Ein
White Paper
zu einem
rabenschwarzen
Thema.

Wie kommt das schwarze Gold auf Ihre Festplatte?

Für viele Audiophile ist Vinyl noch immer der «musikalischste» Tonträger. Doch auch für hartgesottene LP-Liebhaber gibt es viele – und gute! – Gründe, ihre schwarzen Schätze zu digitalisieren. Respektive digitalisieren zu lassen. Denn es braucht viel Know-how, Zeit, Hard- und Software und Erfahrung, damit digitalisierte LPs so gut tönen wie das analoge Ausgangsmaterial – oder sogar besser. In diesem Dokument geht es um jene Aspekte, die in meiner Erfahrung den Unterschied ausmachen.

 © Christian Rintelen 2013

Kapitel 1: Wer ist schuld?
Warum die LP nicht totzukriegen ist – im Gegenteil

Weils so schön ist: ein paar Beispiele aus meinem Cover-Archiv

Totgesagte leben länger
Der Glaubenskrieg analog vs. digital ist zum Glück schon lange ausgefochten. Bei geschätzten 99,99 Prozent aller Musikproduktionen wird das Signal heute gleich nach dem Mikrofonverstärker von analog nach digital gewandelt und dann durchgängig digital weiter verarbeitet.

Das ist auch sinnvoll. Denn zum grössten Teil wird die Musik anschliessend auch digital verkauft – zum Beispiel auf CD oder als Download via iTunes, Amazon und Konsorten.

Nur ein sehr, sehr kleiner Teil der Verkäufe erfolgt auf LPs. 2011 zum Beispiel verzeichnete man in England den Verkauf von 86,2 Millionen CDs und 389 000 LPs. In den USA waren es im gleichen Jahr 3,9 Millionen LPs. (Das ist zwar nicht weltbewegend viel, aber immerhin fast 40 Prozent mehr als im Jahr zuvor.)

Besser und billiger
Der Siegeszug der digitalen Tontechnik lässt sich mit einem Wort erklären: Geld.

Heute kostet eine erstklassige digitale Studioeinrichtung einen Bruchteil dessen, was ein Tonstudio vor 30, 40 Jahren in Bandgeräte, Elektronik und Mischpulte investieren musste. Computer sind viel günstiger, viel zuverlässiger und brauchen viel weniger Unterhalt als die komplexe Mechanik der analogen Aufnahmetechnik. Tonband im Einzoll- oder Schnürsenkelformat – ein Kostenfaktor, der quasi am Laufmeter Geld frass – ist gänzlich weggefallen. Zudem lässt sich ein digitales Signal beliebig und ungestraft kopieren und manipulieren. Analoge Kopien hingegen zeichneten sich vor allem durch eines aus: durch Rauschen.

Das Schlechteste aus zwei Welten?
Es darf davon ausgegangen werden, dass ebenfalls rund 99,99 Prozent aller LP-Neuerscheinungen digital aufgenommen, gemischt und gemastert wurden. Auch beim Schneiden der Lackfolie oder des Metallmasters sind Bits und Bytes involviert, denn meist wird nicht ab einem Tonband geschnitten, sondern ab einer digitalen Datei.

Vor diesem Hintergrund scheint es auf den ersten Blick wenig sinnvoll, Neuerscheinungen als LPs zu kaufen. Denn mit einer neuen LP erwirbt man sich die Nachteile der analogen und der digitalen Technik zugleich – einerseits die mechanische Abtastung eines empfindlichen Materials und andererseits die Verhackstückelung des analogen Signals in digitale Einsen und Nullen, die dann wieder in ein kontinuierliches analoges Signal umgewandelt werden müssen.

Das stimmt, ist aber nur die halbe Wahrheit.
Tatsächlich ist die LP kratzempfindlich und nützt sich ab. Sie ist aber auch, so erstaunlich das tönt, der einzige physische Tonträger, der den Stand (digitalen)

 © Christian Rintelen 2013

Tontechnik einigermassen ausspielen kann. Alle anderen Tonträger sind entweder limitiert punkto Auflösung und Frequenzgang (CD), am Verschwinden (DVD-A und SACD) oder gar keine Tonträger (High-Resolution-Downloads).

Praktisch alle Studios arbeiten heute mit 24 Bit Auflösung und einer Abtastfrequenz von 88,2 Kilohertz oder höher. Es lassen sich also Töne von über 40 kHz aufnehmen; 24 Bit erlauben (theoretisch) einen Dynamikumfang von 144 dB und die hohe Abtastfrequenz sanftere Digitalfilter.

Der digitale Würgegriff

Für die CD-Pressung und die iTunes-Downloads muss dieses Digitalsignal auf 44,1 kHz und 16 Bit heruntergerechnet werden. Dabei wird der Dynamikumfang auf maximal 96 dB reduziert, und alle Töne oberhalb von 22,1 kHz werden erbarmungslos abgewürgt. Das Problem ist dabei nicht so sehr der Verlust der hohen Töne, als vielmehr der digitale Würgegriff. Der killt nämlich nicht nur alles oberhalb 22,1 kHz, sondern beeinflusst durch seine zwangsläufig harte Filterauslegung auch den hörbaren Hochtonbereich.

Nun ist dummerweise die analoge Technik just dort stark, wo die digitale ihre prinzipbedingten Schwächen hat. Und umgekehrt. Analog tut sich schwer mit tiefen, lauten Tönen, die in Stereo auf eine LP geschnitten werden sollen. Für die Digitaltechnik wiederum sind brachiale Bässe ganz links hinten kein Problem; sie hat ihre Achillesferse bei den hohen und den leisen und vor allem den hohen, leisen Tönen. Deshalb ist meines Erachtens die Reduktion auf 16 Bit und 44,1 kHz gravierend.

Digitale Masterbandqualität auf Vinyl

Von namhaften Mastering-Spezialisten weiss ich, dass sie bei der Arbeit auch darauf achten, wo der Tonträger genutzt wird. Schallplatten werden in der Regel in einem ruhigen Umfeld mit einer guten HiFi-Anlage gehört. Also verwendet man für den LP-Schnitt meist das 24/88- oder 24/96-Masterband und nur wenig Dynamikkompression.

Beim CD-Mastering denken die Masteringspezialisten in der Regel an die Downloads, und die wiederum spielt man meist mit eher dürftiger Technik in lauter Umgebung ab. Das Signal wird deshalb nicht nur auf 16/44 reduziert, sondern zusätzlich auch noch komprimiert: Der CD-Mix muss nicht primär auf den grossen Lautsprechern zu Hause gut tönen, sondern vor allem auf den Ohrhörern mit dem iPod oder iPhone…

Im Klartext bedeutet dies, dass auf LPs häufig ein grösserer, natürlicherer Dynamikumfang zu finden ist als auf CDs (dieses leidige Thema kommt auch auf der nächsten Seite zur Sprache).

Das Ende naht…

Doch zum Glück sind die Tage der CD als Massentonträger gezählt. Bei HDtracks und anderen HiRes-Anbietern findet man Neuerscheinungen und viele Remasterings von U- und E-Musik-Klassikern schon heute als 24/44, 24/88, 24/96 oder gar als 24/192-Download – notabene günstiger als das gleiche Album auf CD.

Für wenig Geld gibt es heute qualitativ sehr gute USB- oder FireWire-D/A-Wandler. Über diese lässt sich der Computer problemlos an die HiFi-Anlage anschliessen. Mit HiRes-Downloads können wir so erstmals in der Geschichte der Tontechnik Musik zu Hause wirklich in der gleichen Masterband-Qualität hören wie im Aufnahmestudio – ohne die prinzipbedingten Nachteile der Schallplatte als Trägermedium.

Ein erstes Fazit

Die Zukunft dürfte den Musikservern und den HiRes-Downloads gehören. Wenn kein HiRes-Download erhältlich ist, kann es durchaus sinnvoll sein, auch LP-Neuerscheinungen zu digitalisieren. Doch das dürfte viel eher die Ausnahme als die Regel sein – mehr darüber in Kapitel 2.

 © Christian Rintelen 2013

Intermezzo:

Lautstärkekrieg und Tonträger

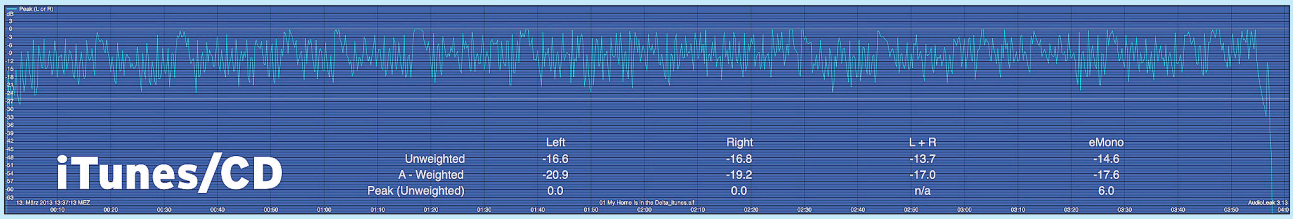
Muddy Waters' Album «Folk Singer» von 1964 zählt zu den Klassikern – aufnahmetechnisch ebenso wie musikalisch. Für den Vergleich habe ich das Stück «My Home Is In The Delta» (A/1) ab verschiedenen Tonträgern digitalisiert respektive gerippt. Damit der Vergleich aussagekräftig wird, habe ich alle Dateien auf 0 dBFS Spitzenpegel normalisiert; das ist in diesem Fall zulässig, da «My Home Is In The Delta» auf allen Tonträgern am höchsten ausgesteuert wurde.

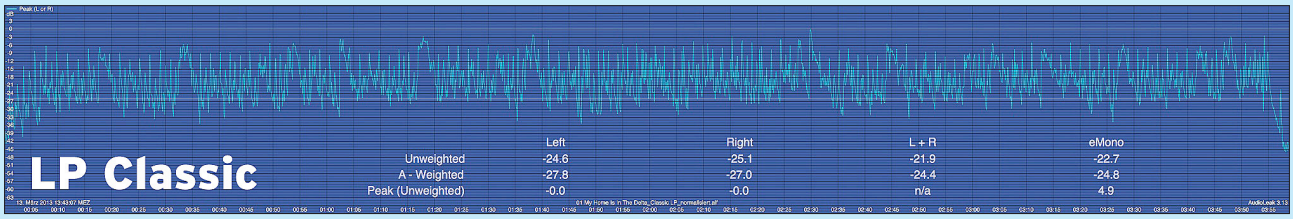
Die Zahlen beziehen sich auf den LEQ (Equivalent Continous Level, Energie-äquivalenter Dauerschallpegel). Der LEQ wird in vielen Radiostationen zum Ermitteln der durchschnittlichen Lautstärke verwendet. Zur Interpretation der Grafiken: Je grösser der Unterschied zwischen Peak und eMono mit A-Gewichtung, desto grösser die Dynamik zwichen lauten und leisen Passagen.

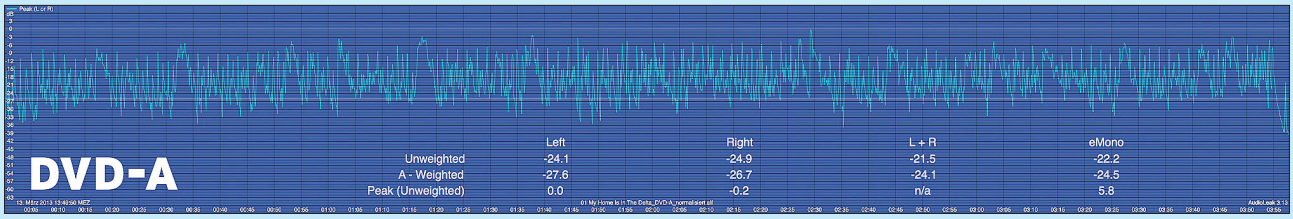
Die aus dem iTunes-Shop geladene aac-Datei entspricht der CD. Die abgeflachten Spitzen weisen darauf hin, dass das Signal stark komprimiert wurde. (Nichts Neues, wie die Mono-LP aus den frühen 1960er Jahren zeigt – allerdings ging man damals etwas weniger hemmungslos zu Werke.)

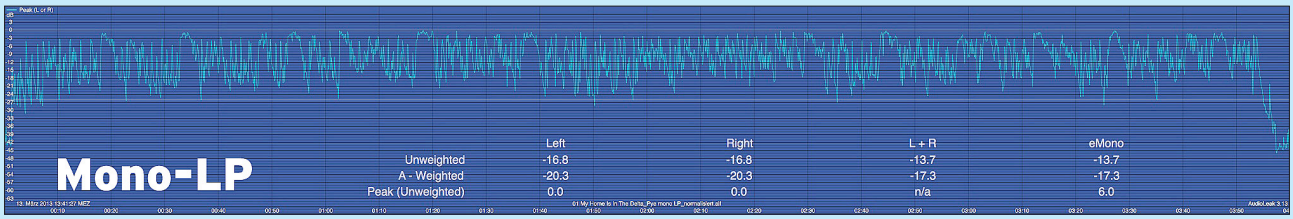
Vorbildlich hingegen die LP- und DVD-A-Reissues von Classic Records; sie wurden ohne Expander ab dem Originalband gemastert. Etwas mehr komprimiert wurde bei der MFSL-LP, und auch beim SACD-Mastering wurde lieber laut als dynamisch gemischt.

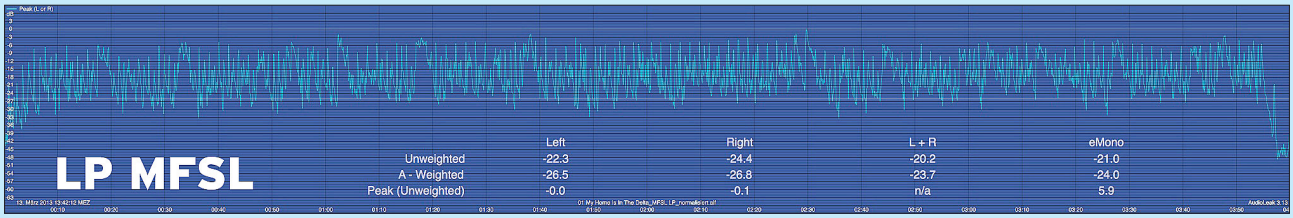
Fazit: die Classic Records-LP hat punkto Dynamik die Nase vorn, dicht gefolgt von der DVD-A. Der Dynamikunterschied zur CD-/iTunes-Version beträgt rund 8 dB. Wer sich mit so schlechter Qualität zufrieden gibt, ist selber schuld…

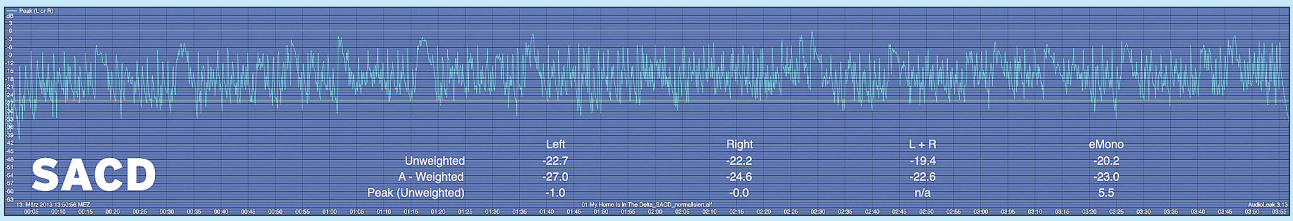












Kapitel 2: Warum eigentlich?
Gute Gründe für das Digitalisieren von LPs

Sie interessieren sich fürs Digitalisieren von LPs? Dann dürften Sie weniger an Ihre neuen LPs denken, sondern an Ihre alten Schätze. Aus welchen Gründen auch immer:

- **Konservieren.** Sie möchten Ihre wertvollen Erstpressungen, Direktschnitte und so weiter schonen. Ein valables Argument, denn jedes Abspielen hinterlässt Spuren. Mikroskopisch kleine zwar nur, doch sie summieren sich mit der Zeit. Und irgendwann knackst und rauscht die LP dann vernehmlich. Wird die LP rechtzeitig und richtig digitalisiert, so haben Sie den Fünfer und das Weggli. Nämlich eine LP, die «mint minus» bleibt – selbst dann, wenn Sie sie jeden Tag hören (ab Computer natürlich).

- **Restaurieren.** Ärgern Sie sich über Knackser und Rillenrauschen, die den Hörgenuss bei Ihren Lieblings-LPs stark schmälern? Sie lassen sich durch Software mit chirurgischer Präzision (aber ohne Blutvergiessen) entfernen oder zumindest so stark reduzieren, dass sie nicht mehr stören. Digitalisiert klingen also manche Ihrer LPs besser als ab Plattenspieler.

- **Servieren.** Möchten Sie weder auf die Klangqualität der analogen Wiedergabe, noch auf den Komfort eines digitalen Musicservers verzichten? Und zum Beispiel den «Rigoletto» mit der Callas geniessen können, ohne ständig Platten wenden zu müssen – und ohne auf die inferiore CD-Überspielung just dieses «Rigoletto» zurückgreifen zu müssen? Dann gibts nur eins: Digitalisieren.

- **Multiplizieren.** Wollen Sie Ihre Lieblings-LPs nicht nur zu Hause, sondern auch im Ferienhaus, im Auto oder über Kopfhörer am Arbeitsplatz hören? LPs sind einigermassen sperrig zu transportieren – und wer hat schon einen Plattenspieler im Büro? Mit dem iPad und einem externen D/A-Wandler hingegen können Sie Ihre digitalisierten LPs auch unterwegs mit 24/96-Qualität geniessen.

- **Rationalisieren.** Hören Sie schon lange nur noch digital, haben aber Ihre LP-Sammlung aus sentimentalen Gründen noch immer nicht entsorgt? Gut so. Viele LPs (zumindest die bekannterer Interpreten) wurden irgendwann als CD wiederveröffentlicht. Gerade bei Rock-Aufnahmen reichen die Dynamik und der Frequenzumfang von CDs aus. Doch nicht alle CD-Wiederveröffentlichungen tönen wirklich gut – da wurde und wird beim Remastering häufig verschlimmbessert, und der «loudness war» bekam den wenigsten Wiederveröffentlichungen gut (siehe Seite 5). Und natürlich gibt es auch LPs, vor allem obskurer Interpreten, die wurden ganz einfach nie als CD wiederveröffentlicht.

Wie auch immer – Sie werden Ihre Gründe haben, warum Sie Ihre LPs digitalisieren wollen. (Falls nicht: Wie kommt es dann, dass Sie dieses Dokument aus dem Internet geladen und bis hierhin gelesen haben?)

Und welche Gründe das auch immer sein mögen: LPs zu digitalisieren, ist mit ziemlichem Aufwand verbunden. Es lohnt sich deshalb, die Sache richtig zu machen. In den folgenden Kapiteln beschreibe ich, was ich unter «richtig» verstehe, und wie ich es mache.

 © Christian Rintelen 2013

Kapitel 3: Wie denn?
Besonderheiten beim Digitalisieren von LPs

Die analoge Tontechnik und speziell die LP haben ihre unbestrittenen Stärken. Aber auch einige Macken und Tücken. Mit denen müssen Sie sich auseinander setzen, wenn Sie Ihre Schallplatten digitalisieren wollen. In kunterbunter Reihenfolge:

1. Wie abtasten?
Man hätte wirklich ein weniger nachtragendes Material wählen können als ausgerechnet Vinyl. Hat man aber nicht. Vinyl vergisst nichts – vor allem nicht schlechte Behandlung: LPs werden mit den Fingern angefasst, bleiben auf dem Plattenteller liegen, werden staubig mit verschmutzten oder abgenutzten Abtastdiamanten abgespielt, werden in grobe Papierhüllen oder sogar nackt in die LP-Hülle gesteckt… Dementsprechend knistern, knacksen und rauschen LPs denn auch.

Das Digitalisieren von LPs ist ein Archivierungsvorgang. Zumindest die schlimmsten Knackser brauchen meines Erachtens nicht mit archiviert werden – ebensowenig wie subsonisches Rumpeln und Tonarmresonanzen.

Für das Archivieren müssen die LPs deshalb peinlich sauber sein. Sie sollten mit einem ebenso sauberen, nicht abgenutzten Tonabnehmer abgetastet werden, dessen Schliff und Politur die Gebrauchsspuren im Vinyl zumindest nicht noch betont. Und sie sollten nicht auf einem Billig-Plattenspieler mit integrierter USB-Schnittstelle abgespielt werden, sondern auf einem hochwertigen Laufwerk und mit einem Tonarm, der zum Abtaster passt.

Viele moderne High-End-Tonabnehmer sind auf die Detailwiedergabe dressiert, können aber leider nicht unterscheiden zwischen musikalischen und nicht-musikalischen Knacksern. Das erschwert die Arbeit beim Digitalisieren. Ich verwende deshalb Tonabnehmer von Magic Diamond. Die sind für ihre Laufruhe bekannt und scheinen besser als andere zwischen musikalischer Information und defektem Vinyl unterscheiden zu können.

Mono-Pressungen kann man auch mit Stereo-Tonabnehmern abspielen. Mono-LPs sind in Seitenschrift geschnitten, also nur mit horizontalen Auslenkungen. Ein Stereo-Tonabnehmer muss aber auch vertikale Auslenkungen (Tiefenschrift) in elektrische Signale umwandeln können. Mit einem Stereo-System hört man auf Mono-LPs mehr Knackser und Rillenrauschen als mit einer Mono-Zelle.

Deshalb verwende ich bei Monopressungen einen Mono-Tonabnehmer (ebenfalls von Magic-Diamond).

2. Normalisieren ja oder nein?
Die Lautstärke eines Stücks sollte nur durch künstlerische Aspekte bestimmt werden. Leider ist dem aber nicht immer so. Vor allem bei Popmusik schrauben die Tontechniker hemmungslos an ihren Kompressoren, um die Songs möglichst laut erscheinen zu lassen.

 © Christian Rintelen 2013

Sehr zum Leidwesen der Dynamik, die so auf ein paar kümmerliche Dezibel reduziert wird. Vor allem bei Wiederauflagen von CDs zeigt sich dieser Effekt: Frühere Veröffentlichungen haben meist grössere Unterschiede zwischen lauten und leisen Passagen.

Bei der LP wird die Lautstärke zusätzlich durch technische Aspekte beeinflusst: Je kleiner der Rillenradius, desto schwieriger wird es, laute Passagen verzerrungsfrei abzutasten. Das liegt an der Tonarmgeometrie, am Nadelschliff und an der relativen Geschwindigkeit: Da sich die LP mit gleicher Geschwindigkeit (33,33 Umdrehungen pro Minute) dreht, legt die Nadel pro Zeiteinheit am Anfang der Platte einen wesentlich grösseren Weg zurück als innen beim Label. Innen muss also die gleiche Information auf weniger Vinyl untergebracht werden.

Gerade bei klassischer Musik ist das Fortissimo-Finale mit dem Tutti aller Instrumente meist ganz innen auf der Platte zu finden. Um die Abtastverzerrungen gering zu halten, opfern die Techniker beim Schneiden gerne ein paar Dezibel an Lautstärke und Dynamik. Damit wiederum die ruhigen Stellen am Anfang der Platte nicht im Rillenrauschen untergehen, nehmen sie mit zunehmender Spieldauer den Pegel kontinuierlich leicht zurück. Dieses «gain riding» kann, muss aber nicht, hörbar sein. Man sieht es aber, wenn man eine digitalisierte LP-Seite mit dem LEQ-Meter betrachtet – die durchschnittliche Lautstärke nimmt stetig ab. Beim Digitalisieren solcher LPs könnte man theoretisch die Lautstärkeunterschiede wieder ausgleichen («normalisieren») und dafür sorgen, dass die Lautstärke über beide Plattenseiten gleich ist. Bei Pop- und Jazz-LPs könnte man auch jedes einzelne Stück auf den gleichen Durchschnitts- oder Spitzenpegel normalisieren.

Ich verstehe das LP-Digitalisieren als Archivierung, nicht als Remastering. Deshalb verzichte ich auf solche Manipulationen. Stattdessen digitalisiere ich jeweils beide Seiten einer LP mit dem gleichen Aufnahme- und Wiedergabepegel.

3. Was tun mit den 30-Sekunden-Ausblendern?

Je nach Zustand, Pressung und Vinylqualität rauschen LPs mehr oder weniger stark. Andererseits bleiben bei der Analogtechnik leise Details auch dann hörbar, wenn sie bereits tief im Rauschteppich begraben sind. Deshalb findet man vor allem auf alten LPs oft ellenlange Ausblender («Fade out»). Die sind so sanft und dauern so lang, dass sie sich insbesondere mit 16 Bit fast nicht wiedergeben lassen – die leisen Töne drohen im Quantisierungsrauschen der A/D- und D/A-Wandler zu ersaufen.

Da ich mit 24 Bit digitalisiere, versuche ich die originalen analogen Fade-outs so weit wie möglich zu bewahren (siehe Seiten 17/18).

Bei stark abgenudelten LPs wird aber bisweilen das Rillenrauschen lauter als das Signal. In diesem Fall setze ich einen neuen Fade-out, der die Art des ursprünglichen Ausblenders verkürzt beibehält. Das Resultat ist ein harmonischer Fade-out, bei dem das Rillenrauschen noch nicht störend hörbar wird.

4. Wieviel Metadaten sind genug?

Musicserver sind Computer, die eine Datenbank verwalten und die mit der Datenbank verlinkten Musikdateien abspielen.

Je mehr Musikstücke diese Datenbank umfasst, desto wichtiger werden die in der Musikdatei eingebetteten Metadaten («tags»): Ohne Tags haben die einzelnen Stücke in der Datenbank keine Namen, keine Interpreten, keine Tracknummern, keine Erscheinungsjahre, keine Komponisten und so weiter. Kurz: Die Datenbank wird unbrauchbar, weil man nichts findet. Das Taggen ist zeitaufwendig und erfordert bisweilen auch etwas Detektivarbeit – ist aber im Sinne des Archivierens sehr wichtig.

Ins Kapitel «Archivieren» gehören auch die LP-Cover. iTunes und andere Software für Musikserver zeigen die Cover sowohl in der Übersicht als gross (per Doppelklick). Man kann also durch seine digitalisierten LPs blättern wie vor dem LP-Regal.

 © Christian Rintelen 2013

Die Online-Cover-Datenbanken sind gut und recht; leider blenden sie oft ein falsches Cover ein. Sie können natürlich das Cover auch via Google suchen. Was Sie finden (wenn überhaupt), dürfte aber zu klein sein, verpixelt, unscharf oder verzerrt.

Es gibt kaum Scanner, die ein LP-Cover in einem Durchgang digitalisieren können. Deshalb reproduziere ich die Original-Umschläge fotografisch. Dazu verwende ich eine digitale Spiegelreflexkamera mit Makroobjektiv, die auf einem Stativ exakt parallel zur Aufnahmefläche ausgerichtet ist. Zusammen mit dem Cover nehme ich eine Graukarte auf. So kann ich in Photoshop sowohl den Weissabgleich als auch den Tonewertumfang des Covers originalgetreu justieren (siehe Seite 10). Kleine Unschönheiten retuschiere ich ebenfalls in Photoshop. Anschliessend reduziere ich die Bildgrösse auf 1000 x 1000 Pixel und speichere das Bild als JPG von rund 300 bis 500 kB. Dieses JPG wird in die Digitaldateien aller Stücke einer LP eingebettet. So müssen Sie nie mehr nach dem richtigen Cover in der richtigen Qualität suchen.

 © Christian Rintelen 2013

Kapitel 4: So kommts gut.
LPs digitalisieren; Schritt für Schritt

Abbildung 1 (oben): Mit Hilfe der Graukarte links vom Cover lassen sich der Weissabgleich und die Tonwerte korrekt justieren.

Abbildung 2 (links): Der VinylCleaner reinigt LPs mit Mikrofasern und Ultraschall und trocknet sie mit einem Gebläse – das schafft beste Voraussetzungen für eine knisterfreie Abtastung.

Schritt 1: Reinigen und Reproduzieren

Sauberkeit ist die wichtigste Voraussetzung für eine geräuschfreie Wiedergabe. Für die LP-Wäsche verwende ich einen Vinyl Cleaner von Audiodesksysteme Gläss. Diese Maschine reinigt die LPs in einem Wasserbad mit Ultraschall und Mikrofaserwalzen. Vor allem aber trocknet sie die LPs berührungsfrei. Deshalb sind die Platten nach der Reinigung zwar rillen- und porentief rein, nicht aber elektrostatisch geladen. Entsprechend weniger knistern sie denn auch beim Abspielen.

Selbstverständlich erhalten die sauberen LPs eine hochwertige neue Innenhülle. Die alte wird entsorgt (wenn blanko) oder ins Cover gesteckt (wenn bedruckt).

Während der Reinigung reproduziere ich das Cover und bearbeite das Bild.

 © Christian Rintelen 2013

Abbildung 3: Für das Digitalisieren werden die LPs auf einem EMT-930 abgespielt. Der 12-Zoll-Arm (hinten) trägt einen Mono-Tonabnehmer; Stereoplatten werden mit dem 10 Zoll langen FR-64S (rechts) abgetastet. Auf dem Bildschirm sichtbar: die PureVinyl-Software für die Digitalisierung des Signals.

Schritt 2: Digitalisieren

Die sauberen LPs werden mit einem revidierten EMT-930 abgespielt, einem Studiolaufwerk mit Jahrgang 1971. Für Stereo-LPs verwende ich einen Magic Diamond-MC-Tonabnehmer an einem Fidelity Research FR-64S-Tonarm; Mono-LPs werden mit einem Mono-MC von Magic Diamond an einem Ortofon RMG-309i abgetastet.

Beide Tonarme sind via Übertrager an die modifizierten Mikrofonverstärker eines Metric Halo ULN-8 angeschlossen. Dieser 8kanalige A/D- und D/A-Wandler erfreut sich in der professionellen Musikproduktion eines ausgezeichneten Rufs für seine Rauscharmut, Transparenz und Verzerrungsfreiheit.

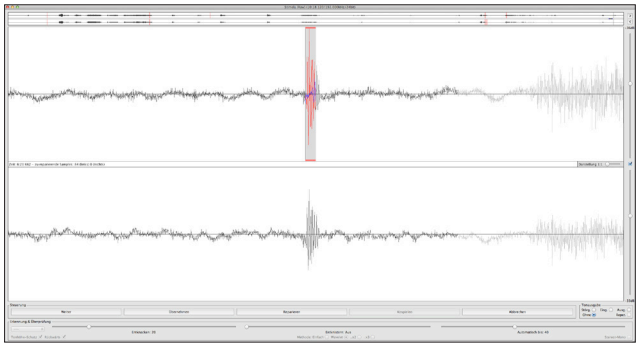
Das Signal wird «trocken», also ohne RIAA-Entzerrung, mit 192 kHz Abtastrate und 24 Bit Auflösung digitalisiert und gespeichert.

Dieses Vorgehen hat zwar den theoretischen Nachteil, dass die höchsten Töne fast 40 dB lauter aufgezeichnet werden müssen als die tiefsten. Das stellt hohe Anforderungen an die Übersteuerungsfestigkeit und Rauschfreiheit der Mikrofon-Eingänge und empfiehlt sich nicht mit 16 Bit Auflösung.

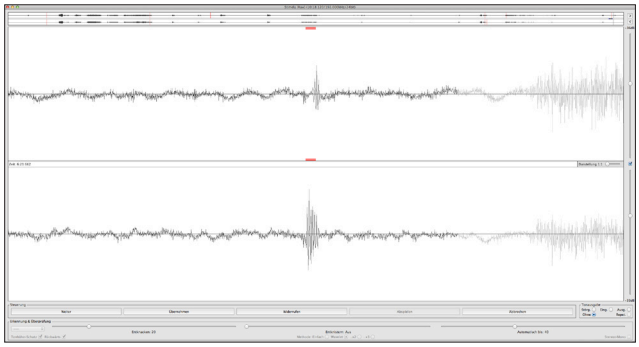
Dieser Nachteil wird durch zwei Aspekte mehr als aufgewogen: Erstens lassen sich Knackser aus einem unentzerrten Signal viel besser entfernen. Und zweitens ist die RIAA-Entzerrung mittels Software viel präziser als jede analoge mit passiven Bauteilen (Widerstände, Kondensatoren, Spulen).

Bei der Aufnahme achte ich darauf, dass die lautesten Signale (inklusive Knackser) den Wandler nie übersteuern; ich versuche, einen Spitzenpegel von -1dBFS einzuhalten.

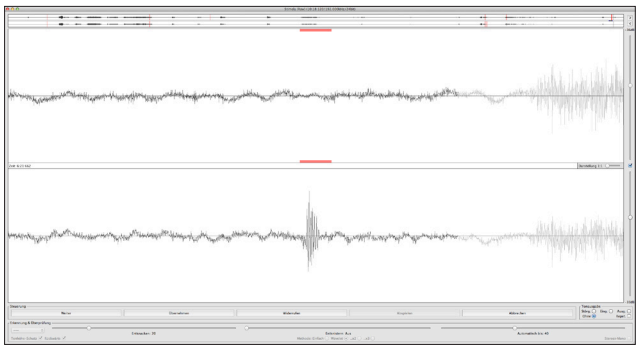
 © Christian Rintelen 2013



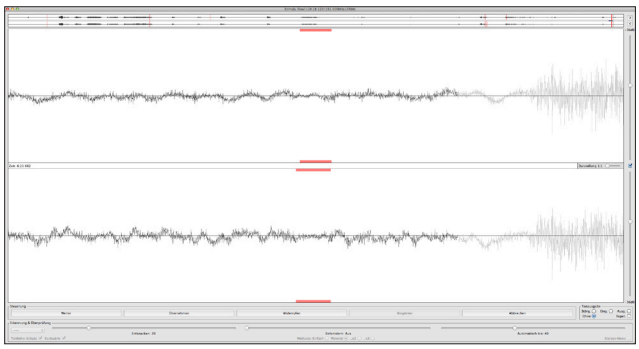
Die Software identifiziert ein Störgeräusch, das 84 Samples lang ist (rot) und macht einen Reparaturvorschlag (blau).



Der Vorschlag repariert nur einen Teil der Störung.



Erst mit einer manuellen Interpolation verschwindet die Störung im linken Kanal völlig.



Nun wird auch noch die Störung im rechten Kanal manuell interpoliert. Resultat: Die Störung ist unhörbar beseitigt. Übrigens: 84 Samples entsprechen bei 192 kHz Abtastrate exakt 0,0004375 Sekunden, also 43 Hunderttausendstelsekunden…

Abbildung 4: Entfernen von Knacksern mit ClickRepair.

Schritt 3: Knackser und Störungen entfernen

Ein heikles Thema. Denn Fehler werden durch Interpolation entfernt – und bei jeder Interpolation geht immer auch ein ganz kleines Bisschen Musik verloren.

Seit Jahren arbeite ich mit ClickRepair und bin sehr zufrieden. Die Software schafft den heiklen Balanceakt sehr gut und lässt sich so justieren, dass praktisch keine Musikinformation verloren geht.

ClickRepair erkennt Störgeräusche und Knackser nicht akustisch, sondern anhand von Wavelet-basierten Algorithmen. Ich stelle ClickRepair so ein, dass die Software alle Störungen von weniger als 40 Samples Länge automatisch korrigiert.

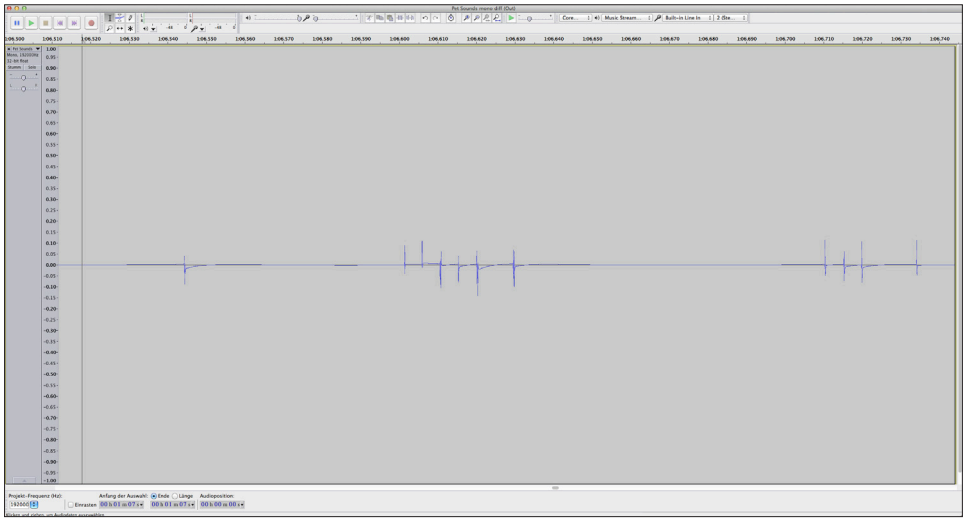
Bei einer Abtastrate von 192 kHz entsprechen 40 Samples einer Dauer von 0,0002 Sekunde. Erkennt die Software eine Störung von mehr als 40 Samples Dauer, so sehe ich mir die vorgeschlagene Reparatur an und korrigiere bei Bedarf.

Bei stark knacksenden LPs erstelle ich zur Kontrolle ein Differenzsignal. Dabei wird der gleiche Kanal (links oder rechts) einmal unbehandelt und einmal nach ClickRepair in der Schnittsoftware auf zwei Spuren montiert. Bei der Spur mit dem behandelten Signal wird anschliessend die Polarität um 180° gedreht; das unbehandelte Signal bleibt phasenrichtig.

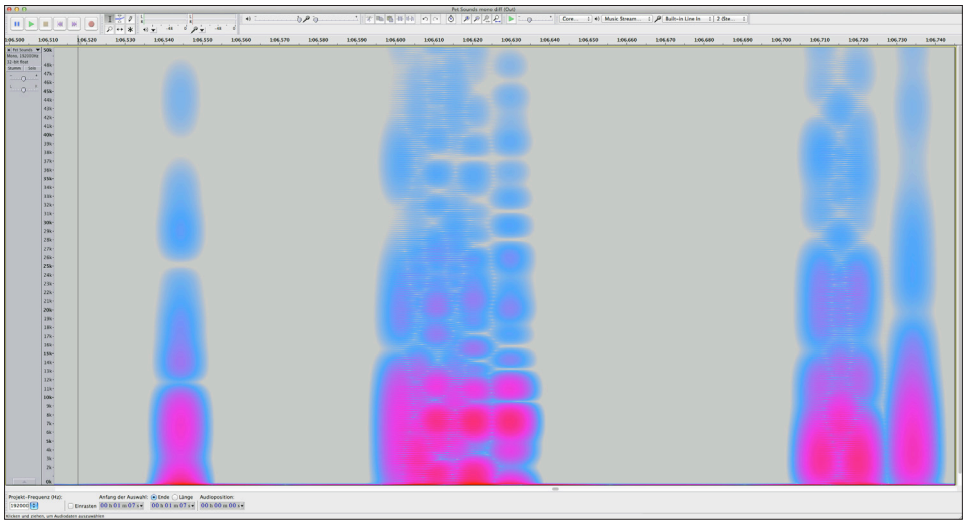
Nun werden die beiden Spuren zu einer Monospur zusammengemischt. Dabei löschen sich alle Signale aus, die identisch sowohl phasenrichtig als auch phasenverkehrt vorhanden sind. Übrig bleibt nur noch das Differenzsignal – die Unterschiede zwischen den beiden Spuren, also alles, was ClickRepair entfernt hat. Im Idealfall sind das nur Knackser und Störgeräusche (s. Abb 5).

Hört man im Differenzsignal auch Musik, so war die Fehlerkorrektur zu aggressiv. In diesem Fall lasse ich die Aufzeichnung noch einmal mit einer schwächeren Einstellung durch ClickRepair laufen. Im Zweifelsfall lasse ich lieber einen kleinen Knackser stehen, als dass ich zuviel Musikanteile entferne.

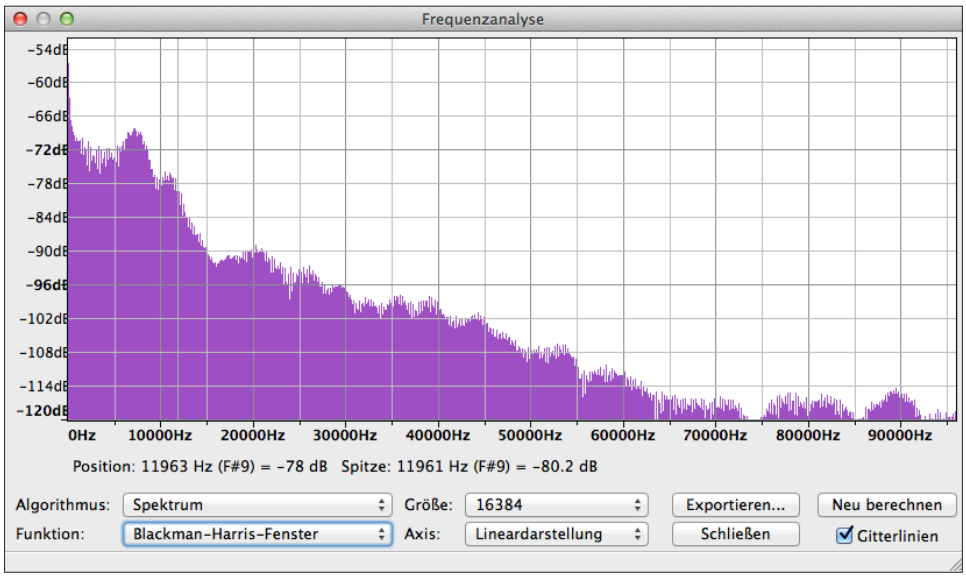
 © Christian Rintelen 2013



Das Bild zeigt rund einen rund 0,2 Sekunden langen Ausschnitt aus dem Differenzsignal vor und nach ClickRepair. Zu sehen sind die typischen, vermeintlich harmlosen Nadelimpulse von Knacksern sowie andere Störsignale.



Das Spektrogramm beweist, dass die Knackser so harmlos gar nicht sind – sie verfügen über erstaunlich viel Hochtonenergie, die bis weit über 50 kHz reicht.



Das bestätigt die Frequenzanalyse – es werden Frequenzen von über 90 kHz gemessen. Sehr leise zwar, aber immerhin.

Abbildung 5: Differenzsignalanalyse.

© Christian Rintelen 2013

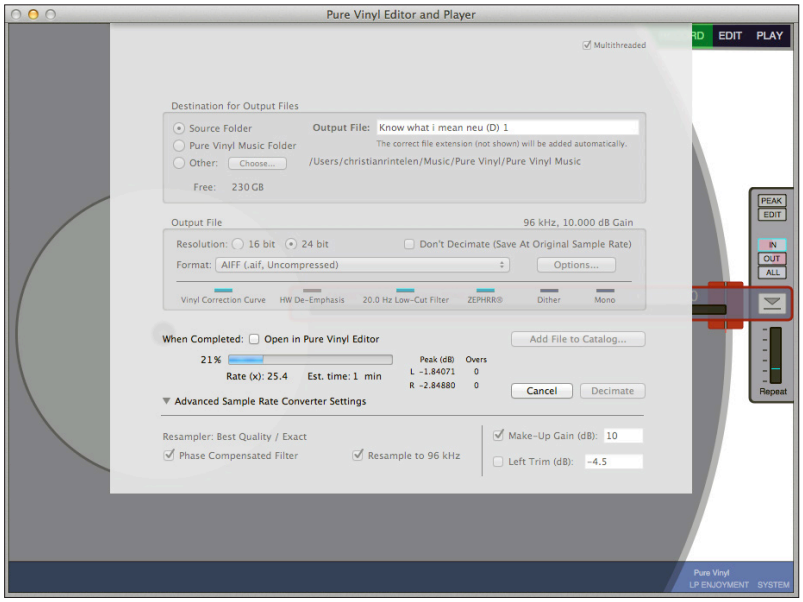


Abbildung 6: Für die RIAA-Entzerrung, den Infraschallfilter und die Neuberechnung auf 96 kHz verwende ich eine ältere Version von PureVinyl (die aktuellen Versionen erlauben kein Offline-Editing mehr). Auch mit viel Arbeitspeicher und einem schnellen Rechner dauert der Vorgang noch rund 3 bis 5 Minuten…

Schritt 4: RIAA-Entzerrung und Resampling

Die Software PureVinyl führt die RIAA-Entzerrung mit 64-bit-Rechenpräzision aus – präziser gehts kaum; präziser ist auch nicht sinnvoll. Denn die RIAA-Vorverzerrung beim Schneiden erfolgt längst nicht mit einer Präzision von <0,05dB…

Gleichzeitig mit der RIAA-Entzerrung wendet PureVinyl auch einen sehr steilflankingen Rumpelfilter an, der Signale unterhalb 20 Hz mit einer Flankensteilheit von 96 dB pro Oktave digital herausrechnet. Der Tiefbassbereich wird dadurch markant sauberer, zudem flattern die Lautsprechermembranen bei der Wiedergabe nicht wegen Rumpelgeräuschen und Plattenverwellungen. Beides verbrät unnötig Verstärkerleistung, erzeugt Verzerrungen, klingt schlecht und erwärmt nur die Schwingspulen.

Für Aufnahmen aus der Frühzeit der LP – also bevor sich alle Plattenfirmen auf den RIAA-Standard einigen konnten – bietet PureVinyl eine ganze Reihe labelspezifischer Entzerrungskurven. Selbstverständlich mache ich von diesem Angebot Gebrauch, wenn ich Uralt-LPs digitalisiere. Sie tönen eindeutig besser, als wenn sie mit der RIAA-Kurve falsch entzerrt werden.

Im gleichen Arbeitsgang rechnet PureVinyl das Signal um auf eine Samplingrate von 96kHz. Ich habe viel Zeit darauf verwendet, die klanglichen Unterschiede zwischen 192 und 96 kHz Abtastrate zu finden – und keine gefunden: Auf meinen Systemen und mit meinen Ohren höre ich keinen Unterschied zwischen auf 96 kHz heruntergerechneten und im ursprünglichen Samplingformat von 192 kHz gespeicherten LPs.

Allerdings bauchen 192 kHz doppelt so viel Speicherplatz (rund 2,6 Gigabyte für eine LP). Aus Gründen der Raumökonomie habe ich mich deshalb für 96 kHz entschieden. Nach Nyquist resultiert aus 96 kHz Abtastrate eine obere Bandbreite von 48 kHz.

Ich kenne keine Hochtonlautsprecher, die so hohe Frequenzen abstahlen können. Ich kenne auch (fast) keine LPs, auf denen so hohe Frequenzen gespeichert sind. Und vor allem kenne ich keine Audiophilen, dessen Ohren so hohe Frequenzen hören können.

Bei der CD präsentiert sich ein anderes Bild – hier werden alle Frequenzen oberhalb 22 kHz erbarmungslos abgeschnitten. Bei 48 kHz hingegen kann der Digitalfilter viel gutmütiger und weniger steilflankig ausgelegt werden, was dem Klang zumindest nicht abträglich ist.

Falls Sie auf 192 kHz bestehen, liefere ich Ihnen digitalisierte LPs auch im ursprünglichen Abtastformat – sowie auch Wunsch auch zusätzlich auf CD-Format (44 kHz/16 Bit) heruntergerechnet oder als datenreduzierte MP3- oder AAC-Dateien für unterwegs.

 © Christian Rintelen 2013

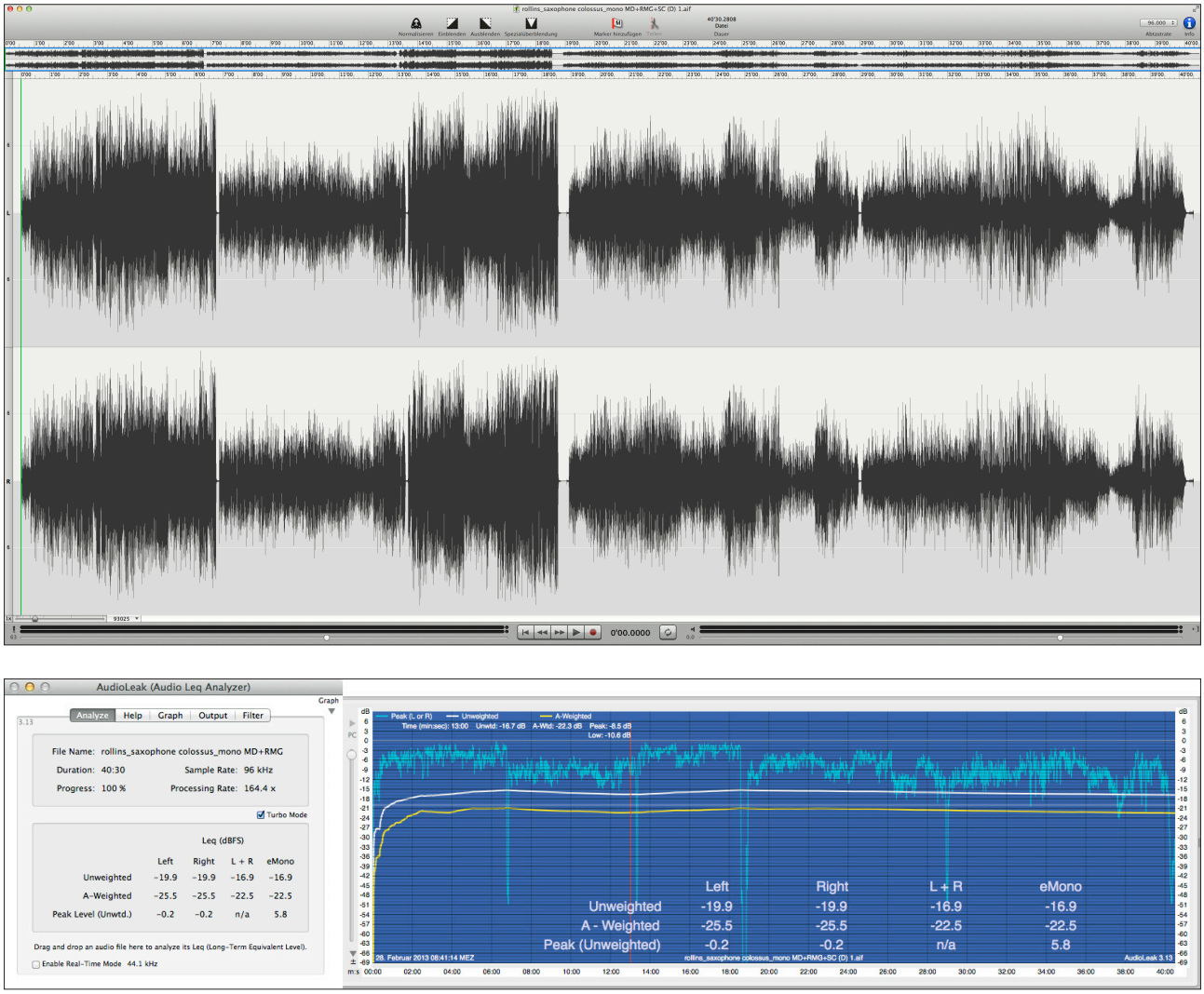


Abbildung 7: Beide Seiten einer Mono-LP, RIAA-entzerrt und auf 96 kHz heruntergerechnet. Das obere Bild zeigt die Dynamikunterschiede dieser Aufnahme («Saxophone Colossus» von Sonny Rollins); aus dem unteren Bild ist ersichtlich, dass die nach Leq berechnete mittlere Lautstärke rund 25 dB unter dem Spitzenwert liegt (A-Gewichtung, gelbe Kurve). In diesem Beispiel wurde recht «heiss» digitalisiert; der Spitzenpegel liegt bei -0,2 dB. Vor einem Resampling auf CD- oder ein komprimiertes Format würde ich den Gesamtpegel auf -0,5 dBFS absenken, damit der D/A-Wandler bei der Wiedergabe sicher nicht übersteuert wird.

 © Christian Rintelen 2013

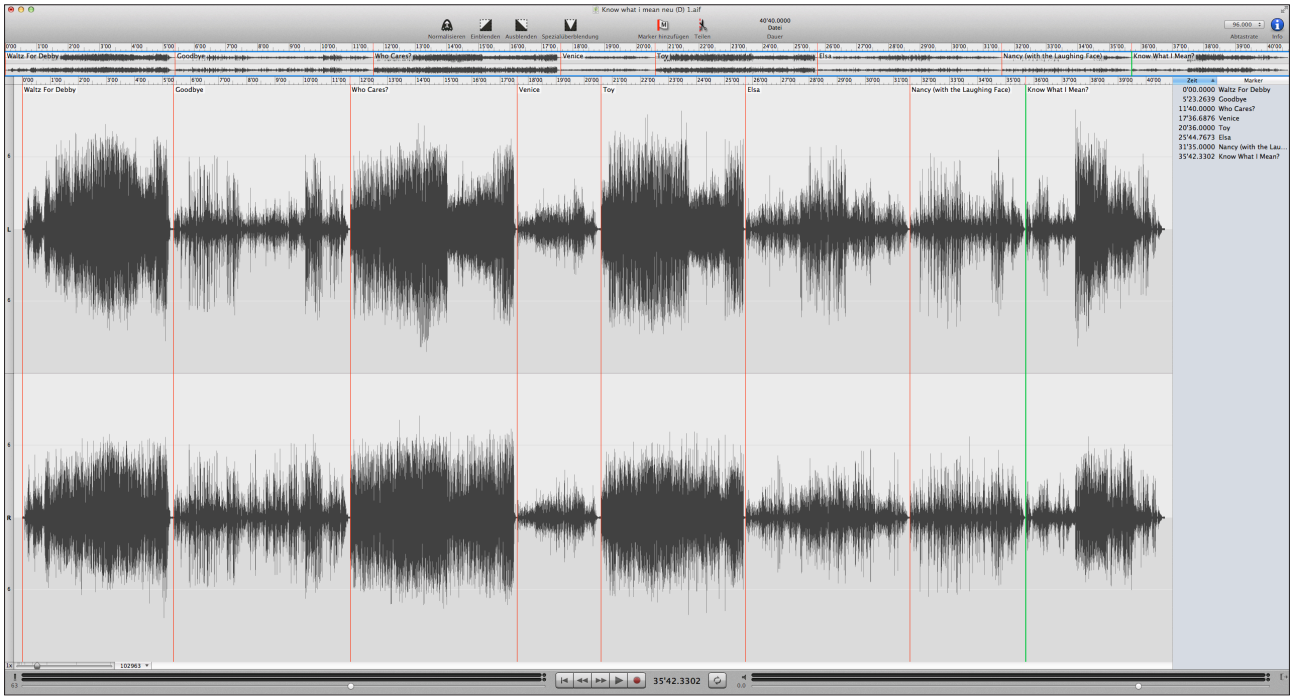


Abbildung 8: Eine normale LP (beide Seiten) mit den Schnittmarken zwischen den Stücken und den Namen der Stücke. Die Lautstärkeunterschiede der einzelnen Stücke sind deutlich sichtbar – ebenfalls, dass der Produzent auf der ersten Seite ein leiseres Stück an den Schluss setzte, das keine grossen Rillenauslenkungen verursacht. Das letzte Stück auf der zweiten Seite wird nach einem dynamischen Anfang ebenfalls leiser. So versuchten die Schnitttechniker in den 1960er-Jahren die zwangsläufig höheren Abtastverzerrungen in den Innenrillen gering zu halten.

Schritt 5: Zerstückeln und taggen (Teil 1)

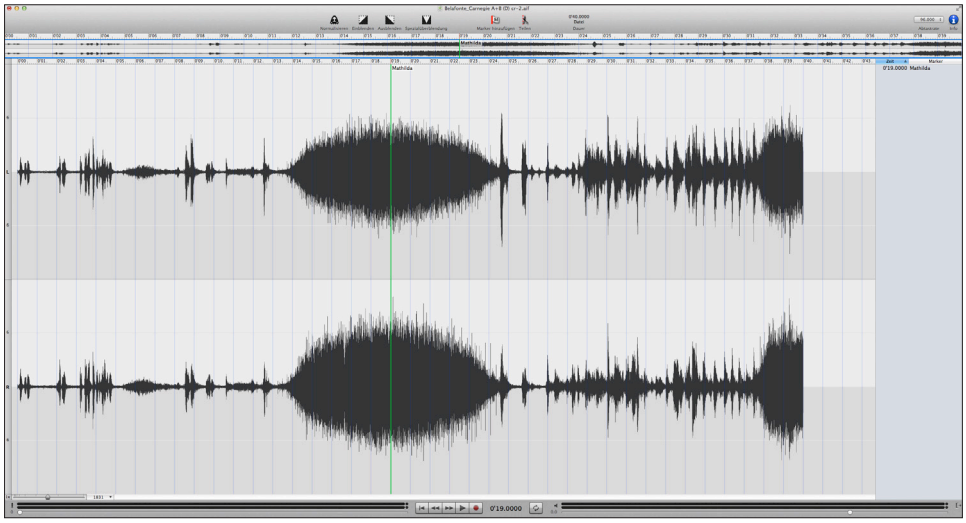
Mit der Software SoundStudio öffne ich die durchschnittlich 1,2 GB grosse Datei mit den beiden LP-Seiten, setze Markierungen zwischen den einzelnen Stücken und gebe die Titel ein. Bei normalen Studioaufnahmen ist es kein Problem, die richtige Stelle für die Schnittmarkierung zu finden.

Schwieriger wird es bei Liveaufnahmen, wenn die Pause zwischen zwei Stücken aus Applaus besteht (siehe Abbildung 9 auf der nächsten Seite). In diesem Fall lasse ich Ihnen die Wahl zwischen harten Schnitten im Applaus oder kurze Ein- und Ausblendern.

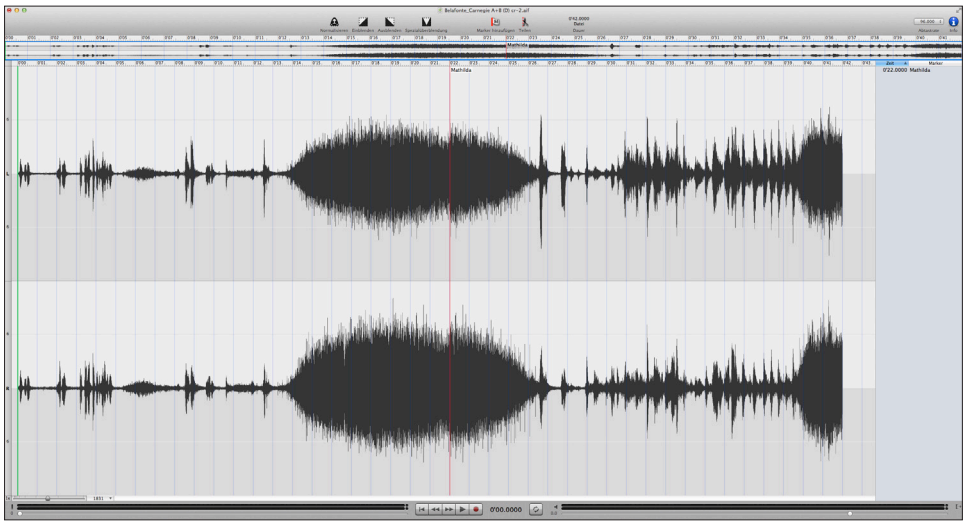
- **Harte Schnitte** empfehle ich dann, wenn Sie primär ganze Alben hören und in Ihrem Musikserver die Funktion «unterbruchfreie Wiedergabe» aktivieren können – die Wiedergabe tönt in diesem Fall gleich, wie wenn Sie die LP abspielen, bietet aber den Vorteil, einzelne Stücke gezielt anwählen zu können.
- **Verdoppelung:** Wenn Sie hingegen oft auch mit Wiedergabelisten Musik aus verschiedenen Alben kombinieren, werden harte Schnitte als unharmonisch empfunden. In diesem Fall verdopple ich jeweils eine passende Stelle des Applauses und schneide zwischen der Verdoppelung. So kann ich anschliessend eine kurze Aus- und Einblendung setzen.

SoundStudio teilt anschliessend die Datei bei den Schnittmarken auf und speichert die einzelnen Stücke mit fortlaufender Numerierung.

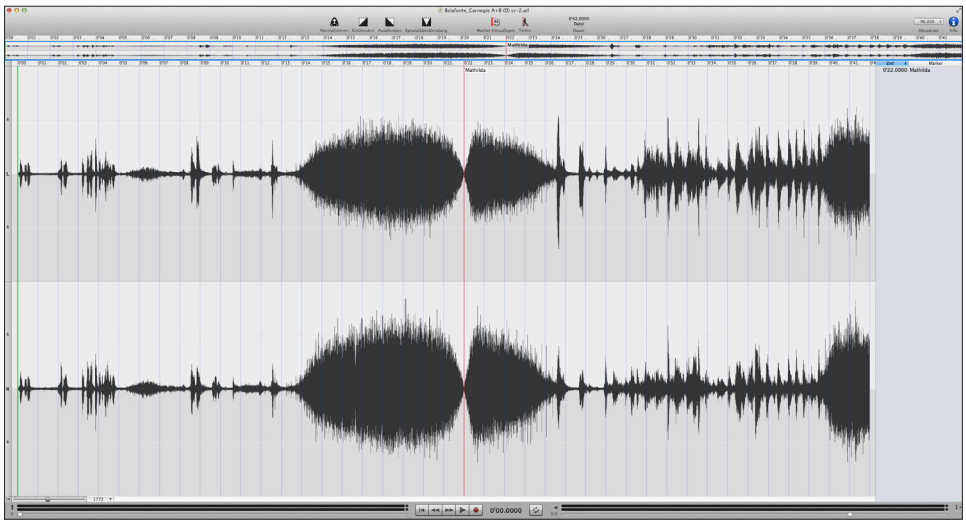
 © Christian Rintelen 2013



Typischer Szenenapplaus zwischen zwei Stücken auf einer Live-LP (Harry Belafontes Carnegie-Hall-Konzert). Bei einem harten Schnitt werden die beiden Stücke mitten im Applaus geteilt – gut für unterbruchsfreie Wiedergabe.



Verdoppelung für weiche Überblendung zwischen zwei Stücken. Gut ersichtlich, wie rechts von der roten Markierung zwei Sekunden Applaus kopiert und links davon wieder eingesetzt wurden.



Nun wird der Applaus vor dem Schnitt zwei Sekunden weich ausgeblendet. Der Einblender des nächsten Stücks dauert nur 0,5 Sekunden. Mit Verdoppelung ein- und ausgeblendete Stücke tönen harmonischer, wenn sie in Wiedergabelisten abgespielt werden.

Abbildung 9: Harte Schnitte und Verdoppelung bei Live-Aufnahmen.

© Christian Rintelen 2013

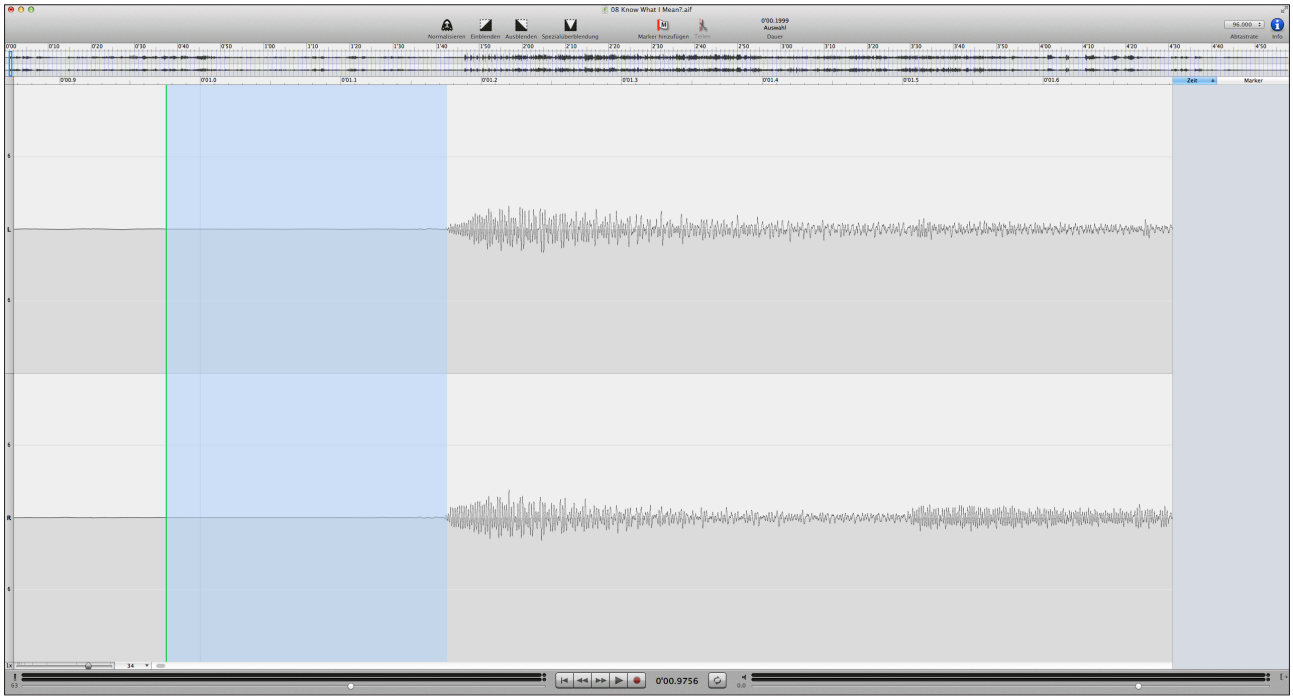


Abbildung 10: Normale Einblendung innert 0,2 Sekunden vor dem ersten Ton (blauer Bereich). Die Datei wird anschliessend am linken Rand des blauen Bereichs beschnitten.

Schritt 6: Polieren und taggen (Teil 2)

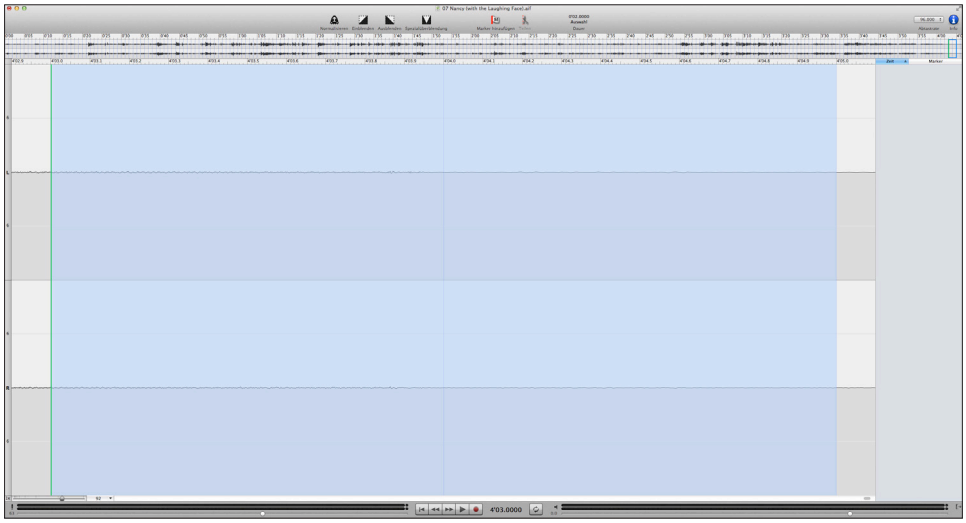
In SoundStudio öffne ich nun jedes Stück, um es auf die effektive Länge zu beschneiden, die Ein- und Ausblendungen zu setzen und die Metadaten zu vervollständigen.

Die Darstellung der Wellenform im Massstab 1:1 zeigt sehr gut, wo die ersten Töne des Stücks beginnen. Ab diesem Punkt gehe ich 0,2 Sekunden zurück, beschneide die Aufnahme und setze eine sanfte Einblendung.

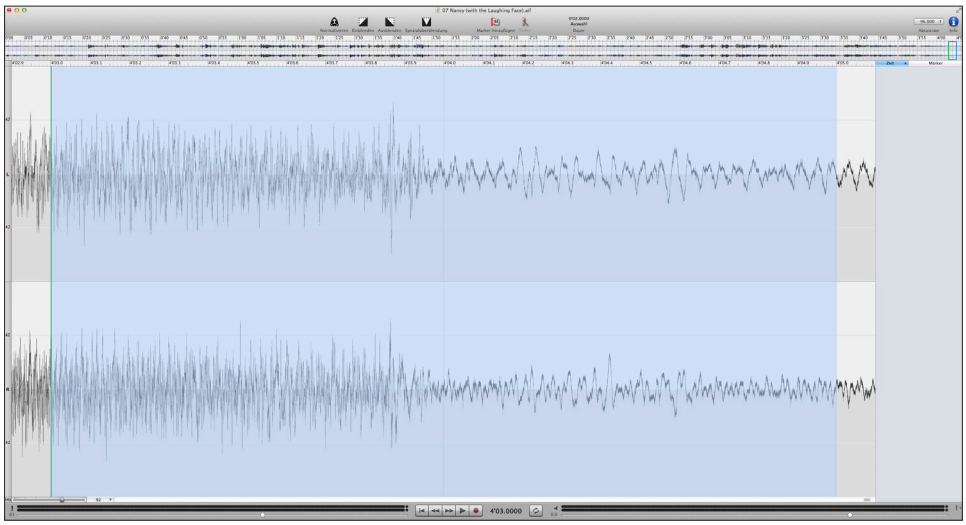
Am Ende des Stücks suche ich nach den letzten hörbaren Tönen. Von diesem Punkt an setze ich eine Ausblendung bis zur nächsten vollen Sekunde und schneide die Aufnahme.

Nun höre ich mir das Stück über Kopfhörer an und entferne allfällige Knackser manuell. Zum Abschluss vervollständige ich die Metadaten (Komponisten, Musiker) anhand der Angaben auf Label und Umschlag, binde das Bild des Covers ein und speichere das Stück als .aif-Datei.

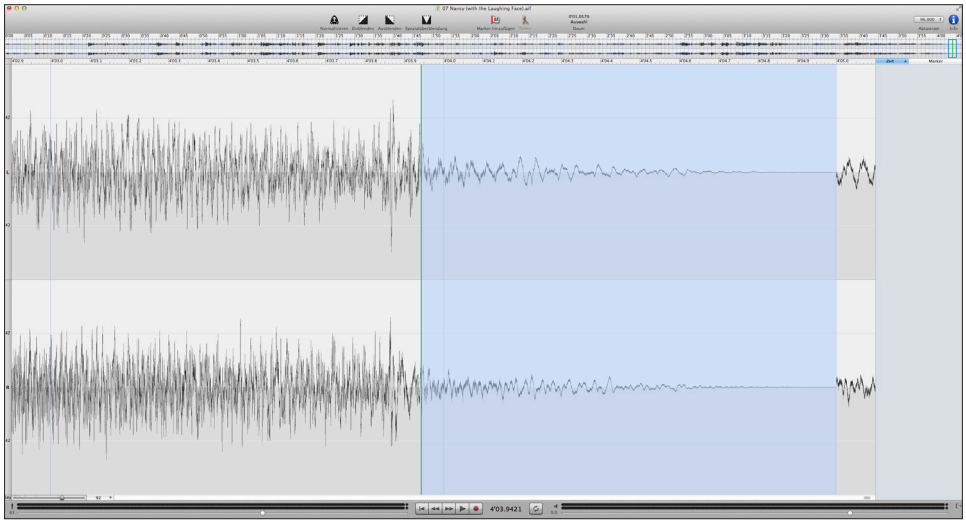
 © Christian Rintelen 2013



Ein typisch analoger Fade-out ins Rillenrauschen. Der blaue Bereich im oberen Bild dauert zwei Sekunden – von Auge ist nicht festzustellen, wo der Ausblender aufhört und das Rillengeräusch beginnt.



Wird die Amplitude 64fach vergrössert dargestellt, so sieht man deutlich, wo der Übergang zwischen Aufnahme und Leerrille ist.



An dieser Stelle setze ich einen Fade-out bis zur übernächsten vollen Sekunde, da die nächste unharmonisch nahe (nur 6/100 Sekunden) gewesen wäre (Darstellung mit 64facher Vergrösserung).

Abbildung 11: Fade-out im Rillenrauschen.

© Christian Rintelen 2013

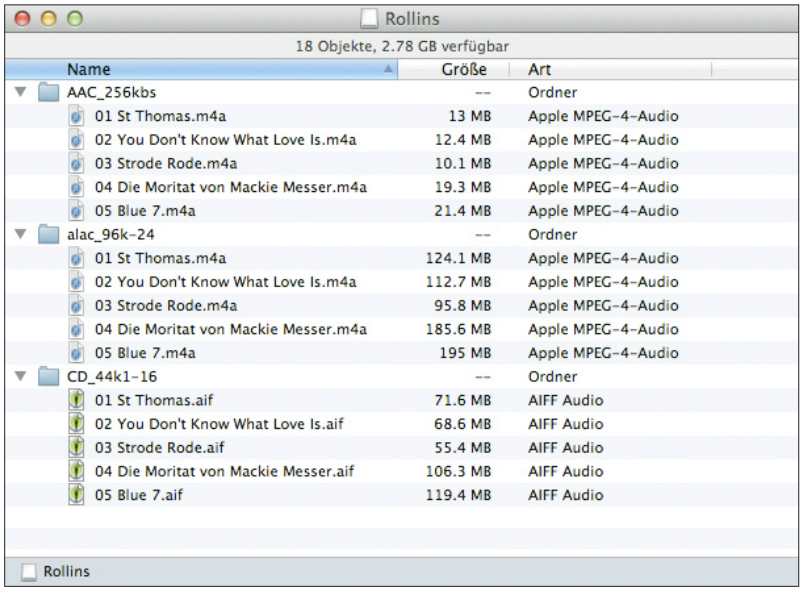


Abbildung 12: Sie erhalten die digitalisierten LPs sorgfältig verpackt zurück, samt einem USB-Stick mit den gewünschten Ausgabeformaten – in diesem Beispiel hochauflösende 24 Bit/96 kHz-Dateien im Format Apple Lossless (alac), eine Version für den CD-Brenner (16/44k1 im Format .aif) sowie eine Version für unterwegs (AAC mit 256 kbs). Den Stick dürfen Sie gern behalten; für den Fall eines Verlustes speichere ich die Daten zudem auf einem Backup-Server.

Schritt 7: Speichern und komprimieren

Passend zur Software Ihres Musikservers speichere ich die Datei als .wav-, .aif, .flac oder .m4a (Apple Lossless) auf einem USB-Stick ab. Auf Wunsch und ohne Aufpreis erstelle ich Ihnen zusätzlich noch eine auf 44.1 kHz/16 Bit heruntergerechnete Version (mit Dither), falls Sie Ihre LP auch auf CD brennen möchten sowie als .mp3 oder .aac mit 256 kbs für mobile Geräte.

Apropos Lossless: FLAC (Free Lossless Audio Codec) und ALAC (Apple Lossless Audio Codec) sind verlustfrei komprimierte Datenformate, die 30 bis 50 Prozent weniger Speicherplatz beanspruchen als eine .wav oder .aif-Datei. Lossless Audio lässt sich mit der Zip-Komprimierung von Daten vergleichen; gezippte Dateien werden vom Computer beim Entpacken wieder bitgenau rekonstruiert. Deshalb sind ge- und wieder entzippte Officedateien identisch. Und deshalb gibt es auch keinen Klangunterschied zwischen .aif, .wav, .flac und ALAC – vorausgesetzt, der Musikserver entpackt die Daten zuerst und lädt sie zum Abspielen in den Arbeitsspeicher.

Bei Musikservern, die direkt ab Festplatte spielen, kann unter Umständen ein Unterschied hörbar sein, wenn das Dekomprimieren nicht vor, sondern während dem Abspielvorgang stattfindet. Gute Musikserver-Software lässt sich auf Arbeitsspeicherbetrieb programmieren (bei PureMusic zum Beispiel heisst die Funktion «Memory Play») oder arbeitet grundsätzlich so.

Apple iTunes eignet sich gut für die Verwaltung von Musikdateien – für das Abspielen von HiRes-Dateien gibt es allerdings bessere Alternativen (zum Beispiel PureMusic).

 © Christian Rintelen 2013

Kapitel 5: Und jetzt?
Interessiert? So gehts weiter

Haben Sie meine Ausführungen tatsächlich gelesen – oder sind Sie direkt hierher gesprungen? Spielt keine Rolle. Denn offenbar haben Sie Interesse, Ihre LPs von mir digitalisieren zu lassen. Dann lohnt sich die Überlegung, welche LPs es denn sein sollen. Sonst geht die Sache schnell einmal richtig ins Geld. Denn:

Ich verrechne für Einzel-LPs einen Pauschalbetrag von CHF 50.- plus Mehrwertsteuer; Doppel-LPs kosten CHF 75.-. In der Pauschale inbegriffen sind sämtliche in den Schritten 1 bis 7 aufgeführten Leistungen, ein USB-Stick sowie Porto und Verpackung innerhalb der Schweiz (eingeschrieben, Priority). Ab 10 LPs gibts Mengenrabatt, Dreier- und Mehrfach-Alben werden nach separater Offerte digitalisiert. Bei Lieferungen ins Ausland entfällt die Mehrwertsteuer, dafür verrechne ich die tatsächlichen Portokosten.

Möchten Sie die Katze nicht im Sack kaufen, sondern mich respektive die Qualität meiner Arbeit zuerst testen? Dann digitalisiere ich von jeder LP-Seite je ein Stück und stelle es Ihnen auf einem Server zum Herunterladen bereit. Der Test kostet CHF 20.-; selbstverständlich schreibe ich Ihnen den Betrag gut, wenn Sie mit dem Test nicht zufrieden sind, respektive verrechne ihn mit den restlichen Kosten, wenn Sie nach dem Test grünes Licht geben.

Neben der zu digitalisierenden LP brauche ich von Ihnen folgende Angaben:

- Auflösung und Abtastrate (falls abweichend von 24 Bit/96 kHz)
- Ausgabeformat (.aif, .wav, .flac, Apple Lossless)
- Zusätzliche Ausgabeformate (zum Beispiel CD-Format 16 Bit/44,1 kHz, MP3 oder AAC)
- Bei Live-LPs: gewünschte Art der Überblendungen zwischen Stücken (harte Schnitte für unterbruchfreie Wiedergabe, kurze Ein-/Ausblendungen im Applaus oder Verdoppelung im Applaus mit Ein- und Ausblendungen)
- Lautstärke (einheitlicher Aufnahmepegel für beide LP-Seiten [Standard] oder Normalisieren einzelner Stücke [entweder nach Spitzenpegel -0,5 dB oder nach Durchschnittspegel])

Haben Sie Fragen oder wünschen Sie weitere Informationen? Ich freue mich auf Ihre E-Mail an

christian@rintelen.ch

© Christian Rintelen 2013