Qualitätsmerkmale von Soundkarten

Wer mit seinem Computer ein Hobby-Tonstudio aufbauen möchte, um beispielsweise eigene Musikaufnahmen zu bearbeiten oder Filme zu vertonen, sollte besonderes Augenmerk auf die Wahl der Soundkarte legen. In diesem Artikel werden die grundlegenden Qualitätsmerkmale semi-professioneller Soundkarten vorgestellt, um der Leserin und dem Leser zu helfen, die in Katalogen und Verkaufsgesprächen angebotenen Informationen optimal zu nutzen. Zum Verständnis der tontechnischen Merkmale ist die Kenntnis grundlegender elektrotechnischer Begriffe (Spannung, Strom, Widerstand, Leistung, Frequenz) hilfreich.

Nutzerprofile

Der Markt für Soundkarten gliedert sich in drei Segmente: *Normalanwender* nutzen ihre Karte z. B. für Spiele, Systemklänge oder das Abspielen von Audio-CDs. Sie stellen keine hohen Ansprüche und erwarten lediglich, dass ihr Computer Töne in gefälliger Qualität ausgeben kann. Am anderen Ende stehen professionelle *Studios* mit extremen Anforderungen an Klangqualität, wofür sie auch ein paar tausend Mark auszugeben bereit sind. Dazwischen liegen *semi-professionelle* Anwender, die eigene Musik produzieren, aufnehmen, bearbeiten, Filme vertonen etc. Kernstück des privaten digitalen Tonstudios ist der Computer mit geeigneter Soundkarte, doch die Wahl fällt nicht immer leicht. In diesem Artikel werden grundlegende Merkmale von Soundkarten vorgestellt, welche die Kaufentscheidung leiten sollten. Es werden weder aktuelle Karten aufgelistet, noch Kaufempfehlungen ausgesprochen. Diese können sich wie beim Computerkauf nur aus individuellen Anforderungsprofilen ergeben.

Anatomie einer Soundkarte

An der Technik für Soundkarten hat sich im Laufe der Jahre wenig geändert: Ein Bus-Interface verbindet die Karte mit dem Computerbus. Die Abb. 1 zeigt eine PCI-Soundkarte. Zur digitalen Verarbeitung von Musik gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder liegt die Musik in Form von MIDI-Daten vor (**M**usic **I**nstrument **D**igital **I**nterface) oder sie ist gesampelt. MIDI speichert lediglich Informationen über Tonhöhe, Anschlagstärke, Instrument etc. (s. a. [8]) wobei die Klänge von dem Synthesizer-Chip generiert werden. Der Speicherbedarf ist außerordentlich gering, allerdings hängt die Klang-Qualität vom Synthesizer-Chip ab und kann vom Produzenten nicht kontrolliert werden.

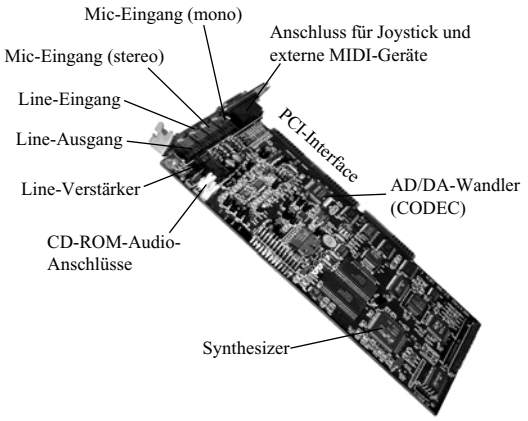

Abb. 1: Komponenten einer PCI-Soundkarte

Gesampelte Musik ist speicherintensiv, weil das ursprüngliche Signal mehrere tausend Mal pro Sekunde vom Analog/Digital (A/D)-Wandler (engl.: *CODEC*: *Coder/Decoder*) abgetastet wird. Diese digitalen Informationen werden bei der Musikausgabe vom Digital/Analog (D/A)-Wandler wieder in analoge Signale zurückgewandelt. Mit Hilfe der Ein- und Ausgänge werden Audio-Daten mit der Umwelt ausgetauscht. Über den *Line*-Eingang gelangen analoge Audiosignale in Form eines Wechselstroms zum A/D-Wandler-Chip. Der *Line*-Ausgang wird mit einem Verstärker oder mit Aktivboxen mit integriertem Verstärker verbunden, um das schwache Ausgangssignal des D/A-Wandlers hörbar zu machen.

Beide Verfahren – synthetische und gesampelte Musik – haben ihre eigenen Gütekriterien. Im Folgenden beschäftigen wir uns ausschließlich mit der Qualität von AD/DA-Wandlern, nicht zuletzt deshalb, weil semi-professionelle Musiker i. d. R. mit externen Synthesizern arbeiten und sich nicht auf den Synthesizer der Soundkarte verlassen müssen.

Zusätzlich lässt sich an die meisten Soundkarten ein CD-Laufwerk anschließen, um Audio-CDs wiedergeben zu können.

Dezibel

Um zwei elektrische Leistungen miteinander zu vergleichen, beispielsweise die Eingangsleistung P_e und die Ausgangsleistung P_a, werden sie dividiert und der Quotient zur besseren Darstellung logarithmiert. Der so errechnete *Pegel L* ist dimensionslos und wird mit der künstlichen Einheit *Bel* (B) bezeichnet, nach dem Erfinder des Telefons A. G. Bell (das Bel diente zunächst der Messung von Telefonleitungen). Gebräuchlich ist heute ein Zehntel des Bel: das *Dezibel* (dB).

$$L = \lg \frac{P_a}{P_e}\, B = 10 \lg \frac{P_a}{P_e}\, dB$$

Weil Leistungen nur schwer messbar sind, werden in der Audiotechnik Spannungen verglichen. Die Leistung P ist das Produkt von Spannung und Stromstärke: P = UI. Die Stromstärke I ist nach dem Ohmschen Gesetz U/Z, wobei Z die Impedanz (Wechselstromwiderstand) angibt. P errechnet sich dann als $P = U^2/Z$.

In obige Pegel-Gleichung eingesetzt, ergibt sich bei gleichen Impedanzen Z_a und Z_e aufgrund der Rechenregel für Logarithmen

$$L = 20 \lg \frac{U_a}{U_e}\, dB$$

Sind sowohl U_e als auch U_a gemessene Werte, spricht man von einem *relativen Pegel*. Der *absolute Pegel* beschreibt das Verhältnis von gemessenen U_a zu einer Referenzspannung U_r, welche die Stelle von U_e einnimmt. Der Unterschied zwischen relativem und absolutem Pegel zeigt sich in der Einheit: dB bezeichnet einen relativen Pegel, dBu einen absoluten mit $U_r = 0{,}775$V, beim absoluten Pegel dBV gilt $U_r = 1$V.

Audioqualität

In der Nachrichtentechnik gibt es verschiedene Messgrößen, um die Güte von Soundkarten zu beschreiben, die im Folgenden vorgestellt werden sollen: *Auflösung, Samplefrequenz, Ausgangsspannung, Störabstand, Klirrfaktor, Dynamik und Frequenzgang*. Der Mikrofoneingang wird über die Parameter *Eingangsspannung* und *Frequenzgang* vermessen.

Auflösung

Ein Analogsignal wird digitalisiert, indem es mit einer bestimmten (→) Frequenz abgetastet und die erfassten Werte in Zahlen umgesetzt werden. Die Menge möglicher Messwerte hängt von der *Auflösung* in bit ab. Mit 4 bit lassen sich $2^4 = 16$ Messwerte unterscheiden, mit 16 bit bereits $2^{16} = 65{,}536$. Auch wenn CDs lediglich eine Ausgabeauflösung von 16 bit haben, digitalisieren moderne Soundkarten mit 24 bit, um Spielraum für Nachbearbeitungen zu lassen. Die Auflösung bestimmt die theoretische (→) Dynamik einer Soundkarte.

Abtastfrequenz

Die Abtastfrequenz wird in kHz angegeben. Nach dem Abtasttheorem muss die Abtastfrequenz doppelt so groß wie die größte Eingangsfrequenz sein, um eine verlustfreie Reproduktion zu garantieren. CDs decken mit 44,1 kHz das vom Menschen hörbare Frequenzspektrum von 20–20 000 Hz ab. Soundkarten in Studioqualität sampeln mit bis zu 96 kHz.

Ausgangsspannung

Gemessen wird die Spannung am Line-Ausgang der Karte, wenn ein synthetisches Sinus-Signal (Wechselspannung mit sinusförmigem Spannungsverlauf) in der Stärke ausgegeben wird, welche in der beigelegten Treibersoftware zur Vollaussteuerung führt. Ein höherer Wert bedeutet die Möglichkeit einer feineren Unterscheidung der Ausgabe, darf aber nicht den Verstärkereingang übersteuern.

Störabstand

Aufgrund bautechnischer Besonderheiten liegt an jedem Ausgang ein Grundrauschen und -brummen, messbar in Volt. Der *Störabstand* bezeichnet den Abstand des Nutzsignals (in V) zu diesem Rauschen und wird in dB angegeben. Je größer der Abstand, desto besser.

Klirrfaktor

Ein Ton setzt sich aus der Überlagerung zahlreicher Sinuswellen verschiedener Stärke zusammen: Zu der Grundfrequenz, welche die Tonhöhe definiert, addieren sich die Oberwellen, ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz, welche die charakteristischen Merkmale eines Tons ausmachen. Bei jeder Soundkarte kommt es aufgrund von Verzerrungen zu einer Deformierung des Ausgabesignals. Der *Klirrfaktor* ist (laut DIN 40110, zitiert nach [1]) ein Maß für diese Verzerrung. Er wird berechnet als Verhältnis von Effektivwert (eine Art Mittelwert einer Wechselspannung) aller Oberwellen zum Effektivwert der Gesamtspannung am Ausgang einer Soundkarte, welche von einer harmonischen Schwingung (z. B. einem Sinus-Test-Signal) angesteuert wird. Mit dem Effektivwert U_w der Grundwelle und den Effektivwerten der n-ten Oberwellen U_{nw} ergibt sich

$$k = \sqrt{\frac{U_{2w}^2 + U_{3w}^2 + U_{4w}^2 + \mathrm{K}}{U_w^2 + U_{2w}^2 + U_{3w}^2 + U_{4w}^2 + \mathrm{K}}}$$

Der Klirrfaktor wird in Prozent angegeben, d. h. *k* wird noch mit 100 multipliziert. Je kleiner der Klirrfaktor, desto besser. Spitzenwerte liegen bei 0,01 %. Zu seiner Bestimmung ist eine spezielle Klirrfaktormessbrücke erforderlich.

Dynamik

Die *Dynamik* beschreibt den Abstand des leisesten zum lautesten messbaren Signal und wird in dB angegeben. Das theoretisch schwächste Signal wird durch die (→) Auflösung vorgegeben und ist der Unterschied zwischen gesetztem und nichtgesetztem „kleinsten“ bit (*Least Significant Bit, LSB*). Durch Verzerrungen und Rauschen liegt die tatsächliche Dynamik unterhalb dieses Wertes und erreicht bei guten Soundkarten Werte

um 100 dB, d. h. das schwächste Signal ist bis zu 10^5-mal geringer als das stärkste.

Frequenzgang

Am Line-Eingang der Soundkarte wird ein Signal mit Frequenzen von 20 Hz bis 20 kHz (maximaler Hörumfang des menschlichen Ohres) angelegt, digitalisiert, aufgezeichnet und wieder ausgegeben. Gemessen werden die Abstände zwischen Ein- und Ausgabestärken der einzelnen Frequenzen in dB. Die Ergebnisse werden in einer Kennlinie, dem Frequenzschrieb, im Frequenzdiagramm festgehalten. Die Ideallinie verläuft bei 0 dB, d. h. der Quotient zwischen Ein- und Ausgabesignal ist 1. In Abbildung 2 aus einem Soundkartentest der Zeitschrift c't werden neben dem oben beschriebenen Verfahren noch die Ausgabe eines synthetischen Signals (i. d. R. die bessere Kennlinie, weil die A/D-Wandlung entfällt) und der Frequenzgang des Mikrofoneingangs (s. u.) aufgezeichnet.

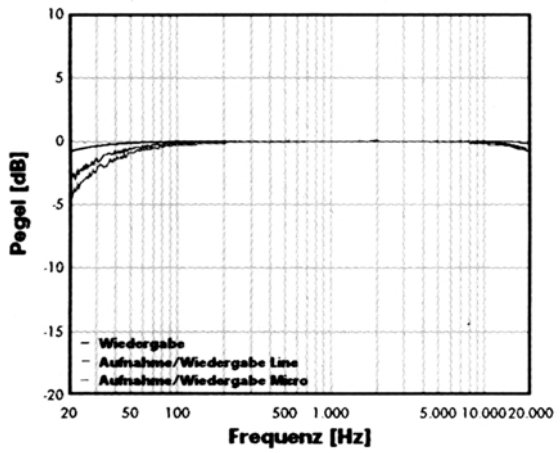

Abb. 2: Beispiel für einen Frequenzschrieb

Mikrofoneingangsspannung

Gemessen wird die Stärke eines 1000 Hz-Signals, das am Mikrofoneingang angelegt zur Vollaussteuerung der Treiber-Software führt. Je empfindlicher der Mikrofoneingang, desto besser das Ergebnis, weil auch leise Geräusche nicht im Rauschen untergehen.

Störabstand des Mikrofons

Hierzu wird der Mikrofoneingang mit einem Widerstand (z. B. 200 Ohm) abgeschlossen und das Grundrauschen gemessen. Je größer der Abstand zum Nenneingangspegel, desto besser das Ergebnis.

Aufnahme- und Wiedergabemodus

Im *Duplex*-Modus können der linke und rechte Kanal unabhängig voneinander entweder aufnehmen oder wiedergeben. Bei *Full Duplex* ist gleichzeitige Aufnahme und Wiedergabe in Stereo möglich. Im Modus *Enhanced Full Duplex* kann sich zusätzlich die Aufnahme- und Wiedergabefrequenz unterscheiden. Der als Standard etablierte Modus *Extended Full Duplex* erlaubt darüber hinaus die Ausgabe von bis zu acht unabhängigen Audiospuren (beim Harddisk-Recording) pro Ausgang. Hat eine Karte mehrere Ausgänge, vervielfacht sich die Zahl möglicher Audiospuren entsprechend.

Schnittstellen

Man unterscheidet zwischen analogen und digitalen Schnittstellen. Analoge Signale (Mikrofon, Line-In) werden über Chinch oder Miniklinke übertragen. Digitale Datenströme, wie sie beispielsweise CDs, DAT-Rekorder oder Minidiskspieler liefern, werden bei Consumerkarten über das von den Firmen Sony und Philips definierte digitale Interface S/PDIF gesendet, elektrisch oder optisch. Die Studionorm AES/EBU (Audio Engineering Society/European Broadcasting Union) mit 3-füßigen XLR-Steckern (so benannt nach der Steckerbelegung: eXternal, Live, Return) wird zunehmend auch von Consumer-Soundkarten verstanden. Details über die Unterschiede beider Normen finden sich in [9] (In Abb. 3 sind Ein- und Ausgabeschnittstellen für S/PDIF als optischer TOSLink und Chinch sowie AES/EBU als XLR abgebildet).

Manche Soundkarten bieten zusätzlich ein MIDI-Interface, das gleichzeitig als Joystick-Schnittstelle dient.

Abb. 3: S/PDIF, AES/EBU-Interface und XLR-Buchse

Hardwareausstattung

Welche Kabel liegen der Karte bei? Gibt es ein Frontend, sodass die Anschlüsse einfach zugänglich sind? Wird ein Mikrofon mitgeliefert?

Softwareausstattung

Neben den Treibern für das eigene Betriebssystem werden Soundkarten Audiotools beigelegt, um die verschiedenen Parameter einzustellen und zu messen. Auch Bearbeitungssoftware wie Cubase oder ProTools können die Kaufentscheidung beeinflussen.

Dokumentation

Wie gut sind die Details der Karte beschrieben? Wie ausführlich ist das Handbuch? Stimmen die Eckdaten (s. o.) mit unabhängigen Messungen überein? Wie sieht es mit der Dokumentation der Bundle-Software aus?

Kompatibilität

Auch wenn Hardware-Probleme bei Soundkarten seltener geworden sind, es gibt immer noch grundsätzliche Unverträglichkeiten mancher Karten mit anderen Rechnerkomponenten. Auch können verschiedene Treiber Ressourcenkonflikte verursachen. Wird die Karte von DirectX unterstützt? Ist sie Plug-and-Play-tauglich? Für gelegentliche Computerspiele ist Soundblasterkompatibilität hilfreich, wenngleich hochwertige Soundkarten darauf häufig nicht ausgelegt sind.

Service

Zu guter Letzt entscheidet auch der Service über die Qualität: Wie gut ist die Hotline erreichbar? Wie teuer ist sie? Gibt es E-Mail-Support? Wie oft kommen Treiber-Updates?

Informationen

Aussagekräftige Informationen über Soundkarten sind rar gestreut. Eine Liste mit Websites der Hersteller findet sich auf der Seite von Alex Sloley [10].

Die Zentral- und Landesbibliothek in der Breiten Straße hat unter der Signatur *Ma 1595* eine erstaunliche Menge (teilweise etwas älterer) Bücher, darunter [2]. Die Zeitschrift c't aus dem Heise-Verlag liefert unregelmäßig eine Marktübersicht in informationsreichen Testberichten ([4], [6], [7]). Weniger technische Berichte finden sich in der alle zwei Monate erscheinenden Zeitschrift *PC & Musik* ([3]), unregelmäßig in der Zeitschrift *Keyboards*. Kataloge größerer Musikgeschäfte führen die wichtigsten Eckdaten auf.

Literatur

[1] Beuth, K., Hanebuth, R., Kurz, G.: *Nachrichtentechnik*. Würzburg: Vogel, 1996.
[2] Dembowski, K.: *Soundkarte., Konfiguration – Anwendung – Pannenhilfe*. München; Wien: Hanser, 1996.
[3] Soundkarten Special. 17 aktuelle Soundkarten von 24 bis 1240 DM. *PC & Musik* 6/2000 (Okt.-Nov.).
[4] Reile, D.: Mehr als zwei, Hochwertige Soundkarten in Mehrkanal-Technik. *c't* 5/1998, S. 132.
[5] Röbke-Doerr, P.: Ding Dong Digital. Aufnahme und Wiedergabe von Audiodateien mit dem PC. *c't* 22/1999, S. 112.
[6] Schwirzke, K.: Klingendes Dutzend. Aktuelle PCI-Soundkarten für Windows-98-PCs. *c't* 23/1998, S. 160.
[7] Schwirzke, K. Herrliche Klänge. Sieben PCI-Soundkarten für den Windows PC. *c't* 3/1999, S. 136.
[8] http://www.harmony-central.com/MIDI/Doc/tutorial.html
[9] http://www.hut.fi/Misc/Electronics/docs/audio/spdif.html
[10] http://www.digitalexperience.com/cards.html

Jochen Koubek
jochen.koubek@rz.hu-berlin.de