KOPFHÖRER

K 30603

studio special



Sonderausgabe studio magazin



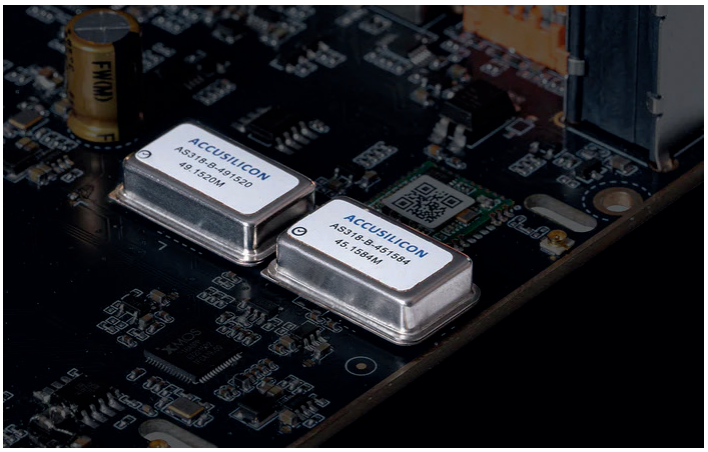
FRITZ FEY, ABBILDUNGEN: FRITZ FEY

DIE ZWEITE REFERENZ

KOPFHÖRERENTZERRUNG UND -OPTIMIERUNG AM BEISPIEL DES LUXSIN X9 KOPFHÖRERVERSTÄRKERS

Jeder Toningenieur entwickelt im Laufe seines Berufslebens eine ganz persönliche klangliche Referenz. Sie entsteht nicht auf dem Papier und folgt auch keinem idealisierten Lehrbuch-Frequenzgang, sondern wächst mit den täglichen Erfahrungen im eigenen Regieraum. Man kennt die Eigenheiten seiner Lautsprecher ebenso wie die akustischen Besonderheiten des Raumes und lernt mit der Zeit, Mischungen so zu beurteilen, dass sie auch auf anderen Wiedergabesystemen zuverlässig funktionieren. Genau diese Verlässlichkeit macht eine Referenz aus. Hinzu kommt ein Aspekt, der meist unbewusst wirkt. Lautsprecher vermitteln bereits durch ihre äußere Erscheinung eine bestimmte klangliche Erwartung. Große Hauptmonitore mit doppelter oder vierfacher Tieftonbestückung strahlen Autorität im Bassbereich aus, die man dann auch hören möchte. Auch unterschiedliche Hochtonsysteme wie Bändchen, Gewebekalotten oder Hörner verbinden erfahrene Toningenieure mit ganz bestimmten klanglichen Eigenschaften. Zur Selbstverständlichkeit ist heute geworden, dass ein Studio-Abhörsystem prinzipiell einem linearen Frequenzverlauf folgt, und das Korrektur-EQ-Systeme heute maßgeblich dazu beitragen, dieses Ziel zu erreichen, ohne dass man einen gut geplanten raumakustischen Ausbau aus den Augen verlieren darf. Darüber hinaus haben sich aber auch Faustregeln durchgesetzt, im Bereich tiefer und hoher Frequenzen den Pfad der Linearität zu verlassen, durch eine vorsichtige oder sehr individuelle Anhebung im Tieftonbereich und einen leicht abfallenden Verlauf im Hochtonbereich. Auch hier stehen persönlicher Geschmack und Hörerfahrung beratend zur Seite.

Der Kopfhörer, der zunehmend in Studios zur zweiten, bei Bedarf auch mitnehmbaren, Referenz geworden ist, folgt einer völlig anderen Logik. Seine äußere Erscheinung verrät nur wenig über seinen Klangcharakter und weckt auch keine vergleichbaren Erwartungen an Bassfundament oder Hochtonwiedergabe. Die Auswahl des ‚richtigen' Kopfhörers orientiert sich eher an seiner Bauform: geschlossen oder offen, magnetostatisches oder dynamisches Wandlerprinzip. Auch der Kopfhörer sollte einen möglichst linearen Verlauf der Übertragungskurve aufweisen, mit einem vergleichbaren Ansatz bei der individuellen Abstimmung. Deshalb setzen sich auch beim Kopfhörer aktuell verstärkt EQ-Korrektur-Systeme durch, sei es als Software- oder Hardwarelösung, die dabei helfen sollen, die individuelle Abstimmung des Übertragungsfrequenzgangs zu optimieren. Dabei können zwei Ansätze verfolgt werden: Die Orientierung an einer Zielkurve, die messtechnischen Kriterien folgt (siehe Ausführungen zur Harman Kurve in dieser Ausgabe) oder aber mit dem Gehör und einem kalibrierten Lautsprechersystem als Bezug abgestimmt wird. Dabei unterscheidet sich die Korrekturentzerrung eines Kopfhörers in einem ganz entscheidenden Punkt. Bei der Korrektur eines Lautsprechers im Raum müssen die Einflüsse des Raums in Betracht gezogen werden. Auslöschungen an der Abhörposition durch Moden oder SBIR (Speaker Boundary Interference Response oder Interferenzen zwischen Direktschall und Grenzflächenreflexionen) können mit dem EQ durch Pegelanhebung nicht kompensiert werden. Da der Kopfhörer aber ohne jegliche Raumeinflüsse arbeitet (abgesehen vom Volumen zwischen Wandler und Ohr, das sich bei geschlossenen Kopfhörern eher im Hochtonbereich bemerkbar macht), sind bei der Optimierung auch Anhebungen im Frequenzspektrum möglich. Die Entzerrung eines Kopfhörers soll dessen Charakter aber nicht neu erschaffen, sondern gezielt verfeinern und an die eigene Arbeitsreferenz annähern. Sie ist damit kein kreatives Klangwerkzeug, sondern ein Mittel zur Optimierung einer bereits bewusst getroffenen Auswahl. Anders formuliert: Wer über Jahre auf einem bestimmten Lautsprechersystem gearbeitet hat, möchte auf dem Kopfhörer nicht plötzlich mit einer völlig anderen Klangästhetik konfrontiert werden. Vielmehr soll der Kopfhörer jene tonale Balance vermitteln, die der Anwender von seinen Lautsprechern kennt und der er vertraut. Dass sich die räumliche Wahrnehmung zwangsläufig unterscheidet, liegt in der Natur der Sache. Die im Prinzip 180 Grad breite Stereobasis, von Ohr zu Ohr quer durch den Kopf, das Fehlen von Raumeinflüssen und damit die ausschließliche Wiedergabe des Direktschalls erzeugen eine andere Hörperspektive, die nicht auch noch eine Veränderung der tonalen Referenz zur Folge haben sollte. Genau an diesem Punkt setzen moderne Systeme zur Kopfhörerentzerrung an. Sie verfolgen nicht das Ziel, aus jedem beliebigen Kopfhörer einen perfekten Referenzhörer zu machen, sondern einen geeigneten Kopfhörer mit einer Charakteristik persönlicher Wahl möglichst präzise an eine definierte Zielkurve anzunähern. Welche Zielkurve dabei gewählt wird, hängt letztlich von der jeweiligen Anwendung, den persönlichen Hörgewohnheiten und der bevorzugten Arbeitsweise ab.



Für eine möglichst jitterarme Taktversorgung setzt der Luxsin X9 auf zwei hochpräzise Femto-Clock-Oszillatoren von Accusilicon

Das Dilemma

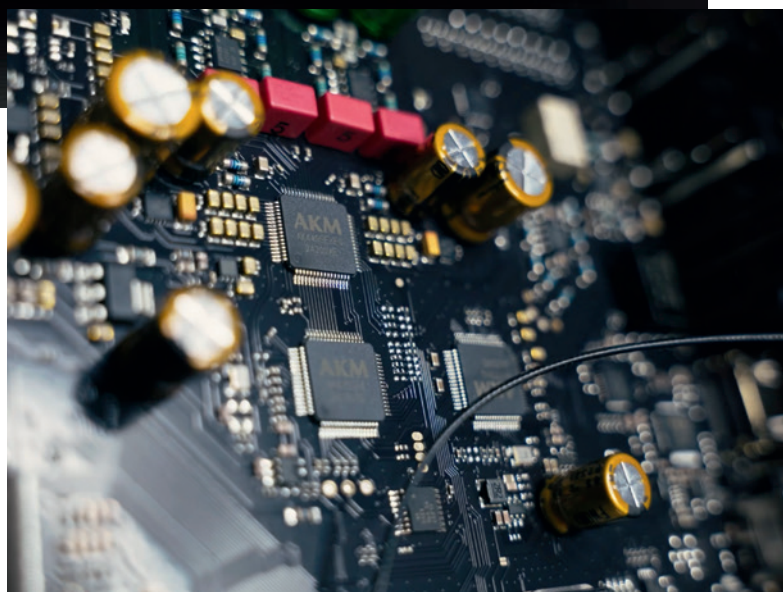
Nicht selten findet man in Studios mehrere umschaltbare Lautsprechersysteme. Dahinter steht häufig die Hoffnung, durch unterschiedliche Abhörreferenzen eine größere Entscheidungssicherheit zu gewinnen. Man kann das aber auch anders sehen. Wer sich auf ein sorgfältig kalibriertes Monitorsystem eingehört hat, benötigt keine weiteren Lautsprecher, um seine Entscheidungen zu bestätigen (oder infrage zu stellen?). Was er vielleicht benötigt, ist ein zweiter Wiedergabeweg, der dieselbe Referenz spektral möglichst identisch transportiert, aber mit der besonderen Hörperspektive, die nur ein Kopfhörer liefern kann. Der zusätzliche Mehrwert für den Toningenieur, Musiker oder Producer ist, dass man diese Hörreferenz mitnehmen kann und überall zur Verfügung hat. Es gibt aber auch bereits Kollegen, die ausschließlich über Kopfhörer arbeiten, und ganz auf den Regieraum samt Lautsprechern verzichten. Die Gründe hierfür kann man an anderer Stelle diskutieren, denn sie sind fast ausschließlich wirtschaftlich bedingt.

Die Lösung

Der hier von uns betrachtete Kopfhörerverstärker/DAC Luxsin X9 eignet sich hervorragend, um die Zusammenhänge rund um die Kopfhörerwiedergabe und -entzerrung näher zu betrachten. Obwohl das Gerät ursprünglich für den anspruchsvollen HiFi-Markt entwickelt wurde, vereint es eine Vielzahl aktueller Technologien zur Kopfhörerentzerrung und Signalverarbeitung, die eine professionelle Nutzung direkt unterstützt. Damit bietet der X9 eine ideale Lehr-Plattform, um die Prinzipien aktueller Korrektursysteme und ihre praktische Bedeutung für



Blick in den Luxsin X9: Hinter der kompakten Desktop-Front mit Touchdisplay und drei Kopfhöreranschlüssen zeigt sich ein ausgesprochen aufwendiger Innenaufbau. Digitale Signalverarbeitung und Wandlersektion nehmen den zentralen Bereich ein, während die analogen Ausgangsstufen und die großzügig dimensionierte Stromversorgung räumlich gegliedert angeordnet sind



Der Blick ins Innere zeigt den konsequenten Aufbau des X9 mit räumlich gegliederten Funktionsbereichen für digitale Signalverarbeitung, D/A-Wandlung, analoge Ausgangsstufen und Stromversorgung

den Studioeinsatz näher zu erläutern: Systemische Kopfhörerentzerrung auf Basis umfangreicher Messdaten mit auch manuell bedienbarem parametrischen Equalizer, frei wählbare Zielkurven, Crossfeed nach dem BS2B-Prinzip sowie automatische Impedanzmessung/-anpassung und eine leistungsfähige DSP-Architektur. Der Luxsin X9 steht deshalb in diesem Beitrag weniger stellvertretend für einen einzelnen Hersteller als vielmehr für eine neue Gerätegeneration, die digitale Signalverarbeitung gezielt einsetzt, um den Kopfhörer als ernstzunehmendes Referenzwerkzeug im Studio zu etablieren.

Überblick

Der Luxsin X9 präsentiert sich in einem schicken, geometrisch spannend geformten Desktop-Gehäuse, das sich recht deutlich von der klassischen Formsprache professioneller Studiotechnik unterscheidet. Die angeschrägte Front wird von einem Touchdisplay, einem Drehgeber und drei Kopfhörer-Ausgangsbuchsen in den gängigen Formaten dominiert. Da Audio-Interfaces, Monitorcontroller und DAW-Steuerungen längst ihren Platz unmittelbar auf dem Tisch vor dem Anwender gefunden haben, passt sich auch der X9 nahtlos diesem Trend an. Das zentrale Touchdisplay übernimmt einen Großteil der Bedienung, ergänzt durch den großzügig dimensionierten Drehgeber zur Lautstärkeregelung sowie einen kombinierten Power- und Mute-Taster. Auf der linken Seite befinden sich die drei Kopfhöreranschlüsse. Neben einer klassischen 6,35-mm-Klinkenbuchse stehen ein symmetrischer 4,4-mm-Pentaconn-Anschluss sowie ein vierpoliger XLR-



Die Rückseite des Luxsin X9 bietet neben den analogen XLR- und Cinch-Ausgängen ein umfangreiches Angebot digitaler Schnittstellen. Separate Antennen für WLAN und Bluetooth ergänzen die Anschlussvielfalt und ermöglichen Netzwerksteuerung beziehungsweise drahtlose Audioübertragung

Ausgang zur Verfügung. Ein Blick auf die Rückseite unterstreicht den universellen Anspruch des Geräts. Neben USB-B und USB-C stehen optische und koaxiale Digitaleingänge, ein analoger Cinch-Eingang sowie HDMI-eARC (im Studio ohne Bedeutung) zur Verfügung. Ergänzt wird die Ausstattung durch symmetrische XLR- und unsymmetrische Cinch-Ausgänge für Aktivlautsprecher oder Leistungsverstärker sowie einen separaten Subwoofer-Ausgang, der auch elektronisch gemanaged werden kann. WLAN- und Bluetooth-Antennen (Bluetooth zur drahtlosen Audioübertragung) vervollständigen das Anschlussfeld und verdeutlichen, dass der X9 mehr sein möchte als ein reiner Kopfhörerverstärker. Ob er das im Umfeld der professionellen Anwendung zum Beispiel in der Rolle eines Monitorcontrollers schaffen kann, wage ich zu bezweifeln, aber das ist auch nicht die Kernkompetenz dieses Gerätes.

Luxsin hält die unmittelbare Gerätebedienung generell übersichtlich. Das Touchdisplay übernimmt die Auswahl von Ein- und Ausgängen, die grundlegenden Audioeinstellungen und den schnellen Zugriff auf die wichtigsten Klangfunktionen. Die komplexeren Eingriffe, insbesondere die detaillierte Konfiguration von HP-EQ, Crossfeed und weiteren DSP-Parametern, erfolgen dagegen komfortabler über ein Tablet, Smartphone oder einen Computer. Dafür stellt der X9 sowohl eine App als auch eine browserbasierte Bedienoberfläche im lokalen Netzwerk bereit.

Die innere Architektur des Luxsin X9 folgt dem Prinzip der Aufgabenverteilung. Anstatt sämtliche Funktionen einer einzigen Recheneinheit zu überlassen, setzt Luxsin auf spezialisierte Prozessoren für die unterschiedlichen Aufgabenbereiche. Ein XMOS-Prozessor übernimmt die Kommunikation mit digitalen Signalquellen und verarbeitet hochauflösende PCM- und DSD-Daten. Die eigentliche Signaloptimierung erfolgt in einem separaten DSP, während die Wandlung in die analoge Domäne dem DAC-Duo AK4191EQ und AK4499EX von AKM zugeteilt wurde.

Bedienkonzept

Im täglichen Betrieb genügt meist ein kurzer Blick auf das Frontdisplay. Hier werden Signalquelle, Ausgang, Lautstärke und die wichtigsten Audioeinstellungen verwaltet, die sich in der Regel nicht ständig ändern. Für umfangreichere Einstellungen nutzt Luxsin dagegen die größere Arbeitsfläche eines Tablets oder Computers. Die Konfiguration des AutoEQ, des daran gekoppelten parametrischen Equalizers, der Crossfeed-Funktion und der übrigen DSP-Funktionen erfolgt dadurch wesentlich komfortabler, als es auf einem integrierten Display möglich wäre. Erst kürzlich hat der Hersteller in einem Routine-Update eine neue Bedienoberfläche implementiert. Sämtliche Parameter sind übersichtlich dargestellt und lassen sich ohne verschachtelte Menüs anpassen. Die browserbasierte Steuerung hat darüber hinaus den Vorteil, dass keine spezielle Software auf dem Rechner installiert werden muss. Voraussetzung ist lediglich, dass sich Computer und X9 im selben Netzwerk befinden.

AutoEQ

Jede Kopfhörerentzerrung basiert auf zwei grundlegenden Informationen. Zum einen muss der real gemessene Frequenzgang des verwendeten Kopfhörers bekannt sein, zum anderen bedarf es einer Zielkurve, an die dieser Frequenzgang angepasst werden soll. Aus der Kombination beider Datensätze entsteht die eigentliche Entzerrung. Genau diesem Prinzip folgt die AutoEQ-Funktion des Luxsin X9. Grundlage bilden umfangreiche Open-Source-Datenbankquellen, in der die Messergebnisse tausender Kopfhörermodelle zusammengeführt wurden (als Mess- und EQ-Quellen werden unter anderem oratory1990, Crinacle, InnerFidelity und RTINGS sowie historische Messungen von Headphone.com genannt). Nach Auswahl des verwendeten Kopfhörers stehen – abhängig vom jeweiligen Modell – verschiedene Zielkurven zur Verfügung, auf die der Frequenzgang entzerrt werden kann. Die eigentliche Korrektur übernimmt anschließend der im X9 integrierte DSP mit Hilfe eines parametrischen Equalizers mit zehn Bändern, die auch manuell editiert werden können, um eine Anpassung weitergehend zu personalisieren. Der gesamte Vorgang erfolgt innerhalb des Geräts, sodass weder

zusätzliche Software noch Plug-Ins in einer DAW erforderlich sind. Der Hersteller versteht AutoEQ nicht als starres Korrektursystem mit einer einzigen verbindlichen Referenz, sondern als Werkzeug, das unterschiedliche Hör- und Arbeitsphilosophien berücksichtigt. Die Wahl der Zielkurve bleibt dem Anwender überlassen und eröffnet damit die Möglichkeit, den Kopfhörer der Wahl gezielt an die eigene Arbeitsweise beziehungsweise Lautsprecherreferenz anzupassen.

EQ AEON Core BU: Korrektur-EQ des AEON Core von Dan Clark Audio



EQ DCA E3 BU: Korrektur-EQ des E3 von Dan Clark Audio



Zielkurven

Die Messdaten eines Kopfhörers beschreiben zunächst lediglich dessen tatsächliches Übertragungsverhalten. Welche Korrektur daraus berechnet wird, entscheidet jedoch erst die gewählte Zielkurve. Sie definiert das klangliche Ziel der Entzerrung und bestimmt damit letztlich den spektralen Charakter der Wiedergabe, während der Kopfhörer seine zeitbasierten Klangeigenschaften behält. Zu den verfügbaren Zielkurven gehören unter anderem verschiedene Generationen der Harman Target Curve. Bereits diese Auswahl verdeutlicht, dass auch wissenschaftlich entwickelte Referenzkurven einem kontinuierlichen Entwicklungsprozess unterliegen und keineswegs als unveränderliche Größe betrachtet werden. Darüber hinaus stellt der X9 weitere Zielkurven bereit, sodass der Anwender die Möglichkeit erhält, die Wiedergabe gezielt an seine persönliche Arbeitsreferenz anzunähern. Welche Zielkurve letztlich bevorzugt wird, lässt sich deshalb nicht allgemeingültig beantworten. Sie hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dabei kann der Kopfhörer auch ein ganz eigenständiges Referenz-Statement sein, ohne jeglichen Bezug zu einem im Einsatz befindlichen Abhörsystem. Die wissenschaftlichen Hintergründe der verschiedenen Zielkurven sowie die Entwicklung der Harman Target Curve behandeln wir in einem separaten Beitrag dieses Sonderhefts. An dieser Stelle genügt die Erkenntnis, dass der Luxsin X9 dem Anwender die Freiheit lässt, zwischen unterschiedlichen Referenzphilosophien zu wählen, anstatt eine einzige Lösung als allgemein gültig vorzugeben.

EQ Peacock BU: Korrektur-EQ des Peacock von Sendy Audio



Crossfeed

Selbst ein in seinem Frequenzgang optimal entzerrter Kopfhörer unterscheidet sich weiterhin grundlegend von einem Lautsprechersystem. Ursache ist die vollständig getrennte Wiedergabe beider Stereokanäle. Während bei der Lautsprecherwiedergabe jedes Ohr stets auch einen Anteil des gegenüberliegenden Lautsprechers wahrnimmt, erreicht beim Kopfhörer jeder Kanal ausschließlich das zugehörige Ohr. Die daraus resultierende Stereobasis von theoretischen 180 Grad gehört zu den charakteristischen Merkmalen der Kopfhörerwiedergabe. Ob diese Hörperspektive als Nachteil empfunden wird, ist letztlich eine persönliche Entscheidung. Manche Anwender schätzen gerade die ausgeprägte Kanaltrennung, andere bevorzugen eine räumliche Abbildung, die sich stärker an der Lautsprecherwiedergabe orientiert. Für diesen Anwenderkreis stellt Crossfeed eine interessante Hörhilfe dar. Der Luxsin X9 setzt hierfür auf die offene BS2B-Technologie (Bauer Stereo to Binaural). Anders als einfache Crossfeed-Schaltungen mischt dieses Verfahren nicht lediglich Anteile des linken Kanals auf den rechten und umgekehrt. Vielmehr werden Pegel, Laufzeit und Frequenzgang so angepasst, dass der bei der Lautsprecherwiedergabe natürliche Übersprechanteil zwischen beiden Ohren näherungsweise nachgebildet wird. Ziel ist dabei keine Lautsprechersimulation und auch kein virtueller Abhörraum. Die Crossfeed-Funktion dient vielmehr der Anpassung der über Kopfhörer wahrgenommenen Stereobasis an die räumlichen Verhältnisse einer Lautsprecherwiedergabe. Der X9 übernimmt hierfür die drei im BS2B-Verfahren definierten Parametersätze. Die Grundeinstellung arbeitet mit einer Grenzfrequenz von 700 Hz und einem Crossfeed-Pegel von 4,5 dB und orientiert sich nach Angaben der BS2B-Entwickler an einer Lautsprecheranordnung mit einem Winkel von etwa +/-30 Grad und rund drei Metern Hörabstand. Eine zweite Variante arbeitet ebenfalls mit 700 Hz, jedoch mit 6 dB Crossfeed und lehnt sich an eine von Chu Moy, einem frühen Protagonisten der DIY-Kopfhörerverstärker-Szene, veröffentlichte Crossfeed-Schaltung an. Die dritte Einstellung kombiniert eine Grenzfrequenz von 650 Hz mit 9,5 dB und orientiert sich an der Crossfeed-Schaltung des deutschen Kopfhörerverstärker-Entwicklers Jan Meier, Gründer von Meier Audio, die unter anderem in seinen Corda-Verstärkern eingesetzt wurde. Damit stehen nicht lediglich drei unterschiedlich stark dosierte Intensitätsstufen zur Verfügung, sondern drei technisch unterschiedlich parametrierte Varianten des Crossfeed-Prinzips.

Automatische Impedanzmessung

Die elektrischen Eigenschaften eines Kopfhörers beeinflussen unmittelbar die Anforderungen an den Kopfhörerverstärker. Aus diesem Grund misst der Luxsin X9 nach dem Anschluss eines Kopfhörers an den 6,35-mm- oder 4,4-mm-Ausgang dessen elektrische Impedanz automatisch. Der Messvorgang dauert etwa eine Sekunde und erfolgt unmittelbar nach dem Einstecken des Kopfhörers. Auf Grundlage des ermittelten Wertes ordnet der X9 den Kopfhörer einer von drei Impedanzklassen – 16, 32 oder 300 Ohm – zu und stellt den Verstärkungsfaktor (Gain) automatisch auf den jeweiligen Arbeitsbereich ein. Dadurch entfällt die sonst häufig erforderliche manuelle Wahl unterschiedlicher Gain-Stufen, während der Verstärker gleichzeitig im jeweils optimalen Regelbereich arbeitet. Für den symmetrischen vierpoligen XLR-Kopfhörerausgang steht diese Automatik nicht zur Verfügung; hier erfolgt die Gain-Einstellung manuell.

Weitere Werkzeuge

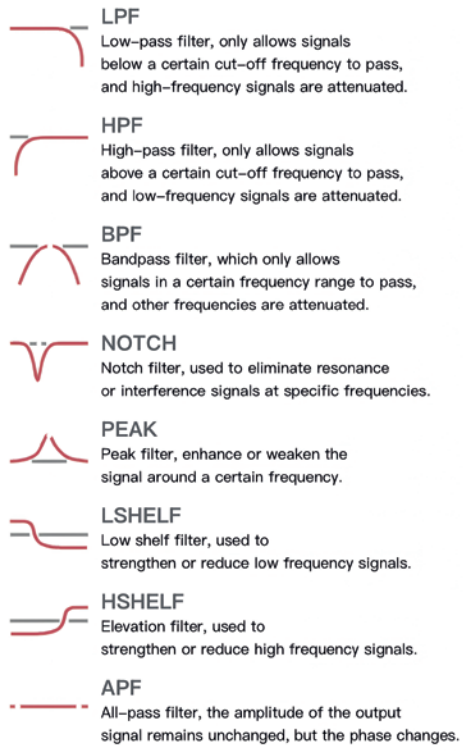
Neben AutoEQ und Crossfeed stellt der Luxsin X9 den parametrischen Equalizer der AutoEQ-Funktion sowie weitere Klangwerkzeuge zur Verfügung, die unmittelbar in die interne DSP-Signalverarbeitung eingebunden sind. Sämtliche Einstellungen erfolgen verlustfrei innerhalb des digitalen Signalwegs und können gemeinsam mit dem jeweiligen Kopfhörerprofil gespeichert werden. Während AutoEQ den Frequenzgang anhand gemessener Kopfhörerdaten und einer ausgewählten Zielkurve korrigiert, dienen diese Werkzeuge der individuellen Feinabstimmung. Sie ersetzen die ‚Entzerrung aus dem Katalog' nicht, sondern ergänzen sie dort, wo persönliche Hörgewohnheiten oder spezielle Anwendungen eine weitergehende Anpassung sinnvoll erscheinen lassen. Der X9 trennt damit konsequent zwischen objektiver Korrektur und subjektiver Feinabstimmung.

HP-EQ-Presets und Einstellungen

Mit zunehmender Zahl verfügbarer Korrekturmöglichkeiten gewinnt die reproduzierbare Verwaltung der Einstellungen an Bedeutung. Der Luxsin X9 bietet hierfür innerhalb von HP-EQ eine Preset-Verwaltung, die sich allerdings ausschließlich auf die Kopfhörerentzerrung bezieht. Eigene EQ-Kurven können unter individuellen Bezeichnungen gespeichert und später gezielt wieder aufgerufen werden. Darüber hinaus lassen sich Einstellungen kopieren und über eine A/B-Funktion unmittelbar miteinander vergleichen; ‚Share EQ' ermöglicht den Export und Import von EQ-Presets. Die übrigen DSP-Funktionen sind nicht Bestandteil dieser Presets. Einstellungen wie Crossfeed, Soundstage Width, Tone oder Loudness bleiben vielmehr so erhalten, wie das Gerät zuletzt verlassen wurde. Ein übergeordnetes Kopfhörerprofil, mit dessen Aufruf gleichzeitig EQ-Kurve und sämtliche weiteren DSP-Einstellungen wiederhergestellt werden, gibt es derzeit noch nicht, wäre aber wünschenswert.

Band	Filter Typ	Frequenz (Hz)	Gain (dB)	Q-Faktor	BB
Band 1	LOW_SHELF	32	4.00	0.71	1.89
Band 2	LOW_SHELF	105	5.50	0.71	1.89
Band 3	PEAK	460	-1.00	2.00	0.71
Band 4	PEAK	600	2.70	2.00	0.71
Band 5	PEAK	910	-2.50	2.00	0.71
Band 6	PEAK	3050	-3.90	2.00	0.71
Band 7	PEAK	4500	9.40	0.50	2.54
Band 8	PEAK	5800	-4.20	6.00	0.24
Band 9	PEAK	8200	-3.50	4.00	0.36
Band 10	HIGH_SHELF	10000	0.50	0.71	1.89

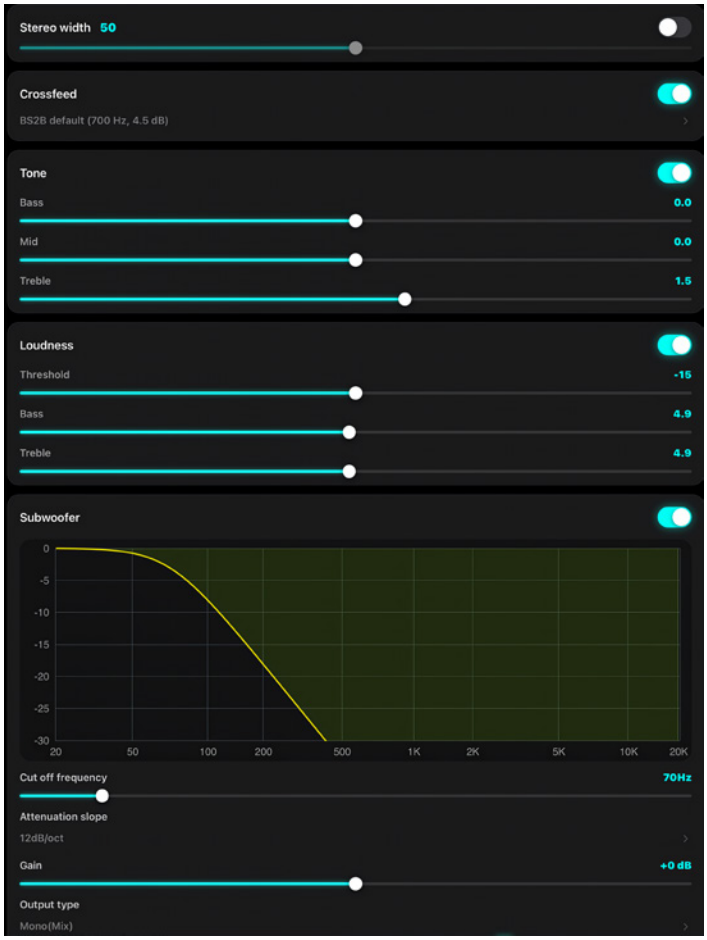
Konkretes Wertebeispiel für die Korrektur des Peacock von Sendy Audio auf Basis des Harmen Targets (2018)



Die Auswahl ermöglicht zahlreiche Filtertypen des parametrischen EQs bis hin zum Allpass-Filter

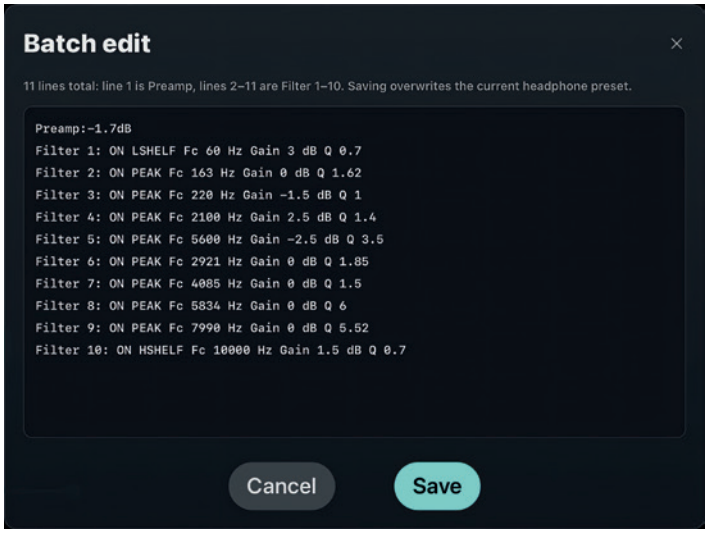
Praxis und Hören

Mit der Entzerrung von Lautsprecher-Abhörsystemen beschäftige ich mich schon sehr lange. Den Anfang machte damals die von der Firma DFM entwickelte FIR-Box, eine FIR-Filter Hardware, die im Zusammenspiel mit der Mess-Software ‚Room Tools' arbeitete, die seinerzeit von Jürgen Scheuring entwickelt wurde. In der Folge entstanden viele Hardware- und Software-Produkte, die sich des gleichen Themas annahmen, allen voran natürlich der Trinnov Optimizer. Kopfhörer-Entzerrung ist noch nicht so lange ein populäres Thema, wird aber inzwischen von verschiedenen Hardware- oder Software-basierten Systemen besetzt. Zu den bekanntesten Softwarelösungen im professionellen Umfeld zählt Sonarworks SoundID Reference, das für eine große Zahl von Kopfhörermodellen vorbereitete Korrekturprofile bereitstellt und sowohl als Plug-In als auch systemweit eingesetzt werden kann. Einen vergleichbaren Grundgedanken verfolgt ToneBoosters Morphit, das neben der Linearisierung verschiedener Kopfhörermodelle auch die Übertragungscharakteristik anderer Modelle abbilden kann. dSONIQ Realphones verbindet die modellbezogene Kopfhörerkorrektur bereits mit einer weitergehenden virtuellen Abhörumgebung und schlägt damit die Brücke zum Virtual Monitoring. Einen anderen technischen Weg geht IK Multimedia mit ARC On-Ear: Hier findet die Korrektur in einer eigenständigen Hardware statt, die DAC, Kopfhörerverstärker und DSP-Verarbeitung miteinander verbindet und nach der Konfiguration unabhängig von einem Plug-In betrieben werden kann. Wir haben den X9 von Luxsin, einer noch jungen, auf hochwertige digitale Audiotechnik spezialisierten Marke des chinesischen Herstellers Eversolo Audio Technology, die sich mit DACs, Kopfhörerverstärkern und Streaming-Lösungen vornehmlich an den anspruchsvollen HiFi-Markt richtet, als umfassende Hardware-Lösung zugrunde gelegt, um eigene Erfahrungen mit der Korrekturentzerrung von Kopfhörern zu machen. Anders als beim Lautsprecher, bei dem neben dessen eigenem Übertragungsverhalten immer auch Raumakustik, Aufstellung und Grenzflächeninterferenzen das Ergebnis am Hörplatz bestimmen, erreicht uns über den Kopfhörer praktisch ausschließlich Direktschall. Damit drängt sich zunächst die Frage auf, warum man ein von einem versierten Entwicklerteam sorgfältig abgestimmtes Kopfhörersystem als Anwender überhaupt korrigieren möchte. Eine Antwort darauf findet sich bereits in der Geschichte der Kopfhörerentzerrung. Darüber, wie ein neutraler Kopfhörer eigentlich klingen beziehungsweise welchen Frequenzgang er am Ohr erzeugen sollte, bestanden und bestehen unterschiedliche Auffassungen. Eine rein lineare Übertragung ist dabei keineswegs automatisch mit einer neutralen Wahrnehmung gleichzusetzen, denn beim natürlichen Hören wird der am Trommelfell eintreffende Schall durch die anatomischen Eigenschaften von Kopf und Ohr geprägt. Konzepte wie die Frei- oder Diffusfeldentzerrung versuchten deshalb, definierte akustische Hörbedingungen auf die Kopfhörerwiedergabe zu übertragen. Später kamen weitere, zum Teil auf umfangreichen Hörversuchen beruhende Zielkurven hinzu. Damit wird die Korrektur eines Kopfhörers weniger zu einer Reparatur vermeintlicher konstruktiver Fehler als vielmehr zur Frage nach der gewünschten Referenz. Ein Hersteller stimmt sein Produkt nach einer spezifischen klanglichen Zielsetzung ab; diese muss jedoch nicht zwangsläufig mit jener Zielsetzung übereinstimmen, die wir für die professionelle Beurteilung einer Aufnahme zugrunde legen möchten. Genau hier setzt die Möglichkeit einer individuellen Korrekturentzerrung an. Zunächst wollte ich mich natürlich auf messtechnisch basierte Zielkurven verlassen und habe für drei in diesem Hörtest dank der Unterstützung durch audioNEXT mit Sitz in Essen eingesetzte Kopfhörer – den Sendy Audio Peacock, und die beiden Dan Clark Audio Modelle E3 und AEON Core – verschiedene Harman Target Generationen ausprobiert, ohne



Das sogenannte Effektmenü ermöglicht die Einstellung von Stereobreite, Crossfeed, eine einfache Klangregelung zusätzlich zum parametrischen EQ, eine lautstärkeabhängige Klangregelung und ein einfaches Bassmanagement

meine Lautsprecherreferenz zurate zu ziehen. Dabei erschien es mir logisch, diejenigen Kopfhörer, die nur geringfügige Eingriffe erforderten, per se für gute Kopfhörerentwicklungen zu halten, was sich in den Hörtests auch bestätigte, denn die vorgeschlagenen Korrekturen stellten einen Optimierungsschritt dar und keine komplette Klangprofilumstellung, die versucht, aus einem gegebenen Kopfhörer etwas völlig anderes zu machen. Eine Erfahrung, die ich dabei gemacht habe: Auch größere Einstellwerte bei der Korrekturentzerrung sind nicht zwangsläufig eine Vergewaltigung des Schallwandlers. Als Beispiel kann uns hier der Peacock von Sendy Audio dienen, dessen Korrektur im Bereich oberer Mitten beachtliche Größenordnungen annahm, ohne dabei ‚falsch' oder ‚verbogen' zu klingen. Im Gegenteil: Die zugrunde gelegte Harman Zielkurve reichte so gar verblüffend nahe an meine Lautsprecherreferenz heran und bedurfte keiner weiteren Anpassung. Aber der Reihe nach. Meine Hörversuche begannen mit dem Laden entsprechender Zielkurven/EQ-Kombinationen, die sich vor allem darin unterschieden, dass sich die aktuelleren Harman-Target-Fassungen (hier 2018) schrittweise an eine ausgeprägtere Linearität anpassen, mit weniger übertriebenen Anhebungen im Bass- und Höhenbereich. Wenn es um Korrekturen in der breiten Mitte geht, sind diese meistens



Die Funktion Batch Edit liefert eine komplette Textdatei, die ein vollständiges Editieren aller Parameter ermöglicht

mit kleinen Verstärkungswerten belegt. Wie man anhand der EQ-Kurvendarstellung sehen kann, verlangt der DCA E3 die geringsten Eingriffe, ebenso der AEON Core. Das liegt aber auch daran, dass der Hersteller Dan Clark Audio ausdrücklich eine maximale Annäherung an Harman-Targets propagiert, was nicht alle Hersteller tun, die stattdessen versuchen, ein attraktives Klangprofil herzustellen, das den Musikgenuss in den Vordergrund stellt. Wenn man sich den Korrektur-EQ des Peacock von Sendy Audio anschaut, sieht man die wesentlich stärkeren Eingriffe, vor allem in den oberen Mitten. Alternativ habe ich versucht, mit dem auch manuell bedienbaren AutoEQ eigene Klangprofile für die jeweiligen Kopfhörer einzustellen, um eine spektrale Deckungsgleichheit mit meinem Lautsprechersystem zu erreichen. Das ist tatsächlich gar nicht so einfach, da bei jedem Hörvergleich der Kopfhörer auf- und abgesetzt werden und die Abhörquelle umgeschaltet werden muss. Diese Zwangspause fordert das unmittelbare Erinnerungsvermögen kräftig heraus, so dass es recht lange dauert, bis man einigermaßen sicher sein kann. Ob sich diese Aufwand lohnt? Ich glaube, eher nicht, denn es ist einfacher und zielführender, Harman-Targets auszuwählen und diese nach Geschmack zu modifizieren. Diese Modifikation ist aber bisweilen notwendig, wenn man sich an seinem vertrauten Lautsprecher-Abhörsystem orientieren will, dessen Einmessung anderen Bezugspunkten als der Harman-Kurve folgt. Es lohnt sich aber auf jeden Fall, alle Anstrengungen zu unternehmen und ich würde auch immer dazu raten, die Lautsprecherreferenz zugrunde zu legen – es sei denn man hat drei Stereo-Pärchen aufgebaut und kann sich nicht entscheiden.

Fazit

Eine Kopfhörer-Entzerrung ist im Nutzungsumfeld einer Studioproduktion ein ausgesprochen probates Mittel, um eine ei-

gene Hörreferenz zu definieren. Da die sich die Filtereingriffe praktisch eins zu eins auf das Hörerlebnis auswirken und keine akustischen Nebeneffekte auslösen können, wie bei einer Lautsprecher-Einmessung im Raum, lassen sich Korrekturmaßnamen großzügiger gestalten, um die Zielkurve umzusetzen. Ich kann eine Anlehnung an die vertraute Lautsprecherreferenz nur empfehlen, da damit der Kopfhörer ein perspektivisch anderes, aber spektral nahezu identisches Hörerlebnis generiert, das man als Referenz überall hin mitnehmen kann. Da der Kopfhörer allerdings keine Zielkurven speichern kann, muss man sich dazu zusätzlich einer Software oder leichttransportablen Hardware bedienen. Ich habe jedenfalls ohne großen Aufwand mit dem Luxsin X9 drei hochwertige Magnetostaten im Preisbereich zwischen knapp 1.000 und 2.500 Euro mit unterschiedlich großen Korrektureingriffen auf ein außerordentlich befriedigendes Referenzlevel heben können, das spektral sehr viel mit meinem aufwändig kalibrierten Abhörsystem zu tun hat. Obwohl ich kein so großer Freund einer Crossfeed-Matrix in Kopfhörerverstärkern bin, konnte ich der ‚Bauer Stereo to Binaural' des X9 sehr viel abgewinnen. Das Klangbild wird kompakter mit stärkerem Fokus auf die Phantommitte, büßt dabei allerdings etwas die kopfhörertypische Detailabbildung ein. Insofern liefert diese Matrix eine weitere Hörperspektive zwischen Lautsprecher- und Kopfhörerästhetik.



Was ist BS2B?

BS2B steht für ‚Bauer Stereo to Binaural' und bezeichnet ein frei verfügbares Open-Source-Verfahren zur digitalen Crossfeed-Bearbeitung. Ziel ist es, einen Teil jener akustischen Bedingungen nachzubilden, die bei der Wiedergabe über Lautsprecher selbstverständlich vorhanden sind, bei Kopfhörern jedoch vollständig fehlen. Die theoretischen Grundlagen gehen auf Arbeiten von Benjamin B. Bauer aus den frühen 1960er Jahren zurück. Bauer erkannte, dass bei der Lautsprecherwiedergabe beide Ohren stets Signale beider Kanäle empfangen. Das jeweils gegenüberliegende Ohr nimmt das Signal mit geringerem Pegel, leicht verzögert und durch den sogenannten Head-Shadow-Effekt im Hochtonbereich abgeschwächt wahr. Dieser natürliche Übersprechanteil entfällt bei der Kopfhörerwiedergabe vollständig, da jeder Kanal ausschließlich das zugehörige Ohr erreicht. Das BS2B-Verfahren bildet diese Zusammenhänge digital nach und orientiert sich an den analogen Crossfeed-Konzepten von Benjamin B. Bauer sowie den späteren Weiterentwicklungen unter anderem von Siegfried Linkwitz, Chu Moy und Jan Meier. Im Gegensatz zu einer einfachen Kanalmischung werden Pegel, Laufzeit und Frequenzgang gemeinsam berücksichtigt. Ziel ist ausdrücklich keine Lautsprechersimulation und auch kein virtueller Abhörraum, sondern eine Annäherung der über Kopfhörer wahrgenommenen Stereobasis an die räumlichen Verhältnisse einer Lautsprecherwiedergabe. Als Open-Source-Projekt hat sich BS2B inzwischen in zahlreichen Hard- und Softwarelösungen etabliert. Auch der Luxsin X9 greift auf diese bewährte Technologie zurück und integriert sie als frei konfigurierbare Crossfeed-Funktion in seine DSP-Architektur.