

# studio magazin



FRIEDEMANN KOOTZ, FOTOS: FRIEDEMANN KOOTZ

## BLACK DAC

STEREO-D/A-WANDLER UND KOPFHÖRERVORVERSTÄRKER RME ADI-2 DAC

Als RME vor fast zwei Jahren auf der Musikmesse den ADI-2 Pro ankündigte, wurde damit nicht nur ein neues Produkt vorgestellt, sondern ein Technologieträger für zukünftige Entwicklungen. Unser Test in Heft 12/16 zeigte damals, dass der Hersteller damit tatsächlich einen außergewöhnlich guten Stereo-A/D- und D/A-Wandler im Portfolio hat. Das erste ‚Derivat‘ ist nun der ADI-2 DAC, bei dem es sich nicht um einen lediglich abgerüsteten ADI-2 Pro handelt, sondern der wieder interessante Verbesserungen ins Feld führt. Ein erneuter Blick lohnt sich also.

Tatsächlich richtet sich RME mit dem ADI-2 DAC nicht nur an professionelle Anwender, sondern ganz eindeutig auch an Endkonsumenten mit gehobenen Ansprüchen. Erkennbar ist dies aber in der Praxis nur an sehr wenigen Eigenschaften. Dazu gehört zum Beispiel die mitgelieferte Fernbedienung. Neben dem Bequemlichkeitsgewinn bietet sie tatsächlich auch im Studio einen Mehrwert, denn sie ist mit vier freien Tasten ausgestattet, die mit häufig genutzten Funktionen belegt werden können. Zu den weiteren Hi-Fi-Features gehört zum Beispiel die auf Wunsch aktivierbare Abschaltung der Beleuchtung nach einigen Sekunden ohne Interaktion. Das schwarze Gehäuse wirkt edel, schick und reduziert, was auch vielen ‚Ohrenmenschen‘ im Studio gefallen dürfte. Das Format entspricht mit seinen 9,5 Zoll (halbe Rackbreite) dem ADI-2 Pro, einzig die Löcher für die direkte Montage von Rackohren sind aus ästhetischen Gründen nicht vorhanden. Stattdessen bietet der Hersteller eine Wannenhalterung an, in der zwei Geräte dieses Formfaktors ihren Platz finden.

## Überblick

Die Bedienelemente und das Display auf der Front sind weitestgehend identisch zum ‚großen Bruder‘. Einzig die zwei-

te Kopfhörerbuchse ist auf das Miniklinkenformat ‚geschrumpft‘. Auf den Grund hierfür gehen wir im Abschnitt Kopfhörer genauer ein. Schaut man genau hin, so entdeckt man kleinere Detailveränderungen, wie eine leicht anders gestaltete Beleuchtung des Tasters und einen IR-Sensor zwischen den beiden kleineren Drehgebern, den es beim ADI-2 Pro nicht gibt. Deutlichere Unterschiede finden sich auf der Rückseite, schließlich entfällt die beim ADI-2 Pro vorhandene analoge Eingangssektion. Die Stromversorgung erfolgt über ein Steckernetzteil, dessen Hohlstecker mit einem leichten Dreh in der Niederspannungsbuchse verriegelt werden kann. Das Gerät arbeitet mit einer Gleichspannung von 12 Volt. Die Anbindung an den PC erfolgt per USB 2.0. Dieses Format reicht auch bei kleinsten Latenzen vollkommen aus, um zwei Kanäle in beide Richtungen übertragen zu können. Tatsächlich überträgt der RME-Treiber nicht nur Audio zum DAC, sondern kann auf Wunsch auch die an den digitalen Audioeingängen anliegenden Signale in den PC schaufeln. Ein netter Bonus, der manchmal hilfreich sein kann. Das Gerät kann, je nach Betriebssystem, im Modus Class Compliant arbeiten. Das bedeutet, dass es sich am Host-Computer als Standardgerät der Klasse ‚Audiointerface‘ mel-

det und sofort als solches genutzt werden kann. Ohne Konfiguration oder zusätzliche Softwareinstallationen. Wer mit dem Mac arbeitet, braucht deshalb keine zusätzlichen Treiber installieren, dies gilt auch für das iPad (ab iOS 5) oder iPhone (ab iOS 7). Auch der Betrieb unter Android war, dank Class Compliant-Modus und einem USB-OTG-Adapter, an meinem Sony Xperia Telefon problemlos möglich. Sogar bei kleinster Puffereinstellung und damit echtzeitfähig. Es gibt zwei digitale Eingänge. Eine Cinch-Buchse akzeptiert S/PDIF oder AES3 über einen mechanischen Adapter und eine optische Buchse kann für TOSLINK oder aber die ersten beiden Kanäle einer ADAT-Verbindung genutzt werden. Das gewandelte Stereosignal liegt als symmetrische Spannung auf XLR-Armaturen und als unsymmetrische Spannung auf zwei Cinch-Buchsen an. Das Gerät kann mit sämtlichen PCM-Abtastraten bis hinauf zu 768 kHz arbeiten, wobei oberhalb von 192 kHz nur USB als Quelle in Frage kommt. Die maximalen 192 kHz stehen dank SMUX-Betrieb sogar im ADAT-Betrieb zur Verfügung. Zusätzlich zu PCM unterstützt das Gerät auch DSD over PCM, das sogenannte DoP. Das im PCM-Block enthaltene DSD-Signal ist dabei nicht konvertiert, stattdessen dient PCM als reines Transportmedium. DoP kann per S/PDIF (192 kHz PCM) zugeführt werden und enthält dann DSD64 (64fache Überabtastung). DoP mit DSD128 (PCM bei 384 kHz) und DSD 256 (PCM bei 768 kHz) können ebenso nur per USB zufließen. Nutzt man DSD, so werden sämtliche DSP-Funktionen abgeschaltet, da ein DSD-Bitstream nicht ohne eine Umwandlung zu PCM bearbeitet werden kann. Einzig die Möglichkeit zum Stellen der Lautstärke bleibt erhalten, da sie dann nicht im DSP, sondern im Wandlerchip selbst ausgeführt wird. Aber auch der Wandler muss dazu den Umweg über PCM gehen. Wer diese Konvertierung nicht möchte, kann den Modus DSD-Direct auswählen. In diesem Fall dringt pures DSD an das Ohr, allerdings auch fast ohne eine Möglichkeit, die Wiedergabelautstärke zu

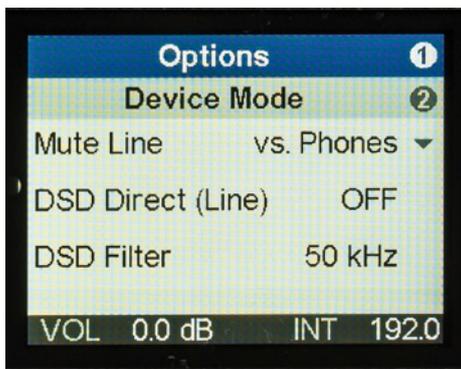


## ADI-2 Pro FS

Die aktuellen Erkenntnisse aus der Entwicklung des ADI-2 DAC fließen direkt zurück in den ADI-2 Pro. Matthias Carstens verrät uns, dass es voraussichtlich zur Musikmesse eine weiterentwickelte Variante des ADI-2 Pro mit dem Namen ADI-2 Pro FS geben wird. Die Version unterscheidet sich von der ersten Generation äußerlich nur in Details, nutzt aber intern die neue SteadyClock FS, mit Femto-Clock-Quarz als Taktgeber. Außerdem wird das neue Gerät auch die Möglichkeit bieten, die leuchtenden Bedienelemente des Gerätes abzuschalten, wobei hier der Power-Taster immer aktiv bleibt. ADI-2 Pro FS löst den Vor-

gänger ab und wird zum gleichen Preis angeboten; ein fließender Übergang. Genauere Details werden auf der Frankfurter Musikmesse im April bekannt gegeben.

Seit dem Test des ADI-2 Pro wurde die Firmware des Gerätes außerdem mehrfach aktualisiert. Damit wurden nicht nur bekannte Fehler behoben, sondern auch weitere Funktionen implementiert. Die Erfahrungen aus den Geräten fließen also immer in das gesamte Portfolio zurück, solange sie sich per Software beeinflussen lassen. Eine Aktualisierung der Firmware lohnt sich auf jeden Fall.



beeinflussen. Die Ausnahme davon bildet die analoge Umschaltung zwischen den vier Referenzpegeln (siehe nächster Abschnitt). DSD war und ist ein kompromissbehaftetes Format und wird vermutlich im professionellen Bereich weiterhin ein absolutes Nischendasein führen, daran kann auch ein ADI-2 DAC nicht viel ändern.

## Wandler und Technik

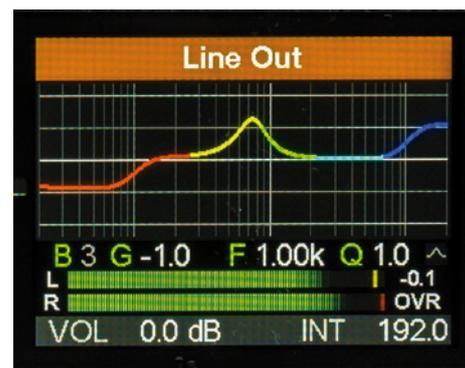
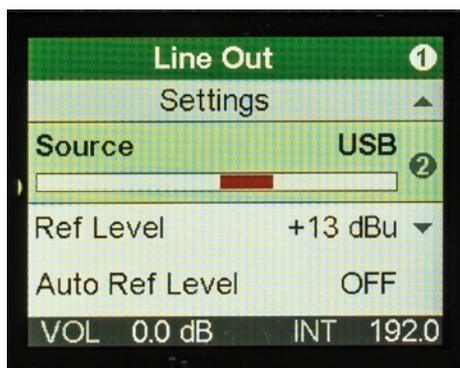
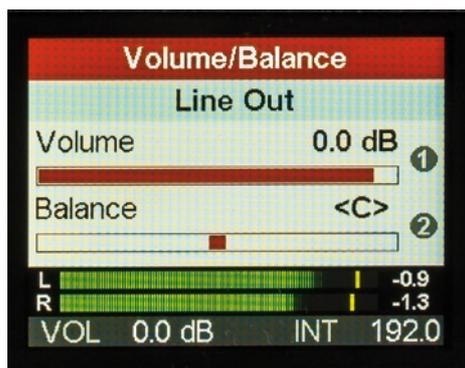
Der Großteil der umfangreichen Funktionalität des Gerätes, bis hinab zur Lautstärkeanpassung, wird auf einem digitalen Signalprozessor (DSP) von Texas Instruments und einem FPGA (Field Programmable Gate Array) von Xilinx gerechnet. Die Änderungen wirken sich also auf das Signal aus, bevor es den eigentlichen Wandlerchip erreicht. Als D/A-Wandler kommt übrigens mit dem AK4490EQ ein hochwertiges Zweikanalmodell von AKM zum Ein-

satz. Dies hat als Konsequenz, dass sich sämtliche Signalanpassungen immer gemeinsam auf die symmetrischen und unsymmetrischen Line-Ausgänge sowie auch die Kopfhörer auswirken. Einzige Ausnahme von diesem Prinzip stellt der analoge Bezugspegel dar. Er kann zwischen den Werten +19 dBu, +13 dBu, +7 dBu und +1 dBu (am unsymmetrischen Ausgang jeweils 6 dB geringer) gewählt werden, alle anderen Werte werden digital gerechnet. Die Umschaltung erfolgt über Relais und dient der Optimierung des Signal-Rauschabstands (SNR). Üblicherweise setzt der Anwender den für ihn passenden Wert für den maximalen Ausgangspegel und belässt ihn dabei. Mit ‚Auto Ref Level‘ bietet RME eine Funktion, die den analogen Ausgangspegel in Abhängigkeit von der eingestellten Wiedergabelautstärke anpasst. Das heißt, dreht man den Ausgang leiser, so wählt das Gerät automatisch den nächstliegenden analogen Ausgangspegelwert und optimiert so den SNR. Der dabei zwangsweise auftretende Lautstärkesprung wird im DSP verrechnet, so dass er am Line-Ausgang nicht hörbar wird. Da die Kopfhörerausgänge nicht mit einer analogen Pegelanpassung ausgestattet sind, hört man die Sprünge hier jedoch, wenn beide Ausgänge im Menü parallel aktiviert werden. Es empfiehlt sich daher eventuell, ‚Auto Ref Level‘ zu deaktivieren,

wenn man den Kopfhörer und die Line-Ausgänge gleichzeitig nutzt. Da das Gerät erkennt, wenn ein Kopfhörer angeschlossen wird, kann es im exklusiven Betrieb arbeiten und deaktiviert die Funktion in diesem Fall im Kopfhörerbetrieb. Das Gerät speichert sämtliche Einstellungen glücklicherweise separat für alle drei Ausgänge.

## Kopfhörer

Anders als beim ADI-2 Pro unterscheiden sich die beiden Kopfhöreranschlüsse des Gerätes voneinander. Die dahinterliegende Schaltung ist deutlich anders und ermöglicht es daher auch nicht, auf symmetrischen Kopfhörerbetrieb umzuschalten. Beim Phones-Ausgang handelt es sich um einen dem ADI-2 Pro sehr ähnlichen Kopfhörerverstärker, dessen maximale Verstärkung zwischen ‚Lo-Power‘ und ‚Hi-Power‘ umgeschaltet werden kann. Hier arbeiten insgesamt sechs Operationsverstärker zusammen und treiben den Ausgang mit hoher Leistung. Wegen der hohen Leistung wurden hier auch diverse Schutzschaltungen integriert, die den Kopfhörer und den Verstärker im schlimmsten Fall vor Zerstörung bewahren sollen. Dazu gehören eine Strombegrenzung, eine Gleichstromabschaltung und natürlich ein Kurzschlusschutz. Der IEM-Ausgang hingegen ist auf den Antrieb von In-Ear-Monitoren ausgelegt. Solche Kopfhörer bekommen auch im Hi-Fi- und Studiobereich eine immer größere Bedeutung und erfreuen sich wachsender Beliebtheit. IEM unterscheiden sich von außenliegenden Kopfhörern deutlich durch ihre vielfach kleineren Treiber, die oft einen sehr hohen Wirkungsgrad aufweisen. Grob kategorisiert weisen IEM eine meist deutlich kleinere Impedanz auf, als ihre großen Geschwister. In der Konsequenz sollte ein IEM-Verstärker also ein sehr niedriges Eigenrauschen aufweisen, muss dafür jedoch nicht so hohe Leistungen aufbringen, was auch einen gewissen Schutz des Gehörs gegen extreme Überpegel bietet. Genau dies sind die Krite-



rien des IEM-Ausgangs am ADI-2 DAC. Hier arbeitet eine auf einem extrem hochwertigen Operationsverstärker basierende Schaltung, die bei (im Vergleich zum Phones-Verstärker) kleiner Ausgangsleistung eine sehr hohe Rauscharmut bietet. Durch die geringen Ströme und die hohe Kurzschlussfestigkeit des Verstärkers selbst, konnte bei diesem Ausgang auf jegliche Schutzschaltungen verzichtet werden.

## SteadyClock FS

Zur Taktung setzt RME mit SteadyClock ein seit vielen Jahren bewährtes System ein. Bei SteadyClock hängen die Takteingänge des Systems nie direkt an den Taktquellen. Egal, ob diese Quelle ein externer Takt, kommend von einem digitalen Audiointerface oder Wordclock-Eingang, oder der interne Quarzoszillator ist. Die Taktquelle ist mit dem Wandler immer nur indirekt, über eine sogenannte PLL, gekoppelt. Diese Abkürzung steht für ‚Phase Locked Loop‘, zu Deutsch ‚Phasenregelschleife‘. Ihre Aufgabe ist es, zwei Schwingungen in ihrer Frequenz anzugleichen und in der Phasenlage zueinander zu verriegeln. Die Schaltung sorgt vereinfacht gesagt dafür, dass die Flanken beider Signale zum gleichen Zeitpunkt auftreten; der interne Referenztakt rastet also auf den zugeführten ein. Ist dies passiert, so bezieht sich das Ausgangssignal in Frequenz und Phasenlage auf den Eingang, ohne direkt mit ihm gekoppelt zu sein. Tatsächlich lassen sich so auch synchrone Vielfache der Taktfrequenz erzeugen, denn technisch gese-

hen arbeiten Wandler gar nicht mit der eingehenden Abtastrate von zum Beispiel 44,1 kHz oder ihren Varianten, sondern deutlich höheren Frequenzen. Innerhalb der Regelschleife von SteadyClock arbeiten Filtermechanismen, die eine Übertragung von Frequenzen abseits der Grundschwingung, also implizit den Jitter, hochgradig dämpfen. Der große Vorteil dieses Verfahrens besteht also darin, dass die Taktung des Systems nicht den Störungen des eingehenden Taktsignals ausgeliefert ist, sondern immer an der sauberen Schwingung des von der PLL gesteuerten Oszillators hängt. Am Ende bleibt fast nur der eigene Jitter der Schaltung übrig, dessen Größenordnung und Frequenzverteilung bei der SteadyClock-Schaltung vernachlässigbar ist. Mehr Informationen zum Thema Jitter finden sich übrigens in Heft 12/17. Wie erwähnt, hängt der Systemtakt immer am Ausgang der SteadyClock, egal ob sein Bezug extern zugeführt wird oder aus einem internen Taktgeber stammt. Ein klanglicher Einfluss der externen Taktung gegenüber dem internen Oszillator schließt sich damit aus. Trotz der bewährten Idee hat sich RME nun entschlossen, mit SteadyClock FS noch einen technischen Schritt weiter zu gehen. Der verbaute Referenzoszillator nutzt nun einen neuen, modernen Chip, dessen intrinsischer Jitter im Bereich einiger hundert Femtosekunden (ca. 0,000 000 000 000 5 s) liegt. Dies hat den Vorteil, dass der am Ausgang der SteadyClock FS-Schaltung anliegende Jitter deutlich unterhalb dessen liegt, was die vorherige Generation zu leisten imstande war. Man sollte sich

hier von der Femto-Größenordnung nicht verwirren lassen, der reale Jitter liegt hinter der PLL trotzdem im unteren Picosekundenbereich, wo er jedoch bereits vollkommen unkritisch ist. Ob sich eine solche Verbesserung klanglich überhaupt bemerkbar macht, darf skeptisch betrachtet werden. Darin stimmte uns Chefentwickler Matthias Carstens durchaus zu. Auf der anderen Seite ist die Verbesserung messtechnisch sehr gut nachzuvollziehen und es geht bei der Klangqualität am Ende immer um ein Gesamtpaket. Die Leistungsfähigkeit jedes Systems wird von seinem schwächsten Glied bestimmt, es ist also immer sinnvoll, die einzelnen Funktionsblöcke von den qualitätsbeeinflussenden Grenzwerten fernzuhalten. Mit SteadyClock FS hat RME nun auch bei der Taktung wieder reichlich Abstand gewonnen.

## DSP-Funktionen

Die integrierte Signalverarbeitung ermöglicht es, diverse Funktionen zu realisieren, die in einem konventionellen DAC oder Kopfhörerverstärker nicht zur Verfügung stehen. Da wir darauf bereits im ADI-2 Pro intensiv eingegangen sind, seien die meisten davon hier nur kurz angerissen. So wird die Lautstärke nach dem Aufschalten eines Ausgangs mit einem kurzen Fade auf Vollpegel gebracht, damit der Hörer zum Beispiel Zeit hat, den Kopfhörer abzunehmen, wenn er bemerkt, dass die Lautstärke zu hoch eingestellt ist. Das System bietet drei unabhängige Prozesse zur Klanganpassung. Zunächst können die Höhen und Bässe über klassische Shelf-Filter angepasst werden. Ganz so, wie es

an den meisten HiFi-Verstärkern realisiert ist. Wer mehr Eingriff benötigt, kann auf einen vollparametrischen Fünfbandequalizer zurückgreifen. Natürlich können damit beide Kanäle unabhängig voneinander entzerrt werden, um zum Beispiel eine Raumentzerrung zu ermöglichen. Als dritte Filterstufe wurde eine sogenannte Loudness-Schaltung integriert. Hierbei werden die Bässe und Höhen angehoben, wenn die Wiedergabelautstärke reduziert wird. Eine solche Funktion kompensiert die pegelabhängige Wahrnehmung von Frequenzen im menschlichen Hörapparat. Diese Wahrnehmung wird im Allgemeinen anhand der sogenannten ‚Kurven gleicher Lautstärke‘ abstrahiert, die zuerst von Fletcher und Munson beschrieben wurden. Im ADI-2 DAC findet sich eine sehr clevere Realisierung der pegelabhängigen Filterung, bei der der Anwender zunächst seine minimale Abhörlautstärke („Low Vol Ref“) wählt und für diesen Wert die gewünschte Frequenzkompensation einstellt (maximal +10 dB in beiden Bändern). Für Werte oberhalb dieses Grenzfalles wird die Filterung verringert, bis sie schließlich bei 20 dB darüber gänzlich abgeschaltet wird. Unterhalb bleibt sie konstant. Eine weitere Funktion für die Kopfhörerwiedergabe ist das sogenannte Crossfeed. Hierbei werden die Signale der beiden Kanäle anteilig zusammengemischt, um die unnatürlich überbreite Stereobühne bei der Kopfhörerwiedergabe zu kompensieren. Die Kompensation ist dabei nicht breitbandig, sondern folgt einem Konzept, welches als Bauer-Binaural-Methode be-

zeichnet wird, zu dessen Entstehung leider nicht sehr viele Informationen im Internet verfügbar waren. Hierbei werden die Höhen beider Kanäle oberhalb einer Grenzfrequenz von 650 oder 700 Hz in fünf wählbaren Stufen gemischt, wobei die kleinste Stufe den jeweils anderen Kanal mit -13 dB beimischt, während die höchste Stufe nur noch 3 dB dämpft und damit sehr deutlich wahrnehmbar ist. Der DSP kann noch weitere Funktionen bereitstellen. Dazu gehören eine M/S-Schaltung, Stereobasisbreitenregelung, Monoschaltung und Polaritätstausch. Außerdem werden hier die Pegel für die Aussteuerungsmesser und ein 30-Band-Analyser auf dem eingebauten Display errechnet.

## Digicheck

Wer bei der Messung noch genauer hinschauen möchte, der greift zu Digicheck. Es ist nur fair, auch beim ADI-2 DAC auf Digicheck hinzuweisen, denn schließlich handelt es sich dabei um ein ausgewachsenes Messsystem mit zahlreichen Zusatzfunktionen, wie zum Beispiel einer Recorder-Applikation für Aufnahmen ohne DAW. Digicheck stellt ausführliche Pegelmessungen, inklusive einer Loudness-Messung nach EBU und ITU, Frequenz-Analyser, Goniometer und Surround-Phasenplot bereit. Die Messdaten stammen direkt aus dem FPGA des Gerätes, wurden also an exakt den Signalen gemessen, die auch den Wandler ‚befeuern‘. Die Ergebnisse sind sehr präzise und enorm hilfreich. Digicheck ist mit Recht für

viele Anwender seit Jahren mehr als nur eine Softwarezugabe. In Verbindung mit einem PC kann Digicheck sowohl die an den ADI-2 DAC per USB gesendeten Wiedergabesignale, als auch die digitalen Eingänge messen. Die Version für den Mac kann derzeit leider nur die Eingänge, prinzipbedingt mit dem Class Compliant-Treiber, aber nicht die Wiedergabewege überwachen.

## Messtechnik

Nach den Ergebnissen des ADI-2 Pro erwarten wir auch diesmal natürlich hervorragende Messungen und, es ist wohl keine besonders große Überraschung, diese wurden natürlich auch erfüllt. Unser Audio Precision APx555 verriet uns Ergebnisse, die alle perfekt zu den Herstellerangaben passten oder diese sogar ein wenig übertrafen. Auch diesmal beginnen wir mit den Amplituden- und Phasenfrequenzgängen bei 48 kHz Abtastrate, abgebildet in Diagramm 1. Wie erwartet, zeigen sich hier keine Besonderheiten, weshalb wir lieber auf die Details schauen. Das Rekonstruktionsfilter des D/A-Wandlers lässt sich zwischen fünf Varianten umschalten. Jeweils zwei lautenarme IIR-Filter mit weicherer (Slow) und schärferer (Sharp) Flanke, sowie die entsprechenden FIR-Varianten mit gleicher Charakteristik, ohne Phasenveränderung, dafür mit erhöhter Durchlaufzeit. Ihre Frequenzgänge sind in Diagramm 2 abgebildet. Hinzu kommt ein sogenanntes NOS-Filter, welches ohne Überabtastung arbeitet und einen deutlich wei-



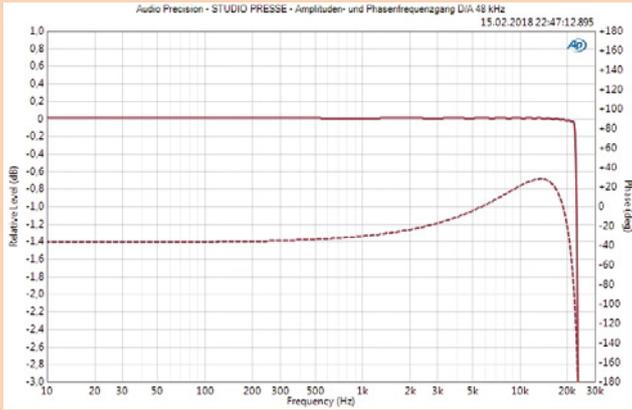


Diagramm 1: Amplituden- (solide) und Phasenfrequenzgang (gestrichelt) bei 48 kHz, Filter SD Sharp

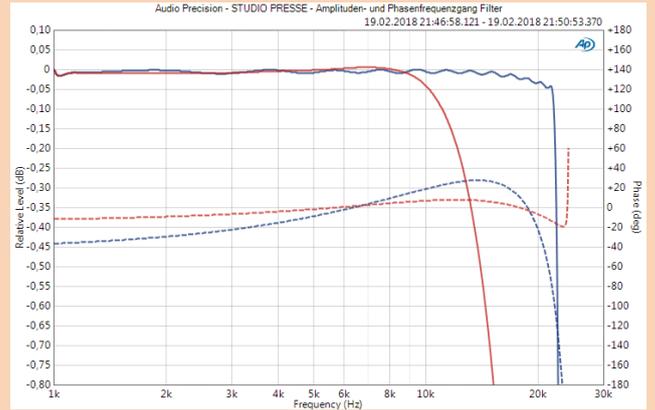


Diagramm 2: Filter SD Sharp (blau) und SD Slow (rot), Amplituden- (solide) und Phasenfrequenzgang (gestrichelt). Die FIR-Varianten gleichen den gezeigten Filtern im Amplitudenfrequenzgang, weisen jedoch keine Phasenveränderung aufbringen

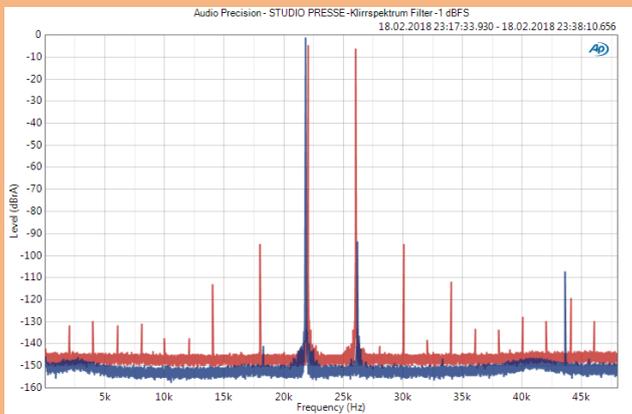


Diagramm 3: Störungsspektrum bei 22 kHz Stimulus, Filter SD Sharp (blau) und NOS (rot)

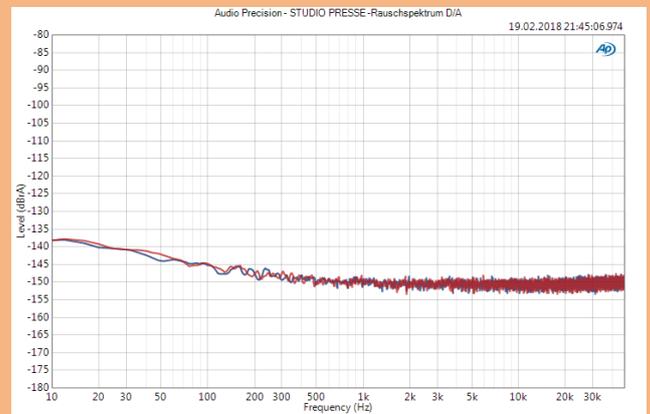


Diagramm 4: Sauberes Rauschspektrum des D/A-Wandlers am symmetrischen Line-Ausgang

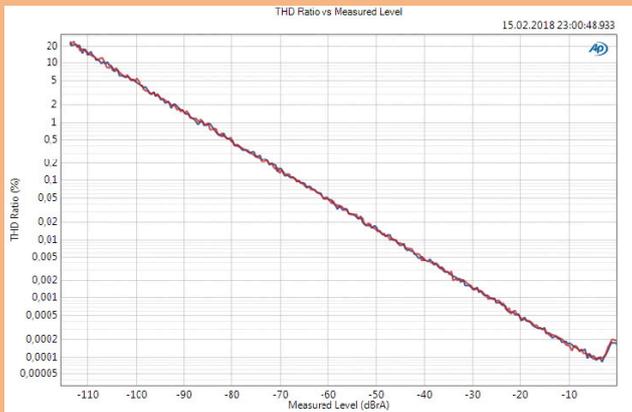


Diagramm 5: Verlauf des THD bei 1 kHz über den Eingangspegel am symmetrischen Line-Ausgang

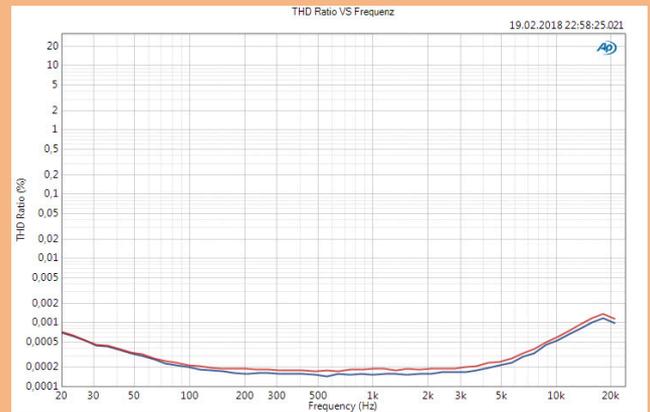


Diagramm 6: THD über die Frequenz bei Vollasssteuerung am symmetrischen Line-Ausgang

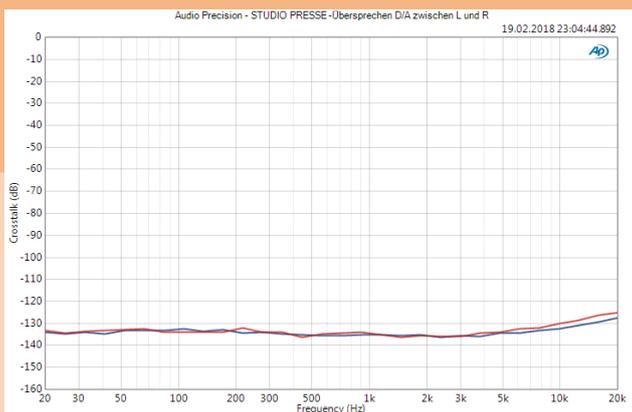


Diagramm 7: Kein Übersprechen zwischen den Kanälen am Line-Ausgang

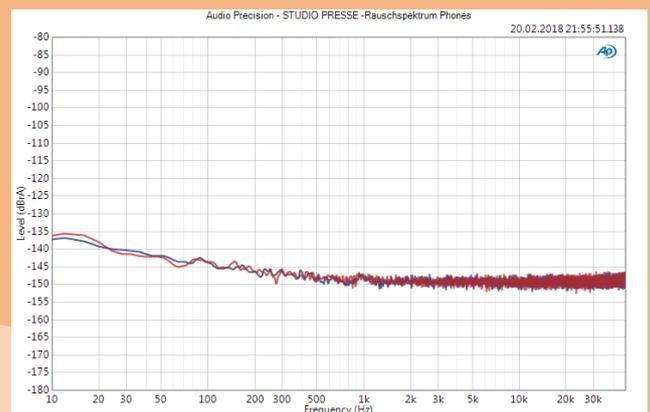


Diagramm 8: Rauschspektrum des Phones-Ausgangs im Lo-Power-Betrieb

chere Verlauf der Filterflanke aufweist. Von diesem Filter kann, zumindest aus messtechnischer Sicht, nur abgeraten werden. Wir haben uns einmal angesehen, wie sich das Filter bei der Dämpfung der Obertöne eines hochfrequenten Signals verhält. Diagramm 3 zeigt, dass das blau dargestellte Sharp-Filter eine deutliche Bedämpfung oberhalb der Nyquist-Frequenz von 24 kHz aufweist, während das NOS-Filter nicht nur viel weniger dämpft, sondern auch mehr Störungen unterhalb der Trigger-Frequenz erzeugt. Deren Pegel ist absolut gesehen noch immer gering, weshalb ihre Auswirkungen akustisch sicher meistens unkritisch bleiben. Hinzu kommt ein, gegenüber den anderen Filterarten, gesteigerter Rauschpegel. Einen guten Grund für die Verwendung des Filters sehen wir dadurch nicht gegeben. Weiter geht es mit dem Rauschen, wieder gemessen in der Filtereinstellung Sharp. Der Line-Out rauscht bei einem Referenzpegel von +19 dBu bei -98,3 dBu RMS ungewichtet (20 Hz bis 20 kHz). Der zugehörige Quasi-Peak-Messwert nach ITU-R BS.468-4 liegt bei -87,5 dBu und weist damit den erwarteten Abstand für ein ausgeglichenes Rauschspektrum auf. Tatsächlich ist das Rauschspektrum absolut störungsfrei, wie uns Diagramm 4 bestätigen kann. Damit ergibt sich ein Signal-Rausch-Abstand (SNR) von guten 117,3 dB. Der SNR sinkt bei den kleineren Bezugspegeln nur wenig ab. Bei +13 dBu erreicht er 117 dB, bei +7 dBu 116,5 dB und bei +1 dBu noch 114,5 dB (alle Angaben RMS ungewichtet, 20 Hz bis 20 kHz, am symmetrischen Ausgang). Übrigens sind die im Display gezeigten Referenzpegel um 6 dB kleiner als die realen Werte am XLR-Ausgang, da sie sich auf die Cinch-Ausgänge beziehen, die tatsächlich nur geringere Pegel ausgeben können. Spannend wird es bei den Klirrmessungen, denn hier übertrifft sich der Wandler selbst ein wenig. Der gemessene THD+N bei 0 dBFS liegt mit 0,00021 % (Durchschnitt beider Kanäle) gut 1 dB besser als die Herstellerangabe des ty-

pischen Wertes des Chips. Schaut man nur auf den THD, so liegt dessen Wert bei 0 dBFS unter 0,00016 %. Der kleinste Wert für THD liegt bei -3 dBFS und fällt hier unter 0,000072 %. Diagramm 5 zeigt den Verlauf des THD über den Eingangspegel. Die wirklich gute Klirrarbeit des Gerätes könnte aus einem positiven Zusammenspiel des Wandlers mit der analogen Ausgangsstufe stammen, bei der sich bestimmte Klirrprodukte gegenseitig kompensieren. Solche Verfahren zur Klirrkompensation werden auch von anderen Herstellern genutzt. Den Abschluss der Klirrmessungen übernimmt diesmal die Betrachtung des THD über die Frequenz bei Vollaussteuerung. Das Diagramm 6 zeigt den hervorragenden Verlauf, der erst zu den extremen Rändern leicht ansteigt. Das Übersprechen zwischen den Kanälen ist perfekt und in Diagramm 7 abgebildet. Damit kommen wir zum ersten Kopfhörerausgang, der als ‚Phones‘ gekennzeichnet ist. Gemessen wurde wie immer mit einem Lastwiderstand von 30 Ohm. Im Hi-Power-Modus erreicht der maximale Ausgangspegel +18,22 dBu bei 1 kHz. Der maximale Eingangspegel darf in diesem Fall -3,7 dBFS betragen. Der Verstärker gibt damit eine maximale Leistung von 1,33 Watt ab. Das ist mehr als reichlich, wobei auch diesmal noch ein Fünkchen mehr gegangen wäre, wenn wir mit unserer Messung dadurch nicht zu nah an die Strombegrenzungsschaltung gekommen wären. Der Verstärker ist extrem klirrarm und weist bei maximaler Ausgangsleistung einen THD+N von nur 0,00024 % auf. Das Rauschen des Hi-Power-Modus liegt bei -95,4 dBu RMS ungewichtet (20 Hz bis 20 kHz), womit sich ein sehr guter Dynamikumfang von 113,6 dB ergibt. Im Lo-Power-Betrieb erreicht der maximale Ausgangspegel, dann für 0 dBFS, +6,93 dBu und liefert damit eine maximale Ausgangsleistung von fast exakt 100 mW. Unter dieser Leistung erreicht auch hier THD+N hervorragende 0,00027 % und ist damit sogar noch etwas besser als beim ADI-2 Pro. Allerdings können in

diesem Bereich leichte Exemplarschwankungen natürlich nicht ausgeschlossen werden. Das Rauschen liegt bei -109 dBu RMS ungewichtet (20 Hz bis 20 kHz), womit sich auch hier ein sehr guter Dynamikumfang von 115,9 dB ergibt. Das Diagramm 8 zeigt das perfekt saubere Rauschspektrum unter Vollverstärkung. Damit kommen wir zum Abschluss noch zu den Vergleichswerten des IEM-Ausgangs, der mit einer technisch anders realisierten Ausgangsstufe arbeitet. Eine kurze Recherche zum Thema In-Ear-Kopfhörer zeigte, dass Modelle aus dem Hi-Fi-Bereich eher niederohmiger als Varianten für den Bühnen- oder Studioeinsatz arbeiten. Insgesamt lag die Impedanz bei sechs von uns als Stichprobe recherchierten Modellen zwischen 16 und 39 Ohm. Der Grund könnte darin liegen, dass man im heimischen Wohnzimmer die maximale Lautstärke ausreizen möchte, während im professionellen Einsatz die Betriebssicherheit im Vordergrund steht. Höhere Impedanzen belasten den Verstärker nicht so stark und verringern dadurch das Störungsrisiko. Mit unserer Messmethodik bei 30 Ohm liegen wir für beide Gruppen gar



nicht falsch. Das ist auch gut für die Vergleichbarkeit der Messergebnisse. Der maximale Ausgangspegel des IEM-Ausgangs liegt bei -3,07 dBu. Unter 30 Ohm Last ergibt sich damit eine Ausgangsleistung von knapp 10 mW. Die Rauscharmut des Ausgangs ist sehr hoch, denn der Rauschpegel liegt bei extrem niedrigen -116 dBu RMS ungewichtet (20 Hz bis 20 kHz). Matthias Carstens zeigte sich vom Ergebnis fast ein wenig enttäuscht, konnte er doch bei seinen Messungen sogar noch etwas mehr herauskitzeln. Allerdings ist der von uns gemessene Wert hervorragend, so dass man sich hier keine Sorgen machen muss. Damit ergibt sich ein sehr guter Signal-Rauschabstand von knapp 113 dB. Bei IEM ist das geringe Rauschen sehr wichtig, denn durch die Abschottung zum Außengeräusch nimmt man hier leichter feinste Nuancen wahr. Bei den Verzerrungsmessungen erreicht der IEM-Ausgang mit 0,00027 % THD+N die gleichen Werte wie der Phones-Ausgang. Schaut man isoliert auf den Klirranteil, so zeigt sich auch hier, dass der niedrigste Wert bei -3 dBFS liegt und dann 0,00015 % THD erreicht. Damit können wir das Fazit für die technische Bewertung ziehen und das ist ohne Einschränkung herausragend, oder ganz flapsig ausgedrückt: das Ding rauscht nicht, das Ding brummt nicht, das Ding klirrt nicht.

## Praxis und Hören

Während des Testzeitraums kamen zwei glückliche Umstände zusammen, die mir bei der Qualitätsbewertung des Wandlers enorm helfen konnten. Zunächst wurde der Tausch aller Elko- und Tantalkondensatoren unserer Telefunken M15A Bandmaschine rechtzeitig fertig. Zum anderen lag gerade ein schönes Master-Band aus den frühen 1980er Jahren vor, welches zur Digitalisierung übersendet wurde. Damit war der erste Versuch ein Vergleich zwischen der Premium D/A-Karte unseres Referenzwandlers Merging Hapi und dem ADI-2 DAC, mit ei-

ner Quelle, die noch nie zuvor eine Digitalwandlung erfahren hatte. Als A/D-Wandler kam ebenfalls unser hauseigener Hapi zum Einsatz, der zu den neutralsten Wandlern am Markt gehört und parallel auf beide D/As geschickt wurde. Der Vergleich erfolgt mit präzise abgeglichen Pegeln über eine analoge Umschaltung am Funk MTX-Abhörcontroller. Wie erwartet, und auch in ähnlicher Form beim ADI-2 Pro bereits erlebt, war es extrem schwierig bis unmöglich die beiden Signale voneinander zu unterscheiden. Bei manchen Signalen ergaben sich minimale Unterschiede in der Vorn-Hinten-Lokalisation, wobei eine qualitative Einordnung kaum möglich war. Auch der Vergleich mit dem analogen Original lies mal den einen, mal den anderen Wandler ein My näher am Original erscheinen. Ich möchte hier betonen, wie klein die Unterschiede sind. Beide Wandler liefern ein fast nicht vom Original zu unterscheidendes Ergebnis. Das Qualitätsniveau ist enorm. Auch im längerfristigen Hören schneidet der ADI-2 DAC hervorragend ab. Ich kenne meine Abhörkette sehr gut und bin an meinen Hapi gewöhnt, konnte aber bei der Umschaltung auf den RME keine Veränderung wahrnehmen. Die Signale sitzen gleich präzise im Stereobild, sind spektral extrem ausgeglichen und fein zeichnend. Auch die Dynamik ist hervorragend abgebildet, ohne dass leise Details verdeckt oder in irgendeiner Weise unterschlagen würden. Der ADI-2 DAC zeigt sich ohne Einschränkung als Referenzgerät und folgt damit dem Urteil des ADI-2 Pro. Einzig der Verzicht auf höhere Ausgangspegel von +22 oder +24 dBu stellt für den professionellen Betrieb eine kleine Einschränkung dar. Wechselt man vom analytischen Hören in den Hörerlebnis, so hat man besonders viel Freude an den zusätzlichen Funktionen, allen voran der Loudness-Schaltung oder einer geschmacklichen Anpassung über die Shelf-Filter. Wichtig für den Abhörbetrieb sind auch die Standardfunktionen zum Mono Hören und dem Polaritätstausch, bequem per Fern-

bedienung zu erledigen. Exklusiv über die Fernbedienung lässt sich auch ein 20 dB DIM aktivieren. Damit kommen wir zu den Kopfhörerverstärkern. Als Testgeräte kamen hier ein Audeze LCD-2, ein Sennheiser HD-25 und verschiedene ‚Ohrstecker‘ mittlerer Qualität zum Einsatz. Um die Pegel vergleichen zu können, wurden die Verstärker alle mit einem Messmikrofon in ihrem absoluten Pegel bei 1 kHz abgeglichen. Die Kopfhörer waren also an allen Verstärkern exakt gleich laut. Im ersten Test musste sich der Phones-Ausgang beweisen. Zum Vergleich wurde der eingebaute Kopfhörerverstärker des Funk MTX herangezogen (Test in Heft 01/17). Der D/A-Wandler des ADI-2 DAC versorgte dabei nicht nur den eigenen Verstärker, sondern auch den Funk, um die Vergleichbarkeit so hoch wie möglich zu halten. Der Verstärker des ADI-2 DAC erreicht eine höhere Ausgangsleistung, was aber für den praktischen Test keine Rolle spielt, da meine Ohren die entsprechenden Schalldruckpegel gar nicht ertragen könnten. Ich habe mich also deutlich unterhalb der Vollaussteuerung bewegt. Auch bei diesem Test sind die Unterschiede in der Qualität extrem gering. Es fällt auch auf, dass beide Verstärker die Kopfhörer ähnlich ‚anfassen‘. Bei vielen einfachen Kopfhörerverstärkern merkt man sofort einen Unterschied in der spektralen Balance, wenn man zwischen mehreren wechselt. Dadurch ist man sich nie sicher, welches Ergebnis eigentlich das richtigere ist. Solche Unterschiede sucht man beim ADI-2 DAC und dem Funk MTX vergeblich, was das hohe Niveau der beiden Schaltungen hervorragend illustriert. Man kann auch sagen, zweimal richtig auf diesem Qualitätslevel ist mit Sicherheit richtig richtig. Ein extrem gutes Gefühl, sich auf die eingesetzten Werkzeuge voll verlassen zu können! Gespannt war ich bei der Nutzung des IEM-Ausgangs. Leider steht mir kein High-End-In-Ear-System zur Verfügung, sondern nur einfache ‚Ohrstecker‘. Natürlich lässt sich der Pegel am IEM-Anschluss nicht so weit aufdrehen,



wie dies am Hi-Power-Ausgang möglich ist, allerdings setzt auch hier das Gehör die natürliche Schmerzgrenze rechtzeitig. Ein Rauschen lässt sich weder beim IEM- noch beim Phones-Ausgang im Lo-Power-Modus feststellen. Mit Konzentration und unter guten Umgebungsbedingungen lässt es sich aber im Hi-Power-Modus wahrnehmen. Hier kann der IEM-Ausgang seine Stärken ausspielen, allerdings werden bei vielen Kopfhörern sicher keine Unterschiede zwischen Lo-Power am ‚großen‘ Verstärker und dem IEM-Verstärker auftreten. Ein qualifizierter Klangunterschied zwischen den beiden Verstärkern zeigt sich bei unseren einfachen In-Ear-Kopfhörern nicht. Das Urteil des ‚großen‘ Verstärkers gilt also auch ohne Einschränkung für den

IEM-Anschluss. Letzterer macht übrigens auch mit normalen Kopfhörern eine gute Figur, wenn die Leistung reicht.

## Fazit

Der Marktpreis des ADI-2 DAC liegt derzeit bei 999 Euro, bereits inklusive Mehrwertsteuer. Zu diesem Kurs bekommt man das Paket aus D/A-Wandler, Fernbedienung und Netzteil. Vor allem aber bekommt man zu diesem Kurs ein sehr gutes Gerät, welches sich als echte Referenz anbietet und ein kompromissloses Arbeitstier darstellt. Ein hervorragender D/A-Wandler mit zwei ebenso überzeugenden Kopfhörerverstärkern für unter 1.000 Euro ist eine Ansage. RME führt damit den Vorstoß in die High-End-

HiFi-Liga konsequent und sinnvoll fort, bleibt sich dabei treu und im für die Firma üblichen Preisrahmen. Man will damit vielleicht auch zeigen, dass sich ein Gerät auf dem Boden fundierter Entwicklungsarbeit bewegen kann, ohne esoterische Pseudo-Argumente anführen zu müssen, und sich trotzdem (oder gerade deshalb) für den anspruchsvollen Hörermarkt anbietet. Im Studio macht der ADI-2 DAC eine hervorragende Figur und ergänzt seinen ‚großen Bruder‘ ADI-2 Pro ideal, wenn keine A/D-Wandlung benötigt wird. Von uns gibt es dafür eine absolute Empfehlung. Der ADI-2 DAC ist ein hervorragendes Gerät und reiht sich in seiner Kategorie ganz vorne ein, unabhängig vom Preissegment. Tolle Arbeit!

# PLUG<sup>n</sup>PLAY PLUS



## Fireface UFX+

188 I/O-Kanäle, Thunderbolt Kompatibilität, USB 3 und MADI vereint in einem 19-Zoll-Gehäuse, kombiniert mit RME's einzigartiger latenzfreier Hardware- und Treibertechnik. Das perfekte Herzstück für jedes Mehrspur-Studio ohne Einschränkungen für Mac, PC und iOS Systeme.



Exklusiver Vertrieb: Audio AG, +49 (0) 8133 91 81-0, [www.audioag.de](http://www.audioag.de)  
[www.rme-audio.de](http://www.rme-audio.de)