

# Audio-Bearbeitung und -Wiedergabe

Martin Schrittenloher

## Inhaltsübersicht

- Formatumsetzung
- Pegelbezogene Signaltransformation
- Frequenzbezogene Signaltransformation
- Zeitbezogene Audibearbeitung
- Funktion von Soundkarten
- Tipps und Tricks

# Formatumsetzung 1

(= Änderungen des Soundformates )

- **Abtastrate**

**Downsampling:** Erniedrigung der Abtastrate, Frequenzen über Nyquist-Frequenz (halbe Abtastrate) herausgefiltert.

Anschließend: Signal zeitkomprimiert/gestaucht und in gewünschte Abtastrate transformiert.

**Upsampling:** Signal wird gedehnt, dazwischenliegende neue Werte mit Interpolation (lineare oder kubische Spline) erzeugt.

---> Unerwünschte hohe Frequenzanteile, die herausgefiltert werden müssen.

# Formatumsetzung 2

- **Auflösung**

Durch **Requantisierung** (Umsetzung der Auflösung) entsteht ein Requantisierungsrauschen, welches durch ein vorhergehendes "Dithersignal" (künstliches Rauschen auf den niederwertigen Bits) entfernt werden kann.

Durch das **Dithering** wird der statische Zusammenhang zwischen Signal und Requantisierung gestört.

Durch das **Noise-Shaping** kann das Rauschen noch zusätzlich in weniger störende Frequenzbereiche verschoben werden.

WICHTIG: Noise-shaping sollte erst am Ende der Signalbearbeitung vorgenommen werden.

# Formatumsetzung 3

- **Kanalanzahl**

**Stereo nach Mono:**

die beiden Kanäle eines Stereosignals werden addiert, das erhaltene Signal wird normiert.

Bei der Addition können die Kanäle unterschiedlich gewichtet werden.

**Mono nach Stereo:**

Der vorhandene Kanal wird in den zweiten kopiert. Für Stereowirkung: beide Signale um wenige Millisekunden zeitlich gegeneinander verschieben.

Zusätzlich: Hall-Anteile zum Signal um Räumlichen Effekt zu verstärken.

# Pegelbezogene Signaltransformation 1

- **Cut, Copy, Paste**

Bedarf keiner weiteren Erklärung

- **Verstärken, Dämpfen**

**Verstärkung** ist Pegelanhebung, **Dämpfung** ist Pegelabsenkung.

Für ganzes Signal oder nur einen Teil.

- **Ein-, Aus- und Überblenden (Fades)**

**Crossfades** durch Ausblenden eines und Einblenden eines anderen Signals (will man konstante Lautstärke, verwendet man zwei gegenläufige Fade-Funktionen)

# Pegelbezogene Signaltransformation 2

- **Kompensieren von DC-Offset-Fehlern**

„Manche AD-Wandler weisen einen Gleichspannungsoffset (**DC-Offset**) auf. Das ist bedingt durch die Beschaltung der Wandler-Bausteine in der Soundkarte, bzw. durch Bauteiltoleranzen der internen Spannungsreferenz. Auch externe Mixer und Effektgeräte können ein **Offsetsignal** erzeugen und damit die nutzbare Signaldynamik einschränken.“

<http://www.uni-koeln.de/rzk/multimedia/dokumentation/audio/bearbeitung.html#aussteuern>

**DC-OFFSET** Fehlern äußern sich darin, dass die Basislinie des Signals nicht mit der Nulllinie übereinstimmt. Man kann durch angleichen dafür sorgen, dass das Signal symmetrisch zur Nulllinie wird.

Dieses Kompensieren des Offsets sollte vor allen anderen Signaltransformationen erfolgen, sonst werden auch zB. DC-Offset Fehler verstärkt.

# Pegelbezogene Signaltransformation 3

- **Regelverstärker**

- **Kompressor**

Bei zunehmenden Audiopegel am Eingang nimmt der Verstärkungsfaktor des Regelverstärkers ab. Man kann eine bestimmte Schwelle bestimmen (für den Übergang zwischen linearem und nichtlinearem Bereich). Unterhalb dieser Schwelle werden kleine und mittlere Audiopegel normal verstärkt, darüber hingegen nimmt der Verstärkungsfaktor proportional ab, je dichter sich der Pegel an die Aussteuerungsgrenze nähert.

- **Limiter**

Sog. Begrenzer zwingen Spitzenamplituden des Signals auf den gleichen Pegel des eingestellten Schwellenwerts, da über diesen keine Verstärkung mehr erfolgt. Oft weisen Limiter noch einen Übergang zwischen dem Modus Kompressor und Begrenzer auf.

- **Expander**

Bei steigendem Eingangssignal nimmt auch der Verstärkungsfaktor zu. Abstand zwischen kleinen und großen Signalpegeln wird erhöht. Störsignale werden dadurch nicht mehr so deutlich wahrgenommen.

- **Noise-Gate**

Erst beim überschreiten eines bestimmten Schwellenwertes wird das Signal durchgelassen.

# Frequenzbezogene Signaltransformation 1

- **Filter**

Filter arbeiten frequenzselektiv. Passive Filter dämpfen Teile eines Signals, während aktive Filter auch Verstärken können.

Filter können nichts zu einem Signal hinzufügen, aber Teile verstärken, verfremden oder entfernen.



**Tiefpaß:** Oberhalb einer Grenzfrequenz werden die Signale unterdrückt.



**Hochpaß:** Unterhalb einer Grenzfrequenz werden die Signale unterdrückt.



**Bandpaß:** Es existieren zwei Sperrbereiche und ein Durchlaßbereich.

**Bandsperrre:** Es gibt einen Sperrbereich und zwei Durchlaßbereiche.

Charakteristik verschiedener Filtertypen

# Frequenzbezogene Signaltransformation 2

- **Equalizer**

bestehen aus Kombination von einzelnen Bandpässen mit unterschiedlichen Durchlassfrequenzen. Mit Ihnen lassen sich größere Frequenzbereiche hervorheben oder unterdrücken. Sie sind wichtige Werkzeuge zur Klanggestaltung.

- **FFT-Filter**

Die Fourier-Transformation (J. Fourier, 1822) ist eine mathematische Methode, Spektren von Schwingungen zu bestimmen.

Nachteil: Die Methode ist sehr rechenaufwendig.

Verbesserung I: C. F. Gauss fand eine Methode, die den Rechenaufwand verringerte ("FFT", Fast Fourier Transformation). Der Nachteil dieser Methode ist die Verwendung komplexer Zahlen.

Verbesserung II: R. V. L. Hartley erfand die "Diskrete Hartley Transformation" ("DHT"), die noch verbessert wurde. Es entstand die "DFHT", die bis zu vier mal schneller als die "FFT" ist. Sie benötigt weniger Speicher und verzichtet auf komplexe Zahlen.

# Frequenzbezogene Signaltransformation 3

- **Restauration**

Fehler auf alten Tonträgern können in 3 Gruppen eingeteilt werden: Rauschfehler (Noise, Hiss) Clickfehler (Clicks) und Knistern (Crackles). Daher auch die Bezeichnungen für das Entfernen derselbigen:

**Denoising**/Dehissing, **Declicking** und **Decrackling**.

**Denoising**: spektrale Verteilung des Rauschens wird mittels Fingerprint bestimmt (das Audiosignal welches kein Nutzsignal enthält). Das so gewonnene Signal wird vom restlichen Signal abgezogen.

**Declicking**: Clicks sind energiereiche Signale kurzer Dauer mit hoher Anstiegsgeschwindigkeit. Sie entstehen beim Abspielen von zerkratzten oder verschmutzten Tonträgern (Netzstörung, schlechte Kontakte, Einstrahlung über offene Eingänge). Zum Entfernen der Clicks wird versucht, das ursprüngliche Signal durch Interpolation zu restaurieren. Bei Stereosignalen kann man das gestörte Signal einfach durch das zweite ersetzen. Man kann Clicks auch per hand entfernen.

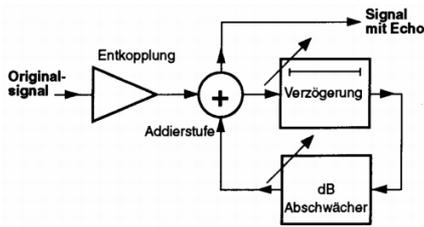
**Decrackling**: Knistern ist eine Häufung von Clicks mit relativ geringem Pegel und gleichmäßiger Verteilung über das ganze Audiosignal. Methoden zur Entfernung sind abgewandelte Declicking-methoden.

# Zeitbezogene Audiobearbeitung 1

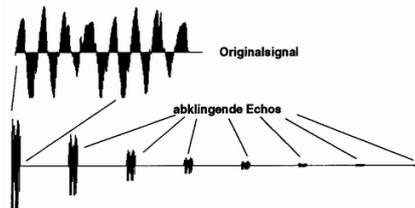
- **Echo**

2 Parameter sind hier von Bedeutung:

1. Die Verzögerungszeit (delay)
2. Intensität der Beimischung



Prinzip der künstlichen Echoerzeugung



Erzeugung abklingender Echos bei einem  
Echopegel von 50% (-6 dB)

## Zeitbezogene Audiotbearbeitung 2

- Flanging und Phasing

Phaser und Flanger ähneln einem Einmal-Echo.

Unterschied: Phase bzw. Verzögerung wird über einen Steuergenerator langsam verändert.

Beim Phasing wird das Signal in seiner Phase verschoben, beim Flanging handelt es sich um eine Verzögerung. Flanging erzeugt mehrere Nullstellen im Frequenzgang.

- Chorus

Das Ziel ist ein vollerer Klangeindruck. Die Verzögerungszeit liegt bei 10 bis 30 ms.

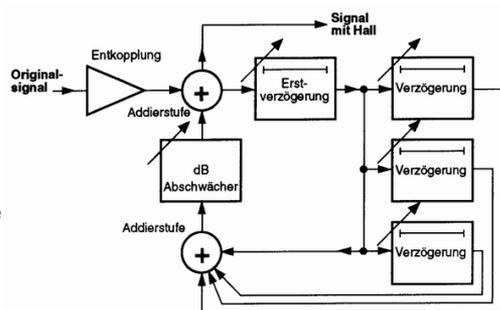
## Zeitbezogene Audiotbearbeitung 3

- Hall

Theoretisch entsteht Hall durch die Generierung von unendlich vielen Echos mit unendlich vielen verschiedenen Laufzeiten. Nach der Ersterzeugung, die das primäre Hallsignal erzeugt, folgen unregelmäßig andere Echos.

Problem bei Hallerzeugung:  
man muss Reflektionspunkte simulieren.

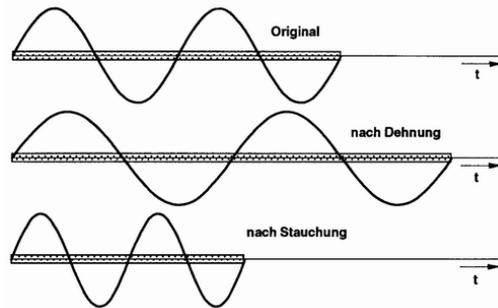
- Rechenaufwand steigt mit der Anzahl dieser Punkte.  
Gute Algorithmen sind sehr rechenintensiv, da die statische Verteilung der Reflexionen im Raum simuliert werden muss.



Prinzip der künstlichen Hallerzeugung

## Zeitbezogene Audiotbearbeitung 4

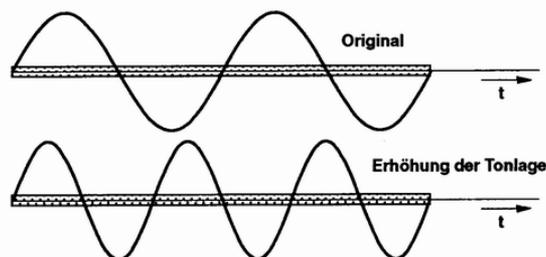
- Zeitkorrektur (Timestretching)



Dateidehnung und -stauchung und die damit verbundene Änderung der Abspielgeschwindigkeit

## Zeitbezogene Audiotbearbeitung 5

- Tonhöhenkorrektur – Pitchshifting



Tonlagentransponierung um den Faktor 1,5

# Wiedergabe 1

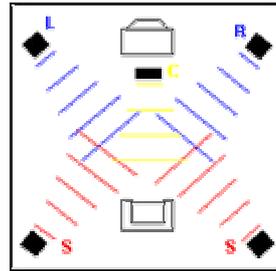
- **Stereo:**

ist die einfachste Art der Klangverteilung mit 2 Kanälen und zwei Boxen. Einfacher ist nur noch Mono mit nur einem Kanal.

- **Dolby Pro-Logic(Dolby Surround):**

ist in der Lage den Sound auf 4 Kanäle aufzuteilen. Man spricht von einem analogem Tonverfahren. Die Wiedergabe arbeitet sogar mit 5 Boxen: Zwei Frontlautsprecher (links und rechts), zwei Surround-Boxen hinter dem Hörer (die allerdings nur das selbe Mono-Signal wiedergeben) und einem Center-Lautsprecher.

Die 3D-Audio-Wiedergabe ist schon verblüffend gut.



# Wiedergabe 2

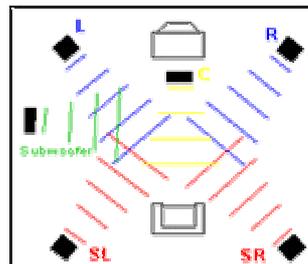
- **AC-3(Advanced Compression 3)**

„AC-3 ist das digitale Codiervorgehen für Dolby Digital. Aus dem AC-3 codierten Audio-Daten kann dann z.B. ein Audio-Format von 5.1 erzeugt werden. Bei AC-3/5.1 arbeiten 6 Boxen und 6 voneinander unabhängige Kanäle zusammen.“

<http://www.elektronikkompendium.de/sites/com/0601011.htm>

Dazu gehören 2 Frontboxen (links und rechts), 2 Surround-Boxen hinter dem Zuhörer, die jeweils separat angesteuert werden, ein Center-Speaker und ein Subwoofer, welcher die tiefen Effektfrequenzen (Lob-Frequency-Effect) abbildet. Letzterer Kanal ist für die 1 hinter dem Punkt verantwortlich.

Da das menschliche Ohr tiefe Töne zwar wahrnehmen, aber nicht orten kann, ist der Standort des Subwoofers egal



# Wiedergabe 3

- Die Soundkarte

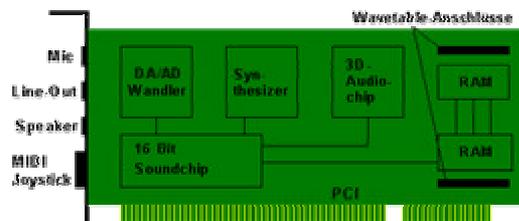
Die Soundkarte ist ein fast unersetzlicher Teil eines Computers. Erst mit der Möglichkeit Sprache und Musik wiederzugeben, wird ein Computer multimedial.

Die gängigen Soundkarten sind für den PCI-Bus gedacht. Das ermöglicht höheren Datentransfer zwischen Soundkarte und Hauptspeicher.

Inzwischen ist es üblich, dass Soundfunktionen in Komplettsystemen auf dem Motherboard integriert sind (onboard). Standardmäßig sind folgende Anschlüsse vorhanden:

# Wiedergabe 4

- Line-In (für Aufnahmen)
- Mic-In (Mikrofoneingang)
- Speaker (Ausgang für Lautsprecher)
- MIDI/Joystick-Anschluß



# Wiedergabe 5

- **Funktionsweise einer Soundkarte**

Jede Soundkarte arbeitet nach zwei unterschiedlichen Methoden um Töne von sich zu geben:

- Die sogenannte **Frequenzmodulationssynthese (FM)** generiert die Klänge durch die Programmierung von Wellengeneratoren, Modulatoren und Filtern. Diese Arbeitsweise ähnelt der eines Musiksynthesizers.
- Der **DSP** (Digital Sound Processor) ermöglicht Aufnahmen und Wiedergabe von Geräuschen. Er besteht aus ADC (Analog-Digital Converter) und DAC (Digital-Analog Converter). Der DAC wandelt jeden Digital-Code eines Samples in ein analoges Signal (eine Spannung) um und leitet es zur Audioanschlussstelle weiter und von dort aus mit oder ohne Verstärker weiter zu den Lautsprechern. CD-Player und Synthesizer enthalten auch einen DAC.

Alle **FM-Chips** arbeiten nach mathematischen Funktionen, aus denen sich Schwingungskurven erzeugen lassen, die natürlichen Instrumenten aber nur annähernd gleichen. Damit ist es zumindest möglich MIDI-Dateien abzuspielen.

Diese Dateien enthalten Beschreibungen zu Tönen, Instrumenten und Effekten, aber nicht die Töne selber.

# Wiedergabe 6

- **Wavetable**

Da der künstliche Klang der FM-Synthese nur wenig überzeugend war, wurde die Wavetable-Synthese entwickelt.

Beim Prinzip von Wavetable erzeugt der Soundchip den Originalton eines zuvor im Studio aufgenommenen Instruments. Aufgrund der enormen Datenmenge errechnet der Soundchip nur die Tonhöhe und -länge aus einem ähnlichen Sample. Je nach Wavetable-Hersteller klingt die Musik unterschiedlich gut. Deshalb klingen einige Soundkarten je nach Musikstil besser oder schlechter.

Gute Wavetable-Soundkarten kosten entsprechend mehr Geld.

Natürlich gibt es auch noch andere Möglichkeiten zur Klanggenerierung, auf die in diesem Thema aber nicht weiter eingegangen wird.

# Tipps und Tricks

- Ungenutzte Eingänge der Soundkarte in Windows-Mixer abschalten.
- Brummschleifen vermeiden.
- Richtige Aussteuerung beachten.
- Mit hoher Qualität digitalisieren, erst nach Bearbeitung die Samplingrate oder die Auflösung reduzieren.
- Für die Arbeit mit einem Denoiser sollte man bei der Aufnahme ca. eine Sekunde mit Audiosignal Ruhe aufnehmen, um es als Fingerprint zu verwenden.
- Wichtig: Weniger ist manchmal mehr!

# Quellen

- <http://www.uni-koeln.de/rrzk/multimedia/dokumentation/audio/bearbeitung.html>
- <http://www.fh-wedel.de/~si/seminare/ss02/Ausarbeitung/9.digitalaudio/audio3.htm>
- <http://www.wizoosounds.com/cgi-bin/WebObjects/wizoosounds?c=e>
- [http://www.tu-chemnitz.de/informatik/RA/kompodium/vortraege\\_96/Sound/sound\\_1.html](http://www.tu-chemnitz.de/informatik/RA/kompodium/vortraege_96/Sound/sound_1.html)
- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/com/0601011.htm>