

Musikalisch-künstlerische Aspekte der Audioübertragung

Welche Auswirkungen hat die Abtastrate bei digitaler Audioaufzeichnung auf Musik und Klang

(ein Aufsatz von Ralf Koschnicke / ACOUSENCE records)

Mit der Einführung der CD zu Beginn der 1980er Jahre begann gleichzeitig der Siegeszug der digitalen Signalverarbeitung in der Audiotechnik. Neben den unbestreitbaren Vorzügen der neuen Technik, die ihre schnelle Akzeptanz auf breiter Front erklären, gibt es aber gerade für die Übertragung von Musik dennoch entscheidende Nachteile: Dem Digitalstandard erster Generation (CD und Rundfunk-/Industriestandard mit 16Bit bzw. 24Bit/48kHz) fehlt die Übertragungsgenauigkeit, um ein Musikschriftal sowohl in musikalisch-künstlerischer wie auch in klanglicher Hinsicht adäquat übertragen zu können.

Mit DVD-Audio und SACD gab es zwei Versuche, diese Nachteile der „alten Digitaltechnik“ zu überwinden. Hauptsächlich aus marktpolitischen Gründen müssen diese Bestrebungen inzwischen aber als gescheitert angesehen werden. Durch die derzeitige Entwicklung hin zu nicht-physischem Musiktrieb per Download übers Internet, dabei dank schneller Datennetze auch in hervorragender Masterqualität, und Abspielen per Netzwerk-/Mediaplayer erfahren hochauflösende Tonformate nun einen ganz neuen zeitgemäßen Verbreitungsweg und erfreuen sich somit stetig wachsender Akzeptanz.

Die Defizite des CD-Formats und ähnlicher Technik sind vergleichsweise subtil im Gegensatz zu den zunächst so offensichtlichen Vorteilen und werden deshalb seither kontrovers diskutiert. Der folgende Artikel wird nun zunächst der Frage nachgehen, wie sich die Nachteile äußern und womit dies begründet werden kann. Im Zentrum der Betrachtungen sollen aber weniger irgendwelche abstrakten technischen Eigenschaften stehen, im Kern geht es stets um die Musik selbst. Die folgenden Betrachtungen werden dafür sensibilisieren und im Zuge dessen auch Erklärungen liefern, wie das CD-Format den künstlerischen Gehalt einer Aufzeichnung reduziert, die empfundene Intensität und Atmosphäre einer Darbietung beeinträchtigt, wie digitale Standardtechnik zu einer unglaublichen Nivellierung der vor dem Mikrofon dargebotenen Vorstellung der Interpreten beiträgt, und wie dadurch die Musikaufzeichnung im allgemeinen über die letzten 25 Jahre viel von ihrem besonderen Reiz und ihrer Faszination verloren hat. Das liefert dann gleichzeitig auch einen Erklärungsansatz, wieso Musikkonserven heute immer mehr nur noch als schlichter Konsumartikel à la „akustisches Fastfood“ gesehen werden, gleichzeitig aber auch so unglaublich viele Musikliebhaber der Vinyl-Schallplatte treu geblieben sind und auf ihre unerreichte Musikalität schwören. Letztlich wird gezeigt werden, dass erst hochauflösende Digitalformate die positiven Eigenschaften der Analogtechnik bezüglich einer musikalisch wie klanglich vollkommeneren Übertragung uneingeschränkt ins Digitalzeitalter retten und damit nun die Nachteile der Technik erster Generation überwunden werden. Meine alltägliche Erfahrung mit hochauflösender Digitaltechnik und ausgereifter Analogtechnik über mehr als zehn Jahre hat nämlich recht eindrucksvoll bewiesen, dass – nennen wir es mal – das Begeisterungspotential einer Musikaufnahme, neben selbstverständlich auch der künstlerischen Darbietung vor dem Mikrofon oder der Methodik bei der Aufnahme, deutlich von der technischen Qualität der Aufzeichnung und Übertragung bestimmt wird.

Die Argumentation gründet dabei – um dies in aller Deutlichkeit gleich vornweg klar zu stellen – nicht auf einer rein theoretischen Ebene, und schon gar nicht gibt es irgendwelches „ideologisch geprägtes“ Interesse, eine bestimmte Technologie zu befördern oder bestimmten Lagern zu zuarbeiten. Ganz sicher geht es auch nicht um eine generelle Verteufelung der Digitaltechnik und ebenso wenig um eine Glorifizierung der Analogtechnik. Die folgenden Betrachtungen beziehen Ihre Motivation voll und ganz aus den Beobachtungen aus der täglichen Praxis eines Tonschaffenden und gehen aus reinem Interesse an der Musik der Frage nach, wie wir ein möglichst großes Wirkpotential der Musik auch beim Hören von Tonaufnahmen erschließen können.

Ausblick

Auf den folgenden Seiten wird Schritt für Schritt beleuchtet werden, wie das Musiksinal beschaffen ist, welche Parameter mit Blick auf das menschlichen Hörvermögen besonders wichtig sind und wie sich die technische Übertragung im Vergleich dazu verhält. Zentral wird dabei das zeitliche Auflösungsvermögen des Übertragungssystems betrachtet werden. Musik ist technisch gesehen ein überaus komplexes Gemisch von sich über die Zeit stark und schnell ändernden akustischen Schwingungen. Dieses Schwingungsgemisch gilt es möglichst perfekt zu erfassen und zu übertragen. Obwohl jedes Übertragungssystem bezüglich der Präzision im Zeitbereich begrenzt ist, dennoch das richtige Maß an zeitlichem Auflösungsvermögen für die „Signalform Musik“ zu finden, ist der Schlüssel zu einer wirklich musikalischen Musikübertragung. Wir können uns mit den technischen Möglichkeiten von heute dem Ideal sehr gut nähern. Die CD hingegen war nicht mehr als ein erster Versuch, mit einigen entscheidenden Unzulänglichkeiten.

Motivation

Wie kam ich nun dazu, mich mit dieser Thematik genauer zu beschäftigen. Ich persönlich hatte diesbezüglich einige Schlüsselerlebnisse. Eines davon, vermutlich das wichtigste, geht in die Zeit zurück, als ich noch nicht einmal daran dachte, mich irgendwann einmal professionell mit Audiotechnik und Musikproduktion zu beschäftigen. Bei Einführung der CD kaufte ich als Hifi-Enthusiast sehr früh einen CD-Player, aber dann folgte innerhalb kürzester Zeit doch auch ein audiophiler Plattenspieler. Denn auch wenn die CD so schön einfach zu handhaben und so schön rausch- und knisterfrei war, so offensichtlich war doch für mich schon damals, dass die Musik, die ich von CD hörte, durch dieses Format arg beeinträchtigt wurde und keine wahre Begeisterung entfachen konnte.

Als ich dann einen professionellen Weg in die Audiobranche einschlug, mahnte mich dieses Erlebnis, auch wenn es an der Digitaltechnik kein Vorbeikommen mehr gab, doch immer aufs Neue, besondere Aufmerksamkeit dem Vergleich zwischen analogem Original und digitaler Aufzeichnung zu schenken. Und die Unterschiede waren auch hier stets signifikant.

Trotz aller technischer Weiterentwicklung hat sich an der Beobachtung, dass in Abhängigkeit von der digitalen Audioqualität feinste Informationen verloren gehen, und dies in einer Größenordnung, wo neben sicherlich auch deutlich vorhandenen klanglichen Unterschieden aber insbesondere die Musik und ihre Wirkung auf den Hörer entscheidend beeinflusst wird, bis heute nichts geändert.

Auch wenn in unserer Branche erstaunlich viel Energie darauf verwendet wird, immer wieder mal aufs Neue „wissenschaftlich“ zu beweisen, dass diese Beobachtungen nicht existent sein können, so gehört dieser Umstand bei mir seit vielen Jahren zum ganz normalen Alltagsgeschäft. Und dies zu thematisieren scheint mir so extrem wichtig, weil sich die klanglichen Unterschiede zwar unter Umständen in Abhängigkeit von der Abhöranlage recht schnell relativieren, die musikalischen Auswirkungen meiner Erfahrung nach aber selbst auf einfachsten Abhöranlagen stets gut spürbar bleiben. Gerade auch die Renaissance der LP hängt für mich eindeutig mit diesem Umstand zusammen, weil dort trotz aller vordergründig vorhandener Unzulänglichkeiten die musikalisch wirklich wichtigen Parameter besser übertragen werden. Aber auch die stetige Vorliebe vieler Musikliebhaber für Reissues alter Aufnahmen auf CD geht in die gleiche Richtung, denn auch wenn der Tonträger CD gewisse Einschränkungen innehat, so potenzieren sich die Probleme doch bei den meisten modernen Produktionen, bei denen mit digitaler Standardtechnik in allen Stufen der Produktion gearbeitet wird. Aufnahmen aus den 60ern und 70ern, bei denen „nur“ das Endmedium CD das Nadelöhr bildet, bereiten oft einfach noch vergleichsweise viel Vergnügen beim Hören.

Ursachenforschung

Wie kommt es aber zu diesen Unterschieden, wieso vermittelt die „alte“ Analogtechnik scheinbar mehr Musik als die moderne Digitaltechnik?

Aus der Praxis heraus haben wir bei ACOUSENCE ein Instrumentarium entwickelt, das trotz Einsatz von Digitaltechnik – allerdings nur bei der Aufzeichnung – durchaus außergewöhnliche musikalische Übertragungseigenschaften besitzt. Im Kern handelt es sich dabei um eine, auf experimentellem Wege gefundene, ausgeklügelte Kombination der für die jeweilige Aufgabe am besten geeigneten Einzelkomponenten aus der analogen wie der digitalen Welt, je nachdem welches Werkzeug für welche Aufgabe besser geeignet ist.

Diese experimentell gefundenen Ergebnisse sollen nun zu erklären versucht werden, wobei vorweg gleich ganz deutlich der Hinweis gegeben sei, dass dies nicht den Anspruch eines exakten wissenschaftlichen Beweises erhebt. Vielmehr gibt es ganz klare Beobachtungen in der Praxis, die so erklärt werden können. Ob die Erklärungen bis ins letzte Detail richtig sind, ist zur Zeit nicht abschließend zu beurteilen. Bessere Erklärungen habe ich jedoch bisher noch keine erhalten und der übliche Versuch, auf theoretischer Ebene dagegen zu argumentieren, ist auf jeden Fall wenig hilfreich. Der experimentelle Befund bleibt.

Zeitauflösung des Aufzeichnungssystems

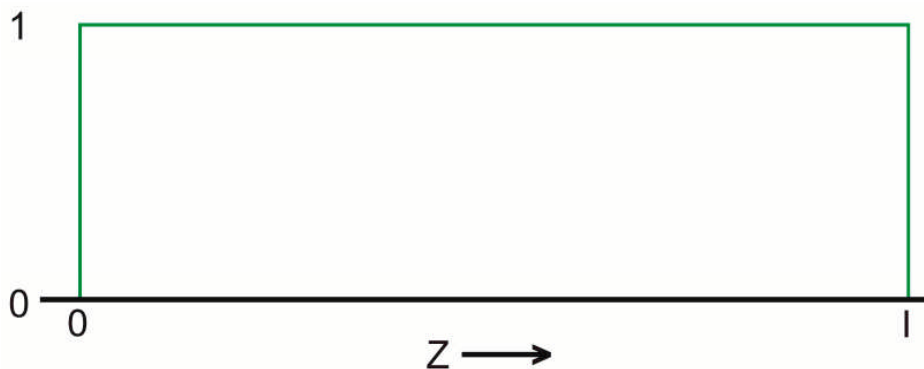
Wie oben bereits angedeutet, wird im Zentrum der Betrachtungen die Zeitauflösung des Übertragungssystems stehen. Die Art und Weise, wie sich verschiedene Aufzeichnungsverfahren akustisch unterscheiden und die Beschaffenheit des zu übertragenden Signals Musik, legen die Vermutung nahe, insbesondere das Verhalten des Übertragungssystems im Zeitbereich für die beobachteten Phänomene verantwortlich zu machen.

Um dies verstehen zu können, müssen wir zunächst aber den grundsätzlichen physikalischen Zusammenhang zwischen Übertragungsbandbreite im Frequenzbereich und Auflösungsvermögen im Zeitbereich verstehen. Eine anschauliche Verdeutlichung soll hier, ohne zu tief in die Mathematik einzusteigen, genügen:

Fouriertransformation

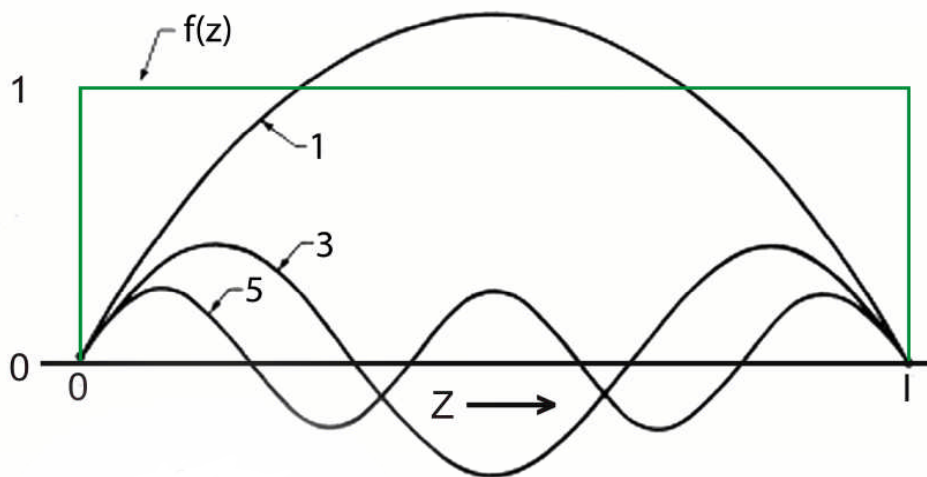
Fourier beschreibt mathematisch, dass jede periodische Signalform dargestellt werden kann als Überlagerung diskreter periodischer Sinusschwingungen.

Das Ausgangssignal für unser Beispiel soll folgende Rechteckschwingung sein:

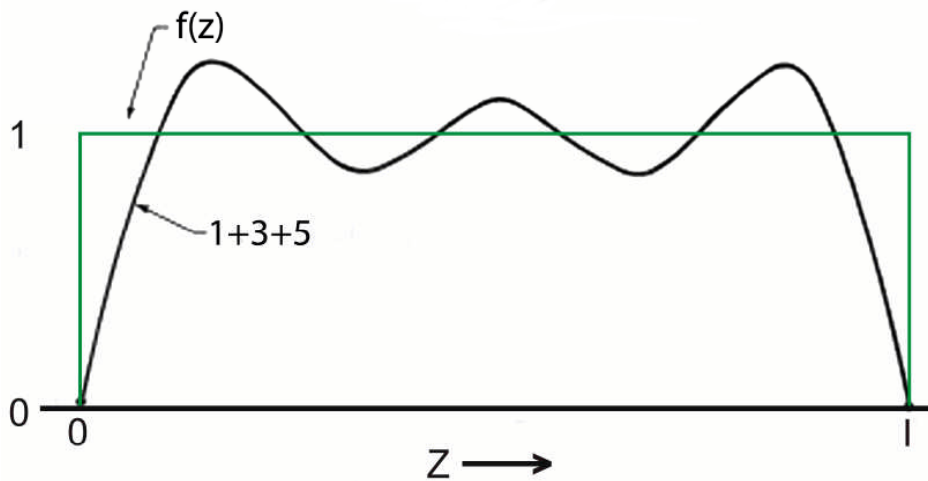


Rechteckwelle ($\lambda/2$ einer periodischen Rechteckwelle)

Aus drei einzelnen Sinusschwingungen (Partialschwingungen) zusammengesetzt, sieht das Signal dann wie folgt aus:



Oben die ersten drei Partialschwingungen separat, unten das daraus resultierende Summsignal



Das Originalsignal setzt sich gemäß folgender Gleichung aus unendlich vielen Partialschwingungen zusammen:

$$\begin{aligned}
 F(z) &= B_0 + \sum_{m=1}^{\infty} B_m \cos mk_1 z + \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin mk_1 z \\
 &= \frac{4}{\pi} \left\{ \sin k_1 z + \frac{1}{3} \sin 3 k_1 z + \frac{1}{5} \sin 5 k_1 z + \dots \right\} \\
 &= 1,273 \sin \frac{\pi z}{l} + 0,424 \sin \frac{3 \pi z}{l} + \\
 &\quad + 0,255 \sin \frac{5 \pi z}{l} + \dots
 \end{aligned}$$

Die obige auf drei Partialschwingungen reduzierte Darstellung wird beschrieben durch:

$$g(z) = 1,273 \sin \frac{\pi z}{l} + 0,424 \sin \frac{3 \pi z}{l} + 0,255 \sin \frac{5 \pi z}{l}$$

Drei wichtige Dinge lassen sich nun bereits anschaulich sehr leicht verstehen:

1. Es kann in einem Übertragungssystem kein Signal dargestellt werden, welches kürzer ist als die halbe Wellenlänge der im System maximal möglichen Schwingungsfrequenz.
2. Um dann bei entsprechend gegebener Strukturgröße noch einen Signalverlauf mit einer höheren Steilheit als beim Sinus abbilden zu können, benötigt man zusätzlich noch ungradzahlige Vielfache der Grundfrequenz.
3. Der Beitrag dieser Partialschwingungen zum Gesamtsignal nimmt mit zunehmender Ordnung stark ab.

An sich genügt diese Darstellung zum Verständnis der später folgenden Sachverhalte. Aber auch wenn sich in Betrachtungen oft darauf gestützt wird, so ist sie allerdings dennoch sehr vereinfacht. Denn genau so gilt das Gezeigte nur für periodische Signale. Für nichtperiodische Signale, was im Falle von Musik eigentlich immer zutrifft, muss eigentlich eine umfassendere Erklärung angewandt werden:

Die Unschärferelation in der Audiotechnik

Generell beschreibt man die Eigenschaften technischer Übertragungssysteme gerne anhand deren Verhaltens bei der Durchleitung eines Impulses, dem sogenannte Dirac-Stoß, durch das System. Diesen Impuls kann man sich bildlich als halbe Periode eines ultrakurzen Rechtecksignals vorstellen. Auch er enthält Partialschwingungen mit allen Frequenzen bis ins Unendliche. Nur als nichtperiodisches Signal enthält dieser Impuls nach Fourier nicht nur diskrete Einzelfrequenzen, sondern ein kontinuierliches Frequenzspektrum.

Ein ganz allgemein gültiges physikalisches Grundgesetz beschreibt nun den Zusammenhang zwischen Übertragungsbandbreite und zeitlichem Auflösungsvermögen (siehe *Heisenbergsche Unschärferelation*):

$$\Delta f \Delta t \approx 1$$

Wobei Δt die zeitliche Dauer des Impulses und Δf die Bandbreite der harmonischen Partialschwingungen bezeichnet, aus denen sich der Impuls zusammensetzt.

Ohne näher auf die Theorie dahinter einzugehen, erkennt man dennoch auch hier wieder die Verknüpfung zwischen maximal zulässiger Frequenz und zeitlicher Ausdehnung. Da technisch real existierende Übertragungssysteme in ihrer Bandbreite immer begrenzt sind, sind sie somit auch nicht in der Lage, unbegrenzt feine zeitliche Strukturen aufzulösen. Ein realer Impuls besitzt immer eine bestimmte zeitliche Dauer, die unmittelbar mit der Bandbreite des Übertragungssystems korreliert. Je kleiner die Bandbreite, desto größer die zeitliche Ausdehnung des Impulses und umgekehrt. Und was hier exemplarisch für den Impuls gezeigt wurde, gilt so generell für jede Art von Signalstruktur:

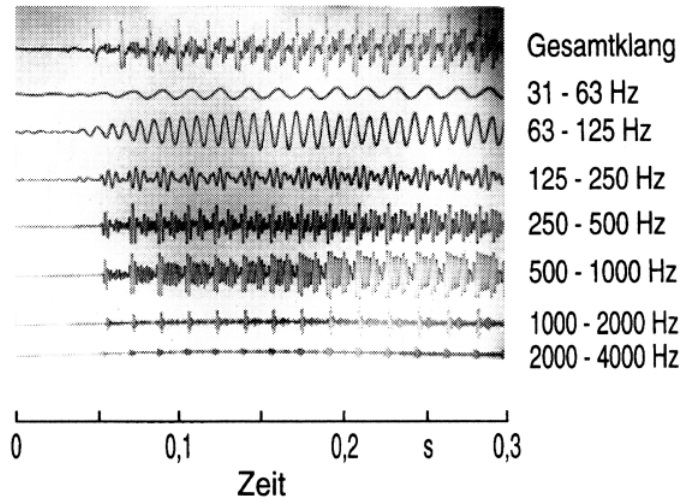
Kleine Strukturen erfordern hohe Frequenzbandbreiten

Beschaffenheit des Musiksignals

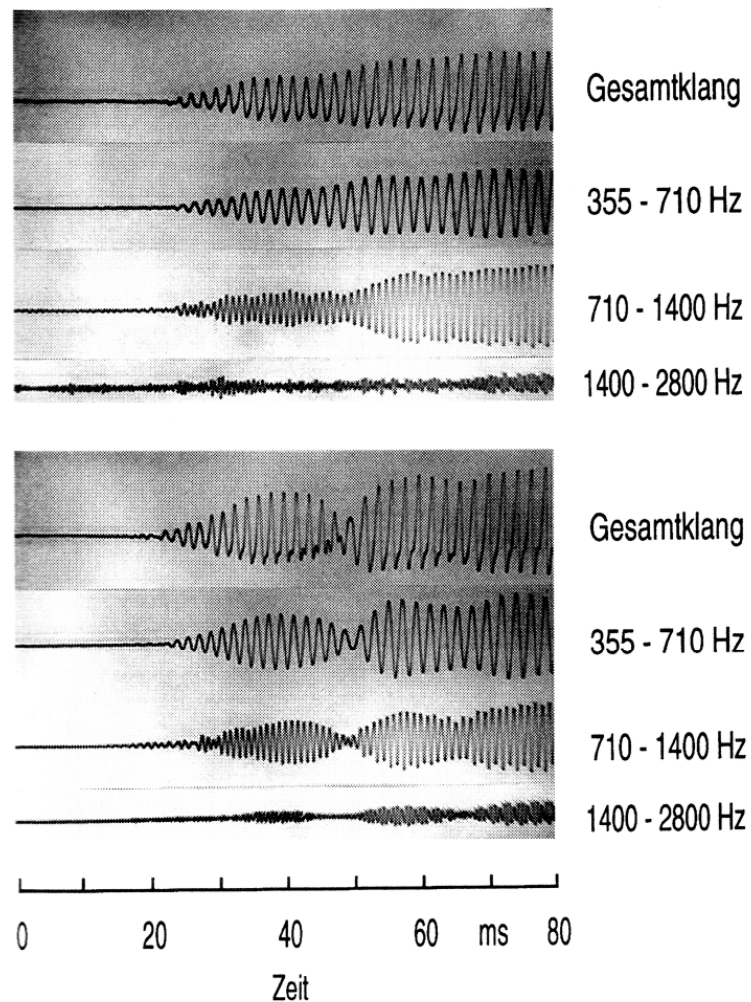
Um die Relevanz dieser kleinen Strukturen einschätzen zu können, soll nun die Beschaffenheit des zu übertragenden Signals genauer betrachtet werden: Das menschliche Gehör zieht die Informationen zur Identifikation von Klängen hauptsächlich aus der Gestalt der Einschwingvorgänge. Ohne Einschwingvorgänge ist die Erkennung eines Klanges fast nicht möglich. Die Abbildung dieses sehr komplexen frühen Bereichs des Klanges ist somit extrem wichtig für ein natürliches Klangbild. Genauso wird aber gerade dieser Bereich auch stark durch die Spielweise des Musikers moduliert, unterschiedliche Artikulation verändert den Einschwingvorgang.

Eine Vorstellung von der Komplexität dieser Einschwingvorgänge vermitteln die Abbildungen auf den folgenden Seiten:

Oktavsieboszillogramm des Einschwingvorganges eines Fagottes (gespielter Ton B₁)¹

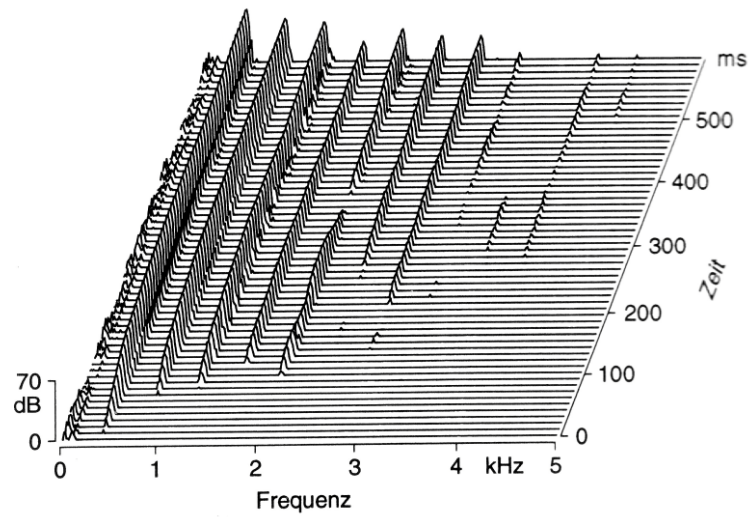
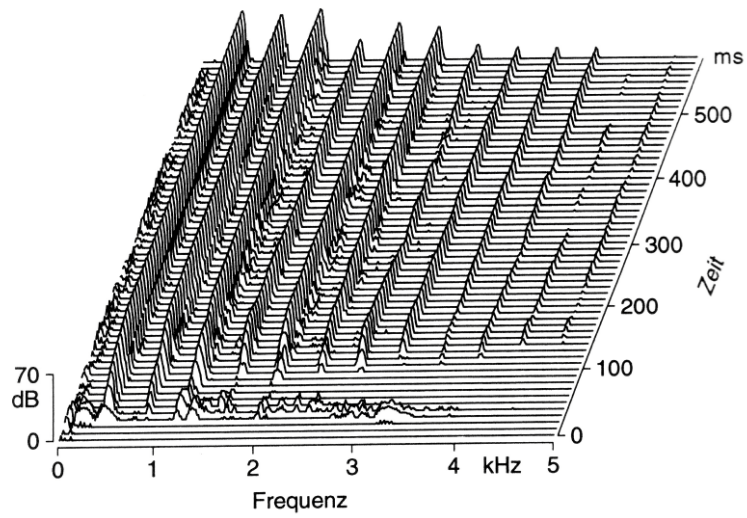


Oktavsieboszillogramm von Einschwingvorgängen einer Posaune (gespielter Ton: b⁺)
Oben: guter Ansatz / Unten: schlechter Ansatz¹



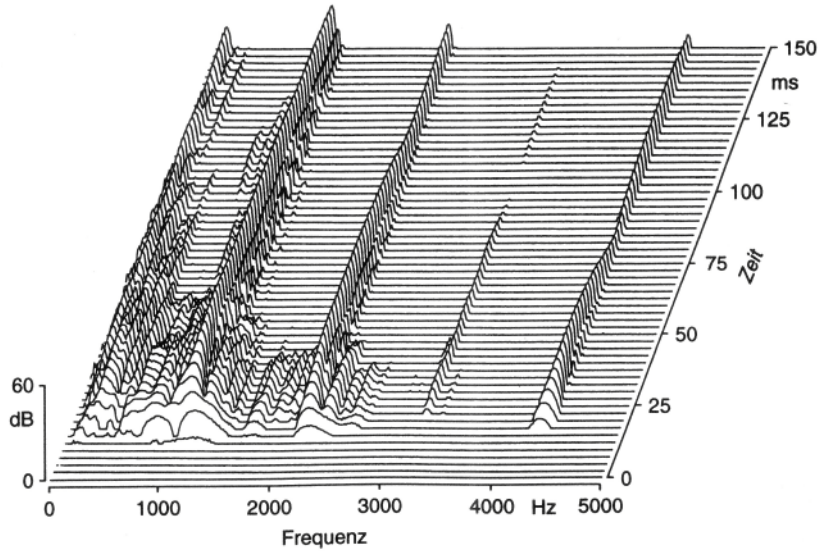
¹ Aus Jürgen Meyers Buch „Akustik und musikalische Aufführungspraxis“, erschienen im Verlag Erwin Bochinsky (siehe Literaturhinweis am Ende des Artikels)

Zeitliche Entwicklung des Klangspektrums bei unterschiedlichem Tonansatz (Flöte, Ton g¹)
Oben: scharf / Unten: weich

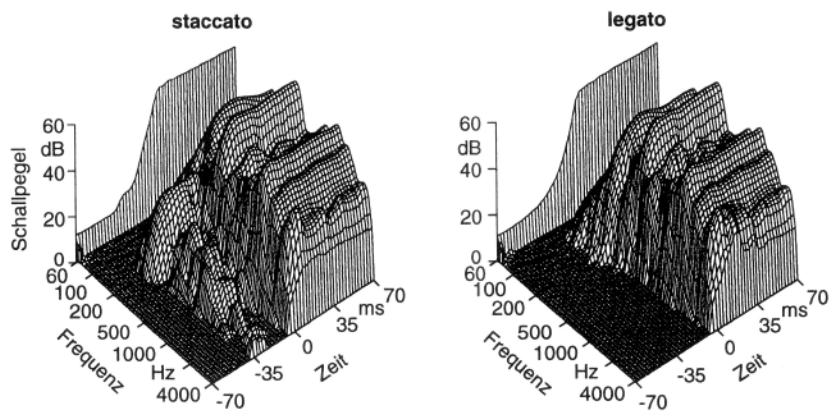


¹ Aus Jürgen Meyers Buch „Akustik und musikalische Aufführungspraxis“, erschienen im Verlag Erwin Bochinsky (siehe Literaturhinweis am Ende des Artikels)

Zeitliche Entwicklung des Klangspektrums beim Klavier (gespielter Ton c⁴)¹

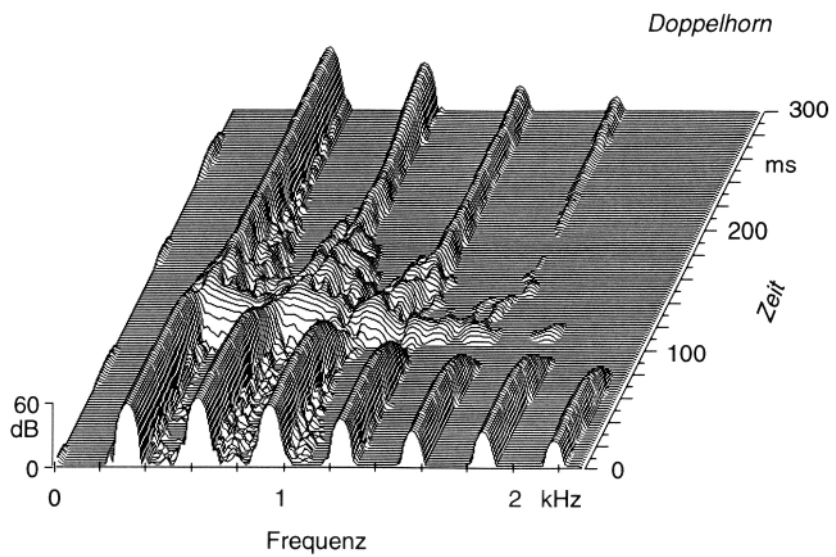
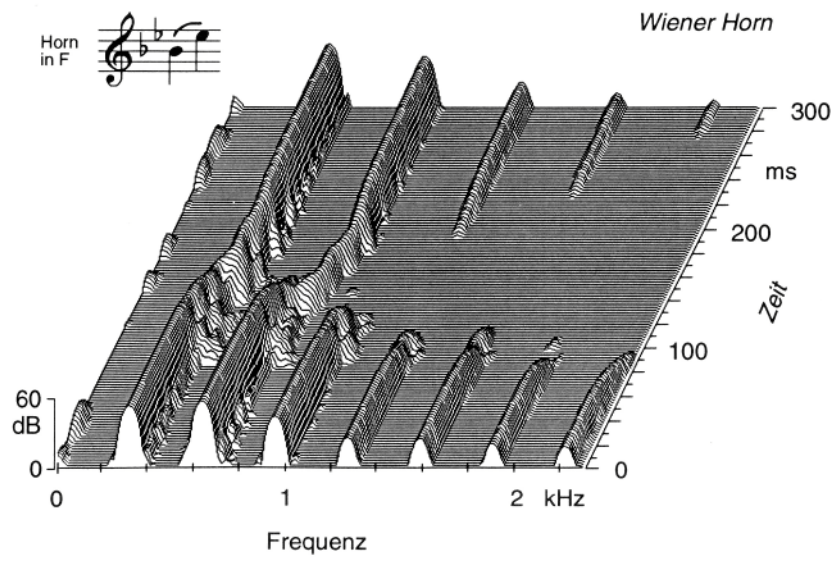


Einfluss der Anschlagtechnik auf die Geräuschkomponenten im Toneinsatz beim Klavier



¹ Aus Jürgen Meyers Buch „Akustik und musikalische Aufführungspraxis“, erschienen im Verlag Erwin Bochinsky (siehe Literaturhinweis am Ende des Artikels)

Zeitlicher Verlauf des Klangspektrums beim gebundenen Tonübergang,
dargestellt für zwei Hörner unterschiedlicher Bauweise¹

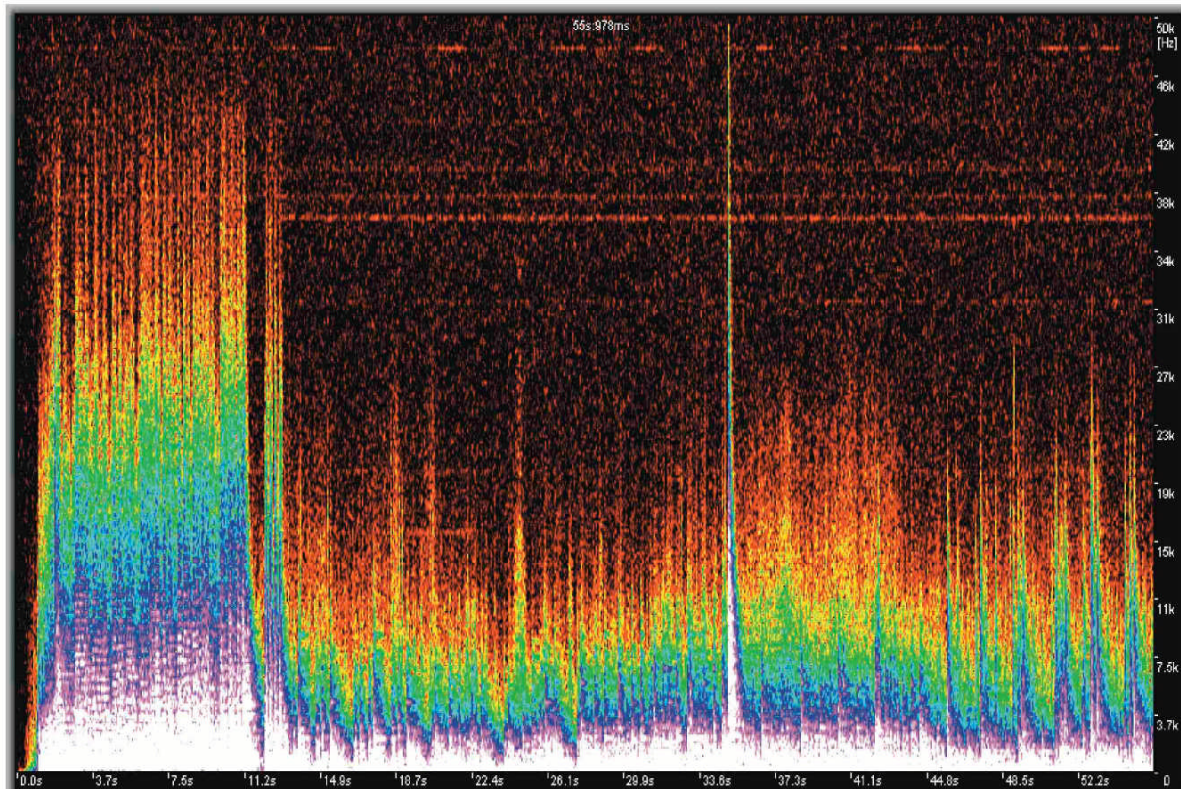


¹ Aus Jürgen Meyers Buch „Akustik und musikalische Aufführungspraxis“, erschienen im Verlag Erwin Bochinsky (siehe Literaturhinweis am Ende des Artikels)

Grundsätzlich handelt es sich bei Musik also um einen sehr komplexen Gestaltungsablauf bezüglich der Einschwingvorgänge verschiedener Instrumente über die Zeit. Auch wenn sich die Verhältnisse in den gezeigten Bildern quantitativ nicht direkt mit den Fähigkeiten des Übertragungssystems in Verbindungen bringen lassen, so ist doch leicht zu erahnen, welche komplexe Signalstrukturen beispielsweise in einer Orchesteraufzeichnung mit 100 Instrumenten vorzufinden sind.

Einen quantitativen Zusammenhang kann man allerdings über die Betrachtung der spektralen Zusammensetzung von Musikaufnahmen herstellen:

Das folgende Diagramm zeigt exemplarisch das Frequenzspektrum über die Zeit einer Orchesteraufnahme. Die X-Achse zeigt den Verlauf über die Zeit, die Y-Achse die Frequenz (etwa 0-50kHz), die Farbe zeigt den Pegel: Weiß=max, Schwarz=min.



Wie man sieht, reicht das Frequenzspektrum weit über 20kHz hinaus. Die gerade beschriebenen komplexen Strukturen spiegeln sich in den höherfrequenten Signalanteilen bis 45 kHz wider.

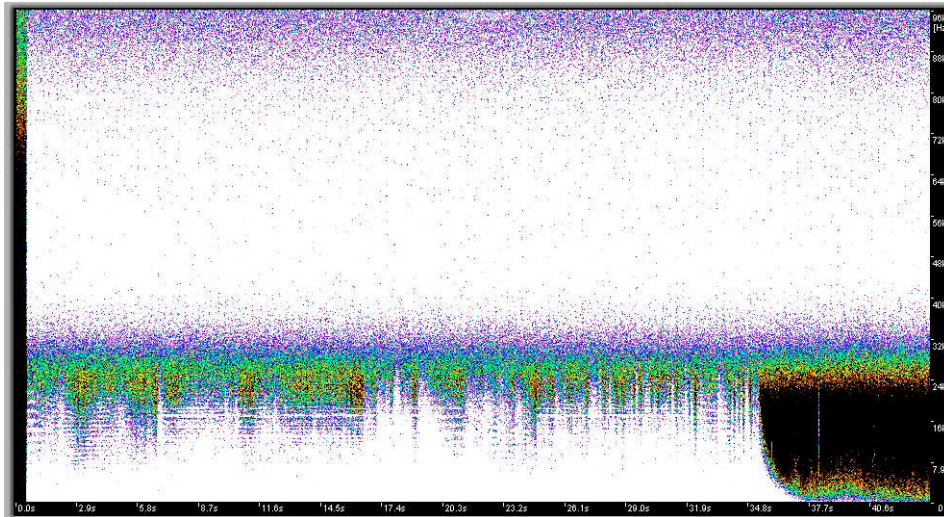
Ähnlich wie bei den mit steigender Ordnung abnehmenden Amplituden der Partialschwingungen beim Rechtecksignal oben erkennt man auch in realer Musik eine Abnahme der Amplitude mit zunehmender Frequenz, d.h. die hohen Signalanteile liefern ihren Beitrag zum Gesamtsignal bei nur geringen Pegeln. Das bedeutet aber nicht geringe Relevanz, denn diese abnehmende Amplitude ist, wie wir bei der Rechteckwelle gesehen haben, völlig normal. Dennoch sind die Anteile für eine hohe Flankensteilheit nötig. Zu merken ist in jedem Fall, dass unser Übertragungssystem nicht nur hohe Frequenzen, sondern diese dann auch gleichzeitig bei niedrigen Pegeln exakt übertragen können muss.

SACD

Mit diesem Zusammenhang lässt sich beispielsweise der technische Mangel der SACD bzw. dem DSD Aufnahmeverfahren verstehen. Die SACD bietet gemessen am Nutzsignal Musik keine deutlich bessere Aufzeichnung als die CD. Oft wird der messtechnisch große Übertragungsbereich mit eindrucksvollen

Bildern der Übertragung von Impulsen scheinbar belegt wird. Im Dirac-Impuls sind aber im Gegensatz zur Rechteckwelle und dem realen Musiksignal alle Frequenzen mit gleichbleibend hohem Pegel enthalten. Somit kann ein hoch ausgesteuerter Impuls sehr gut übertragen werden, reale Musiksignale aber nicht, weil ab 24kHz massives Quantisierungsrauschen die leisen hochfrequenten Anteile im Musiksignal maskiert:

Folgendes Bild zeigt eine Orchesteraufnahme von SACD, der breite weiße Bereich beschreibt das Quantisierungsrauschen, in dem die Hochfrequenzinformation versinkt.



Das zeitliche Auflösungsvermögen beim menschlichen Hören

Nachdem nun die Beschaffenheit des Musiksignals betrachtet wurde, sollen nun die Fähigkeiten des menschlichen Hörapparats beleuchtet werden, weil natürlich jegliche Betrachtung von für den Menschen nicht wahrnehmbaren Anteilen im Nutzsignal widersinnig wäre.

Allgemein wird der Hörbereich des Menschen auf 20Hz-20kHz festgelegt, woraus dann die Erfinder der CD die Abtastrate von 44,1kHz folgerten (Frequenzbandbreite = halbe Abtastrate, d.h. 22,05kHz; siehe S.13, Nyquist-Shannon-Abtasttheorem). Könnte man den oben gezeigten Zusammenhang zwischen Bandbreite und zeitlichem Auflösungsvermögen nun Eins zu Eins auf den Menschen übertragen, wäre es auch tatsächlich widersinnig von technischen Audioübertragungssystemen eine höhere zeitliche Auflösung zu fordern, da der Mensch diese dann ohnehin nicht wahrnehmen könnte. Diese seit Einführung der Digitaltechnik proklamierte Festlegung muss jedoch deutlich in Frage gestellt werden.

Die kleinste auf einer CD darstellbare Struktur von 22 μ s wird den Fähigkeiten des menschlichen Hörsystems nicht gerecht. Natürlich gilt die Physik auch bezogen auf das menschliche Hören, und die Bandbreite des menschlichen Gehörs wird anhand von Hörtests mit Sinusschwingungen auf maximal 20kHz festgesetzt. Allerdings dürfen beim menschlichen Hören nicht die Eigenschaften eines Ohres isoliert betrachtet werden, genauso wie der „psychoakustische Filter“, das Gehirn, nicht vernachlässigt werden kann. Das Gehirn zusammen mit zwei Ohren bildet erst das menschliche Übertragungssystem und bestimmt die Hörwahrnehmung.

Zum Beispiel sind bei der Richtungswahrnehmung Winkelabweichungen von nur 3-5 Grad exakt wahrnehmbar. Das entspricht einer Laufzeitdifferenz zwischen beiden Ohren von etwa 10 μ s. Zwei zeitlich diskrete Signale hingegen kann unser Hörsystem nur mit einem zeitlichen Abstand größer 10ms bewusst als zwei Signale voneinander trennen. Und Untersuchungen im Bereich Instrumentenakustik

wiederum zeigen, dass der Mensch kleinste Signalstrukturen bis hinab zu einer Größenordnung von $5\mu\text{s}$ wahrnimmt und diese für einen natürlichen Höreindruck benötigt².

Erinnern wir uns an den oben kennengelernten Zusammenhang zwischen Frequenzbandbreite und rechnen nun die 20kHz der höchsten hörbaren Frequenz um in Zeitauflösung, so ergibt das $25\mu\text{s}$. Rechnet man die 10ms Zeitauflösung für diskrete Ereignisse um in eine maximal hörbare Frequenz, so dürften wir keine Frequenzen über 50Hz (das ist die Frequenz eines Netzbrummens) hören. Gleichzeitig hören wir beim Bestimmen von Richtungen Zeitabstände von $10\mu\text{s}$ und nehmen in Klängen Signalstrukturen bis hinab zu $5\mu\text{s}$ wahr.

Alle Beispiele zusammengenommen zeigen nun eindeutig, dass der zuvor auf technischer Ebene dargelegte physikalische Zusammenhang von Bandbreite und Zeitauflösung so nicht auf den Menschen übertragen werden darf, weil unser „psychoakustischer Filter“ immer mit beteiligt ist. Der menschliche Hörbereich, die Präzision in der Richtungswahrnehmung, die Empfindlichkeit bei der Bewertung von Klängen und das an sich sehr begrenzte Selektionsvermögen bezüglich zeitdiskreter Ereignisse würden sonst in starkem Widerspruch zueinander stehen. Es ist außerdem davon auszugehen, dass die hohe Zeitauflösung beider Ohren im Zusammenspiel nicht nur zur Richtungsbestimmung benutzt wird, sondern unserem Hörsystem insgesamt die Fähigkeit gibt, Klangstrukturen sehr genau auszuwerten.

Selbstversuch

Hierzu empfehle ich einen leicht durchführbaren Selbstversuch: Man nehme eine laut tickende Uhr und halte den Kopf in etwa 20cm derart davor, dass ein Ohr direkt darauf zeigt (Uhr also beispielsweise rechts vom Kopf). Nun vergleiche man den wahrgenommenen Klang beim Hören mit beiden Ohren und mit zugehaltenem Ohr auf der von der Uhr abgewandten Seite. Mit zugehaltenem Ohr wird der Klang dunkler und wirkt zeitlich gesehen nicht mehr so scharf, obwohl das abgewandte Ohr eigentlich durch die Abschattung des Kopfes weniger höherfrequente Anteile aufnimmt und somit ein gegenteiliger Effekt zu erwarten wäre.

Hält man nun eine große schallabsorbierende Platte (z.B. Akustikschaum, ein großes Kissen) in ebenfalls etwa 20cm Abstand neben das abgewandte Ohr, wird man nun den eigentlich zu erwartenden Effekt feststellen. Das Signal klingt bei zugehaltenem abgewandten Ohr heller.

Unser Hörsystem scheint also aus den komplexen Rückwürfen des Raumes, selbst bei einem so zarten Signal wie dem Ticken einer Uhr, sofort Informationen über die Beschaffenheit des Tickens zu ziehen und diese dem wahrgenommenen Klang zuzuordnen; ganz zu schweigen davon, dass wir sogar noch Informationen über die Beschaffenheit des Raumes extrahieren.

Verinnerlicht man dieses Beispiel, mahnt diese Erfahrung deutlich, unser Hörsystem nicht zu unterschätzen.

Evolutionswissenschaftler erklären übrigens das hohe zeitliche Auflösungsvermögen des Hörsystems dadurch, dass präzises Richtungshören für den Urmenschen als Jäger überlebenswichtig war. Auch die Art der Geräusche zu erkennen, war unter Umständen entscheidend über Leben und Tod. Für die bewusste Wahrnehmung extrem hoher Frequenzen an sich zeigt uns die Evolutionsgeschichte allerdings keine Notwendigkeit.

Die Konsequenzen für die Musikübertragung

Die verschiedenen bisher zusammengetragenen Ergebnisse ermöglichen nun, Forderungen an ein System zur Übertragung von Musik zu formulieren.

²siehe Bericht zur 23. Tonmeistertagung 2004: Ernst-Joachim Völker – Direktschall von Musikinstrumenten

Die Zeitauflösung des technischen Übertragungssystems steht also in fester Beziehung zur Bandbreite im Frequenzbereich. Die in der theoretischen Betrachtung für den Impuls und Rechtecksignale geltenden Gesetzmäßigkeiten sind in der realen Audiotechnik auf impulsähnliche Signale anzuwenden. Musik und Sprache gehören wegen ihrer komplexen Ein- und Ausschwingvorgänge generell zu dieser Kategorie.

Natürliche Instrumente, die gewöhnlich unser Nutzsignal Musik erzeugen, kreieren außerordentlich komplexe Strukturen. Dabei sind gerade die Einschwingvorgänge entscheidend für das Erkennen von Instrumenten und Klangfarben als natürlich, aber auch die künstlerische Gestaltung der Tongebung durch den Musiker drückt sich in einer Modulation dieser Einschwingvorgänge aus. Erst kleinste Variationen in Lautstärke und zeitlichem Ablauf, in Phrasierung und Artikulation, bilden den Ausgangspunkt für ein musikalisch ansprechendes Spiel mit Seele, den Unterschied zwischen Mensch und Maschine. Aus einer strukturiert über die Zeit ablaufenden komplex gestalteten Klangverteilung wird Musik. Diese Komplexität spiegelt sich wider in der Frequenzbandbreite des Musiksignals von etwa 45kHz. Die hochfrequenten Anteile erfordern eine hohe Genauigkeit, insbesondere bei niedrigen Signalpegeln.

Das menschliche Hörsystem ist in der Lage diese komplexen Strukturen zu verarbeiten, deshalb muss auch das technische Übertragungssystem dazu in der Lage sein.

Nyquist-Shannon-Abtasttheorem

Die übertragungstheoretische Basis für die gesamte digitale Übertragungstechnik liefert das Abtasttheorem der Herren Nyquist und Shannon:

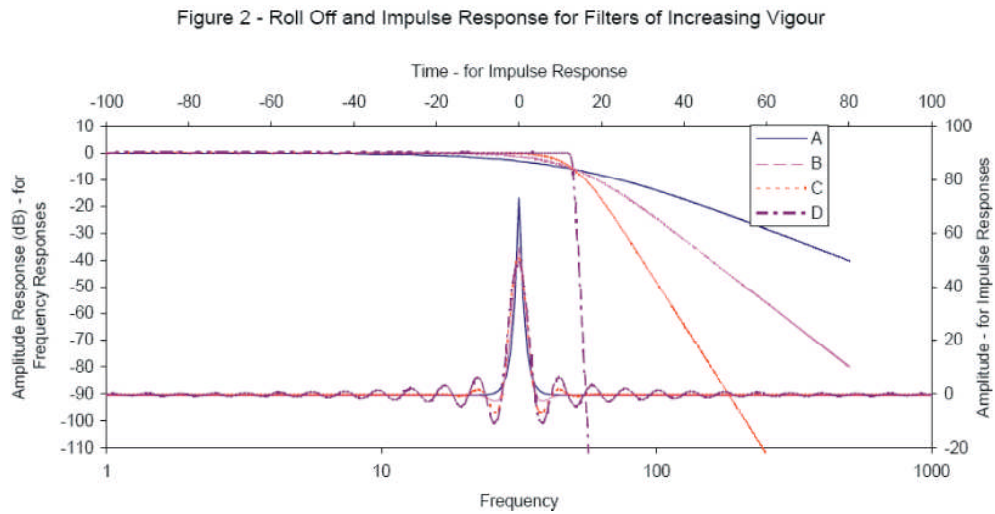
Das Abtasttheorem besagt, dass ein kontinuierliches, bandbegrenzttes Signal mit einer Minimalfrequenz von 0 Hz und einer Maximalfrequenz f_{max} mit einer Frequenz größer als $2 \cdot f_{max}$ abgetastet werden muss, damit aus dem so erhaltenen zeitdiskreten Signal das Ursprungssignal ohne Informationsverlust (aber mit unendlich großem Aufwand) rekonstruiert bzw. (mit endlichem Aufwand) beliebig genau approximiert werden kann.

In der Formulierung der Forderung verglichen mit der tatsächlichen Umsetzung in der Technik steckt nun schon der berühmte Teufel im Detail. Eigentlich wird ganz eindeutig gefordert, die Abtastrate mindestens doppelt so hoch wie die höchste im Nutzsignal vorhandene Frequenz zu wählen. Wenden wir das Abtasttheorem formal richtig an, benötigen wir gemäß unserer Erkenntnisse über die Beschaffenheit des Musiksignals eine Abtastrate von etwa 90kHz. Eine Abtastrate von 44,1kHz wie bei der CD wird erst durch eine künstliche Begrenzung des Frequenzbereichs möglich und beschneidet das Nutzsignal deutlich. Wie wir oben gelernt haben, äußert sich dieses Beschneiden jedoch nicht einfach nur als tonaler Fehler, den wir dann nicht hören, weil unser Gehör keine Frequenzen über 20kHz hören kann, sondern wir implizieren dem Nutzsignal eine gewisse Unbestimmtheit im Zeitbereich, die unser menschliches Hörsystem sehr wohl wahrnimmt.

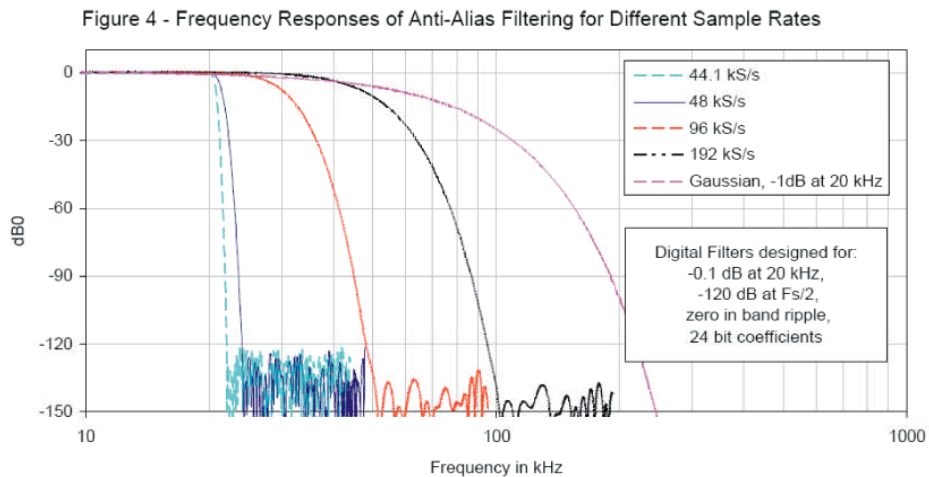
Aliasing-Filter

Damit aber nicht genug: Eine zusätzliche Unbestimmtheit im Zeitbereich ergibt sich aus der zwar allgemein gebräuchlichen aber eigentlich „zurecht gebogenen“ Anwendung des Abtasttheorems. An die zentrale Forderung des Theorems bezüglich der doppelten Abtastrate muss sich bei jeder Digitalisierung unbedingt gehalten werden, um sogenanntes Aliasing (künstlich generierte Spiegelfrequenzen) zu vermeiden. Das Nutzsignal wird nun dazu vor der Digitalisierung einfach künstlich auf eine Bandbreite gleich der Hälfte der Abtastrate beschnitten. Um dabei aber eine genügend große Sperrdämpfung des Filters zu erreichen, werden fast ausschließlich symmetrische FIR Filter eingesetzt, und diese Filter sind zwar messtechnisch gesehen phasenlinear, erzeugen jedoch stattdessen sogenanntes Ringing, künstlich erzeugte im Originalsignal nicht vorkommende Ein- und Ausschwingvorgänge.

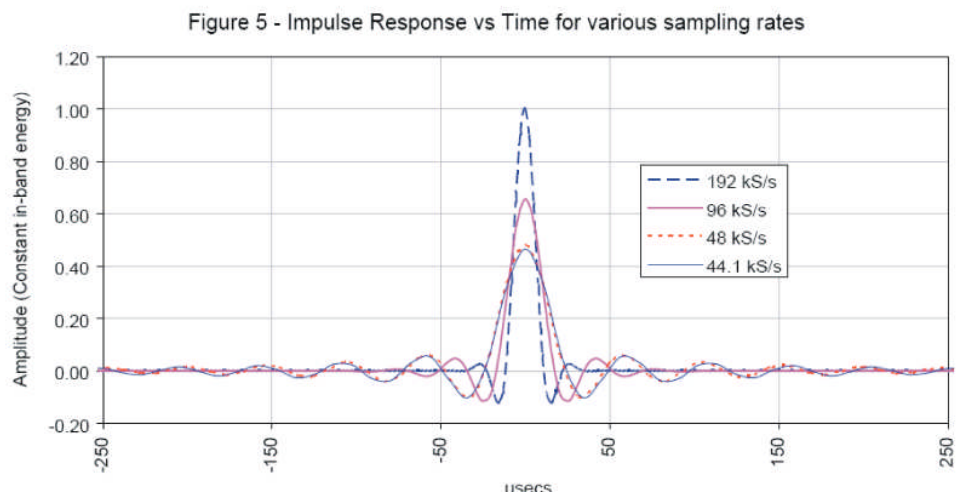
Das folgende Diagramm zeigt, welche Vor- und Nachschwinger in Abhängigkeit von der Steilheit der Filter generiert werden:



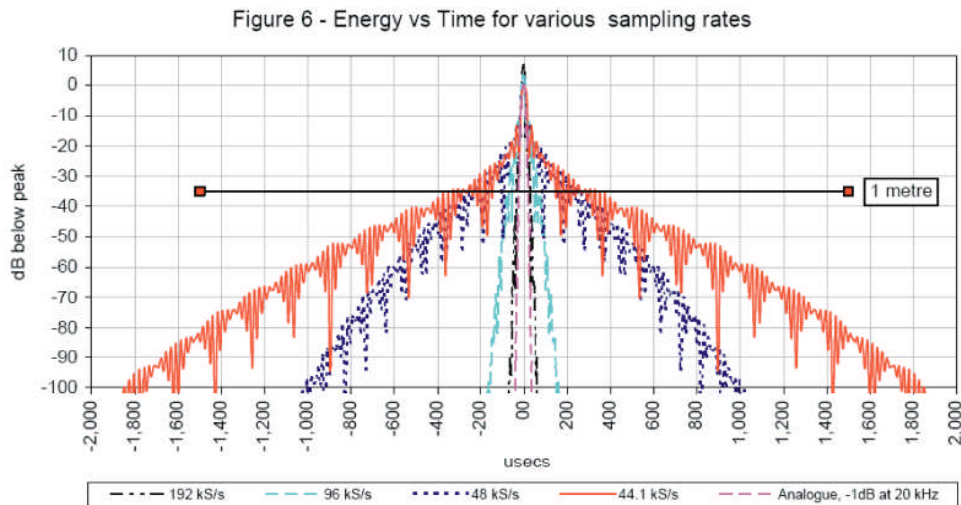
Die nächsten beiden Diagramme beschreiben den gleichen Zusammenhang in Abhängigkeit von der Abtastrate. Zuerst die Filtercharakteristik, die so nötig ist, um das Abtasttheorem zu erfüllen:



Dann die dazugehörigen Impulsantworten:



Besonders wichtig ist nun aber die dadurch verursachte Spreizung des Energieinhalts des Signals, weil für die akustische Wahrnehmung immer der Energieinhalt eines Signals die entscheidende Kenngröße darstellt. Wie man hier deutlich erkennen kann, ist die Energieverteilung bei Abtastraten unter 96kHz ganz erheblich in der Zeit verschliffen.:



Die Diagramme "Figure 2,4,5,6" entstammen, mit freundlicher Genehmigung des Autors, dem Aufsatz „A Suggested Explanation For (Some Of) The Audible Differences Between High Sample Rate And Conventional Sample Rate Audio Material“ von Mike Story bei der Firma DCS

Das zeitliche Gefüge des Nutzsignals wird also bei der Digitalisierung, insbesondere bei Abtastraten unter 96kHz, durch zwei Effekte verändert: Zum einen führt die Bandbegrenzung zu einem „Zeitfehler“, weil Frequenzanteile abgeschnitten werden, zum anderen erzeugen die Aliasingfilter eine Spreizung des Signals und verschmieren die Struktur zusätzlich. Letzteres muss besonders kritisch beurteilt werden, weil dies die so wichtigen natürlichen Einschwingvorgänge maskiert und deshalb das Signal ganz besonders verfremdet. Selbst in der gesamten Analogtechnik gibt es solche Effekte nicht. Ein analoger Filter würde bei Verringerung der Bandbreite das Nutzsignal zeitlich dehnen, aber immer nur in Richtung stärkeres Nachschwingen, so wie es jedes reale Instrument tut. FIR Filter bringen durch „mathematische Tricks“ die natürliche Physik der Klangerzeuger durcheinander.

In Musikbeispielen kann man nun diese Überlegungen sehr schön verifizieren. Einzig die Frage, welcher Prozess für den gehörten Effekt stärker verantwortlich ist, die verminderte Zeitauflösung durch die Begrenzung der Frequenzbandbreite oder die Verschmierung der zeitlichen Abläufe durch das Ringing der FIR-Filter, ist nicht eindeutig zu klären. Beides bedingt sich aber gegenseitig, und somit ist die präzise Klärung der Frage eigentlich auch eher zweitrangig.

Wichtig festzuhalten bleibt allerdings: Die Digitalisierung verändert das zeitliche Gefüge des Originalsignals. Je geringer die Abtastrate und damit die Frequenzbandbreite, umso stärker ist dies der Fall. Ganz besonderer Augenmerk gilt der „zeitlichen Verzerrung“ vor dem eigentlichen Ereignis, weil diese Art Verzerrung besonders unnatürlich ist und gleichzeitig dieser Bereich für das natürliche Hören so wichtig ist. Bei einer Abtastrate von 96kHz erfüllt man die durch die Beschaffenheit des Musiksignals gestellten Anforderungen, und die Ringing-Effekte der Filter sind sehr deutlich reduziert. Es findet fast keine zeitliche Verfremdung des Originalsignals mehr statt.

Vergleich mit der Analogtechnik

Wie bereits erwähnt, jedes technische Übertragungssystem hat eine begrenzte Übertragungsbandbreite und damit ein begrenztes zeitliches Auflösungsvermögen. Wie sehen also die Verhältnisse bei analoger Audiotechnik aus? Denn auch diese ist alles andere als perfekt und besitzt logischerweise keinen unendlichen großen Übertragungsbereich. Dazu eine grobe Auflistung der Eckdaten analoger Audiogeräte (-3dB-Punkt am oberen Ende des Übertragungsbereichs):

Mikrofone: obere Grenze zwischen 20-50kHz

Bandmaschine: 30-35kHz

Plattenspieler: je nach Nadelschliff bis 40kHz

analoge Verstärkertechnik: mehrere 100kHz

Die Übertragungsbereiche von Mikrofonen sind sehr verschieden. Selten finden sich Frequenzschiebe jenseits der 20kHz, und es muss bei Mikrofonen unterschieden werden zwischen der Fähigkeit, stationäre Schwingungen hoher Frequenz bei hohen Pegeln übertragen zu können (Frequenzgangmessung) und der Fähigkeit, feine Strukturen innerhalb der Einschwingvorgänge zu reproduzieren. Es wurde ja bereits gezeigt, dass die für ein hohes Detailreichtum nötigen hohen Frequenzanteile nur bei sehr geringen Pegeln genau reproduziert werden müssen. So findet man z.B. in einem Bericht über die Entwicklungsarbeit des Neumann TLM50 die Aussage, dass die Membrandicke so optimiert wurde, dass man je nach Dicke der Membran Impulse zwischen 7,9 und 11,6µs übertragen konnte, wobei 10µs einer Grenzfrequenz von 50kHz entsprechen³. Und dies, obwohl der Frequenzschrieb ab etwa 18kHz schon einen deutlichen Abfall zeigt.

Generell gilt ebenso, dass bei Mikrofon, Bandmaschine und Plattenspieler der Frequenzgang oberhalb des -3dB-Punktes in der Regel einen deutlich geringeren Abfall zeigt, als er in AD-Wandlern generiert wird, etwa 5-25dB/Oktave statt 120dB innerhalb weniger Kilohertz. Daraus resultiert bei diesen analogen Geräten somit immer ein deutlich höheres zeitliches Auflösungsvermögen als es beispielsweise die CD bietet.

Anlaoge Verstärkertechnik, d.h. Vorverstärker, Endverstärker, Mischpulte usw., sind in Sachen Bandbreite bzw. Zeitauflösung die besten Bausteine in der Übertragungskette, da sie in der Regel leicht viele hundert Kilohertz erreichen (z.B. unser Mischpult: 750kHz). Interessanterweise kann man aber auch im analogen Verstärkerbau beobachten, wie der Detailreichtum des Klangbildes mit wachsender Anstiegsgeschwindigkeit des Verstärkers, also der Fähigkeit schnelle Signalanstiege präzise nachzuzeichnen, zunimmt.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass analoge Übertragungstechnik in allen Teilbereichen den Anforderungen des Musiksignals weitgehend gerecht wird, in jedem Fall aber der CD deutlich überlegen ist. Das „Nadelöhr“ in einer rein analogen Übertragungskette bildet die Aufzeichnung an sich, die Bandmaschine. Alle Arten von Verstärkertechnik erfüllen analog aufgebaut die Anforderungen um Größenordnungen.

Falsche Messtechnik

Erschwert wird die Erkenntnis, wie wichtig die zeitliche Präzision ist und wie gut die „alte“ Analogtechnik diesbezüglich war, aber auch durch unzureichende Messverfahren, die allesamt noch aus der Analogzeit stammen. Dabei sind die Anforderungen an ein gutes Digitalsignal ganz andere als an ein gutes Analogsignal.

Die Kriterien für ein analoges Übertragungssystem werden u.a. beschrieben durch einen möglichst

³ Stephan Peus, TMT 1990, "Ein Druckmikrofon mit kugelförmiger akustischer Oberfläche"
<http://www.neumann.com/download.php?download=lect0011.PDF>

linearen Frequenz- und Phasengang zwischen 20Hz und 20kHz. Der geforderte Phasengang ist aber nur zu erreichen, wenn der Frequenzübertragungsbereich noch viel weiter als bis 20kHz reicht; auch wenn das dann nicht mehr ganz linear erfolgt. Indirekt steckt somit in dieser Forderung auch die Forderung nach hoher Zeitauflösung, auch wenn dies zu Analogzeiten selten direkt ins Bewusstsein trat. Wenn Analogtechnik auf einen linearen Phasengang hin optimiert wurde, wurde damit indirekt immer auch die zeitliche Präzision optimiert. Bei digitalen Geräten mit oben genannten FIR-Filtern ist ein messtechnisch linearer Phasengang auch bei geringer Frequenzbandbreite und damit Zeitauflösung möglich.

Auch bezüglich Verzerrungen verhält sich digitale Audiotechnik grundsätzlich anders als analoge. Während analoge Technik gerade bei geringeren Pegeln sehr verzerrungsarm arbeitet, bei hohen, knapp unterhalb der Übersteuerungsgrenze, dann deutlich ansteigende Werte verursacht, bevor letztlich sehr deutliche Verzerrungen hörbar werden, erzeugt Digitaltechnik vor allem bei kleinen Signalpegeln Verzerrungen.

Wie wir in den bisherigen Beobachtungen gesehen haben, liefert bei der Musikübertragung aber gerade die Genauigkeit bei hohen Frequenzen mit geringen Pegeln die zeitliche Präzision. Diese Art von Präzision wird bis heute durch kein Messverfahren zuverlässig und am Nutzsignal orientiert erfasst. Stattdessen misst man noch immer Verzerrungen, die für analoge Systeme wichtig waren: Gemessen wird der Klirrfaktor, meist K2 und K3, d.h. aber Verzerrungsprodukte deren Frequenzbestandteile immer auch im natürlichen Signal enthalten sind (K2, 4, usw.). Selbst der kritischer zu bewertende K3, der nicht in die harmonische Obertonreihe passt, beschreibt immer noch eine Komponente, die das Zeitverhalten nicht beeinträchtigt.

Digitale Audiotechnik verursacht andere Verzerrungen, die viel kritischer zu beurteilen sind. Es entstehen hierbei „synthetische“ Verzerrungsprodukte, die so in keinem realen Klang zu finden sind. Das Beispiel der FIR-Filter ist nur eines von vielen.

Zusammenfassung

Durch den zu eng begrenzten Übertragungsbereich ist das Auflösungsvermögen digitaler Übertragungssysteme mit Standardabtastraten wie die CD stärker, als es das Nutzsignal Musik zulässt, reduziert. Die Filter, die bei der Digitalisierung eingesetzt werden müssen, erzeugen zusätzlich Verschmierungen im Zeitbereich. Insbesondere entsteht hierbei eine Art künstlicher Einschwingvorgang, der wegen der Relevanz des natürlichen Einschwingvorgangs besonders kritisch bewertet werden muss. Digitale Audiosysteme mit Standardabtastraten bilden die wichtigen komplexen Strukturen eines realen Musiksignals nur sehr unvollkommen ab. Digitale Audiosysteme mit Abtastraten von 96kHz oder mehr erfüllen die durch das Nutzsignal Musik gestellten Anforderungen sehr gut. Bezüglich der reinen Audioaufzeichnung ist diese Technik dann der vorangegangenen analogen eindeutig überlegen.

Bewertung

Es geht, wie eingangs gesagt, im Kern um die Frage, wie man die künstlerische Intention der ausführenden Interpreten und die Intensität und Atmosphäre der Musikdarbietung, schlicht die Wirkung der Musik, via Audioaufzeichnung möglichst unverfälscht übertragen kann. Mit dieser Frage eng verknüpft ist nämlich die – ich nenne es mal – Begeisterungsfähigkeit der Musikdarbietung, und das Fehlen der solchen scheint mir inzwischen ein Kernproblem in der Landschaft der Audiomedien zu sein, ob auf Tonträger, im Rundfunk oder im Fernsehen. Aufgezeichnete Musik scheint zunehmend nur noch als Hintergrundberieselung ohne besonderen eigenen Reiz und damit auch Wert gesehen zu werden. Neben den sicher auch gesellschaftlichen Ursachen ist aus meiner Sicht hauptverantwortlich für diese Entwicklung der Umstand, dass die Entwicklungen in der Audiotechnik während der letzten 25 Jahre zu einer Degeneration des Begeisterungspotentials geführt haben und deshalb heute viele Produktionen nun

auch zu nicht sehr viel mehr als zur Hintergrundberieselung taugen.

Kein Zufall sind vor diesem Hintergrund dann zwei gegenläufige Trends: Die breite Masse findet Gefallen an MP3, eben als die handlichste Form der Hintergrundberieselung (dabei passieren dort noch ganz andere „Katastrophen“, im Vergleich zum hier Beschriebenen). Gleichzeitig erfährt aber bei wahren Musikgenießern auch die LP wieder eine beachtliche Renaissance. Denn zwar ist eine LP alleine noch kein Garant für einen hohen Spaßfaktor, mancher Hörer mag sich auch generell nicht mit den Nebengeräuschen abfinden, aber hier findet man sehr viel mehr Produktionen mit hohem Begeisterungspotential. Technisch gesehen kann das Medium diesbezüglich auf jeden Fall klar mehr leisten als die CD, und zum Teil einfach nur dadurch, dass es die Anforderungen an die zeitliche Genauigkeit im Gegensatz zur CD schlicht erfüllt.

Die nun zusammen getragenen Erklärungen wissenschaftlich exakt zu definieren ist außerordentlich schwierig, gerade auch deshalb, weil der ohnehin sehr kleine wissenschaftliche Zweig in der Audiotechnik sich der Thematik nicht angenommen hat, die Zeit mit „Beweisen“ vergeudet, dass das Hörbare so eigentlich nicht existent sein kann, und dann allenfalls in ganz andere Richtungen forscht: Stichwort „Kompressionsverfahren mit immer kleineren Datenraten“. Dabei mutieren Audiotechniker anscheinend immer mehr zu schlichten EDV-Technikern, die nicht mehr das Objekt selbst, die Musik und ihren künstlerischen Anspruch, gewissenhaft im Blick behalten.

Fazit und Ausblick

Glücklicherweise ist die technische Entwicklung in der Audiotechnik dennoch auch im Bestreben um bessere Qualität nicht stehengeblieben. Bereits mit den heutigen Möglichkeiten können die genannten Defizite digitaler Audiotechnik erster Generation überwunden werden.

Typische Musiksignale enthalten also Frequenzen im Bereich bis etwa 45kHz. Feinere Strukturen, als durch diesen Wert repräsentiert, gibt es nicht. Die Übertragung höherer Frequenzen ist somit nicht nötig. Die Beschaffenheit des Musiksignals erfordert damit eine Abtastrate von mindestens 96kHz. Der Einfluss der Anti-Aliasing-Filter und deren künstlich generierter Vorschwinger ist bei 96kHz ebenfalls bereits sehr gering, verglichen mit 44,1kHz bzw. 48kHz.

Wird die reine Aufzeichnung betrachtet, erscheint nun eine Abtastrate von 96kHz ausreichend, denn eine weitere Erhöhung der Abtastrate bringt nur noch relativ kleine zusätzliche Vorteile durch eine zur Zeit dann technisch besser realisierbare AD- und DA-Wandlung. Im Gegensatz zu den beträchtlichen Verlusten beim CD-Format ist dieser zusätzliche Gewinn jedoch eher gering, da das Nutzsignal die zusätzliche Bandbreite schlicht nicht erfordert. Eine Art Rennen um immer höhere Abtastraten oder ganz andere Verfahren wie DSD bei der SACD nach dem Motto „mehr ist besser“ ist in jedem Fall völlig unsinnig.

Die Aufzeichnung und Musikdistribution mit 24Bit/96kHz oder 24Bit/192kHz ist bereits sehr leicht machbar. Prinzipielle Vorbehalte gegenüber digitaler Audioaufzeichnung sind unbegründet. Die von Kritikern oft angeführten Defizite gelten für Digitaltechnik erster Generation, denn nur gegenüber dem CD-Format sind die analoge Bandaufzeichnung und insbesondere auch die analoge Vinylplatte deutlich im Vorteil.

Da der Umstieg auf eine Abtastrate von 96kHz nicht mehr das geringste Problem darstellt, ja sogar 192kHz recht leicht handhabbar ist, sollten nun, nach etwa 25 Jahren CD, endlich der digitalen Audiotechnik auf breiter Front die Eckdaten verschafft werden, die sie eigentlich schon immer hätte besitzen müssen. In Anbetracht der begrenzten technischen Möglichkeiten bei Einführung der CD zu Beginn der 1980er Jahre sind die genannten Einschränkungen zu verstehen, heute gibt es aber weder für die CD, noch erst recht nicht für MP3 und andere datenreduzierte Formate, weiterhin die geringste technische Daseinsberechtigung.

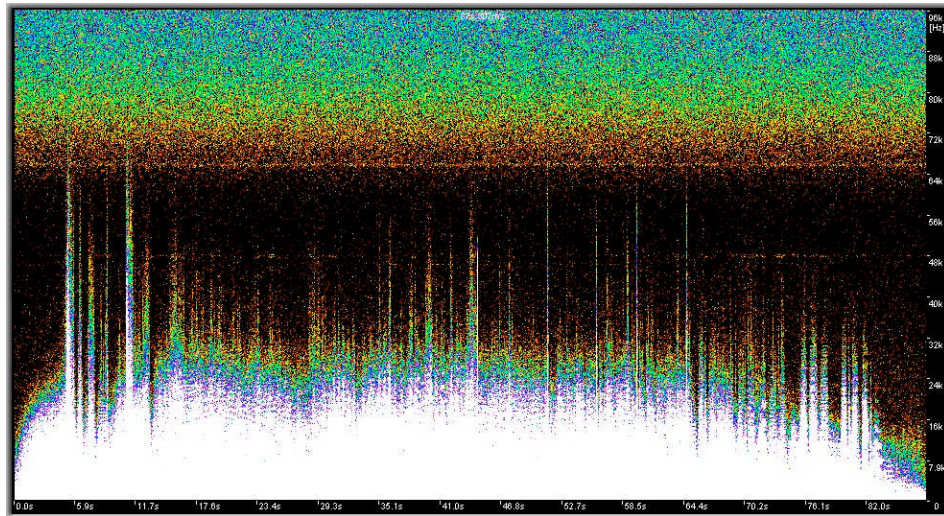
Aktuelle Entwicklungen

Bei ACOUSENCE richten wir unsere Arbeitsweise und auch die Produkte schon lange nach diesen Erkenntnissen aus. Bisher profitieren unsere CDs von der genaueren Auflösung während der Produktion, weil erst ganz am Ende der Übertragungskette ein einziges Mal auf das begrenzte CD-Format konvertiert wird, und unsere CDs vermitteln daher bereits einen kleinen Ausblick auf das Mögliche. Unsere aktuellen LPs repräsentieren bereits ein audioteknisches Produkt, welches voll von der beschriebenen exakten Darstellung der musikalischen Abläufe profitiert (siehe Bilder auf der folgenden Seite). Wenn es dann aber ein digitales Medium wegen der bekannten Vorteile in Sachen Handhabung sein soll, bieten wir mit unseren DVD+FLACs schon heute eine digitale 24Bit/96kHz-Audiodisc, die in jedem DVD-Player abspielbar ist. Die DVD ist inzwischen ähnlich etabliert wie die CD, kompatibel zum Nachfolgeformat BluRay und somit ausgesprochen zukunftssicher.

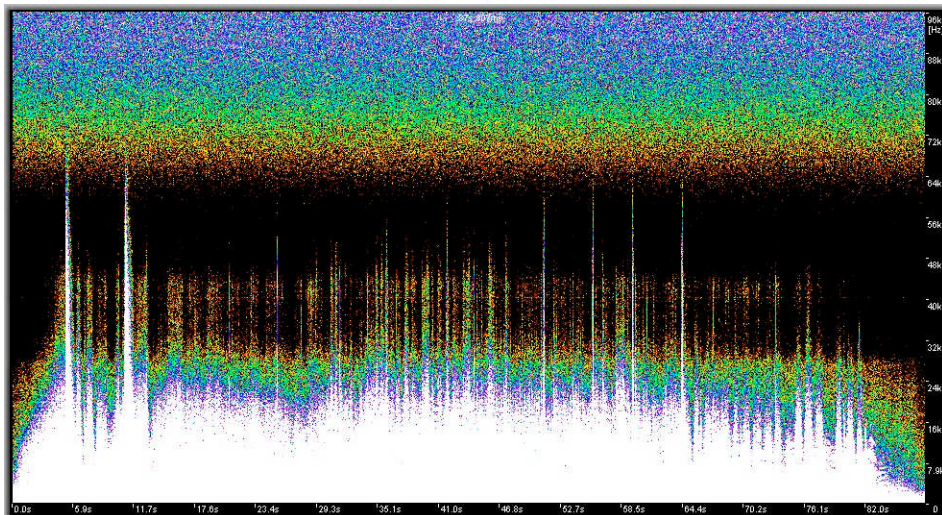
Die DVD+FLAC Disc schlägt allerdings gleichsam eine Brücke zum sich gerade erst entwickelnden Sektor der hochauflösenden tonträgerlosen Musikdistribution: Diese Disc enthält die Musik in Masterqualität nicht nur in einem direkt abspielbaren 24Bit/96kHz DVD-Format, sondern auch als 24Bit/96kHz FLAC-Files, die mit Netzwerkplayern, Mediaplayern und Computern abgespielt werden können. In der SPECIAL EDITION gibt es die FLAC-Files auch im Format 24Bit/192kHz.

Daneben sind die FLAC-Files ebenso per Download in verschiedenen Qualitätsstufen bis 24Bit/192kHz erhältlich.

Das erste Bild zeigt ein Frequenzdiagramm eines unserer 192kHz Master. Hier ein Ausschnitt aus dem zweiten Satz unserer auch auf LP erschienenen 15. Sinfonie von Dmitri Schostakowitsch:

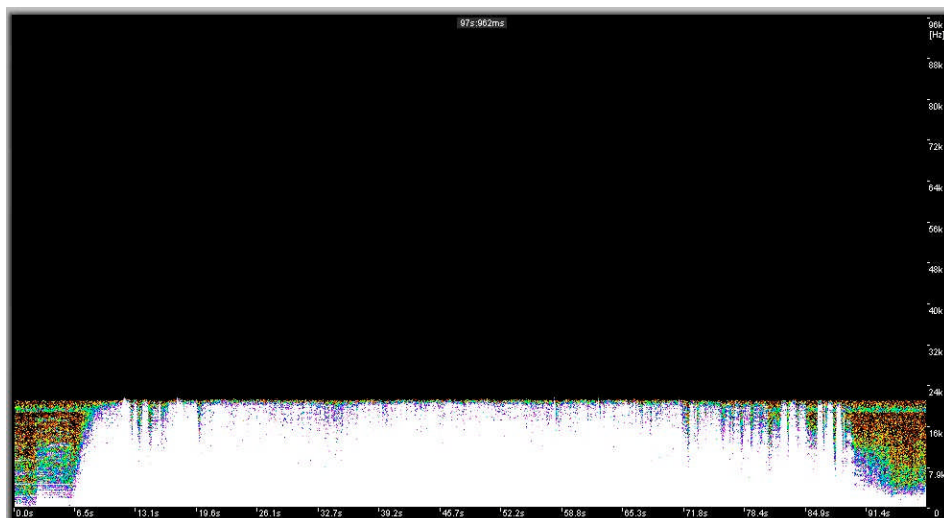


Das zweite Bild zeigt die gleiche Passage, abgespielt von der LP und wieder mit 192kHz digitalisiert:



Nun kann man sehr schön erkennen, wie die LP selbst höchste Frequenzstrukturen fast unverändert überträgt. Es erscheinen lediglich zusätzliche Anteile durch das Laufgeräusch der LP.

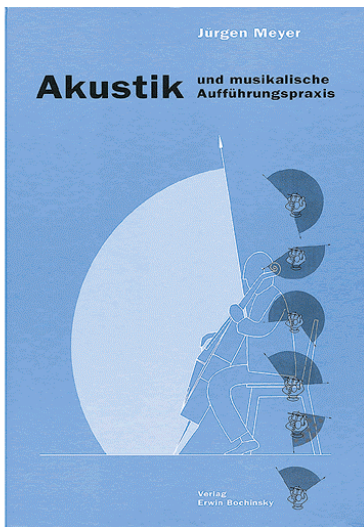
Hier noch zum Vergleich die gleiche Darstellung, upsampled auf 192kHz, von CD:



Literaturhinweis:

Jürgen Meyer

Akustik und musikalische Aufführungspraxis, Verlag Erwin Bochinsky



Dieses Standardwerk bietet Akustikern, Tonmeistern, Instrumentenbauern, Architekten und Musikern einen fundierten und kompetenten Leitfaden zu den Eigenschaften aller gängigen akustischen Musikinstrumente und der Stimme.

Nachdem der Leser akustische Grundkenntnisse erworben hat wird jedes einzelne Instrument genau analysiert. Darstellung von Frequenzspektrum, Dynamik, Zeitstruktur des Klangs, Ausbreitungsverhalten, speziellen Spielweisen usw. geben dem Leser einen fundierten Einblick.

Daraus ergibt sich ein genaues Verständnis der akustischen Verhältnisse auf dem Konzertpodium, der Bedeutung von Sitzordnungen im Orchester, der Balance zwischen Sängern und Orchestern und allen anderen Aspekten der musikalischen Aufführung.

Den Akustiker werden vor allem die grafisch veranschaulichten Messdaten interessieren. Für den Tonmeister und Instrumentenbauer ist die Kenntnis der akustischen Eigenschaften der Instrumente von kritischer Bedeutung.

5. aktualisierte Auflage 2004 / ISBN: 978-3-932275-95-1 / 341 Seiten / 28,7 x 20,8 cm / Hardcover