



# Kopfhörer

**Wer sich vor dem Kauf oder einfach nur aus Interesse dem Themengebiet der Kopfhörer widmet, stößt in Internetforen auf teils vogelwilde Mythen. Damit räumen wir auf und führen echte Fakten auf.**

Von Konstantin Davy

## Kopfhörer zu leise

**?** Meine neuen Kopfhörer erklingen an meinem Smartphone selbst mit der höchsten Lautstärke vergleichsweise leise. Woran liegt das?

**!** Wie laut ein Kopfhörer Musik wiedergibt, hängt maßgeblich von zwei Faktoren ab: seinem Wirkungsgrad sowie der Leistung, die ein Verstärker abgeben kann. Der Wirkungsgrad wird in Dezibel pro Milliwatt (dB/mW) gemessen, und gibt an, wie effizient die elektrische Leistung in akustische Leistung umgewandelt werden kann. Beim Wirkungsgrad spielt die Impedanz – gemessen in Ohm – eine Rolle. Dieser Wert allein reicht aber nicht aus um zu bewerten, wie laut ein Kopfhörer maximal sein kann. Auch Kopfhörer mit hoher Impedanz können einen hohen Wirkungsgrad haben und umgekehrt. Beispielsweise ist der Wirkungsgrad auch proportional zur Membranfläche und der Feldstärke im Magnetspalt, durch den sich die Spule bewegt, und umgekehrt proportional zur bewegten Masse, Steifigkeit der Sicke und gesamter Dämpfung.

Warum derselbe Kopfhörer an unterschiedlichen Quellen unterschiedlich laut klingt, liegt aber ausschließlich an der Quelle, genauer gesagt an deren Verstärker. Nicht jeder Verstärker gibt die gleiche Spannung ab, wenn der Lautstärkeregel voll aufgedreht ist. Am Smartphone-Kopfhörerausgang sind das normalerweise weniger als 1 Volt. Während Desktop-Kopfhörerverstärker wie der RME ADI-2 DAC FS (Test siehe c't 16/21 S.86) deutlich mehr – manchmal über 10 Volt – abgeben können. Wenn die Spannung also beispielsweise doppelt so groß ist ( $U = 2 \cdot U_{ref}$ ), steigt der Lautstärkepegel um 6 dB an:  $20 \cdot \log_{10}(2) = 6 \text{ dB}$

Warum klingt der neue Kopfhörer am Smartphone also leise? Weil der Verstärker im Smartphone nicht genug Spannung abgibt, um einen Kopfhörer mit diesem Wir-

kungsgrad auf einen ausreichend hohen Schalldruck zu bringen: Der Wirkungsgrad des Kopfhörers ist für diesen Verstärker zu niedrig.

## Voller Klang erst nach 120 Stunden Einspielzeit?

**?** Ich lese immer wieder etwas von Burn-in bei Kopfhörern? Was bedeutet das?

**!** Mit „Burn-in“ wird – etwas unwissenschaftlich – das Phänomen bezeichnet, dass sich gewisse, akustisch relevante Materialeigenschaften mit der Zeit ändern. In einschlägigen Internetforen geistert die Meinung herum, dass sich diese Abnutzungserscheinungen ausschließlich positiv auf den Klang auswirken sollen: Man müsse einen Kopfhörer zuerst für dutzende Stunden einspielen lassen, bevor er richtig gut klänge; so die Hypothese.

Während sich manche Parameter wie Steifigkeit der Membranaufhängung zwar durchaus verändern, ist dies bei Kopfhörern für gewöhnlich vernachlässigbar. Denn anders als bei Lausprechern kommt die Konstruktion in Kopfhörern durch den vergleichsweise geringen Membranhub ohne dedizierte Membranaufhängung und Zentrierspinne aus.

Die Kopfhörer-Experten der Online-Plattform Rtings.com haben versucht, das Burn-in-Phänomen zu messen. Dafür haben sie die vier Kopfhörer AKG Q701, Audeze LCD-2C, Beyerdynamic DT1770 und Etymotic HF5 über mehrere Tage hin abwechselnd mit Musik bespielt und akustische Messungen – Amplituden- und Phasen-Frequenzgang sowie Verzerrungen – durchgeführt. Das Ergebnis: Es konnte selbst nach 120 Stunden kein statistisch signifikanter Unterschied im Klang nachgewiesen werden. Das Phänomen spielt somit – zumindest im Kopfhörer-Audiodbereich – keine Rolle.

Woher kommen aber die Erfahrungsberichte, dass ein Kopfhörer mit der Zeit anders und besser klingt? Hier haben wir es mit einer Eigenheit des menschlichen Gehirns zu tun, der so genannten synaptischen Plastizität. Das heißt, dass sich das Gehirn mit der Zeit auf neue Reize einstellt. Scherzhaft wird dies manchmal als „Mental Burn-in“ bezeichnet: Nicht der Kopfhörer ist es, der den Klang ändert, sondern unser Gehirn nimmt den Klang nach und nach anders wahr.

## Ohrpolster tauschen

**?** Wann sollte ich alte Polster bei einem Kopfhörer wechseln und welchen Einfluss hat das auf den Klang?

**!** Ohrpolster sind prinzipiell Verschleißteile. Bei manchen Kopfhörern halten die Ohrpolster Jahrzehnte, bei anderen Modellen sind beim täglichen Gebrauch bereits nach einem Jahr deutliche Klangunterschiede wahrnehmbar. Spätestens wenn sich der Schaumstoffkern zersetzt und die Ohrpolster flach werden, ist es Zeit, sie auszutauschen.

Wie sich alte Kopfpolster auf den Klang auswirken, ist ganz unterschiedlich. Bei manchen Kopfhörern ändert sich die Wiedergabe der hohen Frequenzen stark, bei anderen die Abstimmung des Bassbereichs. Der DT770 von Beyerdynamic verliert mit zwei Jahre alten, stark gebrauchten Polstern einiges an Druck im Bass.

Vorsicht ist geboten, wenn Ohrpolster von anderen Herstellern verwendet werden: Polster, die von außen sehr ähnlich aussehen, können sich akustisch völlig anders verhalten (siehe Abbildung rechts). Unterschiede in der Perforierung, im Strömungswiderstand des Bezugs und der Festigkeit der Ohrpolster sind mit bloßem Auge kaum zu erkennen. Wer ganz sicher gehen will, dass der vom Hersteller beabsichtigte Klang unverändert bleibt, der

sollte immer zu originalen Ersatzzohrpols-tern greifen.

## Externer D/A-Wandler zwingend notwendig?

**?** Ich stolpere immer wieder über die Aussage, dass die D/A-Wandler in vielen PCs und Smartphones nicht gut sind und man für die optimale Klangqualität einen externen D/A-Wandler einsetzen soll. Stimmt das?

**!** Die größten Probleme von Wandlern und Verstärkern in Smartphones und PC-Motherboards sind das Eigenrauschen und eine oft nicht ausreichend hohe maximale Leistungsabgabe. Zwar ist auch der Innenwiderstand des Verstärkers wichtig, dieser ist heutzutage aber für gewöhnlich unter 1 Ohm und damit deutlich niedriger als der Lastwiderstand der Kopfhörer, sodass der Frequenzgang nicht verbogen wird. Ein zu hohes Eigenrauschen würde die Klangqualität senken, indem leise Details in der Musik maskiert und überlagert werden.

Geräte mit hörbar zu hohem Eigenrauschen sind mittlerweile aber die Ausnahme: Von c't durchgeführte Tests attestieren selbst vergleichsweise schlechten D/A-Wandlern einen völlig ausreichenden Signal-Rauschabstand von jenseits 95 dB. Eine zu geringe maximale Leistungsabgabe führt dazu, dass Kopfhörer mit niedrigem Kennschalldruck nicht auf ausreichend hohe Lautstärken angetrieben wer-

den können. Der Kopfhörer ist dann zu leise.

Wenn das Eigenrauschen der Elektronik nicht hörbar ist, die Lautstärke ausreichend und der Innenwiderstand (siehe Datenblatt Verstärker) um mindestens eine Zehnerpotenz kleiner ist als der Lastwiderstand des Kopfhörers (siehe Datenblatt), dann gibt es normalerweise keinen Grund, einen externen DAC oder Verstärker zu kaufen. Die verbleibenden Unterschiede – etwa durch die verwendeten Antialiasing-Filter (AA) – bewegen sich normalerweise unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle.

## Perfekte Stille

**?** Warum können Kopfhörer mit Noise-Cancelling-Funktion Außengeräusche nicht vollständig eliminieren? Im Flugzeug wird das Rauschen zwar effektiv gemindert, aber Stimmen hört man immer noch ziemlich gut.

**!** Aktive Rauschunterdrückung hat in der Theorie das Potenzial, Störgeräusche völlig zu eliminieren. Das hat in der Praxis aber Grenzen, abhängig von der Implementation der Rauschunterdrückung und der verwendeten Bauteile des Kopfhörers.

Das Grundprinzip von Noise Cancelling basiert darauf, Störgeräusche außerhalb des Kopfhörers mittels Mikrofonen aufzunehmen. Diese Aufnahme wird dann mit invertierter Phase von den Lautspre-

chern im Kopfhörer wiedergegeben und löscht sich mit dem Störgeräusch aus.

Kritisch sind dabei die folgenden Punkte: Die Hörmuscheln selbst dämpfen Störgeräusche bereits, besonders bei höheren Frequenzen. Die Störgeräusche, die von außen tatsächlich am Ohr ankommen, sind also akustisch gefiltert und der von den Mikrofonen aufgenommene Schall muss auf möglichst gleiche Art elektronisch gefiltert werden.

Außerdem treffen Störgeräusche von außen das Mikrofon nicht zum exakt selben Zeitpunkt wie das Trommelfell, die Aufnahme muss also um einige dutzend Mikrosekunden verzögert wiedergegeben werden. Der ideale Wert dafür ändert sich abhängig vom Winkel, mit dem die Geräusche am Kopf eintreffen. Im Allgemeinen treffen Störgeräuschen von mehreren Seiten gleichzeitig ein, dies limitiert die maximale Auslöschung besonders bei hohen Frequenzen, bei denen ein geringer Zeitunterschied schon einen hohen Unterschied in der Amplitude ausmacht.

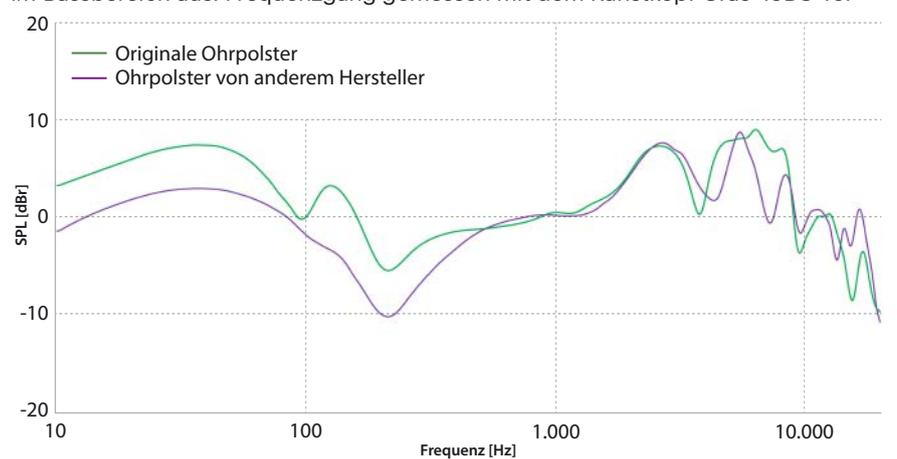
Erschwerend kommt hinzu, dass für Noise Cancelling Mikrofone sehr klein sind. Durch den extrem kompakten Formfaktor bringen sie ein nicht vernachlässigbares Eigenrauschen mit. Durch gute Implementierung können die Ingenieure dem entgegenwirken, aber speziell bei günstigeren Noise-Cancelling-Kopfhörern ist das Rauschen oft hörbar.

Auch die Körperschallübertragung spielt eine Rolle. Schall breitet sich nicht nur in Luft aus, sondern auch in Festkörpern. Selbst wenn der Schalldruck in der Luft vor dem Trommelfell zu 100 Prozent von aktiver Rauschunterdrückung „geschluckt“ werden könnte, würden wir durch die Vibration der Knochen noch Schall wahrnehmen. Fortschrittlichere Noise-Cancelling-Systeme verwenden deshalb zusätzlich ein Mikrofon an der Innenseite des Kopfhörers, welches den Schalldruck innerhalb des Kopfhörers aufnimmt. Die Herausforderung dabei besteht darin, das unerwünschte Störgeräusch von dem gewünschten Signal (etwa Musik) zu trennen.

Bei Stimmen kommt noch ein weiterer Effekt dazu, der mit unserem Gehirn zu tun hat. Der Teil unseres Gehirns, der Schall verarbeitet, ist äußerst gut darauf trainiert, menschliche Stimmen zu erkennen und zu verarbeiten. Auch wenn der gesamte Schalldruckpegel gleichmäßig abgesenkt wird, hören wir deswegen immer noch Stimmen. (des@ct.de)

## Wie Ohrpolster den Klang beeinflussen

Wer Ohrpolster von Dritt-Anbietern kauft, muss im Anschluss oft mit einem anderem Klang leben. Beim Beyerdynamic DT770 wirkt sich das vor allem negativ im Bassbereich aus. Frequenzgang gemessen mit dem Kunstkopf Gras 45BC-10.



Bildquelle: Oratory1990