

MODIFIKATION DES PHILIPS CD104

Roman Groß - Diplom-Informatiker FH

Roman Groß - New Perspectives On Sound
Frühjahr 2012



INHALTSVERZEICHNIS

Einführung	3
Philips	7
Die CD	8
Radial-Laufwerk Philips CDM-1	9
Radial Focussing Unit RAFOC	11
14 Bit Dual Mono Digital to Analog Converter TDA1540	13
Oversampling / Non Oversampling	16
Ausgangsverstärker	19
Analogfilter	20
Datenformate in CD-Playern	21
Synchronous Mode	22
I2S	22
S/PDIF	23
Power Supply	25
Der Klang	26

Blaue, unterstrichene Begriffe kennzeichnen Links zu [wikipedia](https://www.wikipedia.org), der freien Enzyklopädie

Einführung

Die heute erhältlichen [High End CD-Player](#) scheinen hochentwickelte Geräte zu sein. Schlagworte wie 24 Bit / 192 kHz Wandler, Oversampling, Advanced Reclocking oder Röhrenausgangsstufen, schaltbare Analogfilter und einige andere Features erwecken den Eindruck, dass die CD-Player Technik sich seit den Anfängen deutlich weiterentwickelt habe.

Erstaunlicherweise machen aufmerksame Hörer die Erfahrung, dass die aktuelle CD-Player-Generation nicht unbedingt besser klingt als manch gelungenes Gerät früherer Baujahre.

Als die Welt 2007 das 25-jährige Jubiläum der [Compact Disc](#) feierte, wurde in den Medien der Anfänge der CD gedacht. In den Beiträgen wurde immer wieder der Philips CD100, der erste CD-Player der Welt gezeigt. Als dieser 1983 in Deutschland auf den Markt kam (in Japan bereits 1982), konnte ich mir das Gerät, das damals 2000 DM kostete, als Informatik-Student nicht leisten.

Ich fand damals - wie viele andere auch - dass CD-Klang nicht unbedingt dem Klang eines guten Plattenspielers überlegen ist. CD-Player - egal welcher, klangen steril, hell, harsch, dünn, in einem Wort: unmusikalisch.



Die Ursache sah ich in der Unausgereiftheit der frühen [digitalen Audiotechnik](#).

2007 - nach 25 Jahren - schien mir der fast vergessene Urvater der Player, der Philips CD100, plötzlich interessant. Mit seinem ungewöhnlichen Format, seiner LED-Kette und ohne Display .. spannend. Zudem vom Erfinder der CD: Philips

Und überhaupt, der ERSTE CD-Player, ich musste ihn einfach haben. Schnell wurde ich bei ebay fündig und ersteigerte ein gut erhaltenes Exemplar.

Nach dem Eintreffen des CD100 konnte ich kaum erwarten, wie das Gerät 25 Jahre nach seiner Erfindung klingt.

Was aus den Lautsprechern kam, überraschte mich komplett. Ein mitnichten harscher, steriler, heller, dünner Klang, wie ich es in Erinnerung hatte, sondern ein musikalisch hochbegabter CD-Player mit einer sehr stimmigen Wiedergabe, die zu langem Hören einlädt. Vielleicht gibt es Player, die besser auflösen und auch solche, die den Raum tiefer öffnen, andere erzeugen mehr Druck im Tieftönen, aber kaum einer klingt so schön rund und musikalisch. Den unmodifizierten CD100 zog ich schnell der damals von mir mitentwickelten Dynastation vor, und das will etwas heißen.

Nachdem sich die Überraschung gelegt hatte, musste ich herausfinden, woran es liegt.

Modifikation des Philips CD104

Die Konstruktionsdetails des CD100 sorgten für die nächste Überraschung. Ein Laufwerk wie ein Schweizer [Chronograph](#), komplett aus Metall und eine Lasereinheit mit Rodenstock-Optik, die im Vergleich zu modernen Lasereinheiten wie eine Kanone gegen eine Wasserpistole wirkt.

Dazu eine Elektronik mit 6 separat geregelten Netzteilen. Und eine Schaltung, die 2 große Platinen füllt, hier arbeiten über 30 integrierte Schaltkreise und ein Haufen weiterer Bauteile, alle aus dem Philips-Konzern. Keine billigen Fernostbauteile, keine Japan-Kondensatoren, alles *Made in Europe* by Philips. Alles sauber montiert in einem stabilen Zinkdruckgussrahmen. Ein verglichen mit modernen Playern fast unglaublicher Aufwand. Beeindruckend insbesondere, wenn man bedenkt, dass der CD100 kein High End Gerät ist, sondern ein für den Massenmarkt konzipiertes Großserienprodukt.

Schnell fand ich heraus, dass fast alle CD-Player der ersten 3 Jahre letztlich Philips-Geräte sind, weil offenbar kein anderer Hersteller - mit Ausnahme des Mitentwicklers Sony - die Technologie beherrschte.

Sämtliche Geräte von damaligen Topherstellern, z.B. [Marantz](#), [Bang & Olufsen](#), [Revox](#), [Studer](#), u.v.a, sowie die damals noch wenigen High End-Hersteller Mission, Naim und andere, in allen CD-Playern dieser Marken steckt die Technik des CD100. Einige Geräte sind umgelabelte Original-Philips-Player (Marantz CD63, Grundig CD30 ...), andere bauten in Lizenz die Schaltung unverändert nach und kauften die entscheidenden Parts bei Philips ein (Revox, Studer, B&O ..)

Nur Sony baute eigene Geräte und auch hier gibt es (überwiegend japanische Hersteller) mit baugleichen Geräten.

Zurück in die Gegenwart. Während die Philips-Geräte heute noch in großer Stückzahl in tadellos funktionierendem Zustand zu finden sind, sind die Sony-Geräte praktisch ausgestorben. Sie erwiesen sich als weniger langlebig und ihre recht gewöhnliche 80er Jahre Optik hat sicher auch nicht dazu beigetragen, dass die Sonys überlebten.

Bemerkenswert finde ich, dass noch in den 1990er Jahren die Top-Sony-CD-Player (Esprit-Serie) mit Philips Wandlern TDA1541 bestückt sind. Sony wusste offenbar, wer die besten DACs baute ...

Der Arbeit mit den frühen Philips CD-Playern gilt seit nun 5 Jahren meine Leidenschaft.

Von ihrer Grundkonzeption sind die Geräte hervorragend und zuverlässig, das ist eine gute Basis.

Natürlich gibt es - wie bei jeder neuen Technologie - typische Startschwierigkeiten, Kinderkrankheiten und auch einige typische Defekte, die sich jedoch alle als gut behebbar herausstellten.

An vielen Stellen der Schaltung ist die Entwicklung der Elektronik der letzten 25 Jahre nicht spurlos vorbeigegangen. Viel Raum für Optimierungen.

Vor allem in der Digitaltechnik hat sich in den letzten 30 Jahren viel getan. Aber die CD bzw. deren Datenformat ist immer noch dasselbe wie vor 30 Jahren.

Zeit, einen CD-Player zu präsentieren, der das maximal mögliche aus dem Medium herausholt.

Hierzu wähle ich das Folgemodell des CD100, den CD104. Laufwerk und Schaltung unterscheiden sich nicht, der Aufbau ist jedoch wesentlich durchdachter als beim CD100 und eine Vielzahl von „Kinderkrankheiten“ sind in den Modellen der 2. Generation CD104/204/304 behoben. Hinzu kommt, dass der CD104 dem heute etabliertem Bedienungsschema entspricht, während der CD100 ohne Zeitanzeige und Titel-

Modifikation des Philips CD104

sprung-Rückwärtstaste auskommen muss. Auch die Titelzugriffszeiten des CD104 sind gegenüber dem CD100 deutlich beschleunigt und entsprechen noch heute dem Standard.

Der weitere Fortschritt bei CD-Playern bestand in den ersten 10 Jahren praktisch ausschließlich darin, die Technologie für den Normalverbraucher erschwinglich zu machen. Schnell fielen die Preise von 2000 DM auf 1500, dann unter 1000, dann in Hunderterschritten bis 500 DM. Ende der 90er Jahre mochte kaum jemand mehr als 300 DM für einen CD-Player ausgeben, Heute, im Zeitalter der DVD-Allesfresser, ist der Standard-Geiz-ist-Geil-Mitnahmepreis € 29.90.

Dass für immer weniger Geld in der Herstellung gespart werden musste, leuchtet ein. Metall wich dem seit langem allgegenwärtigen Plastik, und die Elektronik wurde immer höher integriert. Wo beim CD100 35 ICs arbeiten, genügen heute 3 bis 4.

Vielleicht denken Sie, das mag nur Consumergeräte betreffen, im High End wird an nichts gespart und das beste sei gerade gut genug.

Theoretisch ja, in der CD-Player Praxis nein.

Die Technologie eines CD-Players ist hochkomplex. Selbst für größere Hersteller ist es unmöglich, ein CD-Laufwerk zu entwickeln und in kleineren als 5-stelligen Stückzahlen zu fertigen. Auch die Entwicklung der komplexen Elektronik ist kleinen Herstellern unmöglich. So wurde die Herstellung von CD-Playern im Laufe der Jahre standardisiert und modularisiert.

Wer einen CD-Player auf den Markt bringen möchte, kauft ein Laufwerk, das bereits über eine Steuerplatine verfügt, von wenigen spezialisierten Herstellern ein. Einer der wichtigsten ist Philips. Man muss nur eine einzige Versorgungsspannung anlegen, ein Tastenfeld anklemmen und das Laufwerk spielt. Am Ausgang der Platine steht das standardisierte S/PDIF-Digitalsignal zur Verfügung, das nur noch einen D/A-Wandler benötigt.

Als Laufwerke stehen heute nur noch DVD-Laufwerke zur Verfügung. CD-Spieler erreichen inzwischen nicht mehr die Produktionszahlen, die die Fertigung von CD-Laufwerken rechtfertigen würde. Das letzte hochwertige Philips-CD-Laufwerk, das CDM-12PRO, wird schon seit knapp 10 Jahren nicht mehr produziert.

Ein DVD-Laufwerk spielt natürlich auch CDs ab. Leider ist die Abstimmung der Steuerservos ein Kompromiss, der den unterschiedlichen Datenraten bei unterschiedlichen Umdrehungszahlen verschiedener Formate gerecht wird. Das funktioniert zwar ganz gut, ist aber auch der Grund, warum moderne CD-Player wesentlich empfindlicher auf verkratzte CDs reagieren als frühere Modelle.

Der D/A-Wandler ist heute ebenfalls hochintegriert. S/PDIF-Eingang, Ausgang 2V Audio niederohmig. Eine Versorgungsspannung, eine Handvoll externer Bauteile, fertig ist der Wandler.

Zur Vervollständigung des Players benötigt man nur noch ein Netzteil, das 5V generiert, das sich natürlich ebenso als fertiges Modul findet. Dann noch ein Display-Modul und das Gehäuse, und fertig ist der Player.

Auch High End Hersteller können kaum anders vorgehen. Mit der Modulbauweise verbleiben nur noch wenige Einflussmöglichkeiten auf die Wiedergabequalität eines CD-Players:

- Wahl eines hochwertigen Laufwerks (sofern ein DVD-Laufwerk zum Preis von max. 15€ als „hochwertig“ bezeichnet werden kann...)

Modifikation des Philips CD104

- Wahl eines hochwertigen [D/A-Wandlers](#) (der gleichzeitig viele andere Schaltungskomponenten enthält, vom S/PDIF-Decoder über [Oversampling](#) bis zu den Ausgangsverstärkern ist alles, selbst die Clock, in den DAC-Chip integriert)
- Eigenbau einer aufwendigen Stromversorgung für eine Spannung
- mechanisch solide Konstruktion, das betrifft allerdings mehr „Nebenbaustellen“ wie Gehäuse, Schublade, Tasten etc. an der Mechanik des Laufwerks lässt sich nicht viel ändern.

Diese Vorgehensweise führt zu nahezu austauschbarem Standard-CD-Player-Klang auf nicht besonders hohem Niveau.

Einige High End Hersteller bedienen sich eines Tricks, um den Klang unüberhörbar vom Standard abzuheben. Sie entwickeln eine eigene Ausgangsstufe, die durch hervorragende Eigenschaften glänzen kann. Manche nehmen hierfür gern auch Röhren.

Leider ist in allen heute erhältlichen D/A Wandlern eine Ausgangsstufe fest integriert. Gehen Sie davon aus, dass diese in Großserie produzierten Chips eine Standardschaltung beinhalten. Standardschaltungen erfüllen ohne Probleme die gängigen Messdatenvorgaben an Audioverstärker. Auch der schlechteste Verstärker hat „gute“ Messwerte. Leider sagen die Messwerte so gut wie nichts über die Klangqualität dieser Schaltungen aus.

Hängt man nun hinter den Standard-Verstärker einen zweiten, deutlich hochwertigeren, gewinnt man nichts.

Man verliert, denn das Signal muss zusätzliche Schaltungen passieren, wodurch es nicht besser werden KANN. Höchstens anders. Manche Hersteller nutzen diese Möglichkeit, den Klang eines CD-Players bewusst zu verändern, vielleicht in der Hoffnung, dass der geneigte Käufer beim Probehören die Tatsache, dass der Player signifikant anders als andere klingt, als „besseren Klang“ wertet.

Mir ist jedoch noch kein Player mit zusätzlicher Ausgangsstufe begegnet, der wirklich besser als solche ohne geklungen hätte ...

Vielleicht stimmen Sie mir zu, dass die heutige Situation am CD-Player-Markt für den [audiophilen](#) Musikliebhaber alles andere als befriedigend ist.

Die Wiedergabequalität heutiger CD-Player ist alles andere als gut. Vielen mag das nicht bewusst aufgefallen sein. Ich führe dies darauf zurück, dass in den letzten 10-15 Jahren die Aufnahmetechnik in den Studios signifikant besser geworden ist, das bedeutet, die durchschnittliche CD von heute erheblich besser klingt als die durchschnittliche CD von 1995. Diese wiederum signifikant besser als die CDs der 80er Jahre.

Diese Vorteile auf der Softwareseite kompensieren die über die Jahre immer schlechter klingenden CD-Player, mehr als das. Jeder halbwegs brauchbare DVD-Kombiplayer klingt mit einer halbwegs guten Aufnahme besser als ein Philips CD100 mit einer durchschnittlichen CD von 1984. Probieren Sie es aus ...

Wie gut ein CD-Player klingen kann, zeige ich mit meinem modifizierten CD104.

Ich denke, ich übertreibe nicht, dass jeder, der meinen Player zum ersten Mal hört, schockiert ist.

Nicht überrascht, sondern schockiert, sprachlos, fassungslos, nicht selten erlebe ich regelrecht Wut. Wut auf die Hersteller sehr teurer Player, die ihre Versprechen, das Beste vom Besten abzuliefern, offenbar nicht einmal ansatzweise einhalten.

Modifikation des Philips CD104

Regelmäßig und mit einem Schmunzeln führe ich meinen Player gegen sehr teure Konkurrenten vor. Ich öffne dazu das Fenster des Hörraums und Bitte meinen Gast, auf die Straße zu gehen, bis zur nächsten Ecke, die ca. 50m entfernt liegt. Die Lautstärke stelle ich so ein , dass man die Musik dort gut hören kann und spiele ein paar Takte mit dem SuperDuperZigtausendEuroPlayer, dann dieselbe Passage mit dem Philips.

Meine Gäste kehren meist zurück mit Kommentaren wie „Gibts doch gar nicht“...

Philips

[Philips](#) ist jedermann als einer der führenden weltweiten Elektro-/Elektronik-Giganten bekannt.

1891 gegründet, stellte man zunächst nur Glühlampen her, ab 1918 auch Radoröhren.

Ab 1934 wurden dann im Werk Aachen Rote Erde, ganz hier in der Nähe, die ersten Rundfunkgeräte hergestellt,

später wurden in [Aachen](#) die ersten Farbfernseher produziert.

Leider genießt Philips unter HiFi- und Audio-Enthusiasten trotz zahlreicher Pionierleistungen nicht gerade den besten Ruf. Vielleicht geht es mir persönlich aufgrund der lokalen Nähe zum [Aachener Werk](#) anders.

In Bezug auf HiFi haben die meisten fast vergessen, dass viele bahnbrechende Audio- und Video- Entwicklungen von Philips entwickelt und erstmals auf den Markt gebracht wurden.

Zu den **Audio- und Video-Pioniertaten** von Philips gehören:

- das erste semiprofessionelle [Tonbandgerät](#) - 1950
- der erste [Videorekorder](#) - 1972
- die [Compact-Cassette](#) - 1967
- die [DCC](#) (Digital Compact Cassette) - 1992
- die [Laserdisc](#) - 1979
- die [CD](#) - 1982
- die [DVD](#) - 1997

Philips als Massenhersteller lag immer daran, erschwingliche Consumer-Geräte für jedermann herzustellen, vielleicht ist das einer der Gründe, warum die Marke bei Audiophilen einen nicht gerade guten Ruf genießt.

Auch beim Marketing und beim Design steht Philips nicht gerade für Heldentaten. Man schaue sich das Design der HiFi-Geräte der 70-er und 80er Jahre von Philips an.

Oder den grandiosen Misserfolg der *Laserdisc*, an die sich kaum jemand erinnert, obwohl sie als Vorgänger der DVD sagenhafte 27 Jahre auf dem Markt war, ohne dass viele Notiz davon genommen hätten.

Die CD jedoch trat weltweit einen Siegeszug ohne Vergleich an.

Modifikation des Philips CD104

Die CD

1974 unternahm das [Philips](#) Forschungslabor erste Versuche, Audiodaten auf einer optischen Disc zu speichern, die berührungslos mit einem Laserstrahl abzutasten war.

1978 fand in [Tokio](#) die „Digital Audio Disc Convention“ statt, wo vorgeschlagen wurde, sich auf einen weltweiten Standard zu einigen.

1979 stellte Philips der Öffentlichkeit den ersten funktionierenden Prototypen vor. Philips und [Sony](#) starteten ein Joint Venture zur Entwicklung der CD.

1980 wird der CD-Standard von Philips und Sony vorgeschlagen.

1981 akzeptiert das „Digital Audio Disc Committee“ den vorgeschlagenen Standard, der im „[Red Book](#)“ festgelegt ist.

1982 führen Philips und Sony gleichzeitig die Compact Disc ein. Philips bringt mit dem **CD100** den ersten Serien-CD-Player auf den Markt, Sony nur wenig später den CDP-101.

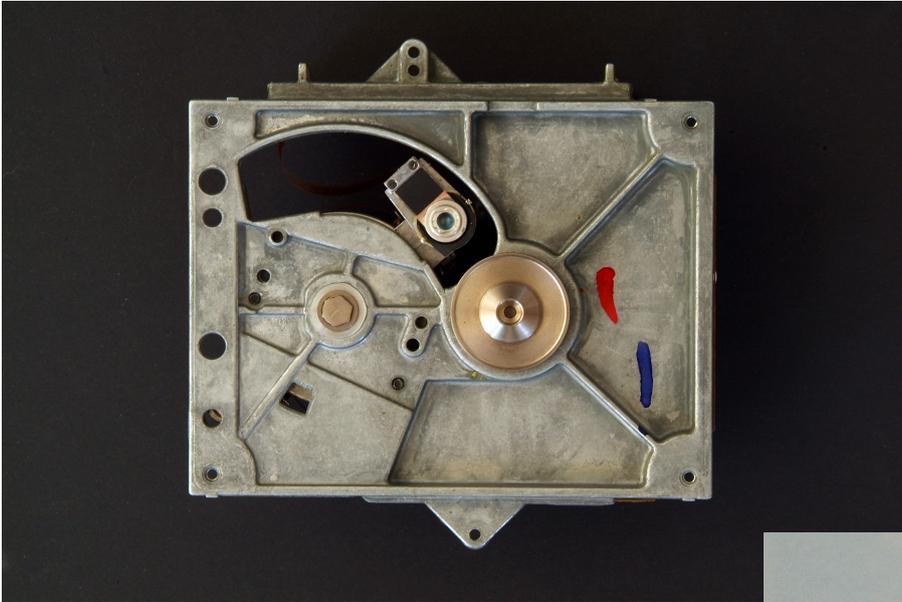


Sony CDP-101

Modifikation des Philips CD104

Radial-Laufwerk Philips CDM-1

Das mechanische Herz des Philips CD100/104/204/304 (und anderer Modelle) ist das CDM-1 Radial-Laufwerk (bzw. sein weitgehend baugleicher Vorgänger CDM-0)



Der gegenüber heute verwendeten Typen 10-fach größer dimensionierte [Halbleiterlaser](#) weist eine vielfach höhere Lebensdauer auf.

Sein Strahl wird mit einem 6-linsigen [Objektiv](#) des weltweit renommierten Optik-Herstellers [Rodenstock](#) präzise focussiert.

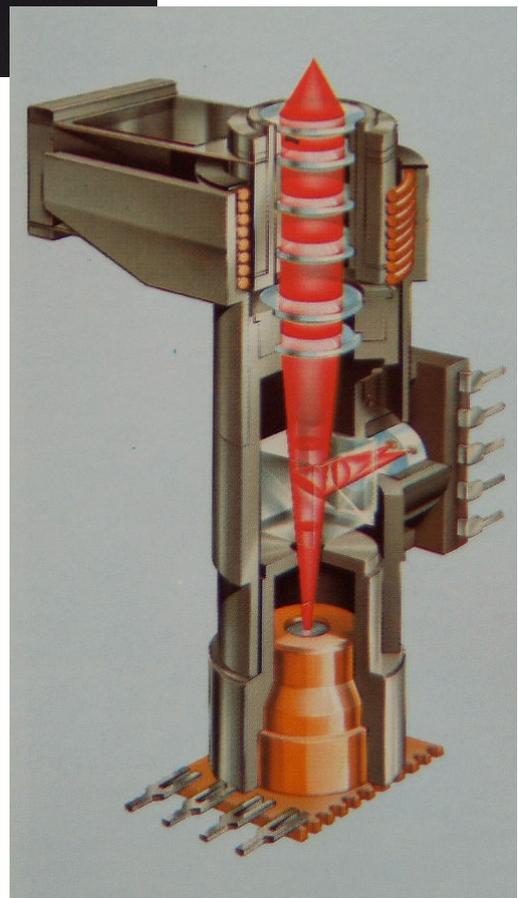
Die Linsen sind aus geschliffenen vergüteten optischem Glas.

Die Laufwerke von CD Playern haben eine Fülle von Aufgaben. Ein Antriebsmotor dreht die CD (bis auf wenige Ausnahmen) per Direktantrieb.

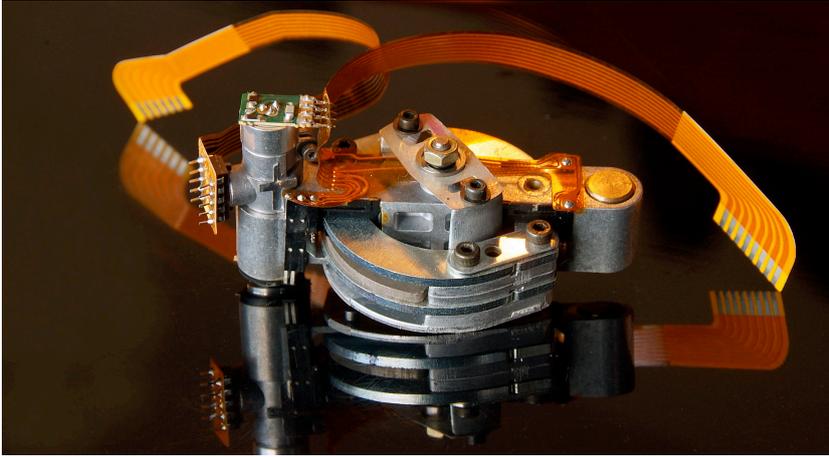
Die Datenaufzeichnung auf der CD erfolgt nach dem [CLV-Verfahren](#). (Constant Linear Velocity) im Gegensatz zur LP, die nach dem [CAV](#) (Constant Angle Velocity) Verfahren arbeitet.

CAV hat den Vorteil gleichbleibender Drehzahl des Mediums, aber den Nachteil unterschiedlicher Aufzeichnungsdichte (Datendichte) bei unterschiedlichen Durchmessern. So ist bei der LP die Dichte im Innenbereich ca. 3x so hoch wie außen, was hörbare Qualitätsunterschiede hervorruft.

Beim CLV-Verfahren ist die Datenrate und damit die Aufzeichnungsqualität immer gleich, das erfordert aber eine Anpassung der Drehgeschwindigkeit an den Durchmesser.



Modifikation des Philips CD104



Das CDM-1 ist ein Radiallaufwerk.

Hier erfolgt die Spurführung auf einer Kreisbahn, der Laser ist auf einem Drehgestell montiert, das elektrodynamisch wie ein Drehspulinstrument angetrieben wird. Diese Konstruktion arbeitet völlig geräuschlos. Das Foto zeigt das Drehgestell - die RAFOC Einheit mit Laser.

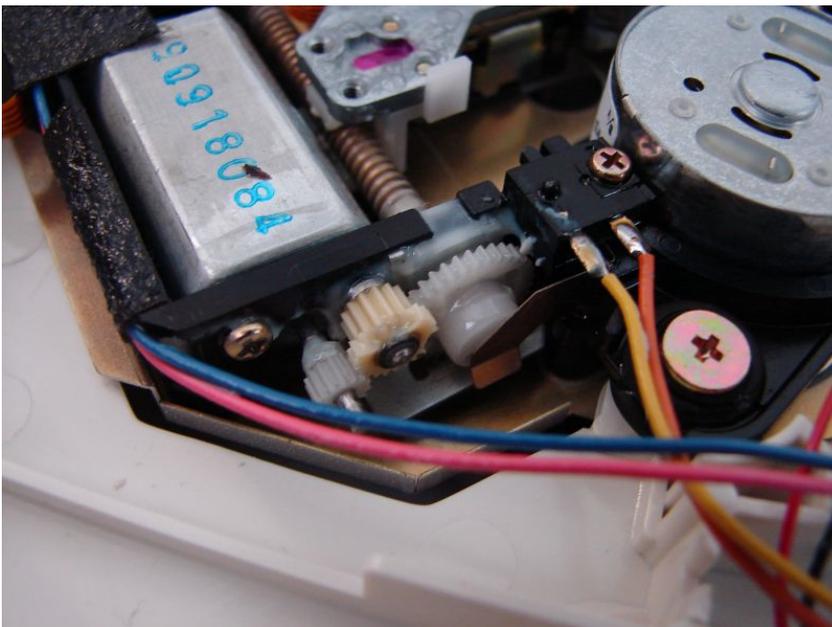
Der Dreharm ist beidseitig vollkommen ohne mechanisches Spiel doppelt kugelgelagert.

Die CD wird von innen nach außen abgetastet. Die CD rotiert anfangs mit 500 rpm und am Ende der Spieldauer mit 200 rpm.

Das Drehzahlensignal wird aus dem Datenstrom, genauer, der Samplingfrequenz, die konstant 44100 Hz beträgt, gewonnen. Die Daten fließen direkt nach dem Lesen in einen [FIFO-Speicher](#). Steigt der Pegel, wird beschleunigt, bis ein bestimmter Sollfüllstand des Speichers erreicht wird. Überschreitet der Pegel den Sollwert, bremst der Motor. Die Drehzahl ist also niemals konstant, sie schwankt immer um den Sollwert.

Der Laser folgt einer spiralförmigen Spur. Da keine CD wirklich 100% zentrisch gepresst ist, ist stets ein Seitenschlag zu korrigieren. Der Laser tastet Pits und Lands ab. Die Reflektionen des Laserstrahls werden von einer [Fotozelle](#) gelesen, die den Übergang zwischen Pit und Land als Reflektionsunterschied darstellt. Verlässt der Laser die Spur, wird die Reflektion schwächer. Eine elektronische Schaltung überwacht den Wert der Reflektion. Wird das Signal schwächer, wird der Laser weiter nach außen verschoben, bis die Signalstärke wieder den Maximalwert erreicht.

Gleichzeitig ist der Laserstrahl zu fokussieren. Die Optik vor dem Laser wird - wie das Autofokus-Objektiv einer Kamera - auf die Spur focussiert. Dabei wird auch der Höhenschlag der CD permanent ausgeglichen.



Moderne Linearlaufwerke haben einen Schlitten, der auf 2 Metallstangen läuft.

Angetrieben durch einen geräuschvoll arbeitenden Motor, dessen Kraft über ein aus mehreren Plastikzahnradern bestehendes Getriebe auf eine Schnecke übertragen wird, s. Foto

Das mechanische Spiel in Antriebsrichtung beträgt nicht selten mehrere Zehntelmillimeter.

3 sog. Servokreise sorgen beim CDM-1 für die Spurhaltung:

- Motor Control
- Offset
- Focus

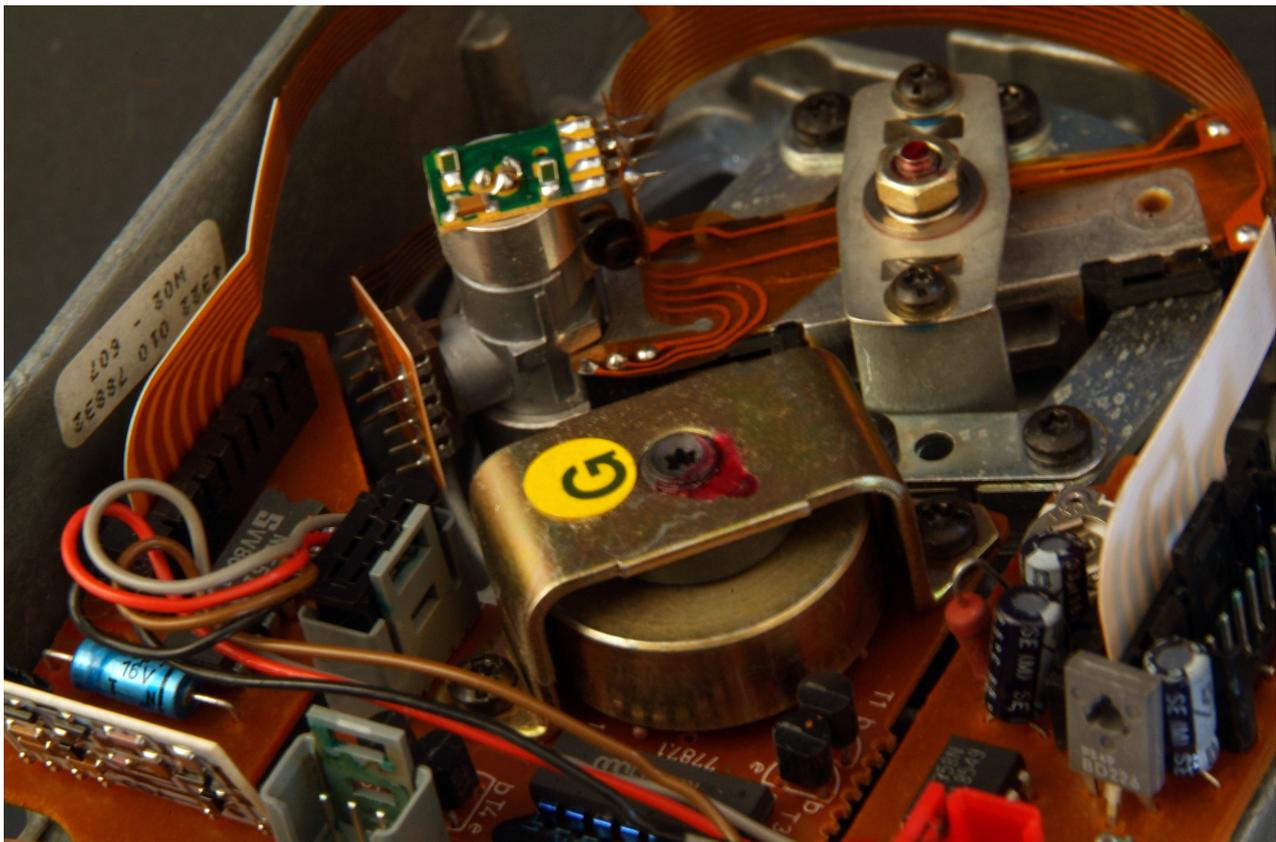
In allen 3 Servokreisen wird mit CD-Drehzahl (also ca. 3.5 bis 8x pro Sekunde) asynchron nachgeregelt.

Bei den heute zu 100% verwendeten Linearlaufwerken wird der Laser linear auf einem Schlitten mit Hilfe eines Schnecken- / Zahnstangengetriebes verschoben, der Offsetservo ist zweigeteilt in einen feinen und einen groben Bereich.

Kleine Spuränderungen werden über einen Tauchspulmechanismus ausgeglichen (Funktionsprinzip wie ein Lautsprecher). Eine Elektronik überwacht, wann das Ende des Regelbereich der Tauchspule erreicht ist und schiebt den Schlitten über die Zahnstangenmechanik mit einem 4. Servo ein Stück vor (Grobvorschub).

Radial Focussing Unit RAFOC

Das Philips CDM-1 Laufwerk ist ein Meisterwerk mechanischer und optischer Präzision.



Heutige Laufwerke erledigen dies mit einer einzelnen Press-Plastiklinse. Das Ergebnis hinsichtlich der optischen Qualität ist etwa wie eine hochwertige Spiegelreflexkamera im Vergleich zu einer Einwegkamera.

Modifikation des Philips CD104

Wie bei einem Einwegkamera-Foto das Motiv erkennbar ist, ist mit einem CD-Schlittenlaufwerk die Musik erkennbar.

Die Hersteller erkannten im Laufe der Zeit, dass hohe mechanische Präzision der Laufwerke nicht zwingend notwendig ist.

Lange Lebensdauer muss auch nicht sein, da die Verbraucher die Geräte sowieso in regelmäßigen Abständen gegen aktuellere austauschen ...

Die elektronischen Servokreise regeln ohnehin. Ob nun noch ein bisschen Spiel geregelt wird, kostet nichts.

Das stimmt, aber es bedeutet, dass alle 3 Servokreise erheblich mehr regeln müssen als bei mechanisch präziser Konstruktion.

Stellen Sie es sich vor wie die Lenkung eines Autos. Einmal so wie sie es kennen, ohne Spiel. Für Geradeausfahrt korrigieren Sie ständig ein klein wenig mit kaum sichtbaren Lenkbewegungen, um das Auto in der Spur zu halten.

Stellen Sie sich nun eine Lenkung mit 10 cm Spiel um die Mittellage vor. Es wird ihnen gelingen, mit großzügigen Bewegungen das Auto in der Spur zu halten, bei allerdings massiv erhöhtem Kurbelbedarf.

Was Sie beim Lenken ermüden würde, haben bei den Servokreisen des CD-Players die Netzteile zu leisten. Die 3 Servokreise verursachen im Netzteil jeweils unterschiedliche Belastungen, die umso höher sind, je größer der Regelbedarf. Diese Schwankungen machen sich auch in den Spannungsversorgungen der Audioschaltkreise des Players bemerkbar, die an derselben Spannung hängen. Das ist klanglich nachteilig, weil die Regelströme der Servokreise etwa 1000x größer sind als die Ströme der Audioschaltkreise.

Ein mechanisch und optisch präzises Laufwerk macht also, wenn auch indirekt, sehr wohl Sinn. Die Regelströme für die Spurhaltung sind erheblich kleiner.

Dass ein mechanisch präzises Laufwerk zudem langlebiger ist, ist ein angenehmer Nebeneffekt.

Das CDM-1 ist gebaut wie eine Schweizer Uhr, höchst präzise Mechanik. Moderne Laufwerke tun es auch, so wie es eine Uhr vom Kaffeeröster auch tut.

Die Vorteile des CDM-1 sind:

- höchste mechanische Präzision ohne mechanisches Spiel
- höchste Optische Präzision, resultierend in genauer Abtastung und gegenüber modernen Laufwerken erheblich besserer Kratzertoleranz
- geringe mechanische Spiele sorgen für geringen elektronischen Regelbedarf, geringere Regelströme entlasten die Spannungsversorgungen aller Bereiche des Players, klanglich vorteilhaft
- extreme Langlebigkeit, solide Konstruktion, engste Toleranzen, Metall statt Plastik
- radiale Abtasteinheit mit einem Servokreis weniger als Linearlaufwerke.

Der Fortschritt, also die technische Weiterentwicklung von CD-Laufwerken besteht ausschließlich in der Reduktion von Produktionskosten. Die Mechanikbauteile wurden zunehmend durch Plastikbauteile ersetzt und die optische Qualität auf das minimal notwendige Niveau reduziert. Mechanische und optische Präzision wurden ersetzt durch erhöhte elektronische Regelungen. Schaltkreise, die ohnehin vorhanden sind.

Das Philips CDM-1 Laufwerk hat bereits in den 80er Jahren als Ersatzteil über 300DM gekostet, während heutige DVD-Laufwerke unter 15€ kosten.

14 Bit Dual Mono Digital to Analog Converter TDA1540

Das auf der CD gespeicherte Datenformat arbeitet mit einer Bittiefe ([Quantisierung](#)) von 16 Bit bei einer [Abtastrate](#) von 44,1kHz.

Die Bittiefe steht für die zur Verfügung stehende Auflösung von Pegelstufen. Mit 16 Bit lassen sich $2^{16} = 65536$ Pegelstufen realisieren, das entspricht einer Dynamik von 96 dB.

Philips verwendete in der ersten Generation der CD-Player einen 14 Bit-[DAC](#), während Sony 16 Bit DACs verwendete.

Wie es scheint, ist Philips hier im Nachteil.

Philips hatte jedoch gute Gründe, sich beim DAC auf 14 Bit zu beschränken, denn zur Zeit seiner Entwicklung war es technisch nicht möglich, einen korrekt funktionierenden 16 Bit DAC zu konstruieren.

Der Philips TDA1540 14 Bit DAC arbeitet über alle 14 Bit korrekt - sein [LSB](#)-Fehler beträgt $< 0,5$ LSB, unmittelbar ablesbar an seinem Dynamikwert von 84 dB. Jedes Bit bildet einen Dynamikbereich von 6 dB ab, das bedeutet, dass die Dynamik eines 14 Bit DACs 84 dB beträgt, die eines 16 Bit DACs 96 dB und die eines 24 Bit DACs 144 dB, sofern alle Bits korrekt funktionieren.

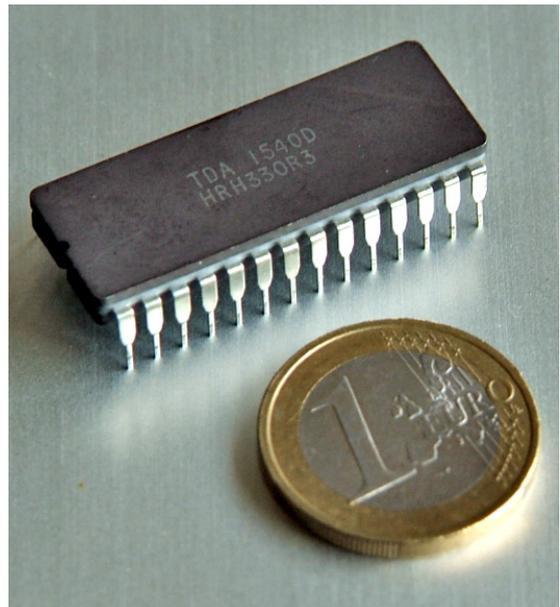
Die ersten Sony 16 Bit DACs werden mit 90 dB(A) angegeben. Die [A-Bewertung](#) sorgt für eine „Schönung“ des Wertes um 6 dB, der unbewertete Dynamikwert beträgt 84 dB, was beweist, dass die beiden LSBs des Sony DACs nicht funktionieren.

Dennoch sah sich Philips aufgrund des Bitnachteils auf dem Papier genötigt, sich etwas einfallen zu lassen, was den vermeintlichen 2-Bit-Nachteil ausgleicht. So erfanden die Philips Ingenieure das Digitalfilter, ein Baustein, der später Oversampling genannt wurde. Dazu mehr in einem späteren Kapitel.

4-faches Oversampling kann einen 2-Bit-Dynamiknachteil messtechnisch ausgleichen.

So gab Philips in den technischen Daten des CD100 an: „Auflösung entsprechend 16 Bit“

Bereits hier wurde ein klassisches Missverständnis eingeführt. „Auflösung“ wird im Vokabular der HiFi-Enthusiasten gleichgesetzt als Signalauflösung, also die Fähigkeit, Feinheiten der Musik wiederzugeben.



Die Bitauflösung eines DACs steht jedoch nicht für DIESE Definition von Auflösung, sondern für die dynamische Auflösung, und auch das ist missverständlich. So können 16 Bit nicht etwa FEINERE Pegelstufen wiedergeben, sondern MEHR Pegelstufen, die Dynamik erweitert sich.

Noch einmal: die im audiophilen Sinne gemeinte Auflösung ändert sich durch die Bittiefe nicht. Auch ein 1-Bit-DAC ist in der Lage, die volle Auflösung des Signals wiederzugeben. Würde sich die Auflösung mit weniger Bits ändern, wäre die Auflösung der Musik von CD umso schlechter, je leiser das Signal ist. Das ist nicht der Fall.

Der TDA1540 weist einige Eigenschaften auf, die ihn von allen anderen DACs, die es je gab, unterscheidet:

- Mono DAC, für Stereo-Wiedergabe werden 2 Stück benötigt
- Einzigartiges kanal-synchrones Datenformat, separate Führung der 3 Datenströme
- 2 separate Versorgungsspannungen plus eine externe Referenzspannung
- externe Auskoppelung der Bit-Ströme
- Dynamic Element Matching für die 4 MSBs
- I-Ausgang ohne integrierten Ausgangsverstärker

Diese Eigenschaften ermöglichen, auf die Qualität der D/A-Wandlung an allen wichtigen Stellen durch externe Beschaltung Einfluss zu nehmen.

Leider hat Philips bei den Seriengeräten das Potenzial des TDA1540 bei weitem nicht vollständig genutzt.

Im Datenblatt des TDA1540 gibt Philips eine sehr simple „Minimalbeschaltung“ an. Von diesem Schaltungsvorschlag weicht keiner der Serienplayer, ob von Philips oder anderen Herstellern, auch nur einen Millimeter ab.

Das klangliche Resultat dieser Schaltung bildete jedoch - unfreiwillig - die Messlatte für alle folgenden CD-Player-Generationen. Das hat dazu geführt, dass sich CD-Player-Entwickler aller Folgegenerationen ganz erhebliche Nachlässigkeiten erlauben konnten, ohne dass dies aufgefallen wäre.

Mit von mir deutlich veränderter optimaler Beschaltung ist der TDA1540 zu einer gänzlich anderen Performance fähig als im Original.

Nebenbemerkung: In „kastrierten“ DACs ist auch der Grund, warum die Industrie es mit datenreduzierten Formaten recht leicht hatte. Der Qualitätsunterschied eines 320kBit mp3 Files zu durchschnittlicher CD-Wiedergabe erscheint recht klein, normale „User“ hören den Unterschied gar nicht.

Gegen meinen modifizierten Philips hören Sie die Unterschiede im wahren Ausmaß.

Hätte Philips sich 1982 bei der Schaltung des TDA1540 mehr Mühe gegeben, hätten sich m.E. diese Formate nicht so leicht durchsetzen können, die Klangverluste hätte niemand akzeptiert. Auch nicht an einer ganz gewöhnlichen Stereoanlage ohne jeden High End-Anspruch.

Der TDA1540 arbeitet mit 14 Bit. Das heißt, 2 Bits der CD-Information werden nicht ausgewertet.

Von Anfang an bestand bei Digitaltechnik eine Art „Bit-Gläubigkeit“. Dem Verbraucher, der die Digitaltechnik nie vollständig verstehen kann, weil sie zu komplex ist, wurde die Bit-Anzahl mehr oder weniger als das Hauptqualitätsmerkmal „verkauft“.

Ganz ähnlich, wie bei der Fotografie die Anzahl der Megapixel.

Randbemerkung: Interessant finde ich, dass die Bittiefe bei Audio zum Hauptargument erkoren wurde, in der Digitalfotografie jedoch wird sie als Werbeargument nicht benutzt, obwohl sie dort kein bisschen weniger wichtig ist. Sie finden sie allenfalls tief in den technischen Daten versteckt.

Die Bittiefe steht in der Dig.-Fotografie für die Anzahl der darstellbaren Farben und Helligkeitswerte.

Daher wird die Bittiefe dort [Farbtiefe](#) genannt.

Solange Sie in jpg-Format fotografieren, haben Sie 8 Bit Farbtiefe pro Farbe. In den Daten steht gern 24 Bit Farbtiefe, so fällt der Mangel nicht so auf. Denn 8 Bit Farbtiefe ergeben nur 256 darstellbare Helligkeitswerte pro Kanal.

Das ist genug für Bildschirmwiedergabe, weil alle Consumer-Bildschirme auch mit 8 Bit Farbtiefe arbeiten. Nur professionelle Grafikermonitore arbeiten mit bis zu 16 Bit Farbtiefe. Lieber gibt man 16,7 Mio. Farben an (256*256*256). Das klingt viel, in den darstellbaren Farben sind aber auch die Helligkeitswerte codiert.

Für gute Farbwiedergabe und Kontraste braucht es (interessanterweise wie bei Audio für gute Dynamik) mindestens 12 Bit, das ergibt darstellbare 68,7 Milliarden Farben, das 4096-fache von 8 Bit!

In der Praxis sorgt die geringe Farbtiefe von 8 Bit (übrigens auch bei [DVD](#) und [Blu-Ray](#) der Standard) für wenig differenzierte Farbwiedergabe, die feine Farbnuancen zu [Primärfarben](#) hin verschiebt. In der Folge erhalten wir zwar farbige bunte Bilder, an die wir uns aufgrund der allgegenwärtigen 8-bit-Bildschirmwiedergabe bereits so gewöhnt haben, dass manche ein Papierfoto, bei dem der Unterschied in der Farbtiefe sehr gut sichtbar sind, teilweise als schlechter beurteilen, weil manche Farben zarter und blasser dargestellt werden als in 8 Bit Farbtiefe.

Für die Bilddynamik (den [Kontrast](#)) bedeutet 8 Bit eine gegenüber 12 oder gar 16 Bit dramatisch reduzierte Dynamik, besonders gut sichtbar in Schattenpartien und in den Lichtern. Durch teilweise obligatorische Nachbearbeitung bereits in den Kameras wird versucht, einen höheren Kontrast zu erzeugen, das gelingt aber nur sehr vordergründig und um den Preis, dass man feine Abstufungen verliert.

Zurück zum TDA1540:

Der 2 Bit Nachteil führt in der Praxis lediglich zu einer um 12 dB reduzierten, möglichen Dynamik von 84 dB. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass reale Musik nicht mehr als 65 dB Dynamik aufweist. Somit verbleibt gegenüber 16 Bit DACs ein 12 dB schlechterer Geräuschspannungsabstand.

84 dB sind jedoch mehr als ausreichend. Das Ruherauschen des TDA1540 ist subjektiv nicht wahrnehmbar höher als das anderer DACs.

Die werden keine CD finden, die in den letzten 2 Bits, die der TDA1540 nicht auswertet, ein Musiksignal enthält.

Noch einmal möchte ich betonen, dass mit dem 2 Bit-Nachteil keinerlei Auflösungs Nachteile im HiFi-technischen Sinne einhergehen.

Oversampling / Non Oversampling

Bereits der Begriff [Oversampling](#) ist irreführend. Es wird der Eindruck erweckt, dass mit OS mehr [Samples](#) verwendet würden als ohne. Dies ist nur ein bisschen richtig.

Der DAC wird bei 4-fach OS per [Abtastratenkonvertierung](#) 4-fach schneller getaktet (im Falle der CD 44,1 kHz *4 = 176,4 kHz), so dass auch die 4-fache Menge an Samples benötigt wird.

Dem Verbraucher wird suggeriert und in vielen Artikeln zu dem Thema steht es so geschrieben, dass die 3 "Zusatzsamples" anhand der "Nachbarwerte" interpolierte Werte darstellen würden. Das ist falsch.

Korrekt sieht es so aus:

Ein Sample der Originaldaten wird ersetzt durch VIER Samples, die mit 4-facher Taktrate (176.4 kHz) wiedergegeben werden. Das jeweils erste der 4 Samples entspricht dem Originalsample, die weiteren 3 sind zeitlich verzögerte Kopien dieses Samples. Kopien, keine interpolierten Zwischenwerte.

So wird keineswegs die Genauigkeit des Signals erhöht. Richtig ist, sie bleibt unverändert, was theoretisch zumindest kein Nachteil ist.

In der Praxis erfordert die 4-fach höhere Taktung des DACs jedoch eine $2^4=16$ -fach höhere Genauigkeit der Clock. Eine Genauigkeitsanforderung, die die meisten Player mit Oversampling nicht erfüllen.

Mit 8-fach Oversampling oder im Extremfall bei 1 Bit / 256-fach OS verschärft sich das Timingproblem weiter drastisch. Hier werden 256-fach bzw. 65536-fache Genauigkeiten der Clock gefordert, Bedingungen, die auch nach dem heutigen Stand der Technik nicht erfüllt werden können, vor 25 Jahren schon gar nicht.

In der Praxis klingen CD-Player nachvollziehbar schlechter, je mehr OS sie verwenden.

Warum dann überhaupt OS?

Nun, der erste Player der Welt, der CD100 v. Philips, war gleichzeitig der erste Player mit (4-fach) OS. Das Wort Oversampling taucht jedoch weder in der Werbung noch in den technischen Unterlagen über den Player auf, dort wird es als "[Digitalfilter](#)" bezeichnet, und dies ist auch die eigentlich korrekte Bezeichnung.

Offensichtlich klang den Marketingstrategen das Wort "Digitalfilter" zu negativ, denn ein Filter entfernt immer etwas, so die landläufige Meinung, und vielleicht bestanden auch bereits Vorurteile gegen das Wort digital, so dass man befürchtete, das Wort Digitalfilter würde beim Verbraucher eher negative Assoziationen wecken.

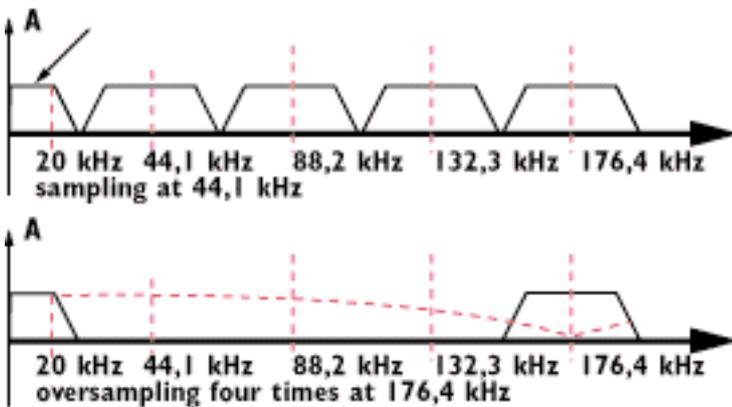
Die Marketingleute erdachten daraufhin das Wort Oversampling, over klingt nach mehr, und „mehr“ suggeriert „besser“...

Der wahre Hintergrund und der theoretische Vorteil des Oversampling hat ganz andere Gründe als die Erhöhung der Genauigkeit des Signals.

Modifikation des Philips CD104

Der Vorgang des Samplings und die anschließende D/A Wandlung führt unvermeidlich, da prinzipbedingt, zu sog. Spiegelfrequenzen.

Das Audiofrequenzband wird an der Samplingfrequenz (ohne OS 44,1 kHz) und seinen Vielfachen gespiegelt, hier grafisch dargestellt. Die Grafik ist vereinfacht, denn die Pegel der Spiegelbilder sind nicht gleich dem Original wie hier dargestellt, das 1. Spiegelbild hat den halben Pegel, das 3. 1/3 usw. Das heißt, mit zunehmender Frequenz nimmt der Pegel sukzessive mit 6dB/Oktave ab.



Entwickler waren sich einig, dass die unerwünschten Spiegelfrequenzen gefiltert werden sollten. Dem liegen fragwürdige Überlegungen zu Grunde.

So wurde und wird nach wie vor vermutet und behauptet, dass die Spiegelfrequenzen dem Verstärker oder dem Lautsprecher Schaden zufügen könnten.

Ein Verstärker ist jedoch prinzipiell in der Lage, bis in den MHz-Bereich zu verstärken. Dass Verstärker i.d.R. nach oben bandbreitenbegrenzt sind, liegt nicht am Prinzip, sondern an gewollten Maßnahmen, die dies bewirken. Alle Verstärker haben eine Filterwirkung oberhalb 100 kHz, damit keine unerwünschte HF-Abstrahlung entsteht, die schon vom Gesetzgeber aus nicht zulässig sind. Der Grund ist, dass HF-Abstrahlung andere elektronische Geräte stören könnte oder in ihrer Funktion beeinträchtigen könnten. Wenn also in den technischen Daten eines Verstärkers Frequenzbereich z.B. 10 Hz-150 kHz angegeben ist, bedeutet dies nicht, dass der Verstärker mit höheren Frequenzen Schwierigkeiten hat, sondern, dass er auf diese Bandbreite begrenzt wurde.

Lautsprecher geben höhere Frequenzen als 20 kHz (in seltenen Fällen bis 30 kHz) aufgrund ihrer Massenträgheit nicht wieder. Höhere Frequenzen sind nicht in der Lage, Lautsprecher zu beschädigen. Ganz nebenbei ist jeder Lautsprecher so ein natürlicher und sehr steilflankiger Filter für Spiegelfrequenzen, ein weiterer Aspekt, warum zusätzliche elektronische Filter nicht benötigt werden.

Meines Erachtens ist das menschliche Ohr der beste Filter. Die größte Empfindlichkeit hat das menschliche Gehör bei ca. 4 kHz. Die Wahrnehmungsfähigkeit bei 20 kHz liegt bereits -80 dB (!) unter der W. bei 4 kHz. Bei 24 kHz beträgt die Dämpfung bereits >140 dB. Das sind bessere Werte, als jedes elektronische Filter liefern kann.

Die Entwickler glaubten und glauben jedoch, dass elektronische Filter die unterwünschten Aliasse unterdrücken sollen, vielleicht, weil sie mehr an ihren Messgeräten orientiert als an gesundem Menschenverstand. Vielleicht auch aufgrund des ungelösten Problems, ein Messgerät nicht "hinter dem Ohr" anbringen zu können.

Das menschliche Ohr filtert die Spiegelfrequenzen perfekt aus, ob mit oder ohne zusätzliches elektronisches Filter. Verstärker und Lautsprecher filtern noch zusätzlich und ganz natürlich.

Ohne Oversampling / Digitalfilter ist die Vorgabe der Messtechniker, dass Spiegelfrequenzen jenseits von 20 kHz möglichst steilflankig unterdrückt werden sollen. Da die ersten Aliasse bereits bei der halben

Samplingfrequenz 22,05 kHz auftreten, ist ein sehr steilflankiges Filter notwendig, damit die Wirkung ausreichend ist.

Ein Filter mit 90 dB Flankensteilheit wäre hier erforderlich. Unter anderem die ersten Sony CD-Player hatten ein Filter 11. Ordnung implementiert, die Messwerte hinsichtlich der Alias-Unterdrückung sind hervorragend, aber die Player klingen außergewöhnlich schlecht. Filter hoher Ordnung haben Nebenwirkungen, Phasendrehungen und schlechtes Impulsverhalten sind nur die messbaren Probleme, die sich klanglich drastisch negativ bemerkbar machen, so dass auch die Techniker nicht umhinkamen, nach einer anderen Lösung zu suchen.

Philips hat es erst gar nicht so versucht, sondern gleich die Vorteile des 4fach Oversampling erkannt. Die zu 176.4 kHz vervierfachte Samplingfrequenz verschiebt die Aliasse in höhere Bereiche (ab ca. 190 kHz). so dass ein bei 20 kHz ansetzendes Filter 3. Ordnung (18 dB / Oktave) mit weit weniger schädlichen Nebenwirkungen die gleiche Wirkung hat, wie eines 11. Ordnung ohne Oversampling. Aufgrund dieser "Filterwirkung" des Oversamplings wird das Verfahren auch Digitalfilter genannt. Auch nicht ganz treffend, denn das Verfahren selbst filtert nichts.

Meines Erachtens ist jedoch auch ein Filter 3. Ordnung bereits hörbar klangverschlechternd. Mit dieser Meinung bin ich nicht allein, unter Lautsprecherentwicklern gelten 18 dB Flankensteilheiten als kritisch.

So gesehen ist gegen OS prinzipiell nichts einzuwenden. Wenn da nicht die Nebenwirkungen wären, hier wird der Teufel mit dem Beelzebub ausgetrieben.

1 Sample wird durch 4 ersetzt. Stellen Sie sich das wie Echos vor. Das Originalsignal ertönt nun 4-fach kürzer und es folgen 3 zeitversetzte Echos. Akustisch macht sich das nicht als Echo, sondern als Unschärfe bemerkbar.

So klingt es mit Oversampling irgendwie unpräziser, ein wenig verwaschen, diffus oder wattig.

Die vervierfachte Samplingfrequenz stellt ungleich höhere Anforderungen an die Genauigkeit der Clock des Players, In den meisten Playern (außer sehr teuren) ist die implementierte Clock nicht hinreichend genau. Das Problem verschärft sich dramatisch durch die seit 1985 obligatorische Verwendung des S/PDIF Standards (dazu später mehr).

Mein modifizierter Philips-Player verzichtet daher ganz auf OS und analoge Filter. Jitterfrei, und perfekt vom menschlichen Ohr (und zusätzlich dem Lautsprecher) gefiltert. Lautsprecher und Ohr filtern ohne Elektronik, sie filtern aufgrund von Massenträgheiten. Lautsprecher und Ohr filtern alles oberhalb 20000Hz ohne oder mit Oversampling, ob Sie wollen oder nicht. Mehr Filterung braucht es nicht.

Soweit die Theorie. Die frühen Philipsplayer ermöglichen es, die Theorie zu überprüfen. Während in modernen DAC-Typen Clock, Oversampling, Ausgangsverstärker und Analoge Filter im DAC-Chip unveränderbar integriert sind, lassen die frühen Philips-Player Eingriffe an allen Stellen zu.

In Prototypen baute ich eine genauere Clock ein. So klingt der Player im Oversamplingbetrieb deutlich besser, der Klang ist jedoch ohne Oversampling reiner, purer und authentischer. Die genauere Clock führt im Non-OS-Betrieb zu keiner Klangveränderung.

Meine Tests mit verschiedenen analogen Filtern führten klar zu dem Ergebnis, dass ohne jeden elektronischen Filter die bestklingende Lösung ist. Bereits ein 6 dB-Filter legt einen zarten Schleier über die gesamte Wiedergabe. Je steiler das Filter, umso mehr Vorhänge schieben sich vor die Wiedergabe.

Ausgangsverstärker

Das vom DAC, dem Digital-Analogwandler ausgegebene Signal ist ein Strom. Am Ausgang des CD-Players ist eine effektive Wechselspannung von 2,0 V mit niedriger Impedanz gewünscht.

Die Aufgabe des Ausgangsverstärkers besteht in der Strom/Spannungswandlung (I/U Wandlung), der Verstärkung der Spannung auf 2 V eff. bei niedriger Ausgangsimpedanz. Diese Aufgabe entspricht etwa der eines Vorverstärkers.

Die Philips-DACs der frühen CD-Player-Ära geben den unbearbeiteten Strom aus, während praktisch alle DACs ab ca. 1985 die Ausgangsverstärker in den DAC-Chip integriert haben.

Sie dürfen davon ausgehen, dass die in die Chips integrierten Ausgangsverstärker nicht die optimale Qualität aufweisen. „Leider“ erfüllen auch recht einfache Lösungen die üblichen Messwertvorgaben für Audioverstärker völlig problemlos. Verstärker mit schlechten Daten gibt es nicht mehr. Es wäre jedoch ein Trugschluss, anzunehmen, dass alle Verstärker mit guten Daten auch gut klingen. Wie das klangliche Endresultat heutiger DACs unzweifelhaft nahelegt, klingen die Ausgangsverstärker dieser DACs nicht besonders gut.

Bei den frühen Philipsplayern mit TDA1540 / TDA1541 DACs sind chipexterne Ausgangsverstärker implementiert. Qualitativ entsprechen diese dem Stand der damaligen Technik. Je Kanal übernimmt diese Aufgabe der zu seiner Zeit hochwertigste Dual-OPamp NE5532. Dieser Chip beinhaltet 2 identische Verstärkerbausteine. In den frühen 80er Jahren eine sehr gute Wahl, besseres stand nicht zur Verfügung.

Philips verwendete den ersten der beiden Verstärker für die Strom-Spannungswandlung und Verstärkung des Signals. Die Verstärkung wird über einen Gegenkopplungswiderstand an den gewünschten 2,0V Ausgangswert angepasst. Gleichzeitig beinhaltet die Gegenkopplungsschleife das 18 dB-Analogfilter und das schaltbare Desphasisfilter für entsprechend codierte CDs. Ein SteuerBit auf der CD schaltet den Deemphasis-Schaltkreis bei Bedarf zu.

Der zweite Ausgangsverstärker ist über maximale Gegenkopplung auf Verstärkungsfaktor 1 reduziert. Hier erfolgt die Impedanzwandlung des Signals. Eigentlich unnötig, da auch die Ausgangsimpedanz der 1. Stufe niedrig genug ist.

Die Schaltung jedes der beiden Verstärker ist recht komplex. Jeder Verstärker enthält 35 Transistoren, das Signal passiert also pro Kanal nicht weniger als 70 Transistoren und eine Menge passiver Bauteile.

Für meine Modifikation entwickelte ich neue Ausgangsverstärker, die der Originalschaltung klanglich weit überlegen sind. Meine Schaltung kommt mit einem einzigen Verstärker aus, der mit nur 4 FETs arbeitet. Eine klanglich hervorragende Lösung. Der Wegfall der analogen Filter sowie eine optimierte Spannungsversorgung resultieren in einem der Originalschaltung dramatisch überlegenen Klang.

Hier hören wir einen Klangunterschied, der etwa so groß ist, wie ein heutiger [State-Of-The-Art](#) High End-Verstärker gegen einen Durchschnittsverstärker eines großen japanischen Konzerns der frühen 1980er Jahre.

Dazwischen liegen Welten

Analogfilter

Das [Analogfilter](#) ist in der Originalschaltung des CD100, die mit 4-fach Oversampling arbeitet, auf 176.4 kHz berechnet, das 4-fache der Samplingfrequenz.

Hier hat Philips offenbar einen Denkfehler implementiert. Der theoretische Vorteil des OS liegt ja darin, dass die Spiegelfrequenzen zu höheren Frequenzen hin verschoben werden und die Filterung gegenüber einer NonOS-Lösung sehr viel sanfter erfolgen kann.

Das Analogfilter muss hierzu allerdings ebenso bei 22.05 kHz ansetzen wie ohne OS. Ein bei 22.05 kHz ansetzendes 18 dB-Filter hat bei 176.4 kHz eine Dämpfung von 72 dB.

Die Fehlberechnung in den CD100-Modellen (und allen baugleichen Modellen) führt dazu, dass die erste - laut Theorie wichtigste, da vom Pegel höchste - Spiegelfrequenz gar nicht gefiltert wird und die zweite bei 352.8 kHz nur mit 18 dB. Mit dieser Fehlberechnung hat Philips dem CD100 klanglich ungewollt einen Gefallen getan, denn die Phasendrehungen des 18dB-Filters setzen so erst bei Frequenzen weit abseits des Hörbereichs ein.

Versuchsweise habe ich ein korrekt berechnetes Filter eingebaut (18dB bei 22.05 kHz) mit dem Ergebnis, dass der Player deutlich hörbar schlechter klingt.

Wie auch immer, das komplette Entfernen des Filters führt zum klanglich besten Resultat. Der Klang wirkt substanzieller, „auf den Punkt“, während es mit Filter leicht „unscharf“ und diffus klingt, die Folge von Phasenfehlern des Filters.

Die Rolle des Filters übernehmen im modifizierten Philips-Player der Lautsprecher und vor allem: das Ohr des Hörers, das mit einer Dämpfung von >140 dB bei 22 kHz um den Faktor 100.000 steiler filtert als das steilste elektronische Filter.

Datenformate in CD-Playern

In jedem CD-Player fließen mehrere digitale Datenströme.

Das Clocksignal ist der interne Taktgeber, nach dem alle Daten verarbeitet werden. Hier ist höchstmögliche Genauigkeit gefragt, denn Abweichungen des Timings der Datenverarbeitung führen zu Signalabweichungen bei der D/A-Wandlung. Diese Abweichungen führen zu deutlichen Klangverlusten hinsichtlich der Auflösung, der Dynamik und der räumlich korrekten Abbildung der Musik.

Das Data-Signal enthält die Audiodaten des linken und rechten Kanals. Die Audiodaten des linken und rechten Kanals sind auf der CD abwechselnd sequentiell codiert.

Es wird also ein weiteres Signal benötigt, das den Anfang eines neuen Datenwortes signalisiert, damit es dem linken bzw. rechten Kanal zugeordnet werden kann.

Die abwechselnde Codierung der beiden Kanäle bewirkt einen Zeitversatz von $1/44100$ Sek. = 22,67 Mikrosekunden (0,000022675 Sek.) zwischen den Kanälen. Gehörphysiologische Untersuchungen zeigen zwar, dass 2 Signale mit so geringem zeitlichen Abstand nicht als zwei getrennte Ereignisse wahrgenommen werden können, dennoch sorgen auch kleinste Zeitabweichungen für wahrnehmbare „Unschärfen“ der Wiedergabe.

Im Idealfall ist der Datenstrom des rechten Kanals also um 22,67µs zu verzögern, damit die digitalen Datenströme beider Kanäle den DACs synchron zugeführt werden. Ergebnis ist eine holografisch „scharfe“ Abbildung der Klangkörper.

Leider verzichten bis auf extrem wenige Ausnahmen praktisch alle CD-Player auf die Synchronisation der beiden Stereokanäle.

Schlimmer noch: Manche als Stereo-DACs deklarierte DACs beinhalten in Wirklichkeit nur EINEN DAC, das Signal wird hinter dem DAC abwechselnd auf den li. und rechten Kanal geschaltet.

Sicher eine clevere Lösung, die einen gesamten DAC um den Preis eines Schalters einspart, aber auch die klanglich schlechteste Lösung. Für Plastikkompaktanlagen vom Kaffeeröster, Ghettoblaster und portable Player mag das akzeptabel sein, für als High End deklarierte CD-Player m. E. nicht.

Dennoch finden sich in nicht wenigen High End CD-Playern solche 1-Kanal Switching DACs.

Zur Entlastung dieser Hersteller darf jedoch angenommen werden, dass dort weder die Problematik noch die genaue Arbeitsweise des DACs bekannt sind.

Neben einem weiteren ist der TDA1540 der einzige DAC mit synchroner Wandlung beider Kanäle.

Modifikation des Philips CD104

Synchronous Mode

Die Philips-Player der ersten Generation mit TDA1540 Dual Mono DACs arbeiten mit 3 separat geführten Datenströmen:

Clock (CL)
Data L (DA L)
Latch Enable Left Ch (LE L)
Data R (DA R)
Latch Enable Right Ch (LE R)

Data und LE werden dabei kanalgetrennt und synchron geführt. Der Zeitversatz zwischen den Kanälen wird vor den D/A Wandlern (im Chip SAA7000) korrigiert.

Der Betrieb des modifizierten Players erfolgt im Non OS-Mode mit der Clock-Frequenz der CD 44,1kHz. Die genaue Taktung des Player ist mit der in den CD10x Modellen implementierten Clock ca. eine Zehnerpotenz exakter als gefordert gewährleistet.

Das Datenformat des TDA1540 wird Synchronous Mode genannt.

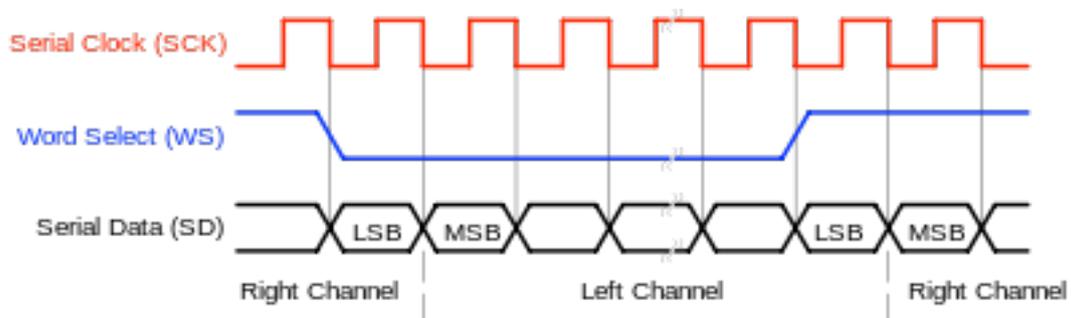
Fazit: Hier ist alles ideal gelöst, die Voraussetzung für ein klanglich herausragendes Ergebnis.

I²S

Mit der Einführung des 16Bit DACs TDA1541, mit der Philips im Jahre 1985 „endlich“ mit den Japanern gleichzog, wurde das I²S-Datenformat eingeführt. Der TDA1541 ist ein StereoDAC, der 2 DACs in einem Chip vereint.

Das I²S-Format ist angelehnt an ein sehr weit verbreitetes EDV-Standardformat I²C.

Serial Clock (SCK)
Serial Data (SD)
Word Select (WS)



Die Audiodaten beider Kanäle sind abwechselnd im Datenstrom Data codiert. WS signalisiert Beginn und Ende eines jeden Datenworts.

Modifikation des Philips CD104

Die Datenströme können so den beiden folgenden DACs zugeführt werden. Für eine optimale, zeitsynchrone Wiedergabe beider Kanäle müsste der rechte Kanal vor dem DAC zeitverzögert werden, dies wird jedoch in den TDA1541-Playern von Philips nicht gemacht.

Der TDA1541 galt und gilt unter vielen Fachleuten als der beste DAC aller Zeiten. Der TDA1541 wurde in vielen teuren High End-Geräten zahlreicher Hersteller verbaut.

Erstaunlicherweise fand ich keinen einzigen TDA1541-Player, der den Zeitversatz der Kanäle korrigiert (obwohl dies recht einfach zu realisieren ist).

Der TDA1541 lässt sich wahlweise auch im Synchronous Mode betreiben, der das Zeitversatzproblem nicht kennt. Wieder erstaunlich, dass kein Hersteller von dieser Option Gebrauch machte.

Ausnahmslos alle nutzen die von Philips in den Datenblättern vorgeschlagene Standardschaltung völlig unverändert. Dies zeigt, dass das Verständnis der Digitaltechnik in jenen Tagen nicht besonders ausgeprägt gewesen sein kann.

Fazit: nicht ganz ideal, die zweitbeste Lösung, immer noch hervorragendes Klangpotenzial.

S/PDIF

Der Synchronous Mode erfordert zum Transport aller erforderlichen 5 Datenströme 6 Leitungen, I2S vier. 1985, als die Digitaltechnik sich unzweifelhaft zum Audiostandard der Zukunft zu wandeln schien, ersannen die Pioniere der Digitaltechnik Philips und Sony einen Industriestandard zur Übertragung digitaler Audiodaten.

Eine 6-polige oder 4-polige Verbindung erschien den Technikern wegen des hohen Aufwandes nicht praktikabel. Gesucht wurde eine Möglichkeit, alle Daten mit einem 2-poligen Label zu übertragen.

So genügt eine Cinchbuchse und ein Cinchkabel zur Übertragung, simpel und billig.

Die 1985 geschaffene [S/PDIF](#) (Sony/Philips Digital Interface) Schnittstelle war die Lösung der Industrie. Der S/PDIF Standard ist seitdem der Standard für digitalen Audiodatentransport. Im professionellen Audiobereich wird das AES/EBU Format verwendet, das nichts anderes als S/PDIF ist, in - wie im prof. Bereich üblich - symmetriertem Format.

Die ursprünglich 3 Datenströme des I²S Formats werden in EIN Signal umcodiert. Das hierzu herangezogene Verfahren heißt [Biphase-Mark-Code](#).

Das bedeutet, dass die Signale VOR dem Transport S/PDIF-codiert werden und NACH dem Transport, also VOR dem DAC, wieder decodiert, also in die ursprünglichen 3 Datenströme gewandelt werden müssen.

Die Codierung und Decodierung erfolgt mit Hilfe entsprechender Algorithmen. Da Rechenoperationen Zeit benötigen, sind die rekonstruierten Signale nach der Decodierung zeitlich ungenauer als vorher.

Diese Ungenauigkeiten nennt man [Jitter](#). Leider sind die klanglichen Auswirkungen von Jitter erst Anfang der 90er Jahre erkannt worden. Zu diesem Zeitpunkt war der S/PDIF Transport der Daten bereits so selbstverständlich, dass er - eigentlich ganz unnötig - auch zum Datentransport innerhalb der Player eingesetzt wurde.

Das CD-Laufwerk wird mit angebaute Platine geliefert. Die Platine erledigt die Servosteuerung des Laufwerks und die Auslese der Daten. Am Ausgang der Platine wird das „fertige“ S/PDIF-Signal ausgegeben.

Da diese Vorgehensweise längst Standard ist, kann S/PDIF heute kaum umgangen werden.

Hersteller teurer CD-Player unternehmen einiges gegen Clock Jitter und werden nicht müde, diese Fakten hervorzuheben.

Verschwiegen wird jedoch, dass nur der Jitter der Clock „reclocked“ werden kann. Der Jitter des Datensignals kann nicht korrigiert werden.

Hier sehe ich den Hauptgrund, warum S/PDIF nie so gut klingen kann wie I²S. Noch besser klingt der Synchronous Mode, den Sie exklusiv beim TDA1540 erleben können.

Sie werden sich vielleicht fragen, was die Hersteller da gemacht haben. Ob sie alle auf ihren Ohren sitzen?

Nein. Die Klangunterschiede zwischen den 3 Varianten sind groß. Leider werden diese Klangunterschiede zum großen Teil zu Nichte gemacht durch die schlechte Qualität der Ausgangsverstärker in fast allen DACs, so dass die Unterschiede teilweise praktisch nicht mehr hörbar sind.

Mit meinem modifiziertem Philips TDA1540 Playern erleben Sie den Unterschied jedoch in vollem Ausmaß.

Fazit: S/PDIF ist ein klanglich minderwertiges Signal, da die Genauigkeit der 3 Einzelsignale nicht gewährleistet ist. Bei getrennten Laufwerks- Wandler Kombinationen können suboptimale Kabel die Genauigkeit des Signals weiter verschlechtern. Eine optimale S/PDIF Kabelverbindung arbeitet mit 75 Ohm Wellenwiderstand. Um diesen zu gewährleisten, bedarf es auch Steckverbindern mit 75 Ohm Wellenwiderstand. Nur mit BNC-Steckverbindern, die selten anzutreffen sind, ist dies gewährleistet. In 99% aller Geräte werden die viel preiswerteren RCA (Cinch)-Verbinder eingesetzt, deren Wellenwiderstand nicht definiert ist.

Power Supply

Der Philips CD100 und seine „Verwandten“ arbeiten mit einem recht aufwendigen Netzteil. Nicht weniger als 6 verschiedene Spannungen sind einzeln stabilisiert und gefiltert. Mit gutem Grund, denn, wie schon in früheren Abschnitten erwähnt, finden in jedem CD-Player zahlreiche Prozesse statt, die stark schwankende bipolare Ströme benötigen. Hier sind insbesondere die Servoschaltkreise des Laufwerks zu nennen, wo 3 oder 4 Servos asynchron mit bipolaren Strömen das Netzteil belasten.

Auch mit erheblichem Aufwand sind diese Stromschwankungen in den Netzteilen nicht auf Null reduzierbar.

Die Ströme der Servoschaltkreise sind bis zu 2000-fach (!) höher als die Ströme der Audioschaltkreise.

Werden die Audioschaltkreise nun durch dieselben Spannungsversorgungen wie die Servos versorgt, sind Schwankungen bei den Spannungen der Audio-Schaltkreise nicht zu vermeiden.

Philips hat dies erkannt und bereits im ersten CD-Player aufwendig getrennte Versorgungen für Laufwerks und Audiofunktionen vorgesehen.

Mehr noch. Allein der TDA1540 benötigt nicht weniger als 3 verschiedene Versorgungsspannungen. Eine +/- Spannung und separat die extrem wichtige Referenzspannung. Diese Referenzspannung ist hochkonstant zu halten, denn aus ihr wird direkt das analoge Ausgangssignal gewonnen.

Philips hat die -18V Referenzspannung sehr aufwendig 2 stufig stabilisiert und gefiltert, separat von den anderen Spannungen des Players. In der Modifikation erhöhe ich die Stabilisierung und lokale Pufferung noch ganz erheblich, um ein noch genaueres Ausgangssignal sicherzustellen.

Eine der ersten Maßnahmen, CD-Player in den 80er Jahren kostengünstiger herstellen zu können, betrifft die Netzteile. Schnell wurden die Versorgungsspannungen aller Schaltkreise auf 5V standardisiert. davon abweichende benötigte Spannungen werden direkt in den Chips generiert, also aus der 5V Spannung abgeleitet.

In modernen CD-Playern - modern heißt Baujahr ab ca. 1990 - findet sich daher nur noch eine einzige Versorgungsspannung 5V, die alle Schaltkreise versorgt. Allenfalls „Nebenbaustellen“ wie Schubladenmotor, Display oder Fernbedienungsmodul können überhaupt noch „abgekoppelt“ werden, während alle wiedergaberelevanten Schaltungen von EINER EINZIGEN Spannung versorgt werden.

High End Hersteller werden nicht müde, zu betonen, wieviel Aufwand in Netzteilen betrieben wird.

Bei CD-Playern liegt hier eine der wenigen verbliebenen Einflussmöglichkeiten überhaupt. Alle Schaltkreise sind so hoch integriert, dass eine andere Herangehensweise gar nicht mehr möglich ist.

Nur, was nützt die aufwendigste 5V Versorgungsspannung, wenn alle Schaltkreise gemeinsam an dieser hängen?

Nicht viel. Sicher ist der Unterschied zwischen einer Standard Industrie-Netzteilösung und einem sorgfältig aufgebauten High End-Netzteil hörbar, die Qualität von 6 separaten Netzteilen kann jedoch nicht einmal annähernd erreicht werden.

Der Klang

Wie klingt der Roman Groß-modifizierte Philips CD-Player?

- mit 14 Bit TDA1540 Dual Mono MultiBit DACs
- ohne Oversampling / Digitalfilter
- ohne Analogfilter in der Ausgangsstufe
- ohne S/PDIF Format
- ohne Jitter
- im Synchronous Mode beider Kanäle
- mit optimiertem State-Of-The-Art Ausgangsverstärker
- mit unerreicht präzisiertem Philips CDM-1 Radial-Laufwerk
- mit unerreicht präziser 6-linsiger Abtast-Optik von Rodenstock
- mit 6 aufwendig stabilisierten Spannungsversorgungen
- und vielen weiteren Detailoptimierungen wie Vector Netzkabel, Rhodium-Buchsen, galvanischer Trennung der symmetrischen Ausgänge mit Studio-Normimpedanz 600 Ohm

Die meisten meiner Gäste haben bereits etliche CD-Player besessen oder kennengelernt und nennen einen High End-Player in der Preisklasse oberhalb 1500-2000 € ihr eigen.

Wie meine Kunden habe ich die Erfahrung gemacht, dass gute Player etwa bis 5000€ nicht unerträglich klingen.

Man darf erwarten, dass diese Geräte nicht steril-analytisch klingen oder gar auf die Nerven gehen.

In der Regel erwartet den Hörer ein mehr oder weniger ausgewogener Klang ohne Schärfen und Härten, ein gepflegter Klang, der gut erträglich ist.

Player höchster Preisklassen klingen eventuell (aber nicht immer) noch etwas feiner auflösend. Diese Aussage bezieht sich fast selbstverständlich auf den Hochtonbereich, wo bestimmte Details noch feiner aufgelöst werden.

Manche der teuersten Player erzeugen noch etwas mehr tieffrequenten Druck und viele zaubern eine spektakuläre Räumlichkeit. Allzu leicht schlägt die höhere Auflösung jedoch in eine Detailfahndung um, ein Klang, der zwar alle Details hörbar macht, aber auch ein Klang, der kein Klang als Ganzes mehr ist.

Die Bandbreite der Unterschiede ist in allen Fällen relativ gering, geringer als etwa bei Verstärkern.

In aller Regel muss der Hörer beim Vergleich zweier Player in der Mitte - im sog. "Sweet Spot" sitzen, sich gut konzentrieren und eine ihm gut bekannte, gut aufgenommene CD in mehreren Durchgängen abwechselnd mit den Probanden hören, um die Unterschiede sicher zu hören und zu benennen.

Ein Vergleich eines beliebigen Players mit einem Roman Groß-modifizierten Philips verläuft anders.

Manche Hörer erleben bereits nach dem ersten Ton von einer beliebigen CD einen Schock. Mehr als ein Stück braucht niemand, um die grundverschiedene Qualität des Philips-Klangs zu erkennen. Weitere Vergleiche führen ausnahmslos zu weiteren und immer größer werdenden Überraschungen.

Die Wiedergabe offenbart dem Hörer das ganze Spektrum der Intimität, der Emotionen, die in der Musik stecken, auf eine Art, die jeden, der Musik liebt, tief bewegt.

Ein Umschalten auf den Vergleichsplayer führt im besten Falle zu Gelächter, oder zu Ernüchterung, oft Unverständnis, manchmal sogar Wut.

Viele Hörer sind geradezu aufgebracht, wie große renommierte Hersteller ein extrem teures Gerät verkaufen können, dass so derart miserabel klingt. Nicht wenige fühlen sich von den Herstellern „verschaukelt“ bis betrogen.

Um die Größe der Unterschiede noch etwas klarer zu machen, öffne ich gern das Fenster des Hörraums, drehe etwas lauter und Bitte meinen Gast, bis zur nächste Straßenecke zu gehen, ca. 50m entfernt. Dort angekommen, führe ich ein paar Takte Philips und ein paar Takte Vergleichskandidat vor. Der Hörer steht auf der Straße mit allen Nebengeräuschen 50m entfernt. Bislang gab es niemanden, der nicht kopfschüttelnd zurückgekommen wäre, denn der Klangunterschied ist auch unter diesen Bedingungen sehr deutlich hörbar.

Philips Klang ist so undigital wie sie es sich vermutlich gar nicht vorstellen können. Selbst Hardcore-

Modifikation des Philips CD104

Analoganhänger müssen eingestehen, dass der Philips Klang analoger wirkt als die beste Analogwiedergabe.

Die Wiedergabe ist extrem dynamisch, aber gleichzeitig unaufgeregt und locker.

Geht es dynamisch zur Sache, erstaunt es, wie energiegeladen die Töne sind. Machtvoll, voller Wucht, aber auch voller Anmut und Subtilität. Der Klangfarbenreichtum entspricht dem analogen Medium mit dem Unterschied, dass analoge Medien verfärben, beim RG-Philips sind alle Klangfarben bei unendlicher Vielfalt immer korrekt. Jede Klangfarbe wirkt richtig, nicht einfach nur farbig. Die allermeisten anderen CD-Player wirken dagegen regelrecht schwarz-weiß oder ganz blassfarbig. Die wenigen farbig klingenden Player verwenden meist eine Röhrenausgangsstufe.

Verglichen mit einem Foto wirkt das etwa so, wie mehr Farbsättigung beim Foto. Schön bunt, aber die Farben haben mit der Realität nicht viel zu tun. Eine Tendenz zu Primärfarben ist deutlich, während zarte Nuancen und Pastelltöne nicht vorkommen. Dadurch wirkt die Wiedergabe plakativ, man könnte sagen "billig".

Ganz anders der Philips. Hier stimmt jede Farbnuance mit dem Originalklang überein. Auch ich, der seit 3 Jahren täglich nichts anderes als den Philips hört, entdecke immer neue Klangfarben, z.B. wenn ich eine CD einlege, wo ein exotisches Instrument spielt, das auf keiner andern CD zu hören ist. Etwa nasale, gutturale, holzige oder harzige Klänge scheinen "normale" CD-Player überhaupt nicht wiedergeben zu können. Die wiedergegebene Klangfarbe erscheint eine Art Ersatzfarbe zu sein.

Das alles lässt den Philips ungemein natürlich und verführerisch wirken. Intim und subtil.

Wenn Dynamik gefragt ist, zeigt der Philips das ganze Potenzial des Mediums CD. Die Spannweite ist enorm, viel größer als gewohnt. Er kann mit enormer Wucht ganz lässig zuschlagen, als wäre es das selbstverständlichste der Welt.

Im Tieftonbereich zeigt der Philips bei größter Farbvielfalt, Nuancenreichtum usw. ganz nebenbei gnadenlosen Tiefgang, fantastische Konturenschärfe, eine Fülle und Sonorität, dass es eine Freude ist.

Das andere Frequenzende, der Hochtonbereich hat nichts mit dem dünnen „detailverliebten Gezirpe gewöhnlicher Player zu tun. Ein ungemein fleischiger substantieller Ton, der alle Nuancen des Spiels bietet mit allen Details, die letztlich sogar besser aufgelöst werden als es die besten Player können. Dabei haben alle Töne "Luft", sie atmen regelrecht, die Musiker wirken physisch anwesend, bei geeigneten Einspielungen kann das fast gespenstisch wirken

Wurde bei der Aufnahme sehr nah mikrofoniert, hören Sie bei einem Sänger die Spucke im Mund, jedes Atemgeräusch wird in allen Einzelheiten dargestellt. Und dennoch bleibt der eigentliche Ton organisch, aus einem Guss. Die Nebengeräusche werden nie zum Hauptdarsteller, wie es bei vielen "hochauflösenden" Playern ist.

Der modifizierte Philips definiert Musikwiedergabe gänzlich neu. Die erreichte Qualität ist wesentlich höher als es die besten analogen Plattenspieler können, und weit entfernt von jedem anderen CD-Player. Auch der Vergleich mit Festplattenwiedergabe, die meist auch sehr teuren CD-Playern inzwischen überlegen ist, endet pro Philips.

Während Festplattenwiedergabe ein sehr gutes Abbild der Musik liefert mit einer sehr stabilen und stoisch gelassenen Übersicht, braucht der Philips solche Beschreibungen nicht. Er klingt wie das wahre Leben.

Echt, pur und unverfälscht.

Ehrlich, manchmal brutal, manchmal zart und weich, dann wieder konturenscharf und schneidend.

Aber immer unter die Haut, den Hörer bewegend, fesselnd, aber nicht aufregend.

Gleichzeitig so entspannt und unaufgeregt, wie es kaum vorstellbar erschien.

Ein CD-Player fürs Leben.