

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse

**Herausgeber:** Electrosuisse

**Band:** 110 (2019)

**Heft:** 3

**Artikel:** Neue Hördimensionen erschliessen

**Autor:** Novotný, Radomir

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-855927>

### 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

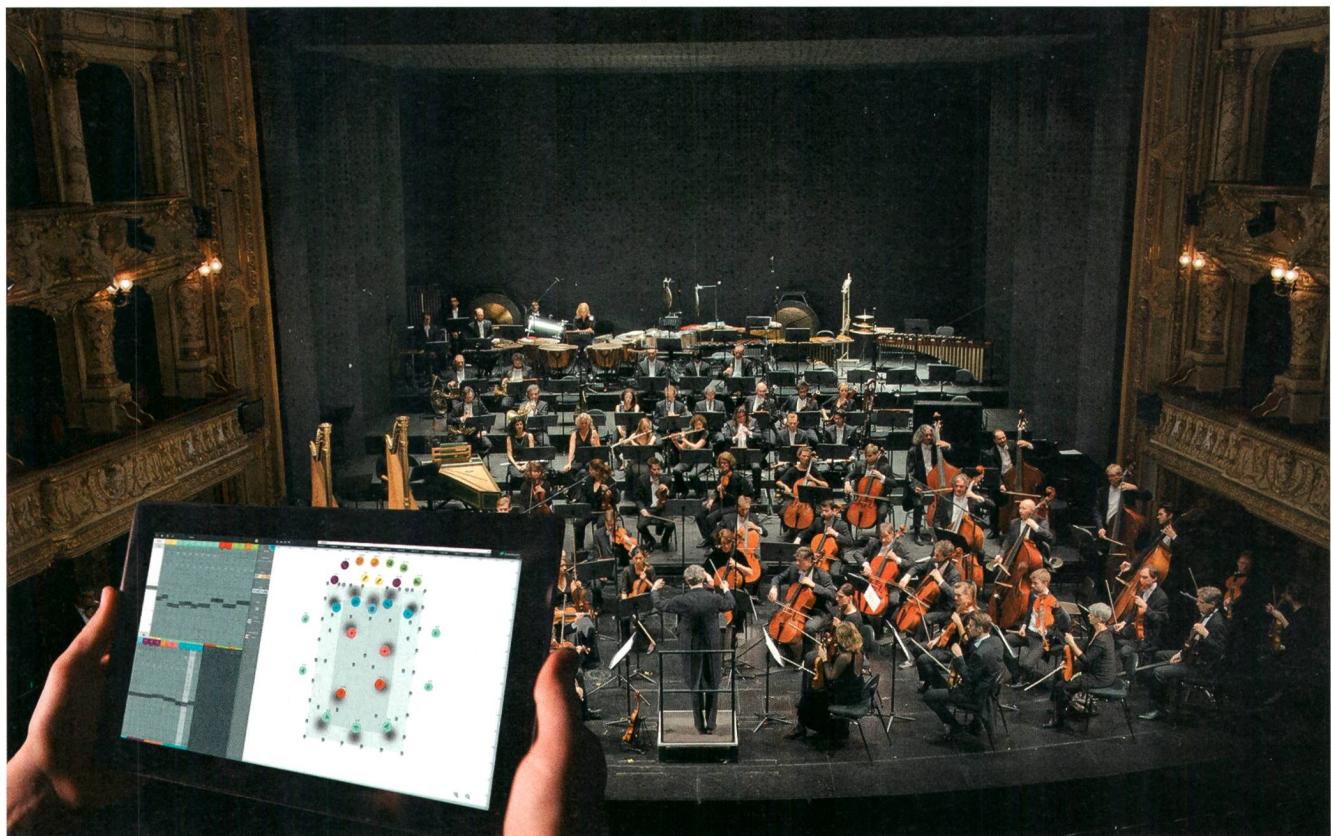
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées 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:** 23.01.2026

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



Objektorientierter  
3D-Sound für das  
Opernhaus Zürich.

# Neue Hördimensionen erschliessen

**Wie die Digitalisierung die Audiowelt transformiert** | Vor rund vierzig Jahren eroberte die digitale Technik mit einer präziseren Wiedergabe die Welt der Klänge. Ihre heutige Präsenz ist vielschichtiger. Sie transformiert die Audiobranche bis in den Lautsprecherbau, verändert Hörgewohnheiten durch omnipräsente Verfügbarkeit und ermöglicht mittels 3D-Audio das Eintauchen in neue Hörwelten.

RADOMÍR NOVOTNÝ

**B**ereits in den 1980er-Jahren hielt die Digitaltechnik in der Audiowelt Einzug, einerseits in der Nachrichtentechnik (Telefonie usw.) und andererseits im Heimaudio-Bereich, als sich zu den analogen Tonträgern die Compact Disc gesellte. Etwa zeitgleich kam auch die digitale Aufnahme- und Produktionstechnik auf. Fritz Fabig, Geschäftsführer der Schweizer Niederlassung des englischen High-End-Lautsprecherherstellers Bowers & Wilkins, konstatiert: «Auf der technischen Ebene war die CD

ein riesiger Fortschritt. Das Medium wurde viel präziser, die Wiedergabe viel akkurater. Was sich aber nicht geändert hat, war die Art und Weise, wie man mit der Musiksammlung umgegangen ist, wie man erfahren hat, dass es ein neues Album gibt. Wir sind nach wie vor in den Schallplattenläden gegangen und haben uns vor Ort informiert.

Es vergingen nochmals fast zwei Jahrzehnte, bis Audiodaten über das Internet bezogen werden konnten. 1999 kamen – dank schnelleren Internetverbindungen und Datenkomprimi-

mierungsalgorithmen wie MP3 – die ersten illegalen Online-Musiktauschbörsen wie Napster auf. Die vorerst klanglich minderwertige Musik war nun losgelöst von einem Träger. Anfang 2001 kam dann iTunes und etwas später die entsprechenden Abspielgeräte wie iPod auf den Markt, ein Ökosystem, in dem man Musik suchen, kaufen, herunterladen und organisieren konnte – jederzeit und überall, wo man einen Internetzugang hatte. Die neue Mobilität stellte einen Paradigmenwechsel dar. Schon bald kamen Server

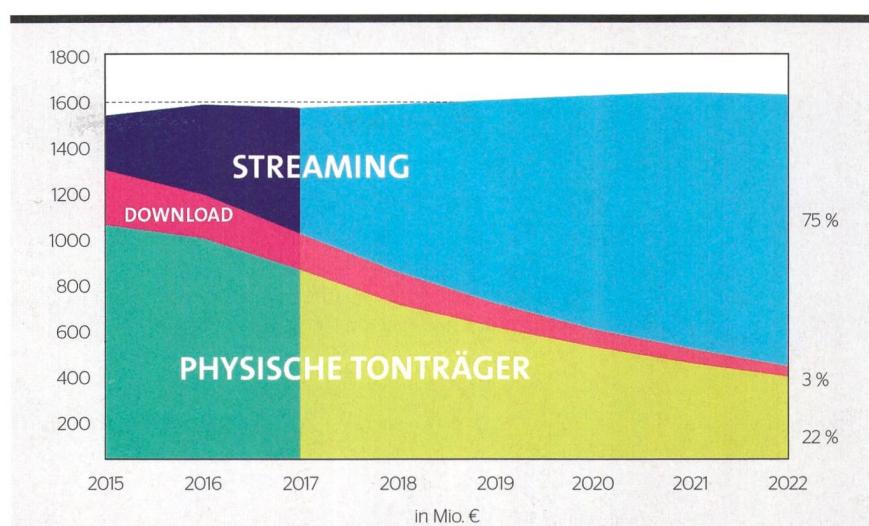
auf, auf die CDs gerippt werden konnten und Musik – auch in audiophiler Auflösung – heruntergeladen und organisiert werden konnte. Die Umsätze von CDs und CD-Spielern sanken.

### Eine neue Philosophie setzt sich durch

Als Trend zeichnet sich nun die Philosophie ab, dass man Musik bei Bedarf mietet, statt sie zu besitzen – das Streaming verdrängt die Server kontinuierlich. Wenn man weniger hohe Ansprüche hat, kann man kostenlos streamen. Audiophiles Streaming mit Abspielssoftware wie RAAT (Roon Advanced Audio Transport) ist aber auch möglich. Die vom deutschen Bundesverband der Musikindustrie veröffentlichte Prognose spricht bezüglich der Transformation der Musikbranche eine klare Sprache (**Bild 1**). In der Schweiz dürfte die Situation vergleichbar sein: Schon bald könnte das Streaming dominieren.

Dank der Digitalisierung und Vernetzung ist der Musikgenuss heute nicht mehr auf das Wohnzimmer beschränkt – man kann die gewünschte Musik überall hören. Zudem hat man Zugriff auf viele alte Klassik- oder Jazz-Aufnahmen, die irgendwo in den Tresoren der Produzenten lagen und lange nicht verfügbar waren. «Neupressungen lohnen sich in vielen Fällen nicht. Wenn man die Aufnahme hat, kann man sie digitalisieren und auf ein Portal laden. Eine Vorfinanzierung von Musikträgern ist nicht mehr nötig und man bleibt nicht auf Datenträgern sitzen», sagt Fritz Fabig. Die «Plattenläden» haben sich ins Internet verschoben, die Auswahl steigt und der Preis sinkt.

Fabig weist darauf hin, dass sich die Digitalisierung auch auf die Art, wie Musik produziert wird, ausgewirkt hat: «Wir leben heute in einer Welt der Gegensätze. Gerade im Pop-Bereich haben wir oft eine schlechte Aufnahmqualität, wie man sie früher nicht kannte. Laut-Leise-Differenzen werden ausgeglichen, die Unterschiede werden eingedampft und das gesamte Paket wird lauter gemacht. Mit der extremen Dynamikkompression wird viel zerstört. Für die Mainstream-Musikindustrie zählt: Loud sells better. Andererseits haben wir noch nie so faszinierende Aufnahmen gehabt wie im Klassik-Genre – akustisch und bezüglich der jungen Musiker und Orchester, die eine enorme Spielqualität haben.»



**Bild 1** GfK-Musikmarktprognose 2017 des deutschen Bundesverbandes Musikindustrie.



**Bild 2** Produktion von innovativen Passivlautsprechern bei Piegas am Zürichsee.

Hier zeigt sich die Ambivalenz der Digitaltechnik: Einerseits ermöglicht sie eine starke Kompression und Erhöhung der Lautstärke, andererseits auch eine automatische Lautstärkenormierung, mit der heute gewisse Streamingdienste die Pegel wieder ausgleichen, und das umsatzfördernde laute Mastering wieder neutralisieren.

Laut Fabig wirkt sich das Streaming auch auf die Weise aus, wie komponiert wird: «Die Anbieter erhalten eine Entschädigung, wenn ein Stück länger als 30 Sekunden gespielt wird. Ein Stück mit einem langen Intro, wie es beispielsweise früher bei Dire Straits gewesen ist, wo der Gesang oder die Hookline erst nach einer Minute gekommen ist, hat es schwer. Heute muss schon in der ersten halben Minute die «Post abgehen», damit der Hörer dabei bleibt.»

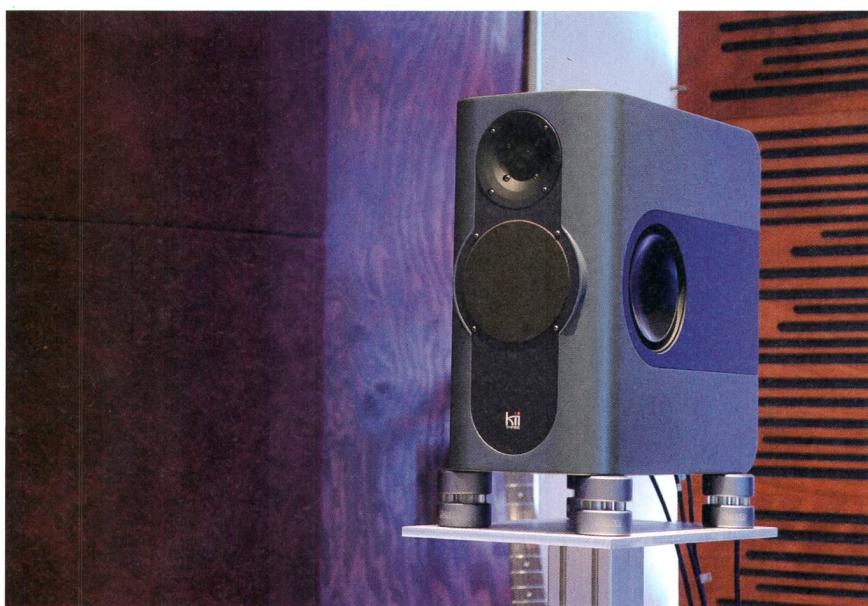
### Optimierungen von Lautsprechern

Computergestützte Entwicklungssysteme spielen schon länger eine Rolle bei der Entwicklung von Lautsprechern. Gemäss Fritz Fabig und dem Geschäftsführer und Entwickler von Piegas, Kurt Scheuch, wird beim Lautsprecherbau von Bowers & Wilkins und Piegas das Schwingungsverhalten der Membranen mit Lasern ausgemessen und anschliessend analysiert. Dabei visualisiert man die Membrane mit ihren Bewegungen und simuliert sie bei veränderten Parametern. So kommt man schnell ans gewünschte akustische Ziel.

Eine kontinuierliche Erneuerung des Sortiments ist bei vielen Lautsprecherherstellern zentral. Bei Bowers & Wilkins geschieht dies in Hunderten



**Bild 3** Die digitale Signalverarbeitung gibt dem Devialet Phantom Reactor in der Luzerner Tonbildspinnerei einen überraschend tiefen Bass.



**Bild 4** Klangliche Transparenz der Spitzenklasse: Ein digitaler Kii-Three-Aktivlautsprecher bei der Pro-Audio-Firma Crazy Rabbit in Alpnach Dorf.

von kleinen Optimierungsschritten, unter anderem bei der Materialwahl und Konstruktionsveränderungen, beispielsweise der Entwicklung eines aus massivem Aluminium gefrästen Hochtöner-Gehäuses, das Resonanzen gar nicht erst aufkommen lässt. Bei Piega wurden die koaxialen Wandler, die den Hoch- und Mitteltonbereich abdecken (**Bild 2**), neu konstruiert und sind nun deutlich besser, weil das Magnetfeld der Bändchenhochtöner durch den Einsatz neuer Neodym-Magnete erhöht wurde. Zudem wurden

auch die Polplatten neu konstruiert und aus hochfesten Stählen hergestellt, damit sie den größeren Kräften widerstehen können. Eine weitere Innovation ist die Membranbedämpfung, bei der die Elemente, die unerwünschte Resonanzen vermeiden, nicht mehr auf der Membrane angebracht sind, sondern sehr nahe bei der Membran. Sie kommen erst dann zum Einsatz, wenn die Membrane unerwünschte Schwingungen ausführt.

Piega setzt bei der Entwicklung schon lange digitale Messsysteme ein,

zunächst den MLSSA-FTT-Analyzer. Zudem wird Simulationssoftware eingesetzt, mit der das Übertragungsverhalten mit eingebauten Treibern simuliert werden kann. Kurt Scheuch betont: «Wir können heute alles messen und simulieren, viel besser als vor zwanzig Jahren. Aber je mehr wir messen können, desto wichtiger ist für uns auch das Hören. Wir sind heute in der Lage, zwei Versionen von Lautsprechern zu machen, die sich messtechnisch praktisch nicht unterscheiden, aber klanglich Welten auseinanderliegen». Er begründet diese Diskrepanz dadurch, dass beim Messen nur einzelne Parameter berücksichtigt werden, während das Gehör alle gleichzeitig wahrnimmt, inklusive des Zeitverhaltens des Lautsprechers. Wahrnehmbare Aus- und Einschwingvorgänge sieht man nämlich im Amplitudengang nicht.

Um das Musikkonsumverhalten der jungen Generation zu berücksichtigen, beschäftigt sich Piega auch mit Aktiv-Lautsprechern mit kabelloser Datenübertragung. Das ist aber nicht nur technologisch eine Herausforderung, sondern auch bezüglich der länderspezifischen Zertifizierungen, die für Elektronikprodukte erforderlich sind – mit dem entsprechenden administrativen Aufwand. «Wenn jemand draussen auf dem Handy Musik hört, erwartet er, dass er sozusagen nahtlos weiterhören kann, wenn er einen Raum in der Wohnung betritt, ohne etwas machen zu müssen», erläutert Scheuch. Als Drahtlosechnologie genügt hier Bluetooth für High-End-Klang wegen der geringen Datenrate aber nicht, Piega setzt auf eine Funktechnologie.

### Die digitale Signalverarbeitung hält Einzug

Der Lautsprecherklang lässt sich nicht nur durch konstruktive Modifikationen verbessern, sondern auch mit digitaler Signalverarbeitung. Meist wird sie eingesetzt, um kleinen aktiven Lautsprechern einen extrem tiefen Bass zu verleihen. Viele der Lautsprecher klingen zwar nicht besonders gut, denn sie müssen zu viel Bass produzieren, aber im Geschäft löst ein für die Gehäusegrösse überraschend tiefer, spürbarer Bass, auch wenn er synthetisch tönt, trotzdem Emotionen aus. Es gibt auch Ausnahmen: Beispielsweise überzeugt der kleine Devialet Phantom Reactor in

seiner Preisklasse mit hoher Klangqualität und einem körperlich spürbaren Bass auch skeptische Hörer (**Bild 3**).

Digitale Signalverarbeitung wird auch in den aktiven High-End-Lautsprechern von Kii eingesetzt (**Bild 4**). Jeder der sechs Treiber (zwei Basstreiber sind hinten angebracht) hat seinen eigenen Endverstärker, der ein aufbereitetes Signal erhält, um eine Richtwirkung bis in den Bassbereich zu erzielen. Das Prinzip wird Active Wave Focusing genannt. Dies macht die Aufstellung auch in akustisch schwierigen Räumen unproblematisch, denn der Schalldruck ist hinter den Lautsprechern minimal und der Lautsprecher kann nahe vor die Wand gestellt werden. Zudem kann mit einem Boundary-Potentiometer die Signalverarbeitung an die Aufstellung der Boxen angepasst werden. Vorprogrammierte Klangeinstellungen können zusätzlich gewählt werden, um den individuellen Hörergeschmack zu berücksichtigen. Auch bei grösseren Lautstärken bleibt die sonst schon erstaunliche Transparenz erhalten und es kommt kein dumpfes Dröhnen oder Ähnliches auf.

Wie man mit digitalen Algorithmen bisher Unerreichtes möglich macht, damit beschäftigt sich die Firma Illusonic in Uster. Das Unternehmen entwickelt hauptsächlich Software für Audio-Anwendungen in der Telekommunikation, für Speaker Phones und Webcams global agierender Tech-Unternehmen. Da geht es um Echokompensation, Rauschunterdrückung oder Beamforming mit mehreren Mikrofonen. Das einzige High-End-Hifi-Produkt der Firma, der Illusonic Audio Processor, generiert rund 5% des Umsatzes.

Eines der Audio-Projekte befasst sich damit, wie man mit zwei kleinen Lautsprechern den Eindruck erzeugen kann, dass man es mit einem viel grösseren Lautsprecher zu tun hat. Die Lautsprecher werden im 45°-Winkel direkt nebeneinander aufgestellt, beispielsweise vor einem Fernseher, und strahlen dank spezifischer Phasenverschiebungen in einem mittleren Frequenzbereich stärker seitlich als direkt ab. Der von den Wänden reflektierte Schall erweckt den Eindruck, man stehe vor einem grossen Lautsprecher. Höhere und ganz tiefe Frequenzen werden direkt abgestrahlt, da erstere bereits eine Richtwirkung aufweisen



**Bild 5** Christof Faller mit einem professionellen Virtual-Reality-Mikrofon für über 2000 Fr. (links) und der Illusonic-Lösung mit vier Kugelmikrofonen für rund 10 Fr.

und sich letztere gegenseitig auslösen würden. Mit einem relativ einfachen digitalen Filternetzwerk lässt sich so ein eindrücklicher Effekt realisieren. Ähnliche Ansätze zur Erhöhung der klanglichen Räumlichkeit sieht man bei Megaboom, Sonos und vergleichbaren Produkten. Der Illusonic-Geschäftsführer Christof Faller betont aber, dass es wie ein Lautsprecher tönen muss, wie ein Hardware-Feature, nicht künstlich.

### Von digitalen Trends und Hypes

Auf Digitalisierungstrends angesprochen, weist Christof Faller darauf hin, dass das, was zurzeit bei Lautsprechern geschieht, in anderen Bereichen schon lange Realität ist. Beispielsweise sei die Telefonie und das Tele-Conferencing schon lange digital. Es gäbe durchaus ein paar neue Trends, oft seien es aber einfache Hypes. Beispielsweise Geräte, die uns verstehen, wie Siri und Amazon Echo. Dann gibt es gleichzeitig den Hype vom Deep Learning. Deep Learning muss aber nicht in jedem Fall bes-

ser sein. Faller führt aus: «Kürzlich habe ich ein Paper von der Grafikkartenfirma Nvidia gesehen, wo es darum ging, mit Grafikkarten mehr Leistung für Deep Learning zur Verfügung zu stellen. Statt drei, vier Mikrofone zu verwenden, wurde versprochen, nur eines einsetzen zu können und den Rest mit Deep Learning zu machen. Das sieht aber mehr nach Hype aus, nach Marketing.» Ob die zuhörenden Geräte in zehn Jahren die Stellung haben werden, wie jetzt impliziert wird, ist fraglich. Faller sagt, er habe persönlich kein Bedürfnis, mit einem Gerät zu sprechen. Er kenne nur sehr wenige, die Siri im Alltag regelmässig benutzen.

### Die Physik überlisten

Einen Hype gibt es auch bei Augmented und Virtual Reality, wo es darum geht, die Klangszene mit der optischen Szene synchron mitzubewegen. Die Grundlagen dafür, unter dem Namen Ambisonics bekannt, wurden bereits in den 1970er-Jahren entwickelt. Ambisonics wird meist für 5.1 Aufnahmen bei

Sportstadien eingesetzt. Um die Räumlichkeit zu erhalten, werden bei der Mikrofonierung gewöhnlich vier teure Mikrofone mit Nierencharakteristik benötigt. Mit den richtungsabhängigen Partikelgeschwindigkeiten und dem Schalldruck lässt sich der Schall in einem Punkt definieren.

Da die vier Mikrofone aber nicht am gleichen Ort sind, gibt es wegen den unterschiedlichen Laufzeiten oberhalb von 3 kHz Interferenzen, die die Räumlichkeit verunmöglichen. Illusonic arbeitet an einem erschwinglichen 3D-Mikrofon mit digitaler Signalverarbeitung (**Bild 5**), mit dem diese physikalisch bedingten Interferenzen eliminiert werden können, indem ein zeitadaptiver Algorithmus die Phasen so modifiziert, dass sie bei allen vier Mikrofonen gleich sind. Man kann die Räumlichkeit so bis 20 kHz aufrechterhalten. Dazu ist ein sehr schneller Algorithmus erforderlich, der in 50 Frequenzbändern funktioniert, 100-mal pro Sekunde abgleicht und keine Artefakte erzeugt. Die Kontinuität muss dabei erhalten bleiben. Analog wäre dies nicht realisierbar. Ein weiterer Vorteil: Durch den Einsatz der digitalen Technologie können die teuren Nieren-Mikrofone durch preisgünstige omnidirektionale ersetzt werden.

### Dreidimensionale Aufnahmen

Mit räumlichen Aufnahmen beschäftigt sich Lasse Nipkow, ein Pionier der räumlichen Aufnahmetechnik und Geschäftsführer der Silent Work

GmbH. Seit fast zehn Jahren erforscht er im Zusammenhang mit 3D-Audio Mikrofonierungsmethoden und psychoakustische Phänomene des räumlichen Hörens, u.a., wie Mikrofone aufgestellt werden müssen, um den optimalen Effekt zu erreichen. Das Ziel, 3D-Audio, sei eine konsequente Weiterentwicklung von Mono, einem Punkt, Stereo, einer Linie, und Surround, einer Fläche. Bei 3D-Audio klingt es wie im Aufnahmeraum. Konkret: Schliesst man die Augen, während man in seinem kleinen Studio die von ihm in der Hofkirche Luzern aufgenommene Orgelmusik von Wolfgang Sieber hört, wird man wahrnehmungsmässig in den Kirchenraum versetzt. Bei Stereo hört man zwar den Raum mit seinem Hall, hat aber nicht das Gefühl, wirklich dort zu sein. Gemäss Nipkow nimmt das Thema an Tonmeistertagungen und Konferenzen eine immer bedeutendere Rolle ein. Der grosse Preiszerfall der Hardwarekomponenten gibt ihm Hoffnung, dass sich die Mehrkanal-Audioaufnahme und -wiedergabe immer mehr durchsetzen wird.

Es gibt unterschiedliche 3D-Formate. Ein inzwischen in die Jahre gekommenes Format ist das vom Label Dabringhaus und Grimm eingesetzte 2+2+2, bei dem sechs Lautsprecher benötigt werden. Die Wiedergabe geschieht mittels DVD-Audio-Spieler mit sechs unabhängigen Ausgängen. Vier Lautsprecher werden vor (zwei oben und zwei unten) und zwei hinter der Hörposition aufgestellt.

Ein spezifisch für Musik konzipiertes Format ist Auro 3D. Ein weiteres Format ist Dolby Atmos. Es wurde fürs Kino – für bewegte Audio-Objekte wie über die Köpfe der Zuschauer fliegende Helikopter – entwickelt, kann aber auch mit AV-Geräten in der Wohnstube genutzt werden.

Es gibt Bestrebungen, digitale Mehrkanalsignale in verschiedenen Formaten, z.B. mittels MPEG-H, via Radio zu übertragen, damit man ein seinem Audiosystem – Kopfhörer, Stereo-Anlage oder 3D-Audiosystem – entsprechendes Signalmaterial hat. Dies würde die Verbreitung von 3D-Audio fördern und gleichzeitig die Vielfalt an Formaten in einem standardisierten Container vereinen.

Dreidimensionale Audiolösungen sind aber nicht nur ein Forschungsgegenstand oder etwas für Kinogänger, sondern kommen auch an anderen Orten vor. Beispielsweise hat das Opernhaus Zürich das objektbasierte Produktions- und Wiedergabesystem SpatialSound Wave installiert, mit dem sich Schallquellen bzw. -objekte an beliebige Positionen im Saal platzieren lassen – ohne Kenntnis der Lautsprecheraufstellung (Einstiegsbild). Unabhängig von ihrer Sitzposition nehmen die Zuhörer das durch den Tontechniker platzierte, hörbare Objekt am selben Ort wahr.

#### Autor

**Radomir Novotny** ist Chefredaktor Electrosuisse beim Bulletin SEV/VSE.  
→ Electrosuisse, 8320 Fehraltorf  
→ radomir.novotny@electrosuisse.ch

#### RÉSUMÉ

### Créer de nouvelles dimensions d'écoute

Comment la numérisation transforme le monde audio

Il y a une quarantaine d'années, entre autres grâce au CD et à son rendu plus précis, la technologie numérique conquérait le monde du son. Actuellement, l'influence de la numérisation y est plus complexe. Elle transforme l'industrie de l'audio de nombreuses manières, jusque dans la construction des haut-parleurs : par exemple, de petits haut-parleurs sont dotés de basses profondes perceptibles grâce à un traitement du signal numérique. Souvent, le son que rendent ces derniers ne semble alors pas naturel. Il y a cependant des exemples parmi les modèles plus chers chez lesquels les

basses profondes surprennent par leur qualité sonore et pas uniquement par leur volume. La numérisation modifie aussi la production musicale et la manière dont la musique est composée – dans le domaine de la pop, il s'agit souvent d'effets promotionnels, dans celui de la musique classique, d'enregistrements clairs de grande qualité. Les habitudes d'écoute changent également : le streaming de musique offre désormais une disponibilité omniprésente. Enfin, l'audio 3D permet de s'immerger dans de nouveaux univers sonores.

NO

## FI-Schalter 10 kA Typ A und Typ F



# Mehr Vielfalt Mehr Schutz

Nebst FI-Schaltern mit Kurzschlussfestigkeit von 6 kA bietet Hager neu ein FI-Schutzprogramm von 16 A bis 125 A mit hoher Kurzschlussfestigkeit von 10 kA.

Diese sind durchgängig kompatibel mit Phasenschienen und bestehenden Zusatzeinrichtungen. Ebenfalls neu im Sortiment sind Fehlerstromschutzschalter des Typs F. Diese schützen bei Fehlerströmen mit Mischfrequenz, welche bei einphasigen Verbrauchern mit Frequenz-Umrichtern entstehen können.

**Mehr Informationen unter [hager.ch](http://hager.ch)**

**:hager**

## Smart Home 2019

7. März 2019 | Congress Center Basel

Jetzt  
anmelden!

[www.forumsmarthome.ch](http://www.forumsmarthome.ch)

electro  
suisse