

HD-Recording und Schnitt

Proseminar Algorithmen und Werkzeuge zur Audiotbearbeitung

Roland Riegel

11. November 2004

Inhaltsverzeichnis

1	Ton-Aufnahme	1
1.1	Analog-Digital-Wandlung	1
1.2	Speicherung, Audio-Formate	2
2	Audio-Bearbeitung mit Audacity	4
2.1	Schnitt	4
2.2	Entfernen von Störungen	6
2.2.1	Hintergrundrauschen	6
2.2.2	Knacksen und Knistern	6
2.3	Normalisierung	7
2.4	Effekte	7
2.5	Andere Programme und deren Funktionen	8
3	CD-Erstellung	8
3.1	Physikalischer und logischer Aufbau	9
3.2	Der Standardisierungsprozess	11
3.3	Professionelles Presswerk	12
3.4	CD-Brennen	12
4	Literatur	13

1 Ton-Aufnahme

Bei der Aufnahme von Musik oder Sprache werden die Luftdruckschwankungen von ein oder mehreren Mikrofonen aufgefangen. Sie wandeln die Veränderungen des Luftdrucks durch Induktion in elektrische Spannungsschwankungen an ihrem Ausgang um.

1.1 Analog-Digital-Wandlung

Die Signale, welche am Ausgang des Mikrofons anliegen, sind im Grunde bereits geeignet, um sie z. B. mit einem Tonbandgerät auf einer Kassette aufzuzeichnen. Dazu wird das Band der Kassette gleichmäßig am Aufnahmekopf des Tonbandgerätes entlang geführt und magnetisiert, abhängig vom jeweiligen Pegel des Musiksignals.

Dieses aufgezeichnete Signal ist *analog*, d. h. es erfolgt eine ständige Zuordnung zweier physikalischer Messgrößen, hier dem Schalldruck bzw. der durch das Mikrofon erzeugten

Spannung und der Zeit. Theoretisch können bei diesem Aufzeichnungsverfahren beliebig kleine und beliebig schnelle Signaländerungen festgehalten werden. Nachteilig ist jedoch, dass bei einer eventuell notwendigen Weiterverarbeitung der Aufzeichnung Verfälschungen auftreten, die die Signalqualität negativ beeinflussen. In der Praxis ist daher auf eine möglichst direkte Signalverarbeitung mit möglichst wenigen Zwischenschritten zu achten.

Für eine einfache und qualitätsneutrale Weiterverarbeitung z. B. am Computer muss das Signal jedoch *digitalisiert* werden. Wird die Musikaufnahme bereits mit einem Computer gemacht, geschieht dies in der eingebauten Soundkarte. Ziel ist es, das Signal als eine Reihe von ganzzahligen Werten darzustellen, welche den aktuellen Pegel des Signals darstellen und im Computer binär und somit digital abgespeichert werden können.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der entstehenden Digitalisierung ist der verwendete Wertebereich der erzeugten Zahlen. Üblich sind hier 16 oder 24 Bit pro Zahl, d. h. es können z. B. $2^{16} = 65536$ unterschiedliche Signalpegel dargestellt werden.

Zusätzlich muss die Abtastrate festgelegt werden. Sie gibt die Häufigkeit an, wie oft der Pegel des Signals gemessen und als Zahl gespeichert wird. Die Abtastrate sollte für ein akzeptables Ergebnis mindestens zwei bis drei Mal so hoch sein wie die größte zu erwartende Frequenz des zu digitalisierenden Signals (*Nyquist-Shannon-Theorem*). Daraus folgt auch, dass z. B. für Musikaufnahmen eine höhere Abtastrate verwendet werden muss als für Sprachaufnahmen. In der Praxis haben sich 48 kHz, 44,1 kHz oder auch 22,05 kHz durchgesetzt.

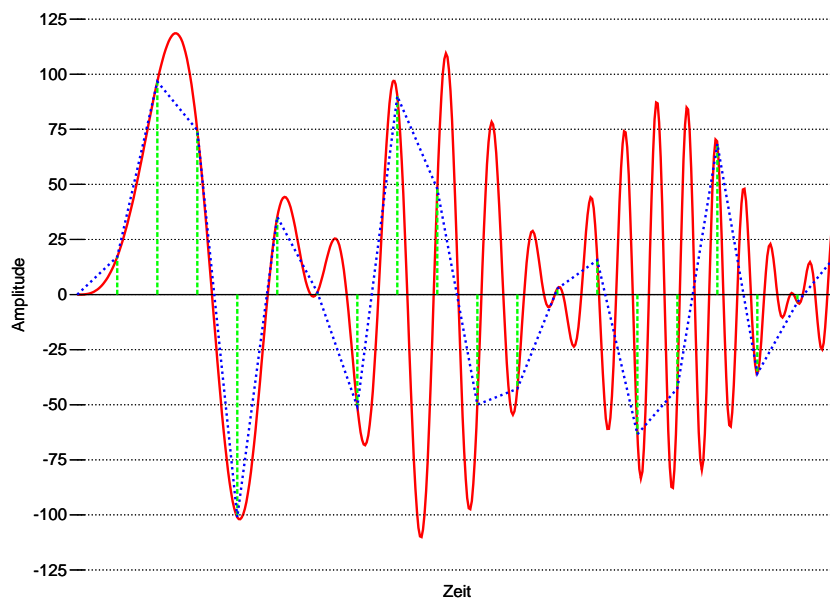
Abbildung 1 verdeutlicht den Vorgang der Digitalisierung für einen Wertebereich von -128 bis 127 (8 Bit) an Hand eines Beispielsignals. Das rot dargestellte analoge Signal wird zu den grün gekennzeichneten Zeitpunkten abgetastet. Die abzuspeichernen Werte ergeben sich aus den Schnittpunkten der grünen Linien mit dem roten Signal. Aus diesen diskreten Einzelwerten wird dann beim Abspielen des digitalen Materials am Computer wieder eine Kurve erzeugt, die der blau dargestellten entspricht. Man erkennt deutlich, dass vor allem bei hohen Frequenzen (dem rechten Diagrammteil) eine höhere Abtastfrequenz entscheidend zu einer besseren und originalgetreueren Wiedergabe beiträgt.

1.2 Speicherung, Audio-Formate

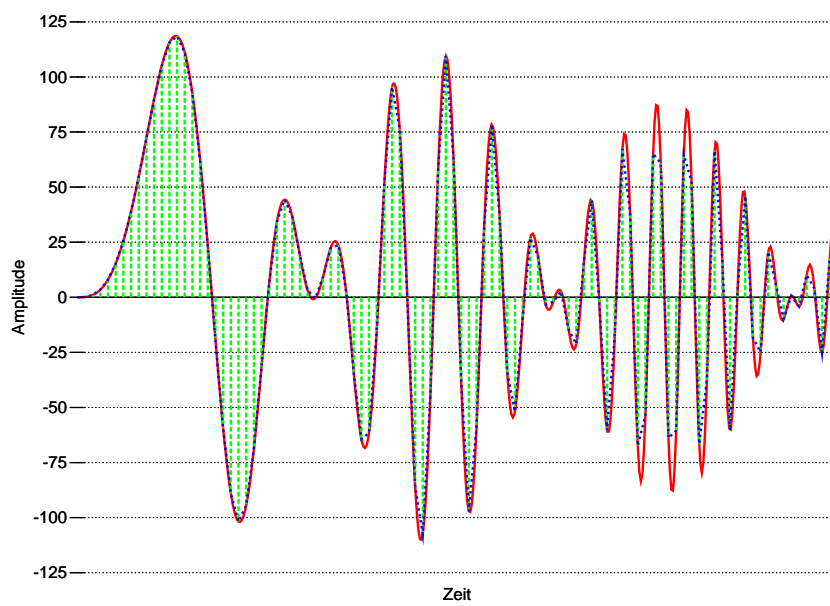
Für die Speicherung des digitalen Audio-Signals existieren viele Möglichkeiten. Eine davon ist die Speicherung auf extra hierfür vorgesehenen Medien, z. B. auf Audio-CDs (siehe Kapitel 3 auf Seite 8) oder den neueren MiniDiscs von Sony. Daneben gibt es Dateiformate, die es ermöglichen, Musik als gewöhnliche Dateien auf Festplatten oder Speicherkarten zu sichern, wie sie von Computern, aber auch von portablen Musik-Playern bekannt sind.

Zu unterscheiden sind bei der Speicherung als Datei im Wesentlichen zwei Gruppen von Dateiformaten:

Verlustfreie Formate: Diese Algorithmen zielen darauf ab, die Qualität der gespeicherten Musik unverändert beizubehalten und benötigen hierfür verhältnismäßig



(a) Zu geringe Abtastfrequenz



(b) Verfünffachte Abtastfrequenz

Abbildung 1: A/D-Wandlung bei niedriger und höherer Abtastfrequenz

viel Speicherplatz. Einige der Formate versuchen daher zusätzlich, die Audiodaten möglichst platzsparend mit Hilfe eines Kompressionsalgorithmus abzuspeichern.

Bekannte Beispiele für Musikformate in dieser Gruppe sind WAV oder Flac.

Verlustbehaftete Formate: Diese Musikformate haben eine möglichst speicherplatzsparende Speicherung der Musik bei dennoch guter Qualität zum Ziel. Sie nehmen einige Qualitätseinbußen in Kauf, indem sie nahezu unhörbare Frequenzen oder Sequenzen weglassen und so den Speicherbedarf minimieren. Der Vorteil, dass die kleineren Dateien schneller in Computernetzwerken zu transferieren sind, verursachte den Boom der Tauschbörsen im Internet.

Zu dieser Gruppe der Algorithmen gehören u. a. MP3, Ogg Vorbis und WMA.

Um nicht zu weit vom eigentlichen Thema dieser Arbeit abzuweichen, werde ich auf die Funktionsweise der Speicherungs- und Kompressionsalgorithmen an dieser Stelle jedoch nicht genauer eingehen.

2 Audio-Bearbeitung mit Audacity

In diesem Kapitel werde ich einige Bearbeitungsschritte demonstrieren, wie sie bei der Nachbearbeitung von Audioaufnahmen häufig vorkommen. Zu diesem Zweck benutze ich Audacity, ein Open-Source-Programm, welches unter <http://audacity.sf.net> zu bekommen ist und unter Windows, Linux sowie MacOS X läuft. In Abbildung 2 ist das Hauptfenster von Audacity dargestellt.

Audacity unterstützt die Verwaltung mehrerer Tonspuren gleichzeitig, um sie später gemeinsam abzuspielen. Dies ist sinnvoll, um z. B. mehrere Mikrofonaufnahmen jeweils eines Instrumentes zu einem Musikstück zusammenzusetzen.

Wir wollen hier jedoch eine einzige Aufnahme bearbeiten, welche bereits alle musikalischen Einzelelemente enthält. Unser Projekt besteht daher aus einer einzigen Stereo-Spur. In einem neuen Projekt klickt man im Menü auf *Projekt* und *Audio importieren*. In dem erscheinenden Dialog wählt man die zu bearbeitende Audio-Datei aus und klickt auf *OK*, um sie als Tonspur in das Projekt einzufügen.

2.1 Schnitt

Eine der ersten Aufgaben bei der Audio-Bearbeitung am Computer sollte die Entfernung nicht benötigter Aufnahme-Passagen sein. Dies beschleunigt den weiteren Bearbeitungsprozess, da das Programm die eigentlich unnötigen Teile z. B. beim Anwenden von Filtern nicht mehr berücksichtigen muss. In Frage kommende Sequenzen sind stille Pausen am Anfang und Ende, welche vorsichtshalber aufgenommen wurden, oder auch im Falle von Radioaufnahmen die Ankündigungen des Moderators.

In Audacity ist der Schnitt von Audiomaterial sehr einfach gehalten. Mit der Maus markiert man in der Wellenform der Tonspur den Teil, welchen man entfernen möchte,

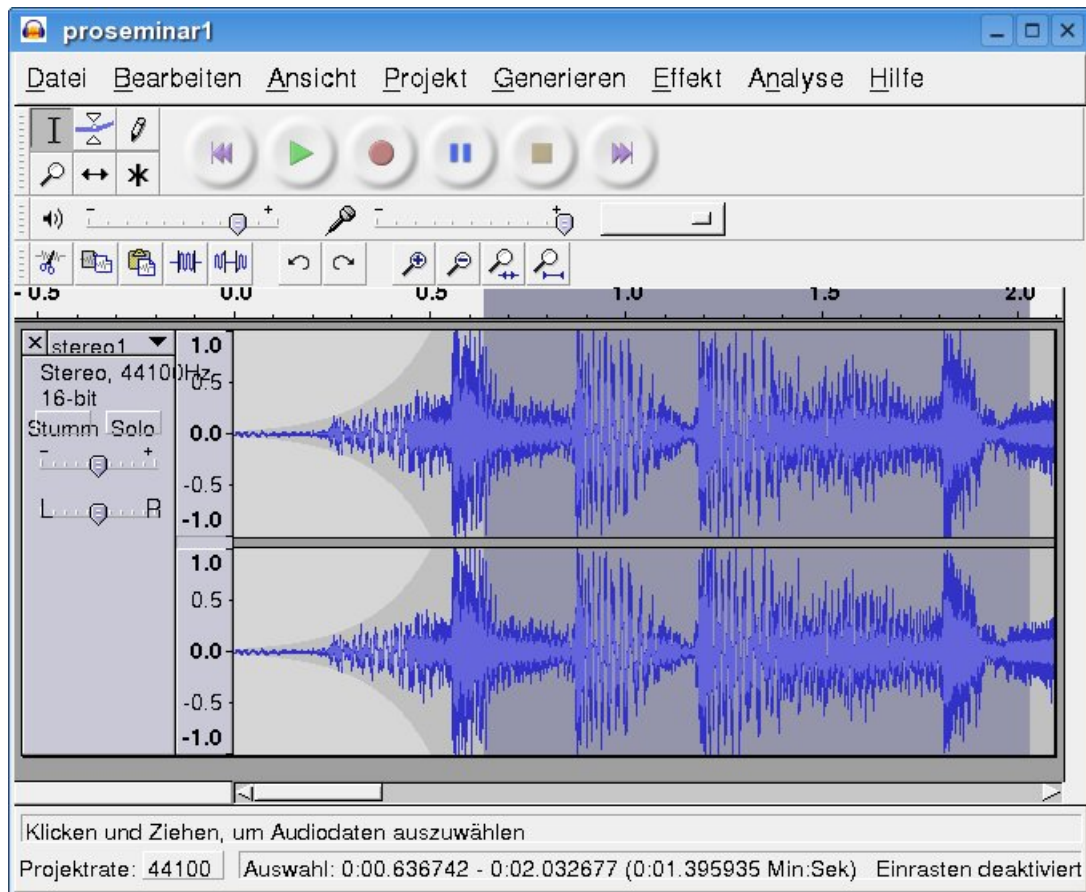


Abbildung 2: Das Hauptfenster von Audacity

und klickt im Menü *Bearbeiten* auf *Löschen* oder in der Symbolleiste auf das Symbol, welches eine Schere enthält.

Statt dem Löschen ist eventuell auch nur ein Stummschalten gewünscht, d.h. beim Abspielen wird die Markierung noch berücksichtigt, es herrscht jedoch Stille. Um dies zu erreichen, wählt man statt dem oben genannten Befehl im Menü *Bearbeiten* den Menüeintrag *Stille*.

2.2 Entfernen von Störungen

Ist die Audiosequenz auf die richtige Länge gebracht, geht es um die Entfernung von Störungen. Sie kommen in den unterschiedlichsten Formen vor. Zwei der häufigsten sind wohl das monotone Hintergrundrauschen und kurze Knackser.

2.2.1 Hintergrundrauschen

Das Hintergrundrauschen ist zwar auch bei teuren Musikanlagen nicht vermeidbar, doch ist es hier so leise, dass es nicht mehr oder nur von geschulten Personen wahrzunehmen ist. Im Bereich der Audioverarbeitung am Computer wird es hauptsächlich durch schlechte, ungeschirmte Kabel oder eine fehlende Entkopplung vom Stromnetz verursacht, so dass das 50 Hz-Brummen die Aufnahme überlagert.

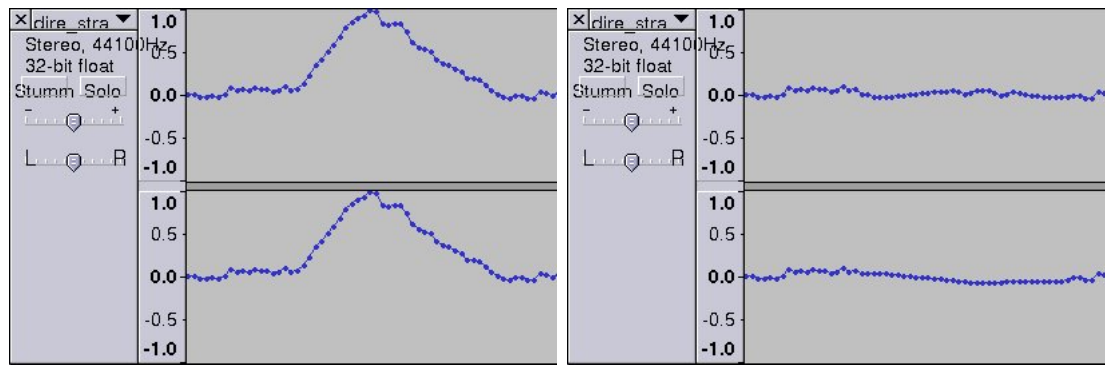
Audacity bietet einen Filter zur Entfernung des Rauschens. Dazu wählt man eine kurze Aufnahmesequenz aus, die *nur* Rauschen enthält. Anschließend wählt man im Menü *Effekt* den Befehl *Rauschentfernung* aus und klickt im erscheinenden Dialog auf den Knopf *Rauschprofil ermitteln*. Daraufhin analysiert Audacity die im Rauschen auftretenden Frequenzanteile, um sie später auch in Teilen der Tonspur entfernen zu können, in denen z. B. Musik zu hören ist. Man markiert nun die zu entrauschenden Stellen oder auch die ganze Tonspur und öffnet den Dialog zur Rauschentfernung erneut. Nach dem Einstellen der gewünschten Stärke der Rauschentfernung aktiviert man den Button *Rauschentfernung*, woraufhin Audacity versucht, das Rauschen zu unterdrücken. Unter Umständen empfiehlt es sich, zuvor den Knopf *Probegören* einige Male zu nutzen, um das richtige Maß zwischen Rauschentfernung und Beeinträchtigung der Musik zu ermitteln.

2.2.2 Knacksen und Knistern

Knacksen, und in etwas weniger störender Form auch Knistern, wird in der Regel von Wackelkontakten an den Kabelenden oder auch durch das An- und Ausschalten von Leuchtstoffröhren hervorgerufen.

In der Audioaufnahme äußern sie sich durch kurze und zugleich starke Amplitudenausschläge. In Audacity kann man sie sehr gut erkennen, indem man weit genug in die Wellendarstellung hineinzoomt, so dass die Kurve als einzelne Linie dargestellt wird. In Abbildung 3(a) ist ein Beispiel dargestellt.

Entfernen lassen sich Knackser in der Regel manuell. In Audacity wechselt man dazu in der Symbolleiste zum Zeichenwerkzeug und zoomt so weit in die Wellendarstellung, bis die einzelnen Samples zu erkennen sind. Sie werden durch dicke Punkte dargestellt.



(a) Ein störender Knackser

(b) Der korrigierte Knackser

Abbildung 3: Die Entfernung von Knacksern kann oft per Hand erfolgen.

Mit dem Zeichwerkzeug fährt man jetzt die Samplewerte nach, welche die Audiokurve annehmen soll. Nach kurzer Rechenzeit passt sich die Kurve der neuen Form an. Um Knackser zu entfernen, verringert man die Höhe der Amplitude und damit den Pegel zur Mitte hin (siehe Abbildung 3(b)).

Mit dieser Methode lassen sich jedoch meist nur kurze Impulse abmildern, da bei den starken Ablenkungen die eigentlich erwünschte Musik vollständig überlagert wird.

2.3 Normalisierung

Sollte die Aufnahme zu leise geraten sein, bietet sich nun ein Normalisieren an. Dabei wird die Lautstärke so lange erhöht, bis das erste Sample die Maximallautstärke erreicht und damit die Aufnahme voll angesteuert ist.

Achtung: Sollten noch Knackser in der Aufnahme zu hören sein, sind diese zuerst zu entfernen! Knackser erreichen meist bereits die Maximalaussteuerung, womit ein Normalisieren keine Wirkung zeigen würde.

In Audacity wählt man zum Normalisieren den gleichlautenden Eintrag im Menü *Effekt* aus, nachdem man die zu normalisierende Passage der Tonspur ausgewählt hat. Ein Klick auf *OK* startet die Umwandlung.

2.4 Effekte

Audacity beherrscht eine Fülle von Audioeffekten, welche nicht immer nur zur Verbesserung des Klangs dienen müssen, sondern auch aus Spaß einmal ausprobiert werden können. Durch eine Plug-In-Schnittstelle können die Funktionen noch wesentlich erweitert werden. Plug-Ins stellen ihre Funktionalität durch zusätzliche Menüeinträge in den Menüs *Effekt*, *Generieren* oder auch *Analyse* zur Verfügung.

An dieser Stelle möchte ich einige Effekte exemplarisch aufführen und kurz erklären:

Tempo ändern Diese Funktion ändert das Abspieltempo für die Auswahl, ohne die Tonhöhe zu ändern. Behutsam angewendet, d. h. mit einer Einstellung von ca. -5%,

kann die resultierende Verkürzung nützlich sein, um ein Lied doch noch auf eine fast volle CD zu bekommen. Diese Technik wird übrigens auch von Radiostationen verwendet, um mit einem Musikstück z. B. die Lücke bis zu den Nachrichten doch noch ganz auszufüllen.

Tonhöhe ändern Ohne die Geschwindigkeit zu ändern, beeinflusst dieser Dialog die Tonhöhe der Markierung. Damit können interessante Effekte hervorrufen werden. So wird z. B. bei einer Erhöhung ein Sänger zu einer Sängerin, bei einer Erniedrigung aus einer Sängerin ein Sänger ...

Geschwindigkeit ändern Bei Aufnahmen mit einem Schallplattenspieler als Quelle kann es nötig werden, die Geschwindigkeit anzupassen. Wenn z. B. eine Schallplatte, welche normalerweise mit $33\frac{1}{3}$ Umdrehungen pro Minute abgespielt wird, mit 45 Umdrehungen pro Minute aufgenommen wurde, muss sowohl die Geschwindigkeit als auch die Tonhöhe erniedrigt werden. Audacity bietet hierfür sogar die passenden Voreinstellungen.

Echo Hiermit entstehen Echos mit einstellbarer Verzögerung und Stärke.

Wahwah Wahwah ermöglicht den interessanten Effekt einer scheinbar wandernden Tonquelle. Es werden abwechselnd der linke und der rechte Kanal hervorgehoben, indem der jeweils andere gedämpft wird. Zahlreiche Parameter erlauben z. B. die Geschwindigkeit der Wanderung.

2.5 Andere Programme und deren Funktionen

Neben Audacity gibt es eine Fülle weiterer Audio-Programme. Sie bieten weitergehende Funktionen wie z. B. das Setzen von Trackmarken, ein integriertes Brennmodul zur CD-Erstellung, MP3-Bearbeitung ohne Verluste, weiche Bearbeitungskanten sowie standardisierte Schnittstellen wie VST, die zum Einbinden von Plug-Ins dritter Hersteller dienen.

An dieser Stelle sei auf die Übersicht bekannter Programme verwiesen (siehe Tabelle 1). Ein Teil dieser Anwendungen sind keine universellen Sound-Editoren, sondern sind auf Spezialgebiete ausgerichtet, wie das Erstellen von Audio-CDs oder kurzer Sound-Samples.

3 CD-Erstellung

Entwickelt von Philips und Sony, löste die *CompactDisc*, kurz *CD* genannt, in den 1980er Jahren die analoge, aus Vinyl gefertigte Schallplatte ab. Die digitale Aufzeichnung und Speicherung der Audiosignale ermöglichte eine wesentlich höhere Tonqualität. In der Folge profitierten die Musikkonzerne von explosionsartig steigenden Umsätzen.

Windows	Adobe Audition (ehemals Cool Edit) Steinberg WaveLab Sound Forge NGWave
Linux	LAoE ReZound Sweep
MacOS	Bias Peak TC Spark XL Emagic WaveBurner

Tabelle 1: Eine Auswahl von Audio-Programmen

3.1 Physikalischer und logischer Aufbau

Die Audio-CD, standardkonform mit *CD-DA* bezeichnet, ist eine Polycarbonatscheibe mit 120, vereinzelt auch 80 mm Durchmesser. In die 1,2 mm dicke Scheibe ist eine Substratschicht aus Aluminium eingebettet, welche die Daten enthält.

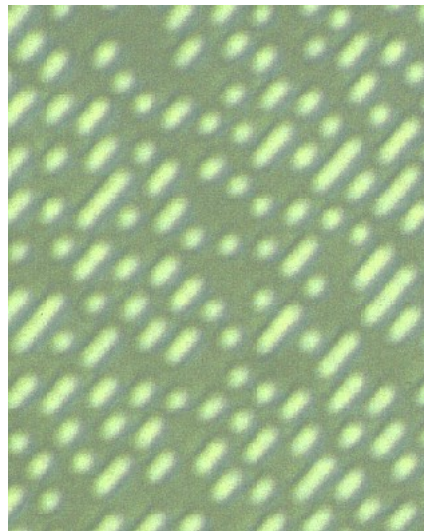


Abbildung 4: Mikroskopaufnahme einer CD. Die Pits und Lands sind deutlich zu erkennen.

Auf das reflektierende Aluminium ist eine $0,6\ \mu\text{m}$ breite und ca. 6 km lange spiralförmige Spur aufgebracht. Wie Abbildung 4 zeigt, besteht sie aus sog. *Pits* (Vertiefungen) und *Lands* (Erhebungen). Sie stellen die logische Eins bzw. die logische Null dar, aus denen die digitalen Daten bestehen.

Zum Auslesen der Daten auf der CD lässt das CD-Laufwerk diese mit 200–500 U/min rotieren und richtet einen roten Laserstrahl (780 nm Wellenlänge) auf die Spur (siehe Abbildung 5). Der Höhenunterschied zwischen Lands und Pits beträgt 125 nm, also

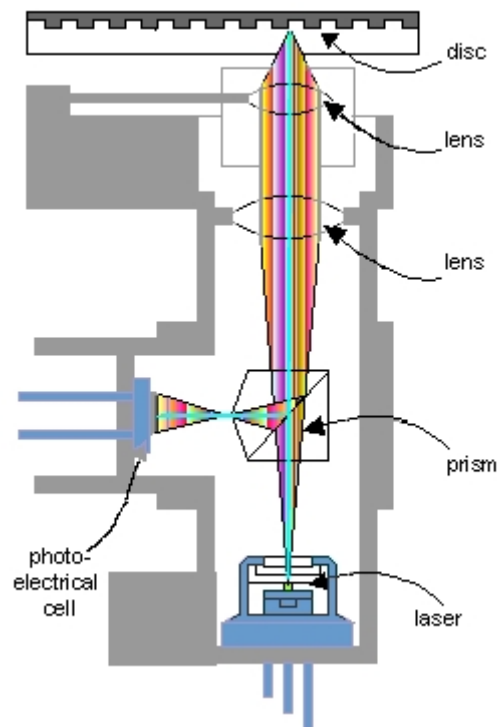


Abbildung 5: Die Lesemechanik eines CD-Laufwerks

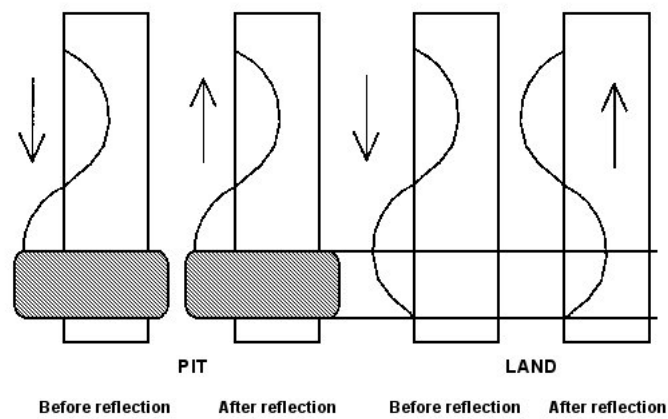


Abbildung 6: Reflektion und Interferenz des Laserlichts

genau ein Viertel der Wellenlänge des Laserlichts im Polycarbonat (500 nm, Brechungs-faktor 1.55). Die vorbeirasenden Pits verursachen daher, wie Abbildung 6 zeigt, eine Phasenverschiebung um die Hälfte der Wellenlänge. Aus den hierdurch hervorgerufenen Interferenzen wird vom CD-Laufwerk der ursprüngliche Audiostrom rekonstruiert, der schließlich wiedergegeben werden kann.

Der Platz auf der CD reicht für 74 Minuten Musikwiedergabe aus. Der Inhalt wird in bis zu 99 *Tracks*, also die enthaltenden Musikstücke aufgeteilt. Eine weitere Unterteilung ist zwar mit den *Index Points* vorgesehen, wird aber von den aktuellen CD-Playern nicht mehr unterstützt. Technisch gesehen existiert auf der Audio-CD nur ein einziges Musikstück. Die Track-Nummern verweisen lediglich auf bestimmte Zeitmarken, die der leichteren Navigation dienen.

Auf der CD sind zwei 16 Bit-Kanäle für den Stereo-Betrieb mit einer Abtastrate von 44,1 kHz vorgesehen. Der Dynamikumfang beträgt 96 dB bei einer Frequenzbandbreite von 5 Hz bis 20 kHz.

Die Datenspur ist in Blöcke aufgeteilt, die neben Informationen für die Synchronisation und die Fehlerkorrektur Platz für 2352 Bytes an Audiodaten bereitstellen. Diese werden im *PCM-Kodierverfahren* (*Linear Pulse Code Modulation*) gespeichert, welches Alec Reeves schon 1937 erfand. Für die Fehlerkorrektur wird das von Irving Reed und Gustave Solomon 1960 entwickelte *CIRC* (*Cross Interleaved Reed Solomon Code*) verwendet. Bei der Wiedergabe werden 75 Blöcke pro Sekunde, entsprechend einer Datenrate von 172 kByte/s, gelesen.

Bei Beeinträchtigung der Lesbarkeit der CDs, z. B. durch Kratzer, Schmutz oder auch Fingerabdrücke, ermöglicht die Fehlerkorrektur ein Abspielen ohne hörbare Qualitätsverluste bis zu einer Fehlerrate von ca. 250 Lesefehlern pro Sekunde.

3.2 Der Standardisierungsprozess

Bereits 1979 auf einer Messe in Tokio vorgestellt, wurden 1982, dem Jahr der Markteinführung der Musik-CD, im offiziellen *Red-Book*-Standard des *ANSI* (*American National Standards Institute*) die Eigenschaften und der logische Aufbau der internen Strukturen festgelegt.

Nur CDs, die dieser Norm entsprechen, dürfen das offizielle Audio-CD-Logo tragen (siehe Abbildung 7).

In den Folgejahren wurden die Spezifikationen erweitert, um andere Anwendungen der CompactDisc zu ermöglichen. Es entstanden die „*farbigen Bücher*“, welche die Bestimmungen für die zusätzlichen Formate wie die CD-ROM, die CD-R oder die CD-RW enthalten. Sie seien an dieser Stelle nur der Vollständigkeit halber aufgelistet:

- Red Book (1982): CD-Audio (CD-DA)
- Yellow Book (1985): CD-XA (Daten-CD)
- Green Book (1987): CDi (Computer Disc Interactive, z. B. Menüführung)
- Orange Book (1991): CD-R, CD-RW



Abbildung 7: Das offizielle CD-DA-Logo

- Blue Book: CD Extra (Musik und Daten)
- White Book (1993): Video-CD

3.3 Professionelles Presswerk

Maschinell gefertigte CDs werden in mehreren Fertigungsstufen hergestellt.

Beim *Premastering* werden die Daten zusammengestellt, Synchronisations- sowie Headerinformationen hinzugefügt und die Fehlerkorrekturcodes berechnet.

Im *Mastering* wird der *Glas-Vater*, eine mit Photolack beschichtete Glasscheibe, mit Hilfe eines Lasers an den Stellen belichtet, an denen später die Pits liegen sollen. Nach dem Entwickeln und Wegätzen der belichteten Teile wird der Glas-Vater mit Silber beschichtet und somit zum *Metall-Vater*. Im Nickelbad erfolgt dann die Herstellung eines Negativ-Abbilds, der *Metall-Mutter*. Hiervon werden mehrere Matrizen hergestellt, welche schließlich als Pressform für die Massenfertigung dienen.

In der *Pressung* wird ein spezielles Spritzgussverfahren, das sog. Spritzprägen, verwendet, um mit der Pressform und flüssigem Polycarbonat die transparenten Kunststoffrohlinge zu erstellen. Die Seite der Pits wird anschließend unter Vakuum mit einer Aluminiumschicht bedampft und mit einem Lack versiegelt. Schließlich kann noch eine Beschriftung im Offset- oder Siebdruckverfahren erfolgen.

3.4 CD-Brennen

Seit einigen Jahren sind Geräte auf dem Markt, die es erlauben, in Verbindung mit einem herkömmlichen PC selbst CDs zu erstellen, auch „brennen“ genannt. Diese *CD-Brenner* sind äußerlich nicht von herkömmlichen CD-Laufwerken zu unterscheiden, enthalten jedoch die notwendige zusätzliche Funktionalität zum Beschreiben der *Rohlinge*, wie noch leere CDs genannt werden.

Die Spezifikation der herkömmlichen Audio-CD, deren Inhalt schon bei der Herstellung festgelegt wird, musste für die nachträgliche Datenaufnahme angepasst werden.

Es entstanden hierbei die *CD-R*, welche ein einmaliges Beschreiben ermöglicht, und die *CD-RW*, welche mehrmals beschrieben und wieder gelöscht werden kann.

CD-Rohlinge sind in ihrem Aufbau nahezu identisch zu maschinell gepressten CDs. Sie enthalten über der Reflexionsschicht lediglich eine zusätzliche Farbschicht, welche durch den CD-Brenner in ihrer Lichtdurchlässigkeit verändert werden kann. Der Effekt ist jedoch der selbe wie bei gewöhnlichen CDs.

Für die technische Realisierung wurden zwei Verfahren entwickelt:

Magneto-optische Medien (magneto-optical disc, MO)

Der Laser erhitzt die Farbsubstanz, so dass durch Anlegen eines schwachen Magnetfelds die Materialstruktur und somit die Lichtdurchlässigkeit verändert werden kann.

Phasenwechsel-Medien (phase change dual disc, PD)

Bei einigen organischen Substanzen wird durch den Laser selbst ein Phasenwechsel erreicht. Die Magnetisierung ist nicht notwendig.

Die Phasenwechsel-Technik hat den Vorteil, dass durch die überflüssige Magnetisierung der Schreib-/Lesekopf wesentlich kleiner und leichter ausfallen kann als bei den MO-Geräten. Zudem ist für das Löschen und das nachfolgende Beschreiben lediglich ein Bearbeitungsvorgang notwendig.

4 Literatur

- [1] Bernhard Kalhoff, *Video: CD- und DVD-Medien*,
<http://www.uni-kiel.de/rz/video/video-cddvd/video-cddvd.html>, Stand vom 31.10.2004.
- [2] Boris Moser, *Seminar Multimedia und Electronic Publishing - Kapitel 10: CD-ROM*, http://i31www.ira.uka.de/docs/mm+ep/10_CDROM/main_html.html, Stand vom 31.10.2004.
- [3] Chip Chapin, *CD-DA (Digital Audio)*,
<http://www.chipchapin.com/CDMedia/cdda1.php3>, Stand vom 31.10.2004.
- [4] Deluxe Corporation, *CD Audio*, Deluxe Homepage:
<http://www.bydeluxe.com/resources/technical/technology/cdaudio/>, Stand vom 31.10.2004.
- [5] Deluxe Corporation, *Compact Disc*, Deluxe Homepage:
<http://www.bydeluxe.com/resources/technical/technology/cdbasics/>, Stand vom 31.10.2004.
- [6] Patrick Schmid, Uwe Scheffel, *Grundlagen: CD-ROM-Laufwerke*,
<http://www.de.tomshardware.com/storage/20000302/>, Stand vom 31.10.2004.

-
- [7] Wikipedia-Community, *Audio-CD*, Artikel auf der Projektseite <http://de.wikipedia.org>, Stand vom 31.10.2004.
- [8] Wikipedia-Community, *CD-ROM*, Artikel auf der Projektseite <http://de.wikipedia.org>, Stand vom 31.10.2004.