

Brauchen wir eigentlich 96 kHz ?

(Aufsatz wurde teilveröffentlicht in KEYS - Zeitschrift für Musik und Computer, Dezember 1998, S.64)

Diese Frage nach dem Sinn von hochauflösenden Digitalformaten stellt sich wohl jeder Anwender, der sich mit Musikproduktionen beschäftigt und auch noch in Zukunft up to date sein möchte.

Ist die Antwort für den Wertebereich (Quantisierung) mit 24 bit im Vergleich zu 16 bit auf Grund des kleineren Quantisierungsfehlers und der Möglichkeit eines größeren Headrooms mit einem besseren Dynamikumfang scheinbar einfach (auch hier könnte man aber Sinn und Unsinn diskutieren), scheiden sich zumindest bei der höheren Abtastrate die Geister. Hört man das überhaupt? Gibt es klangliche Unterschiede, oder, was sehr angezweifelt wird, eine verbesserte Lokalisationsschärfe? Und wenn man Unterschiede z.B. zwischen sogenannten 48 kHz- (bzw. 44,1 kHz) und 96 kHz-Aufnahmen hört, ist das wirklich auf die höhere zeitliche Auflösung zurückzuführen?

Tatsächlich ist der Parameter „Abtastrate“ nur schwer zu isolieren, kann sich doch ein umschaltbarer Wandler bei den unterschiedlichen Abtastraten ganz anders verhalten. Als Beispiel die Problematik der Bandbreite und der Filtercharakteristik genannt. So haben Antialiasing- und Rekonstruktionsfilter bei der AD/DA-Wandlung die Aufgabe, die Bandbreite des zu wandelnden bzw. des gewandelten Analogsignals auf (etwas weniger als) den halben Wert der Abtastfrequenz zu begrenzen (Abtasttheorem). Für eine Abtastrate von 48 kHz muß der Frequenzbereich oberhalb 24 kHz durch ein sehr steiflankiges Filter weitestgehend unterdrückt sein, für eine Abtastrate von 96 kHz erst oberhalb 48 kHz. Man hätte also die doppelte Bandbreite des Analogsignals zur Verfügung. Ob das allerdings hörrelevant ist, ist endgültig immer noch nicht bewiesen.

Es gibt aber auch noch eine andere Variante für das 96 kHz-Format. Steiflankige Filter weisen systembedingt ein starkes zeitliches Überschwingen auf, erkennbar an der Stoßantwort (siehe Bild 1 und 2). Nach Meinung einiger audiophiler Experten wirkt sich dieses Überschwingen nachteilig auf die Klangeigenschaften aus. Hier könnte man nun mit 96 kHz abtasten und das Audiomaterial durch ein Filter mit flacherem Verlauf und einer Grenzfrequenz z.B. bei 28 kHz begrenzen. Damit hätte man zwar nur eine unwesentlich größere Bandbreite als beim 48 kHz-Format, aber ein deutlich geringer ausgeprägtes Überschwingen (siehe Bild 3). Nur am Rande sei erwähnt, daß gängige Studiolausprecher einen erheblich größeren Fehler aufweisen als jeder auch noch so schlechte Digitalwandler (siehe Bild 4). Ganz zu schweigen von den nichtlinearen Verzerrungen der Schallwandler, die in der Darstellung in Bild 4 nicht erfaßt werden. Damit ist fraglich, ob aussagekräftige Hörtests überhaupt durchgeführt werden können. Auf jeden Fall müssen deutlich präzisere Lautsprecher zum Einsatz kommen.

Ein Argument für die höhere Abtastrate wäre jedoch die Tatsache, daß gute, linearphasige Filter für die scharfe Bandbegrenzung bei 48 kHz Abtastrate technisch zwar möglich sind, jedoch hohe Anforderungen an die Bauteiletoleranz stellen, aufwendig in der Konstruktion und damit relativ teuer sind. Hier werden häufig Kompromisse gemacht. Bei der einer höheren Abtastrate können, wie erläutert, einfachere "flachere" Filter zum Einsatz kommen, die zudem durch die einfachere Konstruktion weniger stark selektiert werden müßten. Selbst wenn Nebeneffekte durch Phasenfehler oder gar Aliasingverzerrungen auftreten, entstehen diese überwiegend im unhörbaren (?) Bereich weit oberhalb 20 kHz. Diese "Bequemlichkeit" würde man sich durch den höheren Speicherbedarf (s.u.) erkaufen.

Sehr zweifelhaft ist jedoch die Annahme, man bräuchte die hohe Abtastrate für eine verbesserte Lokalisationsschärfe. Natürlich bedeutet eine höhere Abtastrate grundsätzlich auch eine feinere zeitliche Auflösung. Gleichzeitig wird einerseits aber häufig vergessen, daß der kleinste zeitliche Versatz zweier Kanäle nicht nur von der Abtastrate, sondern auch von der Quantisierung abhängt, also z.B. auch deutlich kleiner sein kann, als die Abtastperiode von ca. $22\mu\text{s}$ bei 48 KHz (siehe Bild 5). Das heißt, daß im Vergleich zu 16 bit-Aufnahmen, allein eine höhere Quantisierung mit 24 bit bereits eine zeitliche Verbesserung darstellt. Andererseits zeigen viele psychoakustische Untersuchungen, daß der Lokalisations-Unschärfbereich des Gehöres bereits erheblich größer ist, als der kleinstmögliche zeitliche Versatz zwischen links und rechts selbst bei 16 bit / 44,1 kHz Material.

Beim Vergleich von 48- und 96kHz-Material darf zudem das Quantisierungsrauschen nicht vernachlässigt werden. Dieses verteilt sich wie bekanntermaßen über den gesamten Frequenzbereich bis zur Nyquistfrequenz. Verdoppelt man nun die Abtastfrequenz, so verteilt sich das Quantisierungsrauschen auf ein doppelt so breites Spektrum (siehe Bild 6)! Filtert man nun mit einem digitalen Tiefpaß die Anteile oberhalb der ursprünglich benötigten Abtastfrequenz (Abtasttheorem) heraus, und wird die Abtastrate halbiert (downsampling), hat man den Rauschspannungsabstand um 6 dB gegenüber der einfachen Abtastung verbessert. Auch hier erkennt man wieder: bei der Digitalisierung spielen Abtastrate und Quantisierung immer gemeinsam Hand in Hand. In Anbetracht des Quantisierungsrauschens müßte das mit 48kHz abgetastete Signal für einen ehrlichen Vergleich 1 bit mehr als das mit 96 kHz abgetastete besitzen.

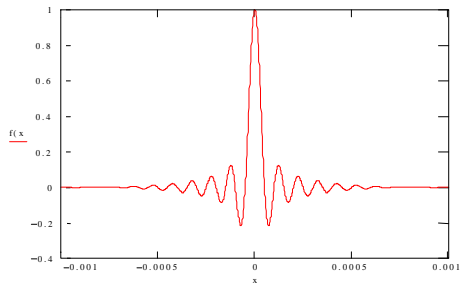


Bild 1: Stoßantwort eines DA-Wandlers mit 48 kHz Abtastrate

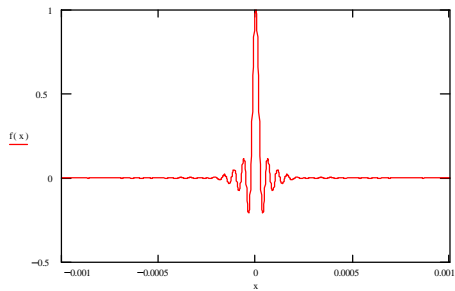


Bild 2: Stoßantwort eines DA-Wandlers mit 96 kHz Abtastrate und steilem Filterverlauf

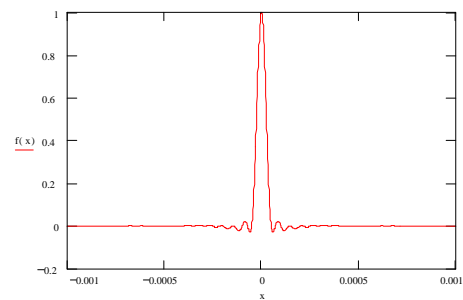


Bild 3: Stoßantwort eines DA-Wandlers mit 96 kHz Abtastrate und flachem Filterverlauf

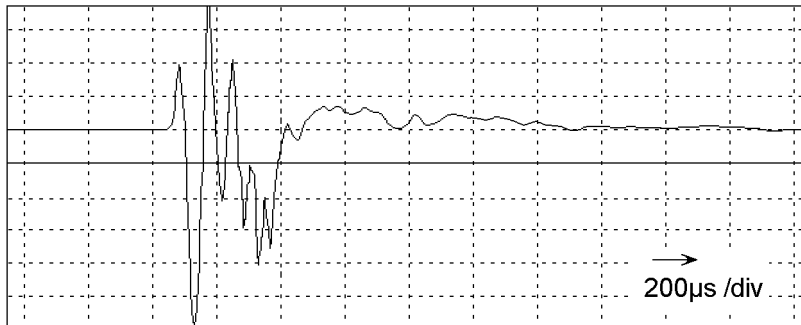


Bild 4: Stoßantwort eines häufig anzutreffenden Studioloautsprechers der gehobenen Klasse

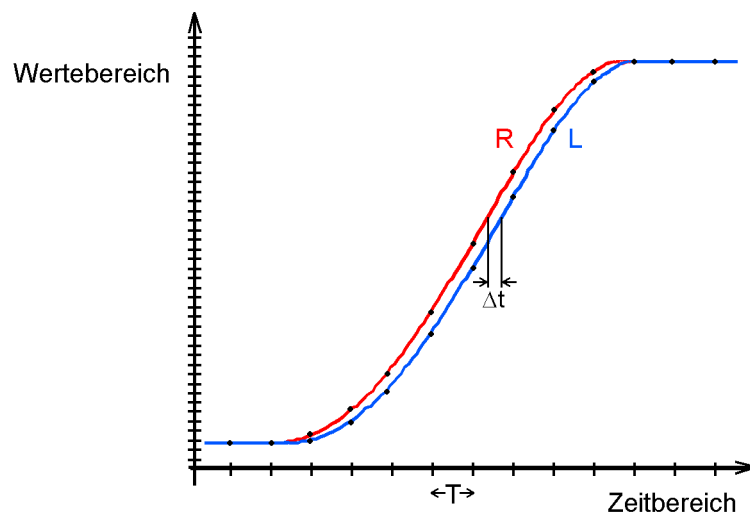


Bild 5: Zeitliche Auflösung bei der Quantisierung

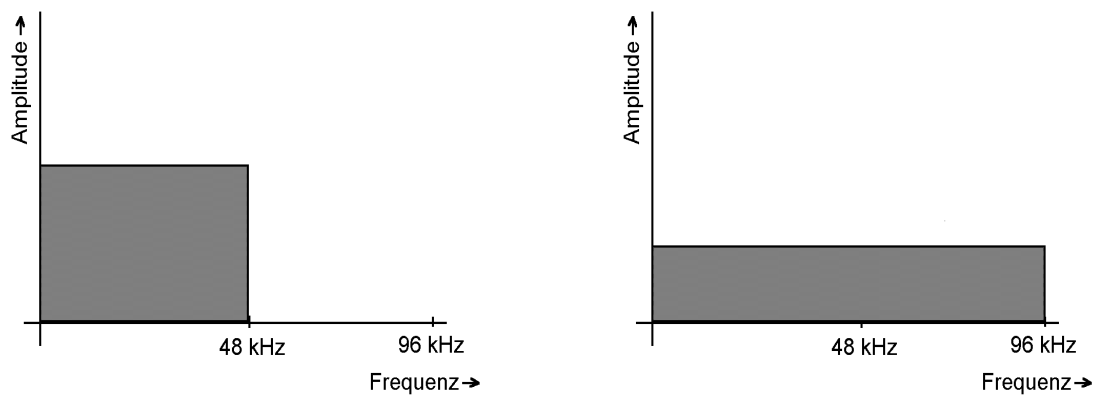


Bild 6: Einfluß der Überabtastung auf das Quantisierungsrauschen