



EXACT AUDIO COPY

AUDIODATEN VON OPTISCHEN SPEICHERMEDIEN EXTRAHIEREN

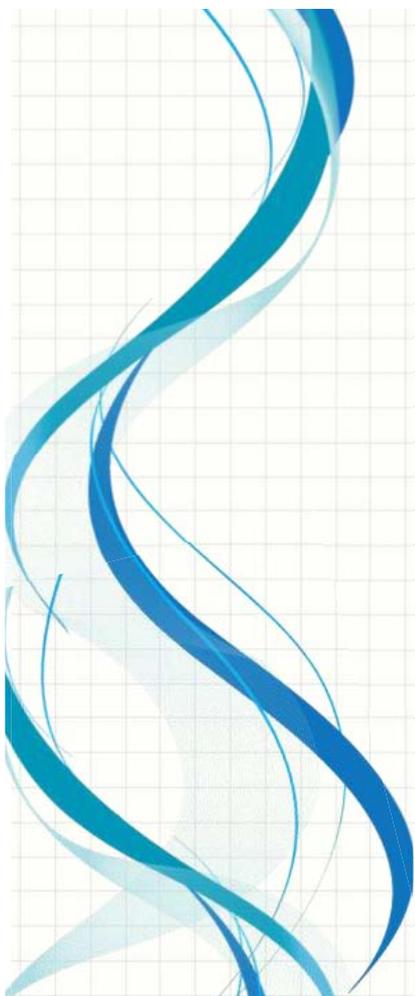
Dipl.-Inform. Andre Wiethoff
Vortrag am 15.4.2011 an der
Hochschule Rhein-Main

<http://www.ExactAudioCopy.de>



Aufbau

- Motivation
- Geschichte
- Physikalischer Aufbau
- Logischer Aufbau
- Datenstrukturen
- CD Laufwerke
- Digitale Audio Extraktion
- Kopierschutz



Motivation

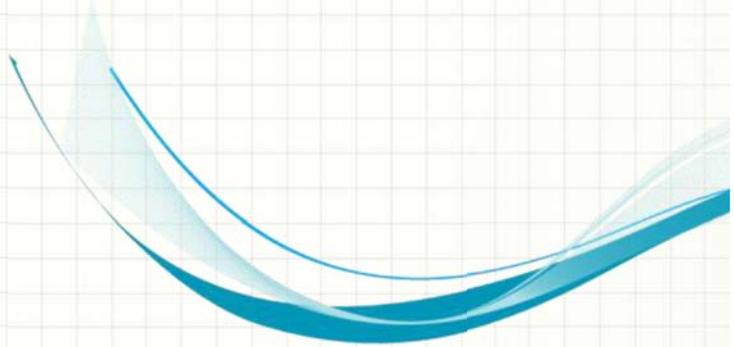
3



Motivation

- Audio CD ist das Urformat aller folgenden CD, DVD und BluRay Formate
- Format war anfangs nicht als Datenträger für Computer geplant
- Daten CDs sind weitläufig bekannt, daher werden oft deren Eigenschaften als Eigenschaften von Audio CDs angenommen

4



Geschichte

5



Geschichte

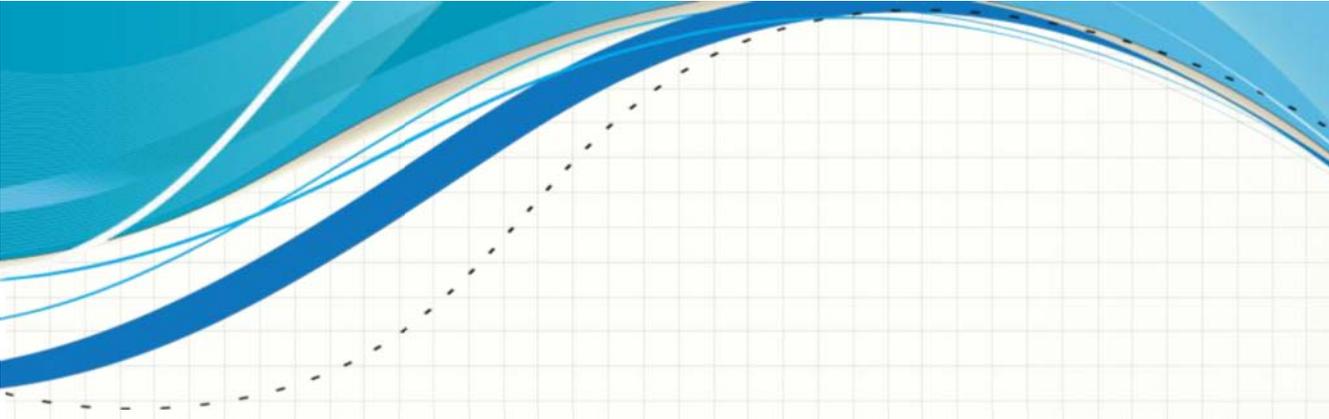
- Seit 1971 wurde an optischen Videodiscs geforscht von MCA, LaserVision von Philips und die LaserDisc von Pioneer
- Unkomprimierte, digitale Speicherung von analogem Material
- Aufbau und Aussehen ähnlich einer Langspielplatte
- Ohne jegliche Art von Fehlerkorrektur

6

Geschichte

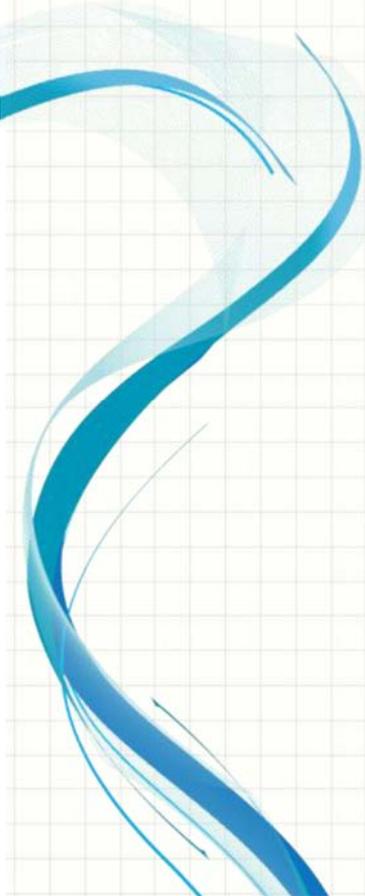
- Sony stellte bereits 1976 eine Audiodisc vor
- Aber erst 1980 legten sich Sony und Philips auf den „Red Book“ Standard für Audio CDs fest
- Die CD sollte 74 Minuten Audio speichern können (für Beethovens Neunte Sinfonie)
- Die Compact Disc sollte kratzunempfindlich werden
- Erst 1985 wurde die CD-ROM vorgestellt

7



FRAGEN?

8



Physikalischer Aufbau

9



Physikalischer Aufbau

- Erst 1980 legten sich Sony und Philips auf den „Red Book“ Standard für Audio CDs fest
- Das „Red Book“ spezifiziert die genauen Maße der CD mit genau festgelegten Toleranzen
- Die CD sollte 74 Minuten Audio speichern können (für Beethovens Neunte Sinfonie)
- Die Compact Disc sollte unempfindlich gegen Kratzer sein

10

Physikalischer Aufbau

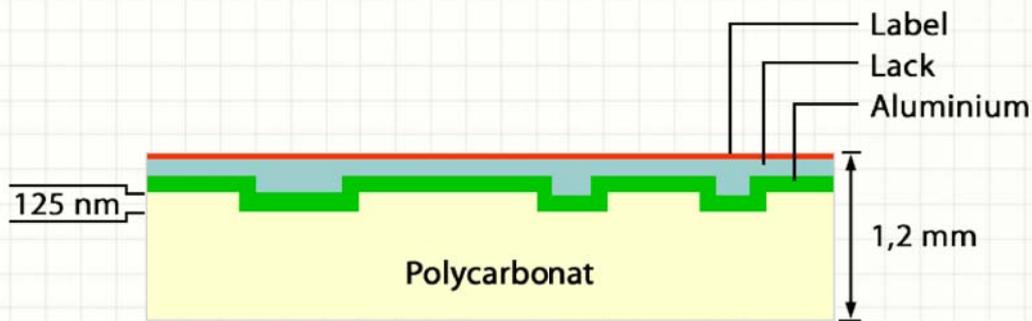


Bild: © 2008 Klaus Eifert

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/90/CD_Querschnitt.png

- Eine handelsübliche CD besteht aus einem Polycarbonat-Kunststoff, einer Aluminiumbedampfung, einer Lackversiegelung und einem Label

11

Physikalischer Aufbau

- Bei der Fertigung wird zuerst ein Glasmaster mit einem Laser erzeugt (und geprüft)
- Vom positiven Master wird ein negativer Stamper aus Metall erzeugt
- In diesen wird mittels Spritzgußverfahren flüssiges Polycarbonat gespritzt
- Mittels Bedampfung wird eine metallene Reflektionsschicht aufgetragen

12

Physikalischer Aufbau

- Die Daten sind spiralförmig vom inneren Rand zum äußeren Rand angeordnet
- Die Spirale hat eine Länge von ca. 5700 m
- Auf einem Millimeter befinden sich ca. 600 Spuren
- Auf der Spirale wechseln sich Pits (Gruben) und Lands (Flächen) ab

13

Physikalischer Aufbau

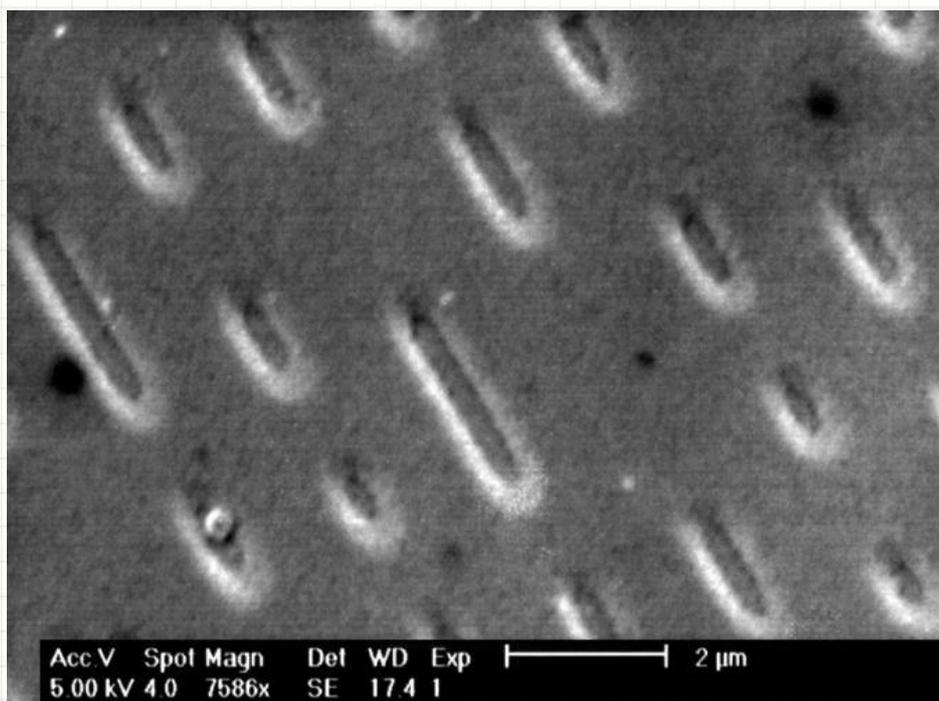


Bild: © 2007 Akroti

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:REM_CD_GEPRESST.jpg

14

Physikalischer Aufbau

- Laserdiode
(Wellenlänge 780 nm)
- Abtastung erfolgt über destruktiver Interferenz des Strahls mit sich selbst (Teilauslöschung über Laufzeitunterschied einer halben Wellenlänge)

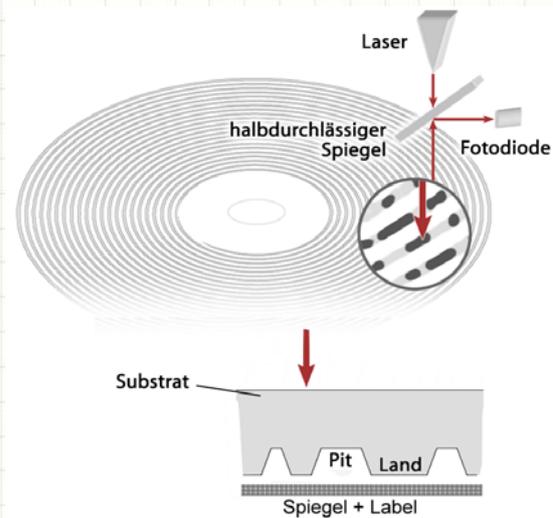


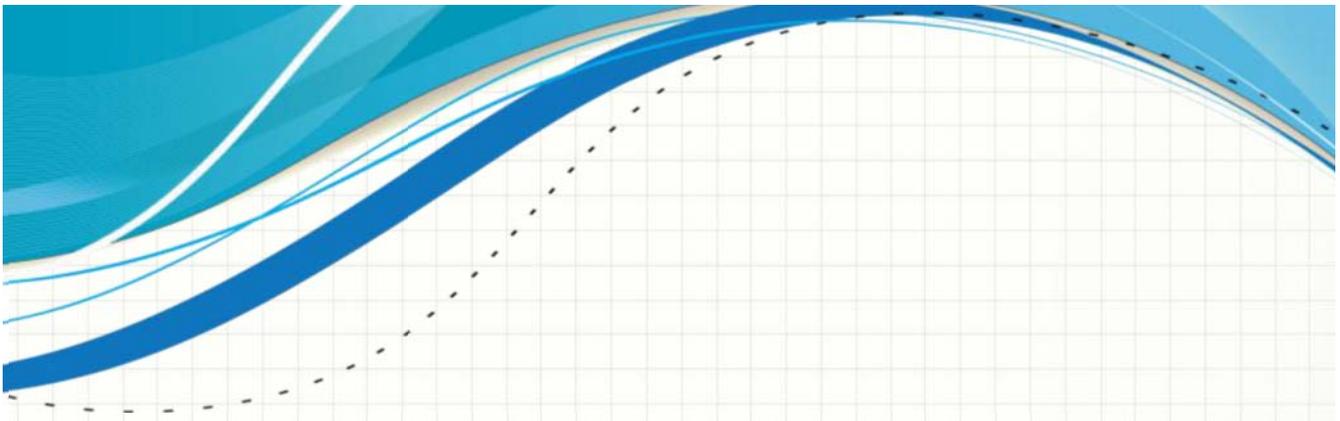
Bild: © 2007 Akroti/Phrood/A. Meroth
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:REM_CD_GEPRESST.jpg

15

Physikalischer Aufbau

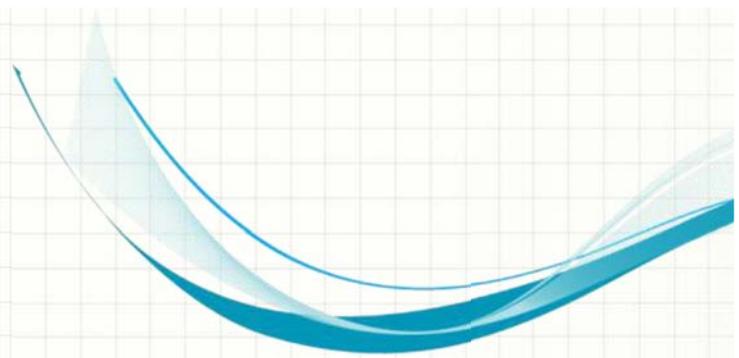
- Bahngeschwindigkeit konstant (CLV), anders als Schallplatte mit konstanter Winkelgeschwindigkeit (CAV)
- Geschwindigkeit ca. 1.2m pro Sekunde
- CD dreht beim Lesen der inneren Spuren schneller als außen

16



FRAGEN?

17



Logischer Aufbau

18

Logischer Aufbau

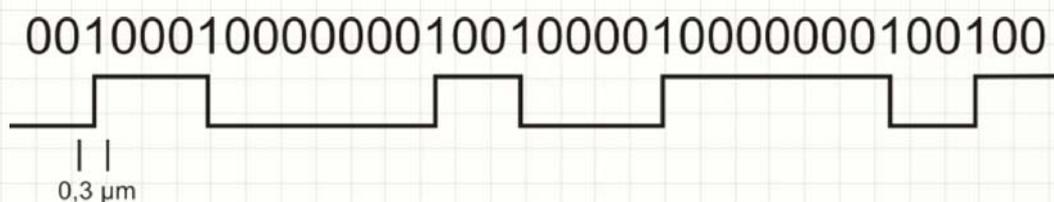
Die Rainbow Books spezifizieren CD Formate:

- Red Book: Ursprüngliche Audio CD
- Yellow Book: Datentracks auf CDs
- Blue Book: CD-Extra
- Green Book: CD-i Datenträger
- Orange Book: Beschreibbare CDs
- Außerdem: White, Beige, Scarlet & Purple

19

Logischer Aufbau

- Jedes Pit und Land ist ein 3- bis 11- faches von 3 μm lang (Einschränkung bei der Abtastung)



- Bit gesetzt wird als Übergang zwischen Pit und Land kodiert alles andere als Bit nicht gesetzt

20

Logischer Aufbau

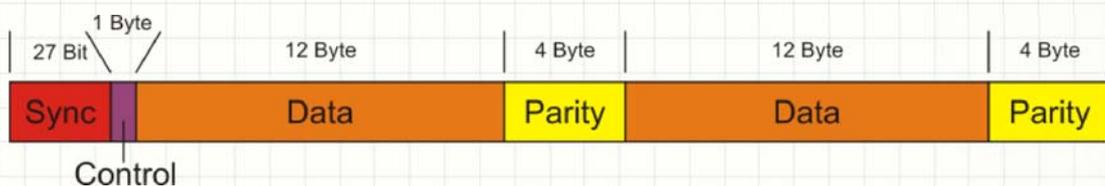
- Eight-To-Fourteen-Modulation (EFM) wird benutzt um Bytes als Folge von Pits/Lands zu kodieren, da nur alle 3 bis 11 Wechsel eine 1 kodiert werden kann (zwecks einer Fehlerverringern bei der Abtastung)
- Anzahl Zustände bei entsprechender Bitanzahl, bei gegebener Einschränkung

| 8 Bits | 9 Bits | 10 Bits | 11 Bits | 12 Bits | 13 Bits | 14 Bits | 15 Bits |
|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 28 | 41 | 60 | 87 | 126 | 183 | 267 | 389 |

21

Logischer Aufbau

- Zu den 14 Bits für die EFM kommen 3 Merge-Bits um ungültige Bitfolgen zu verhindern
z.B. 00000010010001 **001** 00000000001000
- Es werden ein 27 (24+3) Bit langes Synchronisationsmuster, ein Controlbyte und 32 Bytes Daten zu einem Small Frame zusammengefasst



22

Logischer Aufbau

- Es wird ein CIRC (Cross Interleaved Reed-Solomon Code) als fehlerkorrigierender Code verwendet
- Die ersten Parity Daten werden direkt über die 24 Bytes Daten berechnet, die zweiten Parity Daten werden über die vorherigen 28 Bytes und auf bis zu 108 Small Frames verteilt berechnet

23

Logischer Aufbau

- Verwendet werden die Reed-Solomon Codes RS(32,28) (Korrekturstufe wird C1 genannt) und RS(28,24) (Stufe wird C2 genannt)
- Die ersten Parity Daten werden direkt über die 24 Bytes Daten berechnet (C2), die zweiten Parity Daten werden über die Audio und C2 Parity Daten auf bis zu 108 Small Frames verteilt berechnet (C1)

24

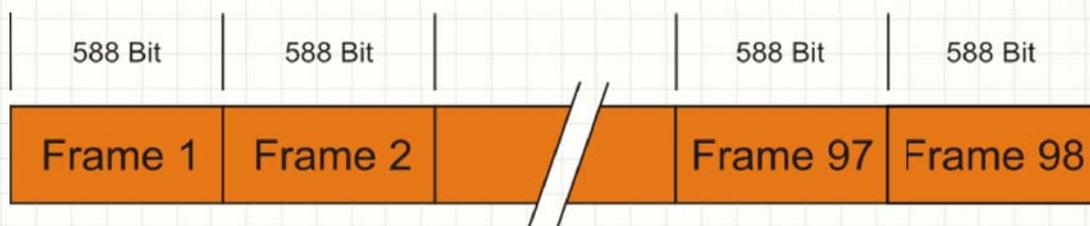
Logischer Aufbau

- Die C1 Stufe soll hauptsächlich Burst Fehler korrigieren (z.B. Kratzer oder Fingerabdrücke)
- Die C2 Stufe soll hauptsächlich zufällige Fehler korrigieren (z.B. unperfektes optisches System)
- Jede Stufe korrigiert bis zu 2 Symbole oder bis zu 4 Auslöschungen (Erasures)
- Burst Fehler bis zu 3500 Bit Länge (ca. 2,4 mm) können dadurch korrigiert werden

25

Logischer Aufbau

- 98 dieser Small Frames (mit je 24 Bytes und damit 6 Stereo Samples) werden zusammengefasst in einen Sektor bzw. Frame



- 98 mal 24 Bytes ergeben 2352 Bytes oder 588 Stereo Samples

26

Logischer Aufbau

- Jedes der 98 Small Frames eines Sektors besitzt zusätzlich ein Control Byte
- Jedes Byte splittet sich in acht Kanäle auf, womit jeder Kanal 98 Bits pro Sektor besitzt
- Diese Kanäle werden Subchannels genannt und mit den Buchstaben P bis W bezeichnet

27

Logischer Aufbau

- 75 Sektoren ergeben 1 Sekunde Audio (pro Sektor 588 Samples bei einer Samplerate von 44100 Hz)
- Sektoren werden entweder über ihre Sektornummer (Logical Block Address, LBA) oder über die (absolute) MSF-Adresse (Minuten/Sekunden/Frames) angegeben
- Sektornummer 0 entspricht der MSF-Adresse 00:02:00, dort beginnt der erste Datenblock

28

Logischer Aufbau

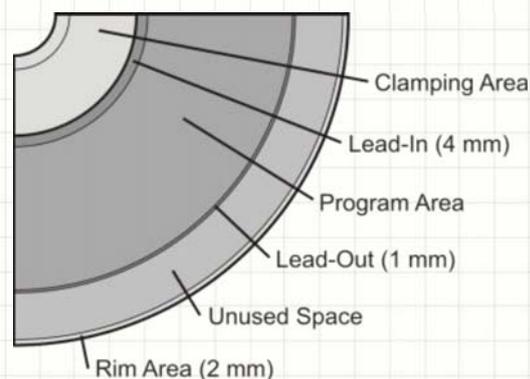
Eine CD ist in mehrere Ebenen unterteilt:

- Eine CD kann mehrere Sessions besitzen, mit Hilfe von Sessions können Daten nachträglich aufgebracht werden oder besser von Daten in einer anderen Session getrennt werden
- Jede Session besitzt ein Lead-In, eine Program Area und ein Lead-Out
- Jede Program Area besitzt mindestens einen Track

29

Logischer Aufbau

- Das Lead-In ist meistens ca. 3-4 Minuten lang, liegt ab Sektornummer -45150 bis -151 bzw. ab MSF 90:00:00 bis 99:59:74, logischer Track 0
- Das Lead-Out schließt sich der Program Area an und muss mindestens eine Länge von 90 Sekunden besitzen, logischer Track 0xAA

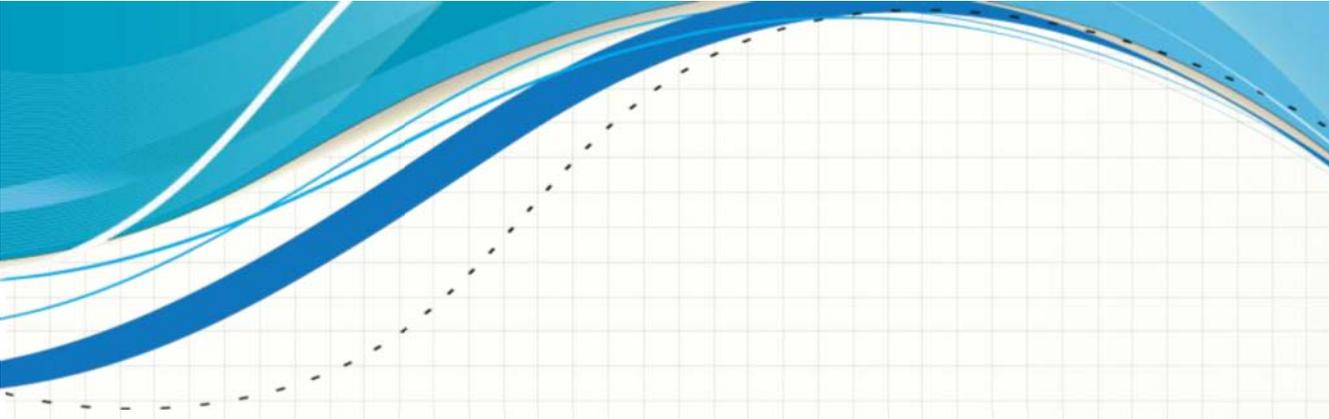


30

Logischer Aufbau

- Jede CD kann bis zu 99 Tracks enthalten, jeder dieser Tracks bis zu 99 Indizes
- Der Track startet bei Index 1
- Audio Tracks müssen eine mindestens 2 Sekunden lange Pre-Gap besitzen, Datentracks zusätzlich eine ebenso lange Post-Gap, diese sollen digitale Stille enthalten
- Die Pre-Gap ist Index 0 des jeweiligen Tracks
- Die Pre-Gap kann benutzt werden, um einen versteckten Track auf der CD zu platzieren

31



FRAGEN?

32



Datenstrukturen

33



Datenstrukturen

Die P-W Subchannel besitzen verschiedene Funktionen:

- P Subchannel ist ein Musik-Stille-Flag (Mute), kann in Gaps gesetzt werden, 2 Sekunden vor dem Lead-Out wird es gesetzt um dann im Lead-Out alternierend mit 2 Hz zu wechseln

34

Datenstrukturen

- Der Q Subchannel übernimmt verschiedene Funktionen.
- Im Lead-In spezifiziert er das Inhaltsverzeichnis der CD bzw. die Table Of Contents (TOC)
- In der Program Area enthält er die aktuellen Positionsinformationen und UPC/ISRC Daten

35

Datenstrukturen

- Die Table Of Contents (TOC) enthält Informationen zu allen Tracks auf der CD (auch des logischen Lead-Out Tracks)
- Gespeichert sind:
 - Tracknummer
 - die absolute Startposition eines Tracks
 - Kontrollinformationen: Data/Audio-Track, Pre-Emphasis, Kopierschutz und Stereo/Vierkanal

36

Datenstrukturen

- In der Program Area enthält der Q Subchannel in 9 von 10 Sektoren Positionsinformationen (und Kontrollinformationen)
- Die Positionsinformationen enthalten:
 - Tracknummer und Indexnummer
 - Absolute und relative CD Adresse
 - CRC-16
- Die Positionsinformationen werden zum Auffinden eines gesuchten Sektors verwendet

37

Datenstrukturen

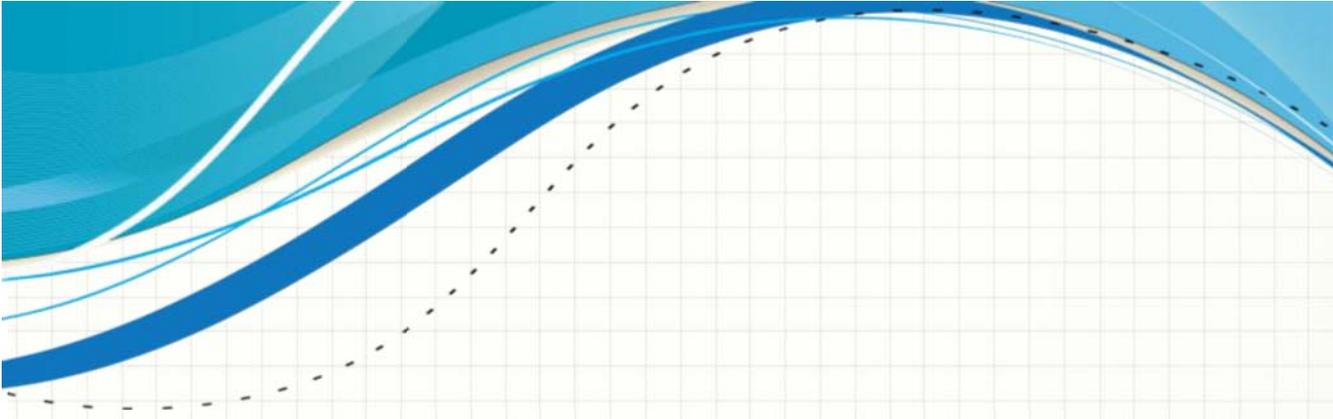
- R-W Subchannels werden auf den meisten CDs nicht verwendet
- Anwendungsgebiete für den R-W Subchannel:
 - CD-Text speichert Informationen über Titel, Künstler, Komponisten, Genre, etc. in der TOC
 - CD+G speichert Bilder mit 16 aus 4096 Farben in der Auflösung 300 x 216 Pixel über Grafikbefehle z.B. für Karaoke

38

Datenstrukturen

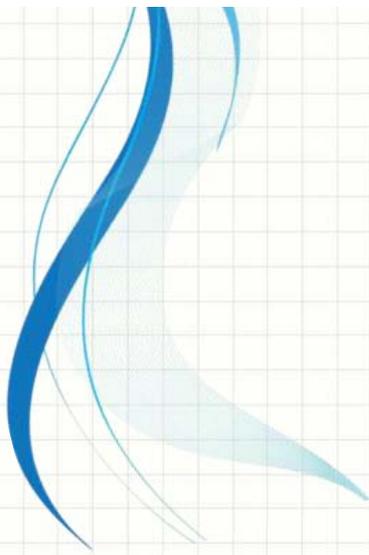
- Die Audiodaten sind als 16 Bit Werte in Stereopaaren (Samples) abgelegt, 44100 Samples werden pro Sekunde ausgegeben
- Bei 44.1 kHz Samplingfrequenz ist die maximale speicherbare Frequenz 22050 Hz
- Pro Sekunde Audio werden $4 * 44100$ Bytes = 176,4 kB gespeichert
- Handelsüblichen CDs enthalten bis zu 80 Minuten Audio

39



FRAGEN?

40



CD Laufwerke

41

CD Laufwerke

- HIFI CD-Player Laufwerke lesen einfache CD
Geschwindigkeit (176,4 kB/s)
- Bei zunehmendem Radius müssen die
Laufwerke langsamer drehen
- Dieses Verfahren nennt man Constant Linear
Velocity (CLV)
- Mit Aufkommen von Daten CDs entstand das
Constant Angular Velocity (CAV), bei dem die
CD immer gleich schnell dreht

42

CD Laufwerke

- Durch höhere Umdrehungszahlen wird in den Randbereichen eine bis zu 52 fache Datenrate erreicht

CD Laufwerke

- Was passiert wenn das Laufwerk einen Sektor sucht:
 - Das Laufwerk fährt den Motor hoch (Spin Up)
 - Der Lesekopf wird an die ungefähre Position gebracht
 - Durch binäre Suche wird der gewünschte Sektor anhand der Q Subcodes gefunden
- Seekzeiten liegen bei durchschnittlich rund 100 ms für Random und 200 ms für Full Seeks

CD Laufwerke

Wenn ein CD Laufwerk einen fehlerhaften Sektor liest, gibt es mehrere Möglichkeiten wie es damit umgeht:

- Fehlerverdeckung ausführen (z.B. lineare Interpolation, Halten (Hold), Stille (Mute))
- Daten so wie gelesen zurückliefern

Bei einigen Laufwerken ist das Verhalten von der eingestellten Lesegeschwindigkeit abhängig

45

CD Laufwerke

- Die ersten Laufwerke waren nicht in der Lage wiederholt exakt die gleiche Stelle zu finden
- Heutzutage liefern nahezu alle Laufwerke bei der Anforderung eines Sektors immer gleiche Daten, solche Laufwerke besitzen die sogenannte Accurate Stream Eigenschaft

46

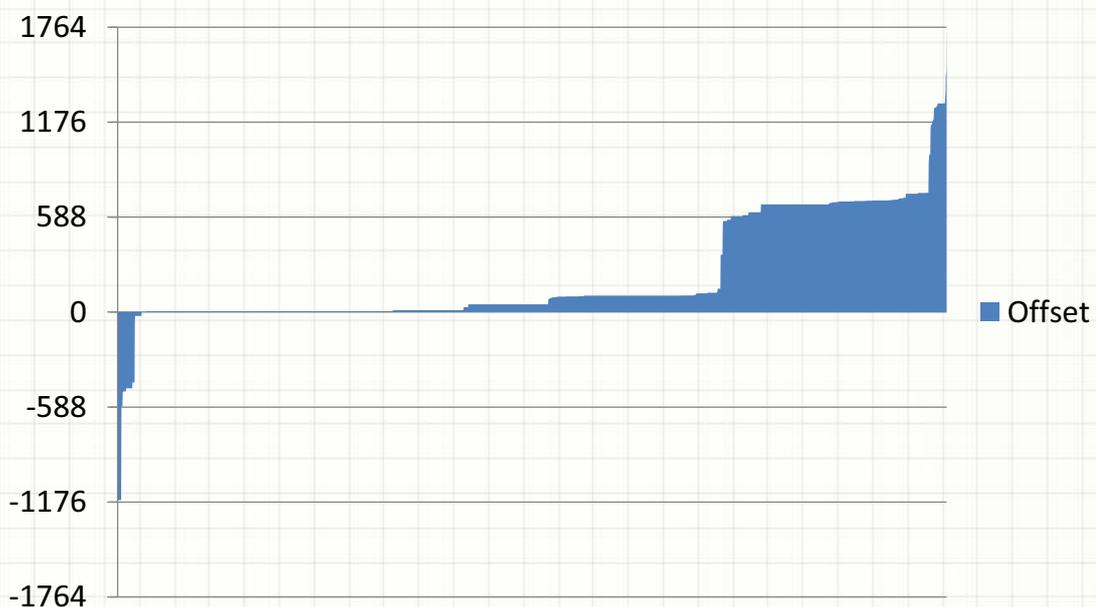
CD Laufwerke

- Trotz Accurate Stream liefern zwei Laufwerke unterschiedlicher Hersteller meistens verschiedene Ergebnisse
- Die gelesenen Daten sind konsistent um einen festen Wert verschoben (Offset)
- Der Offset (gemessen in Samples) zu einem gewählten Nullpunkt ist bei fast $\frac{3}{4}$ der Laufwerke durch 6 teilbar

47

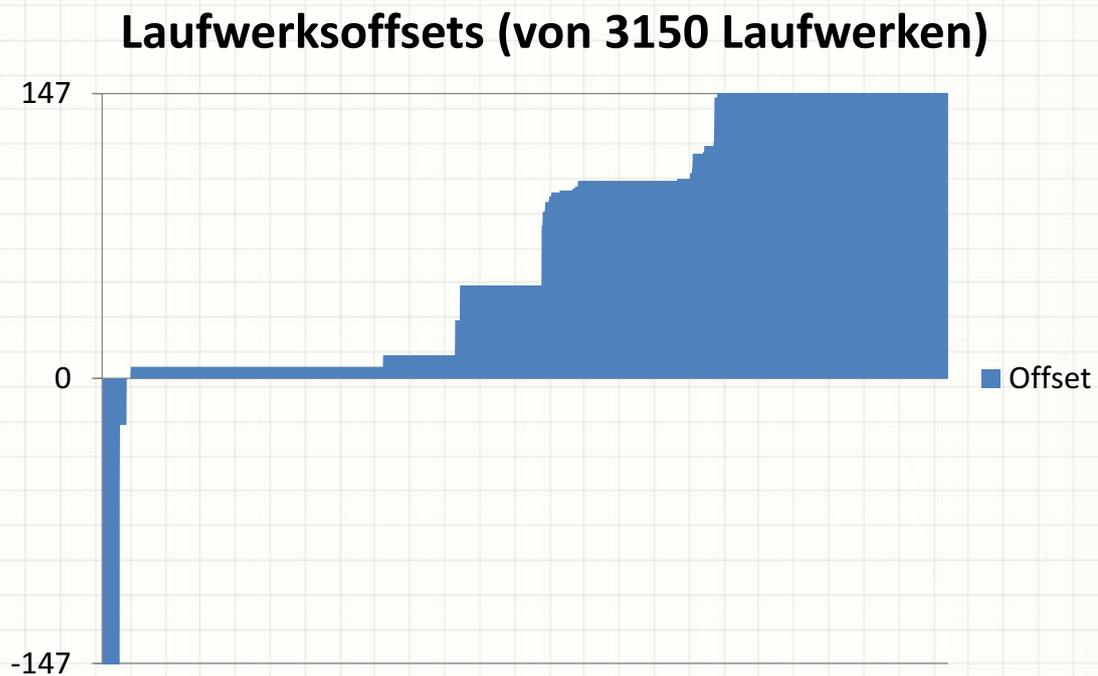
CD Laufwerke

Laufwerksoffsets (von 3150 Laufwerken)



48

CD Laufwerke



49

CD Laufwerke

- Die meisten PC Laufwerke cachen Daten Sektoren um bei erneuter Anfrage sofort ein Ergebnis liefern zu können
- Über die Hälfte aller PC Laufwerke cachen auch Audio Sektoren, oft bis zu 2 MB (ca. 11 Sekunden) Länge

50

CD Laufwerke

- Praktisch kein Laufwerk liefert einen Fehlercode falls ein Sektor nicht oder nicht korrekt gelesen wurde
- Die Fehlerklasse werden mit E <Anzahl Fehler>, <Fehlerkorrekturstufe> angegeben, z.B. E21 bedeutet, dass das Frame in der Stufe C1 korrigiert werden konnte.
- E31 bedeutet immer einen Fehler in der C1 Stufe (damit wird C2 durchgeführt)

51

CD Laufwerke

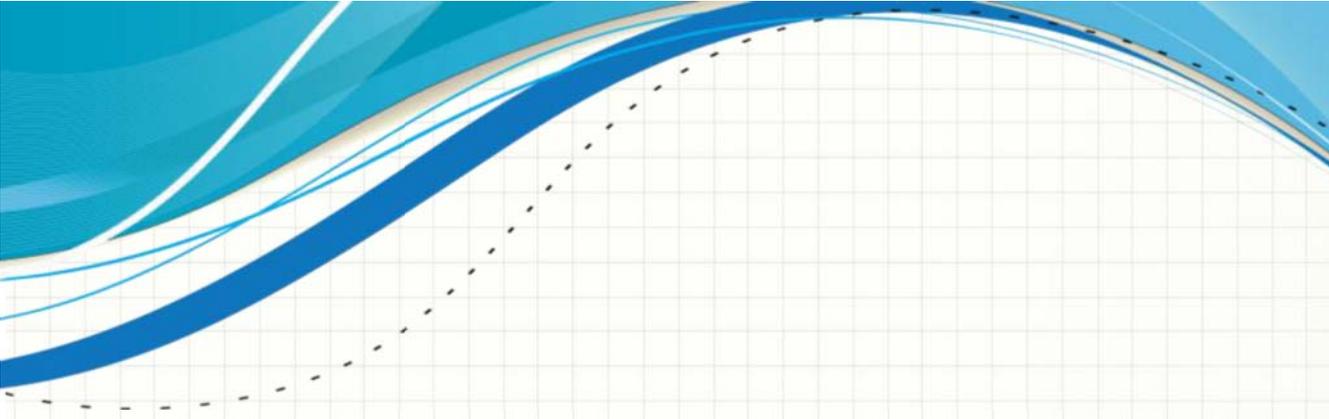
- E12 und E22 liefern immer ein korrektes Ergebnis
- E32 und E42 können ein korrektes Ergebnis liefern (falls passende Erasures bei der ersten Stufe ermittelt wurden)
- E52 bedeutet sicher, dass der Frame nicht fehlerfrei gelesen werden konnte

52

CD Laufwerke

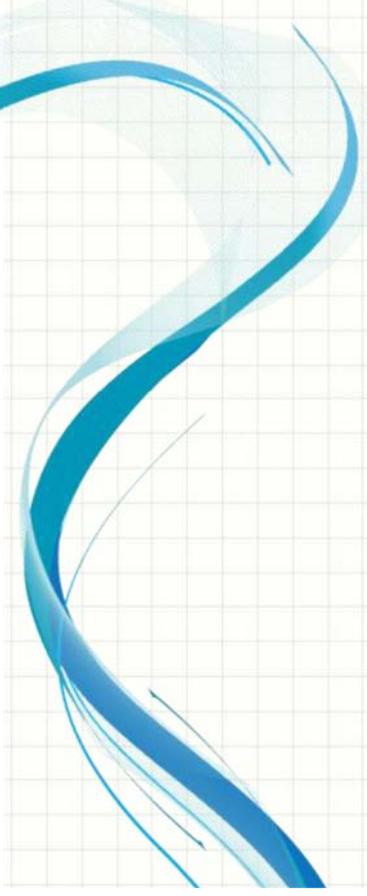
- Mittlerweile unterstützen viele Laufwerke Befehle um CU (uncorrectable) Fehlerstellen mit auszulesen (oft fälschlicherweise mit C2 Fehlerstellen bezeichnet), dabei handelt es sich um Fehler nach der C2 Korrektur
- Es werden 1 Bit pro Byte an Fehlerinformationen zurückgeliefert
- Leider sind bei praktisch keinem Laufwerk diese Informationen perfekt

53



FRAGEN?

54



Digitale Audioextraktion

55



Digitale Audioextraktion

- Digitale Audioextraktion (DAE) wird am Computer mit einem PC CD Laufwerk ausgeführt
- Ziel ist es, die auf der CD enthaltenen Audio Daten möglichst fehlerfrei auf den Rechner zu transferieren und dabei ein möglichst objektiv vergleichbares Ergebnis zu erhalten
- Tracks werden üblicherweise von Index 1 eines Tracks bis Index 1 des nächsten Tracks (bzw. Lead-Out) ausgelesen

56

Digitale Audioextraktion

- Das Auslesen eines Bereichs der CD (z.B. eines Tracks) wird Sektorbasiert durchgeführt
- Durch eine Beschränkung einiger Schnittstellen werden bei jedem Lesevorgang höchstens 64 KiB an Daten transferiert
- Eine einfache Auslesefunktion würde immer 27 Sektoren lesen, diese auf Festplatte schreiben und dann mit dem nächsten ungelesenen Sektor fortfahren

57

Digitale Audioextraktion

- Ein solches Auslesen nennt man Burst Extraktion
- eine Abwandlung davon ist die Buffered Burst Extraktion, wobei so schnell wie möglich neue Lesebefehle gesendet werden um innerhalb der Spur zu bleiben
- Audiodaten werden dann meist in einem anderen Thread auf Festplatte geschrieben

58

Digitale Audioextraktion

- Anfangs war es wichtig eine Korrektur für nicht Accurate Stream fähige Laufwerke auszuführen, diese nannte man Sychronization (Synchronized Extraktion)
- Dazu wurden aufeinanderfolgende Blöcke um (meistens 2) Sektoren überlappend gelesen und ein Matching gesucht
- Es wird das Matching mit der höchsten Korrelation verwendet, wenn es nicht exakt ist, wird eine Warnmeldung ausgegeben

59

Digitale Audioextraktion

- Nachteil des Burst und Synchronized Modus ist dass keine Fehlererkennung durchgeführt wird
- Aus diesem Grund gibt es sichere Auslesemethoden, die die Audiodaten zweifach lesen und diese miteinander vergleichen
- Wenn eine Differenz gefunden wurde, wird der dortige Bereich wiederholt gelesen

60

Digitale Audioextraktion

- Diese Vorgehensweise kann durch ein cachendes Laufwerk beeinträchtigt werden
- Die Daten stammen dann nicht mehr von der CD, sondern aus dem Cache und stimmen damit immer perfekt überein
- Lösung: Den Cache (falls vorhanden) entweder mit dedizierten Laufwerksbefehlen abschalten bzw. löschen oder den Cache überlesen

61

Digitale Audioextraktion

- Auch bei doppeltem Auslesen wird gegebenenfalls noch überlappend gelesen um Synchronisierungsfehler zu vermeiden
- Die effektive Lesegeschwindigkeit bricht damit mindestens auf die Hälfte der Burstgeschwindigkeit ein, wenn der Cache überlesen werden muss, noch einmal um die Hälfte

62

Digitale Audioextraktion

- Die Unterstützung der CU Fehlerinformationen kann die Extraktion beschleunigen und theoretisch verbessern
- Es reicht mit Burstgeschwindigkeit die Daten zu lesen und in den Zusatzinformationen nach Fehlern zu suchen

63

Digitale Audioextraktion

- Mit Hilfe der exakten Fehlerpositionen könnte die Software selbst Fehlerverdeckung (z.B. Interpolation) durchführen
- Aber: Kein bekanntes Laufwerk liefert absolut fehlerfreie C2 Informationen, von daher werden entweder Speziallösungen für bestimmte Laufwerke angeboten oder die Informationen nur als Indikator für Fehler in dem betreffenden Sektor verwendet

64

Digitale Audioextraktion

- Ein anderer Ansatz ist es die Q Subchannels nach Fehlern zu durchsuchen und in einem solchen Fall von einem Fehler im Sektor auszugehen
- Dieser Ansatz hat sich nicht bewährt, da zu viele falsche Erkennungen von Fehlern und nicht erkannte Fehler die Folge waren

65

Digitale Audioextraktion

- Große (meistens positive) Leseoffsets können die Extraktion beeinträchtigen, da Trackanfänge in die Pre-Gap rutschen könnten
- Korrektur der Offsets auf einen durchschnittlichen (willkürlich festgelegten) Offset behebt dieses Problem und schafft Vergleichbarkeit zwischen Laufwerken

66

Digitale Audioextraktion

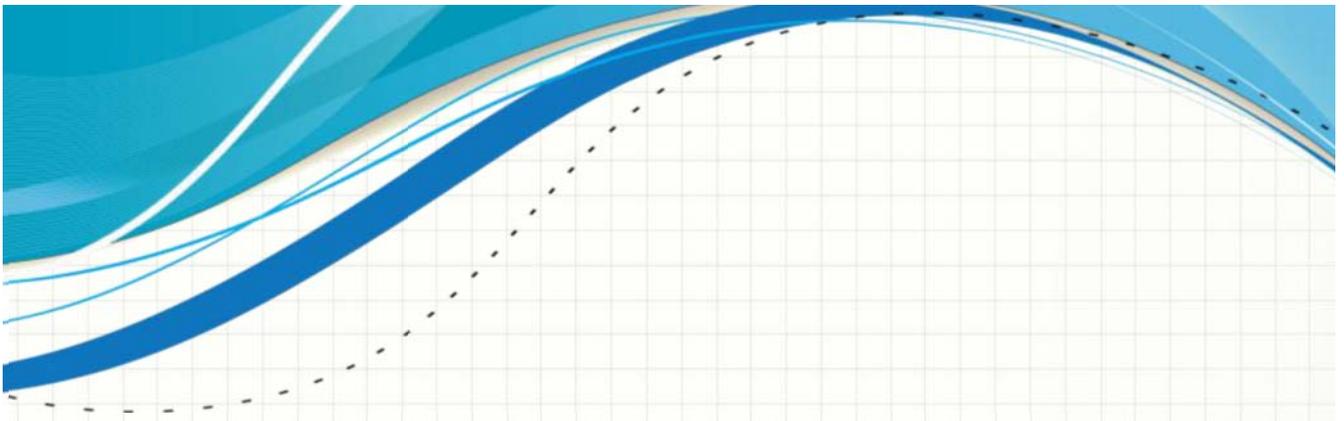
- Neue Ansätze benutzen Online Datenbanken um gelesene Audio Daten mit Checksummen zu vergleichen
- AccurateRip speichert Hashsummen und einen Zähler aller Tracks zu einer CD ID in einer Datenbank, funktioniert nur mit offsetkorrigiertem Lesen
- AccurateRip besitzt auch Checksummen über kurze Stücke eines Tracks um über ein bewegtes Fenster den Offset zu ermitteln

67

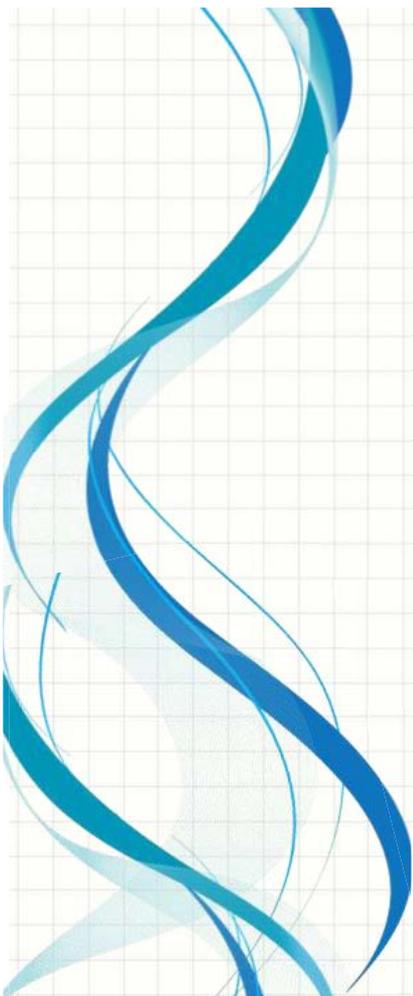
Digitale Audioextraktion

- CUETools DB überprüft und korrigiert CD Abbilder
- Dazu verwendet es einen CRC32 zur Überprüfung und einen RS(65535,65527) für die Korrektur der Audiodaten
- Die Größe der Reed-Solomon Korrekturdaten liegt bei ca. 180 kB pro CD
- Damit können ca. ½ Sekunde Audio in der finalen Datei korrigiert werden

68



FRAGEN?



Kopierschutz

Kopierschutz

- Für jeden Track kann ein Kopierschutz Flag gesetzt werden, dieses wird aber von praktisch jeder Software und jeder PC Hardware ignoriert
- Das Flag kann die Zustände annehmen:
 - Kopie ist verboten
 - Eine Kopie ist erlaubt (Kopie von Kopie nicht)
 - Beliebig viele Kopien sind erlaubt

71

Kopierschutz

- Die Musikindustrie suchte nach neuen Möglichkeiten das Kopieren zu unterbinden
- Die eingesetzten Verfahren verletzen den Red Book Standard und dürfen kein CD Logo tragen
- Mittlerweile sind fast alle Verfahren wieder vom Markt verschwunden

72

Kopierschutz

- Es werden absichtliche Lesefehler an Stellen mit linearem Anstieg durch Manipulation der CIRC auf die CD aufgebracht
- PC Laufwerke liefern oft unkorrigierte Ergebnisse, HIFI Player interpolieren oft linear
- Fehlerkorrektur ist an den manipulierten Stellen bereits ausgereizt, jede kleinste Verunreinigung kann hörbare Fehler zur Folge haben

73

Kopierschutz

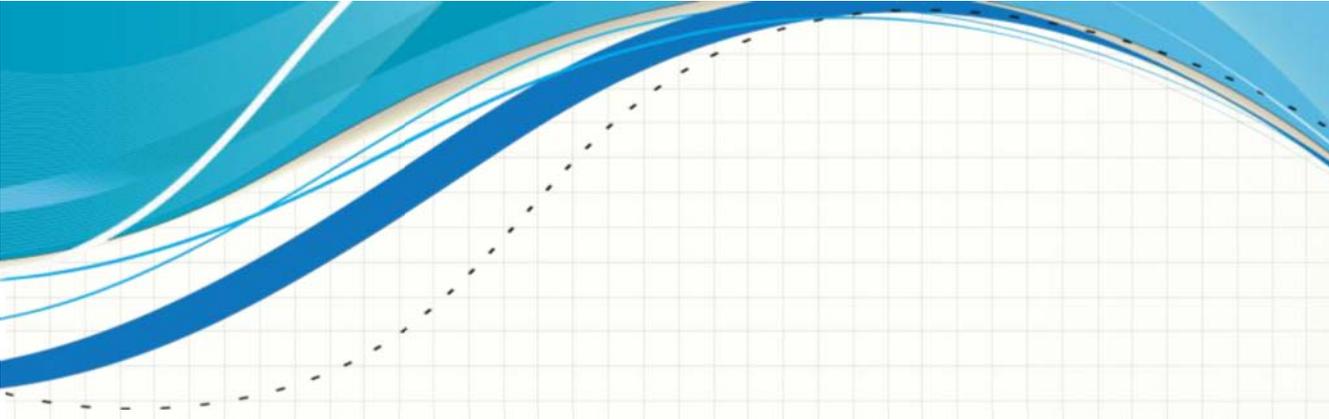
- Durcheinanderwürfeln der Zeitinformationen in den Q Subcodes verhindert das Neuansetzen des Leseprozesses bei PC Laufwerken
- HIFI Laufwerken folgen der Datenspur ohne neu seeken zu müssen
- Die Zeitdifferenzen sind groß genug um die Synchronisation zu stören, aber nicht die Sekundenanzeige des HIFI Players

74

Kopierschutz

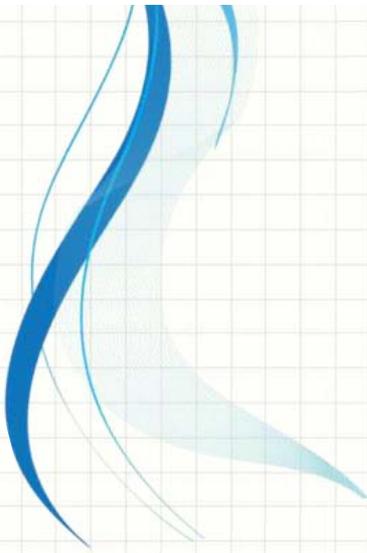
- HIFI Player betrachten lediglich die erste Session (da beim Red Book keine zweite Session vorgesehen ist)
- Die zweite Session enthält falsche Daten in der TOC über die Tracks in der ersten Session
- Einige wenige Laufwerke bieten eine Option an um nur die erste Session einer eingelegten CD zu betrachten

75



FRAGEN?

76



Literaturverzeichnis

77

Literaturverzeichnis

- Thomas Ley: Die Compact Disc, http://referate.mezdata.de/sj2003/cd_thomas-ley/ausarbeitung/
- CDQuick: Kurzanleitung CD-/DVD-Produktion, http://www.cdquick.ch/downloads/presswerk/CDquick_Wegleitung_CD_DVD_Produktion.pdf
- Jim Bumgardner: CD+G Revealed, http://www.jbum.com/cdg_revealed.html
- Drecoll: Herstellung einer Pressform für Compact Discs, <http://www.patent-de.com/20001214/EP1050875.html>

78

Literaturverzeichnis

- Marcel R. Ackermann & Kim von Grawert: Die Mathematik der Audio-CD, <http://www-math.upb.de/~mathkit/Inhalte/MatheCD/>
- Patrick Schmid: CD Seek Time, <http://www.tomshardware.com/reviews/msi,840-7.html>
- Stan Hanley: Reed-Solomon Codes and CD Encoding, <http://www.usna.edu/Users/math/wdj/reed-sol.htm>
- Illustrate: CD Drive Offsets, <http://www accuraterip.com/driveoffsets.htm>

79

Literaturverzeichnis

- Li-huan Jen: Apparatus and method for counting error rates in an optical compact disc storage system, <http://www.freepatentsonline.com/6961879.html>
- Audio Courses: Error handling systems, <http://www.audiocourses.com/forum/ftopic-1563.html>
- Andre Wiethoff: DAE Quality, <http://www.exactaudiocopy.de/en/index.php/other-projects/dae-quality/>

80

Literaturverzeichnis

- Phil Karn: Reed-Solomon coding/decoding package, <http://www.piclist.com/techref/method/error/rs-gp-pk-uoh-199609/index.htm>
- Benjamin Klopsch: Audio CDs und Reed-Solomon Codes, http://personal.rhul.ac.uk/urah/146/students/seminar/cd_rscode.pdf
- Enrico Schmidt: Die CD, <http://www.s-c-h-m-i-d-t.net/enrico/arbeiten/cd/download/cd.pdf>
- Jörg Asshoff: Optische Datenspeicher - Der CD-Player, <http://www.muenster.de/~asshoff/physik/cd/cdplayer.htm>

81

Literaturverzeichnis

- Kees A. Schouhamer Immink: Shannon, Beethoven, and the Compact Disc, <http://www.exp-math.uni-essen.de/~immink/pdf/beethoven.pdf>
- Deutsche und Englische Wikipedia, Suchwörter: Laserdisc, Compact Disc, Compact Disc Digital Audio, Rainbow Books, CD+G, Seek Time, Fehlerkorrektur, Reed-Solomon Error Correction
- American National Standard information systems: Small Computer System Interface - 2 (SCSI-2) - Kapitel 13

82

Literaturverzeichnis

- Standard ECMA-130: Data Interchange on Read-only 120 mm Optical Data Disks (CD-ROM), <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/Ecma-130.pdf>
- Kopskea: CD, Audio CD und CD-ROM, <http://de.kioskea.net/contents/pc/cdrom.php3>