuellen Wänden

Nach der Raumkalibrierung hat man zwar den optimalen Klang für die jeweilige Hörsituation erreicht, aber noch nicht das Gefühl, in den Sound einzutauen. Diese Immersion wird durch eine rechnerische Nachbildung von Wandreflexionen (Hall) erreicht.

Die Basis für diese Nachbildung bildet die Erkenntnis, dass die Qualität eines Konzertsäals durch die Eigenschaften von frühen und späten Reflexionen be-

stimmt wird. Frühe Reflexionen, bis etwa 80 ms, werden direkt im Zusammenhang mit den Schallquellen, den Instrumenten, wahrgenommen und bestimmen, wie intensiv man einzelne Instrumente wahrnimmt. Mit dem Depth Parameter des IAP kann man den dem Signal zugesetzten Anteil der frühen Reflexionen steuern. Eine Bühne wird damit «dreidimensionaler».

Die frühen Reflexionen sind nicht immer gleich, sondern werden dynamisch generiert, damit man zwar die Räumlichkeit wahrnimmt, aber keine Klangverfälschungen.

Späte Reflexionen, etwa ab 80 ms, entsprechen vorwiegend diffusem Schall, das heißt Schall, der zufällig von allen Seiten beim Hörer ankommt. Die korrespondierende Wahrnehmung wird in der Psychoakustik als «Listener Envelopment», ein Einhüllen des Hörers, bezeichnet. Der Hörer hat das Gefühl, dass er sich in einer Konzerthalle befindet, denn der Raum ist mit (nicht lokalisierbarem) Klang gefüllt. Der Immersive Audio Processor extrahiert späte Reflexionen aus dem Signal und gibt sie optimal diffus über alle Lautsprecher wieder. Die Audiowiedergabe wird damit «raumfüllender», man nimmt die einzelnen Lautsprecher weniger wahr, der Sound verbindet sozusagen die Lautsprecher. Es entsteht der Eindruck, im Saal bei der Aufnahme dabei zu sein.

Diese im IAP realisierte Kombination aus raumakustischer Optimierung und Berücksichtigung der Klangwahrnehmung in Konzertsälen ergibt ein Hörerlebnis, das sonst auf keine andere Weise erreicht werden kann. Ausser natürlich im Konzert selbst.

Autor

Radomir Novotny ist Chefredaktor Electrosuisse beim Bulletin SEV/VSE.

Electrosuisse, 8320 Fehraltorf
radomir.novotny@electrosuisse.ch

Résumé

Processeur audio pour des illusions acoustiques

Univers sonores haut de gamme avec des algorithmes sophistiqués

Le plaisir musical est souvent assimilé à la reproduction linéaire exempte de distorsion. Il est paradoxal que l'élément le plus vulnérable, l'acoustique des pièces, ne soit souvent pas pris en compte. Un processeur audio numérique est dès à présent en mesure de compenser ce point faible. Il permet de mesurer l'acoustique de la pièce à plusieurs endroits et d'effectuer un calibrage manuel pour déterminer individuellement pour chaque canal, respectivement pour chaque haut-parleur, l'amplification, le décalage et les paramètres de l'égaliseur. Mais le processeur audio immersif ne s'arrête pas au son optimal. Par le biais d'un calcul sophistiqué pouvant être étendu à 16 canaux, il offre encore plus : grâce aux algorithmes DSP (digital signal processor ou processeur de signal numérique) et à la prise en compte de la perception auditive, on a l'impression d'être assis au milieu d'une salle de concert.

No