

Audio Recording am PC

von Thomas Ranzenberger



Gliederung

1. Geschichtliches zum Audiorecording
2. Digitale Musiksoftware und ihre Anwendungen
3. Der Lautstärkekrieg
4. Beispielaufnahme mit Ardour unter Debian Squeeze
5. Wie funktioniert HD-Recording eigentlich am PC?
6. Digital Audio Workstations und deren Aufbau
7. Vorgehensweise beim Aufnehmen mit DAW's
8. Schlusswort

1. Geschichtliches zum Audiorecording

1860: Der Franzose Edouard-Léon Scott de Martinville nahm mit Hilfe seines selbst erfundenen Phonautografen das französische Kinderlied Au Claire de la Lune auf. Diese Aufnahme ist die älteste durch US-Forscher jetzt auch hörbare Audioaufnahme.

(Siehe auch: www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,543754,00.html)

1899: Der dänische Telegraf-ingenieur Valdemar Poulsen erfand das Grundprinzip der magnetischen Tonaufzeichnung.

1935: Die Firma AEG stellte auf der 12. Großen Deutschen Funk-Ausstellung das erste Tonbandgerät vor.

1935/36: BASF entwickelte in Ludwigshafen das erste Kunststoff-Tonband.

ca. 1936- ca. 1995: Verwendung von Bandmaschinen zur Aufnahme von Musik. Später folgten Multitrack Audiorecording Systeme auf Bandmaschinen Basis, welche hauptsächlich in professionellen Studios zur Anwendung kommen.

16 Spur Bandmaschine:

Wird heute noch teilweise zur Aufnahme von Schlagzeugspuren verwendet.



Die Analoge Wärme der Bandmaschinen wird heute durch Plugins emuliert.

1981: Dave Smith entwickelte das MIDI-Protokoll.

1983: Festlegung des MIDI-Standards durch die MIDI-Manufacturers-Association.

1984: Erschien von der Firma Steinberg die Software Steinberg Pro 16. Eine MIDI-Sequencer Software für den Commodore 64.

1986: Weiterentwicklung der Steinberg Pro 16 Software zu Steinberg Pro 24 für den Atari ST und Commodore Amiga. Die Software beinhaltete ein grafisches User Interface, sowie eine integrierte MIDI-Schnittstelle. Weiterhin war es möglich 24 Spuren zu erstellen und die Software wurde um ein Notationssystem erweitert.

1988: Die CD-R wurde der Öffentlichkeit vorgestellt. Erste Marktreife CD's folgten im Jahr 1992.

1988: Einigung auf ein Standard MIDI-File Format.

1989: Erschien die erste Digitale Audiorecording Software: Sound Tools. Folglich die erste Digital Audio Workstation (DAW), welche für den Apple Macintosh entwickelt wurde. Hersteller war die Firma Digidrums, die später sich umbenannte zu Digidesign.

1989: Steinberg veröffentlichte die erste Version seiner neuen Sequencer-Software Generation Cubase.

1990: Erschien die erste Version der Software ProTools der jetzigen Firma Avid. (Vorher Digidesign)

1992: Erste ECHO Verleihung der Musikindustrie in Berlin.

1995: Das erste Harddisk-Recording-System, das mit den Bandmaschinen konkurrieren konnte, wurde vorgestellt. (Weiterentwicklung der Software ProTools der Firma Avid)

1997: Sprung von 16 Bit auf 24 Bit Samplerate des Audiomaterials durch die Software ProTools.

1998-Jetzt: Es folgten weitere Fortschritte bei den Audio-Interfaces (USB, Firewire, PCMCIA) sowie bei den Schnittstellen(S/PDIF, AES/EBU, ADAT, MIDI over Ethernet etc.) zwischen den unterschiedlichen Outboard-Geräten durch den Boom der Musik- und Computerindustrie.

Outboardgeräte im Tonstudio:



Outboard-Geräte werden im Homerecording Bereich über Plugins emuliert. Im professionellen Bereich werden sowohl Plugins als auch Outboard-Geräte verwendet, je nach Vorlieben des Audio-Engineers.

2. Digitale Musiksoftware und ihre Anwendungen

Audioplayer

Audioplayer gehören zu der Standard-Ausrüstung eines jeden Betriebssystems. Sie geben fertige Audio-Dateien wieder, welche unterschiedliche Formate (z.B. *.wav, *.mp3, *.ogg) wiedergeben können. Ein für das Audiorecording interessanter Player ist beispielsweise die Freeware Foobar2000, welche nicht nur die Dateien abspielt, sondern auch eine Möglichkeit zur Analyse des Materials bietet. Sie beinhaltet unter anderem einen Spektrumanalysator, sowie Peak - als auch VU-Meter.

Midi-Sequencer bzw. Midi-Editoren

Unter MIDI-Sequenzern versteht man eine Software, die aus digitalen Steuerimpulsen mit Hilfe der MIDI-Schnittstelle, die meist von einem Keyboard stammen, Notenwerte generiert. Anhand der Notenwerte werden dann synthetische, vom Computer generierte, Sounds erzeugt. Der PC oder Mac fungiert somit als „Instrument“. Die MIDI-Schnittstelle ist eine serielle Schnittstelle, die somit keine Daten (oder Akkorde) gleichzeitig übertragen kann!

Anfänglich beschränkte sich Steinbergs Pro 16 und Pro 24 Software auf dieses Gebiet. Mit der Weiterentwicklung Cubase wurde aus dem vorherigen Midi-Sequencer nun eine Digital-Audio-Workstation. Eine Alternative zu Cubase ist die Freeware Rosegarden, deren Oberfläche sehr an der von Cubase angelehnt ist. Rosegarden läuft allerdings nur unter Linux.

Audio-Recorder bzw. Audio-Editoren

Audio Editoren werden verwendet um Signale digital von der Soundkarte oder dem Audio-Interface aufzuzeichnen, abzuspeichern und anschließend zu bearbeiten.

Abgesehen von den Bordmitteln des Betriebssystems Audiosignale aufzunehmen gibt es verschiedene Softwarelösungen. Eine Freeware, die sowohl auf Linux als auch auf Windows läuft, ist die Software Audacity. Diese kann allerdings nur 2 Spuren gleichzeitig aufnehmen. Sie unterstützt VST und LADSPA Plugins.

Digital-Audio-Workstations

Digital-Audio-Workstations (DAW's) entstanden aus den vorangegangenen Entwicklungen der Audio- und Midi-Editoren. Durch sie wird ein vorher analoges Tonstudio auf dem PC virtualisiert bzw. digitalisiert.

Eine der wohl bekanntesten DAW's ist ProTools von der Firma Avid. Diese Software ist ab der Version 8 auf Windows und Apple Macintosh lauffähig. Ab der Version 9 wurde die Beschränkung auf die Audio-Interfaces des Herstellers Avid und dessen Partner- bzw. Tochterfirmen aufgehoben.

Das vorher geschlossene System ProTools kann nun mit jeglichen Audio-Interfaces betrieben werden, was auch kleineren Musikgruppen ermöglicht ihre Lieder größeren Studios z.B. zum Mastering zukommen zu lassen. Durch den Kauf der Firma Digidesign durch Avid, wurde ProTools auch um die Bearbeitung von Filmmaterial für Film und Fernsehen erweitert.

Eine Alternative zu ProTools ist die Freeware Ardour, welche rein unter Linux läuft.

Ihre Oberfläche orientiert sich an der von ProTools, allerdings unterstützt sie lediglich die Linux-Audio-Plugin Formate und das Steinberg VST-Plugin Format.

Apple selbst entwickelte eine eigene DAW Logic (vorher Emagic, Notation) für den Mac.

Der Softwarevertrieb Magix bietet ebenfalls eine leistungsfähige DAW an, allerdings nur für Windows.

Samplitude wurde 1992 von dem Studio für Elektronische Musik Dresden, in Zusammenarbeit mit der TU-Dresden, für Amiga Systeme entwickelt. Danach folgte der Sprung vom Amiga Sample-Editor auf eine Harddisk-Recording Software unter Windows 3.11. Im Jahr 2000 wurde Samplitude noch um ein Modul mit dem Namen Sequoia erweitert, welches die Bereiche Film, Broadcast und Mastering bedient.

Weitere Details zum Aufbau einer DAW folgen im Kapitel Aufbau einer Digital-Audio-Workstation.

Mastering Tools

Unter Mastering Tools versteht man Software, die zum Veredeln des fertigen Mixes einer DAW verwendet wird. Mit ihnen werden die letzten Feinschliffe am Frequenzgang und an der Lautstärke vorgenommen. Ziel eines Mastering Tools ist es den Gesamt-Mix so aufzubereiten, dass er möglichst homogen und harmonisch auf jedem Wiedergabesystem klingt. Es werden aber natürlich nicht nur Anpassungen vorgenommen, sondern auch Verbesserungen des Gesamtsounds, sowie den empfundenen „Druck“ des Tracks. Mastering Tools arbeiten als Plugin für eine DAW. Einige gibt es auch als sogenannte Standalone-Version, welche ohne eine DAW auskommen. Meist beinhalten sie bestimmte Maximizer, Kompressoren und auch Multiband-Equalizer, sowie deren Vintage Versionen. Unter Vintage versteht man das Simulieren von analogen Signalverläufen (meistens Röhrensignale) mit Hilfe von Algorithmen.

Notensatzprogramme

Notensatzprogramme dienen der Erstellung von Partituren, also dem Songwriting. Mit Hilfe von ihnen kann man Notenblätter erstellen und ausdrucken. In manchen Programmen können auch komplexere MIDI-Files (falls es eine Speicherfunktion dafür gibt) anhand von Noten generieren, beispielsweise für einen Orchester-Sampler. (Sampler = Elektronischer Klangerzeuger)

Audioanalysetools

Audioanalysetools dienen der Veranschaulichung von Frequenz bzw. Signalverläufen von Audiomaterial. Sie helfen dem Audio Engineer oder dem Mastering Engineer das Audiomaterial zu analysieren und durch die daraus entstandenen Erkenntnisse die Korrekturen, beispielsweise am Frequenzgang oder an der Dynamik, vorzunehmen. Ein solches Tool ist z.B. die Freeware Sonic Visualizer.

Plugins

Es gibt viele Arten von Plugins: Hall-Effekte, Delay-Effekte, Kompressoren, De-ESSER, Equalizer etc. Sie werden in den Signalweg von DAW's eingebunden und simulieren meist teure analoge Outboard-Geräte. Die Firma Steinberg entwickelte das Format VST (Virtual Studio Technology), welches hohe Verbreitung findet. Im Mac-Bereich ist das Format AU (Audio Unit), welches auf die Core Audio Engine von Apple aufsetzt. ProTools verwendet ein eigenes geschlossenes Format RTAS (Real Time Audio Suite), welches die Rechenleistung der CPU beansprucht. Das TDM (Time Division Multiplex) Format, das ebenfalls von ProTools verwendet wird, nutzt Audio-Prozessoren. Die Audio-Prozessoren befinden sich auf externen DSP-Karten am PCI-Bus des Macintosh Rechners. Die Karten werden TDM1 als MIX-Series Karte oder TDMII als HD-Karten bezeichnet. Für diese Anwendung im professionellen Studio geht dies nur unter der ProTools HD Software für Apple Macintosh.

In der Linux Welt gibt es folgende Open-Source-Plugin Schnittstellen:

- LADSPA (Linux Audio Developers Simple Plugin API) für Effekte.
- DSSI (Disposable Soft Synth Interface) für Virtuelle Instrumente.
- LV2 ist der Nachfolger der Effekte sowie Virtuelle Instrumente beherrscht.

Plugins können aber nicht nur Effekte, sondern auch eigene Tools, Sampler oder Virtuelle Instrumente sein. Es gibt beispielsweise eine ganze Reihe von Verstärker-Plugins, Synthesizer-Plugins oder Orchester- und Orgel-Plugins, die ihre Verwendung in neueren Produktionen finden.

Plugin Beispiel:

Das Freeware Plugin MiniMogue va (<http://www.home.no/gunnare>) das einen Mini-Moog-Synthesizer emuliert.

Mini Moog:



Quelle: http://www.home.no/gunnare/images/minimoque_synth-project.png

VST-Plugin:



Quelle: <http://www.home.no/gunnare/screenshot.htm>

3. Der Lautstärkekrieg

Wenn man eine Musikaufnahme von Früher (ca. vor 1992) mit einer heutigen Aufnahme vergleicht, fallen einem gewaltige Unterschiede im Bereich der Lautstärke (Pegel) und des Dynamikumfangs auf. Heute werden Audio-Tracks möglichst laut und dadurch mit weniger Dynamik gemixt und gemastert. Ältere Aufnahmen, aber auch Klassikaufnahmen (50-60dB), weisen einen hohen Dynamikumfang auf. Es gibt verschiedene Aspekte für oder gegen einen hohen Pegel.

Ein hoher Pegel kann beispielsweise durch einen Schlag auf die Snare-Drum kurzzeitig 0dB erreichen. Allerdings ist nicht der Pegel, also die Amplitude ausschlaggebend, sondern der Effektivwert RMS. Dieser ist das Produkt aus Amplitude und Wurzel aus 2.

Der Zuhörer schenkt der lautereren Musik mehr Aufmerksamkeit (Werbung im Fernsehen etc.). Der Zuhörer empfindet also hohe Lautstärke als gut.

Aber:

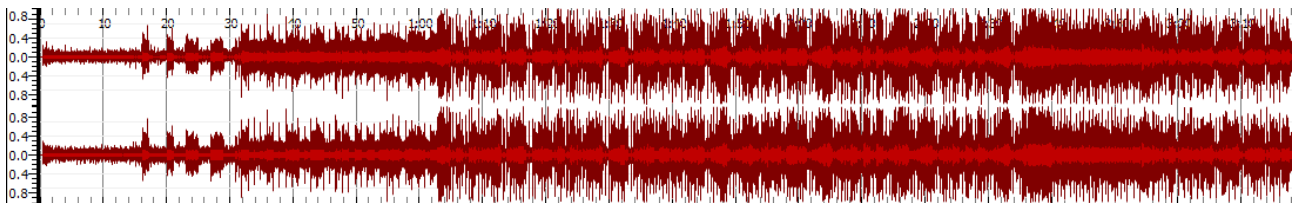
Stetige Dauerbelastung des Gehörs durch konstante Lautstärke führt zur Ermüdung des Gehörs. Der ganze Song wirkt kalt und nicht mehr lebendig und immer gleich laut.

Um den hohen RMS Wert zu erreichen, verwendet man Limiting und Kompression.

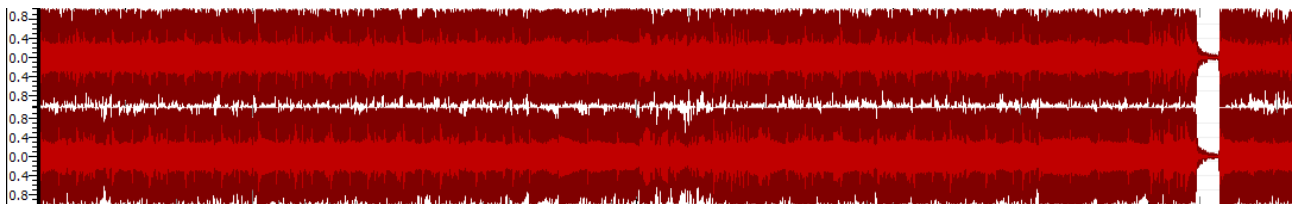
Zu hohe Kompression kann im Audio-Track zum Pumping führen. Das überkomprimierte Instrument übertönt alle anderen und senkt dadurch deren Lautstärke ab.

Des Weiteren, kann es zum Clipping kommen, was eine Überschreitung des 0dB Pegels bedeutet und somit zu unerwünschten Zerrungen führt.

Alte Aufzeichnung von Früher:

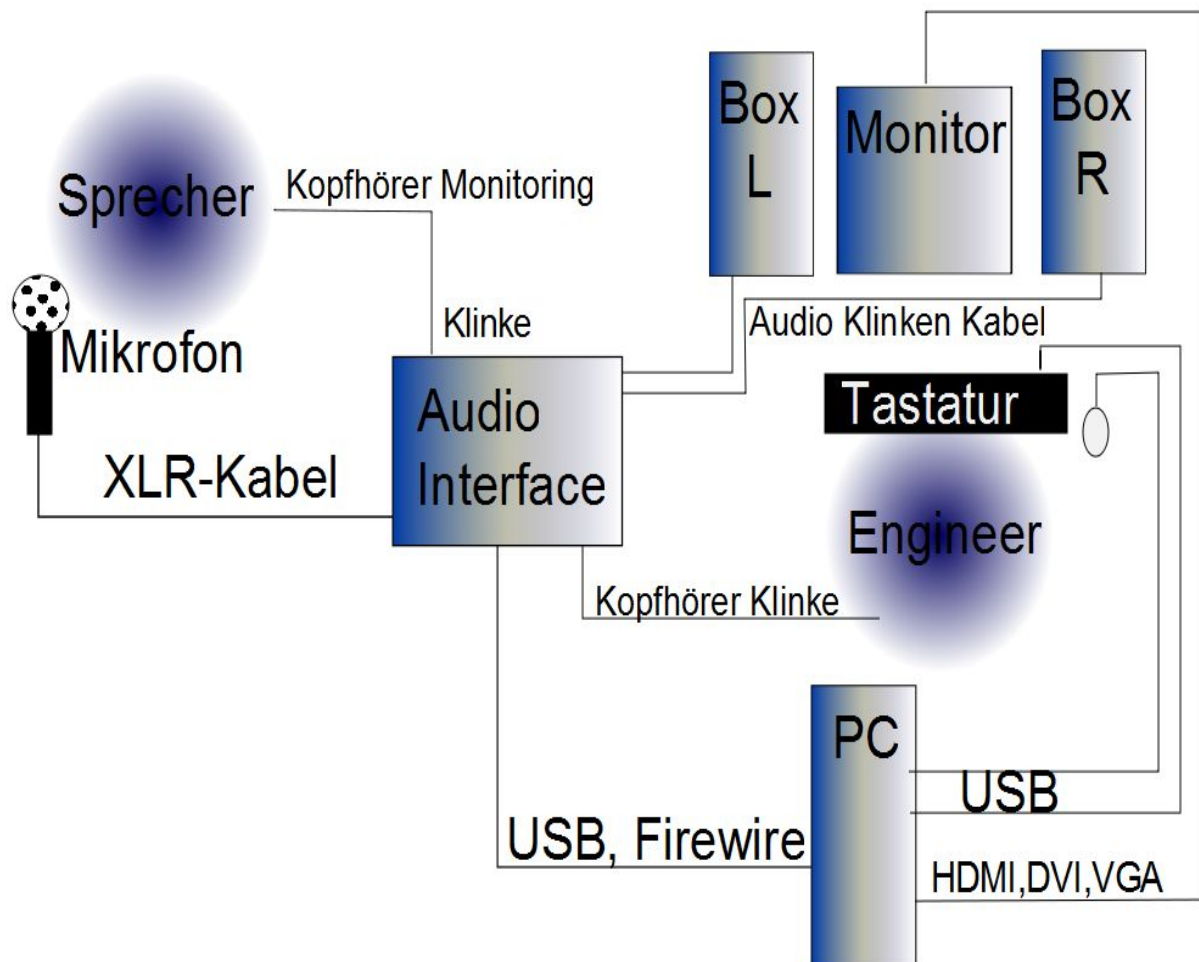


Überkomprimierte Aufnahme von Heute:



4. Beispielaufnahme

Zur Beispielaufnahme wird eine Debian Squeeze Distribution mit der Software Ardour verwendet. Unter Linux gibt es noch nicht für jedes Audio-Interface bzw. Soundkarte funktionierende Treiber. Mit der Freeware JackAudio (www.jackaudio.org) wird unter Linux die Verbindung zum Audio-Interface bzw. zur Soundkarte hergestellt. Im JackAudio Connection Kit Menü kann man dann die benötigte Auflösung und Abtastfrequenz wählen. Als nächstes wird die Software Ardour geladen und über Spur → neue Spur erstellen → Mono → Anlegen erstellt. Danach wird der Eingang für die neue Spur eingestellt und die Spur in den Aufnahmemodus versetzt. Danach folgend, stellt man im Hauptfenster ebenfalls den Aufnahmemodus ein und betätigt anschließend die Play-Taste, um die Aufnahme zu starten. Durch das Drücken der Stop-Taste wird die Aufnahme beendet und man kann die Wellenform in der Spur betrachten. Anschließend wird der Aufnahmemodus der Spur wieder deaktiviert und die Spur mit Hilfe der Werkzeuge bearbeitet. (Spuren immer ausfaden!)



Aufbau Beispielaufnahme

5. Wie funktioniert HD-Recording eigentlich am PC?

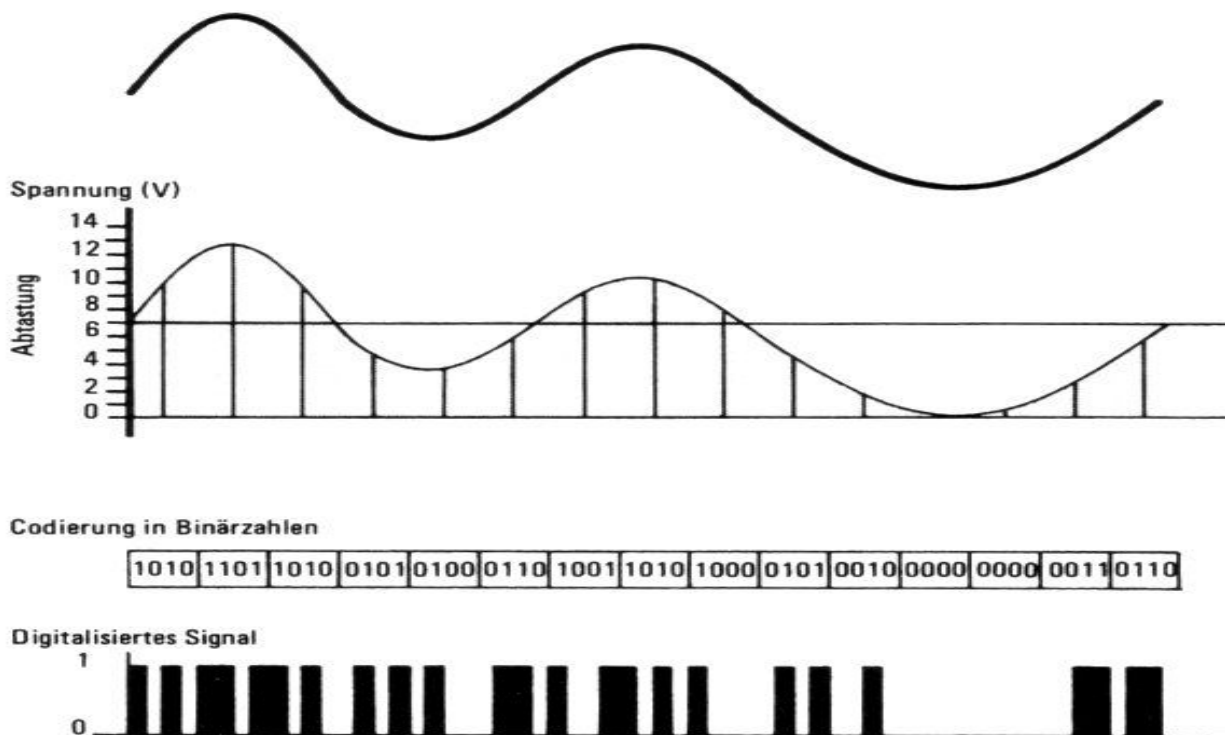
Das Eingangssignal wird mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandlers in einen Binären Bitstrom umgewandelt. Dabei wird eine Schwingung, zunächst in möglichst kurzen Zeitabständen hinsichtlich der gerade vorliegenden Spannung abgetastet, d.h. es werden in Abhängigkeit einer Abtastfrequenz (engl. Sampling Rate) Proben entnommen (Sampling). Das Signal der Schwingung wird in stufenförmige Werte zerlegt (Quantisierung).

Die Abtastrate für das Signal sollte für das Erstellen einer Audio-CD mindestens 44.1kHz bei einer Quantisierungsauflösung von mindestens 16 Bit betragen. Da die Abtastrate mehr als doppelt so hoch (44.1kHz) wie die Höchste zu übertragende Frequenz (20kHz HIFI) am Eingang sein muss (Shannonsches Abtasttheorem). Folglich muss bei einem zu übertragenden Frequenzbereich von 20kHz die Abtastrate mindestens 40kHz betragen. Da bei der Umwandlung des digitalen Signals zurück ins Analoge (CD-Player) wiederum mindestens 20kHz hörbar sein müssen.

Standardmäßig verwendet man heute 48kHz mit einer Auflösung von 24 Bit.

Die Aufnahme Software stellt den Bitstrom meistens als Waveform (Wellenform) dar.

Beispiel für eine AD Wandlung:



Analog/Digital-Wandler (A/D-Wandler).
(vgl. dazu die komplementäre Abbildung zum D/A-Wandler)

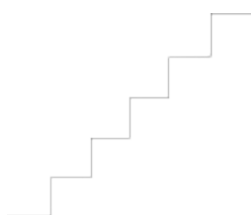
Quelle: http://www.musik.uni-osnabrueck.de/lehrende/enders/lehre/App_Musik_I/AD_Wandlung_1.jpg

Im dargestellten vereinfachten Beispiel, gibt es 16 Stufen, was einer Auflösung von 4Bit entspricht.

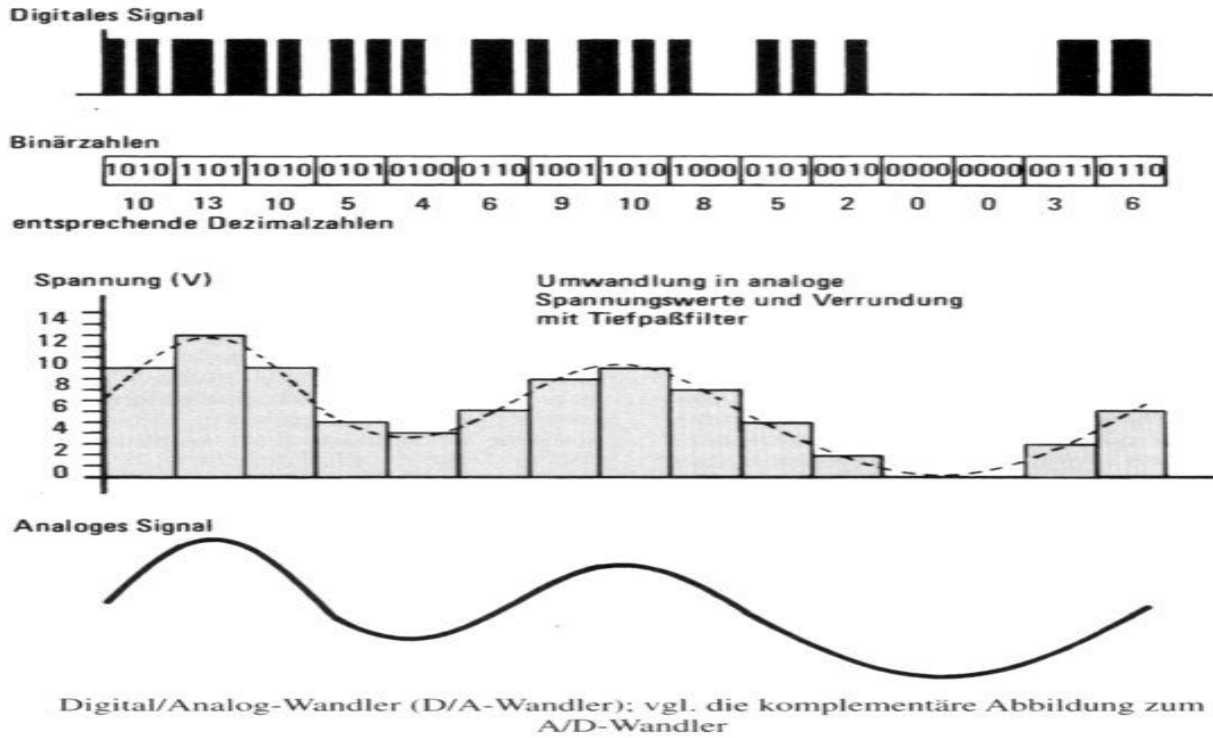
Die Schwingung wird in Binärzahlen umgewandelt. Die höchstmögliche Zahl wäre z.B. bei 16 Bit Auflösung 2^{16} also 65536. Allerdings geht es in der Audiotechnik nicht um Spannungswerte, sondern um Werte in Dezibel [dB]. Ein 16-Bit-Wandler, der 65536 Stufen unterscheiden kann, kommt auf 96 dB. Da ein Signal Rauschabstand pro Bit von 6dB besteht. Folglich $16\text{Bit} * 6\text{dB} = 96\text{ dB}$ maximaler Dynamikumfang.

Stufenförmiges Signal:

6dB pro Bit



Beispiel einer DA Wandlung:



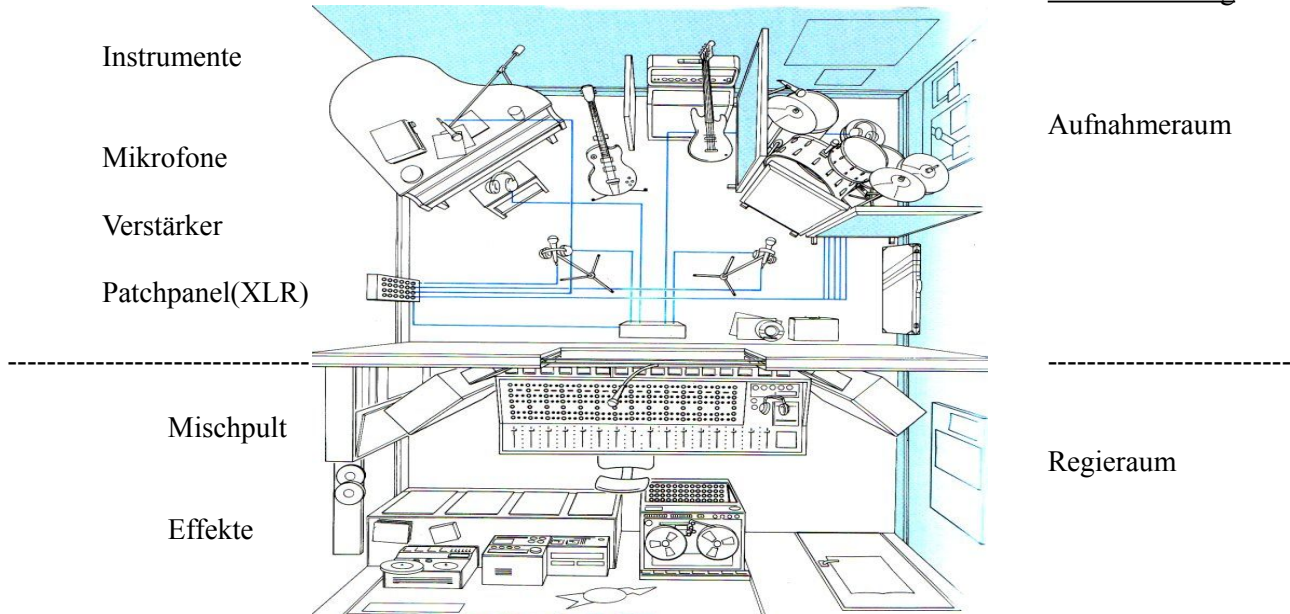
Quelle: http://www.musik.uni-osnabrueck.de/lehrende/enders/lehre/App_Musik_I/AD_Wandlung_2.jpg

Im vorherigen Bild wird nur eine Auflösung von 4Bit zurück zum Ausgangssignal gewandelt. Hier sieht man sehr schön die Quantisierungsfehler. (Lücken zwischen Balken und Kennlinie) Folglich geschieht bei dieser Art der AD/DA Wandlung nur eine Annäherung an das Eingangssignal. Zur Rundung des Signals wird ein Tiefpassfilter verwendet.

6. Digital-Audio-Workstations und deren Aufbau

Digital-Audio-Workstation (DAW) ist der Begriff für eine Software, die wesentliche Bereiche eines Studios durch digitale Software ersetzt und sowohl MIDI als auch Audio-Signale, auf dem PC bzw. die Harddisk, aufnehmen sowie speichern kann.

Raumeinteilung:



Quelle: http://www.musik.uni-osnabrueck.de/lehrende/enders/lehre/App_Musik_I/studio_jpg

Eine DAW beinhaltet die Möglichkeiten am PC MIDI-Recording, Audio-Recording (HD-Recording) und Mixing, sowie Mastering zu betreiben. Es ist auch möglich komplette virtuelle Instrumente zu Spielen oder digitale Effekte zu verwenden, die über Plugins eingebunden werden.

Aufbau des Hauptfensters:



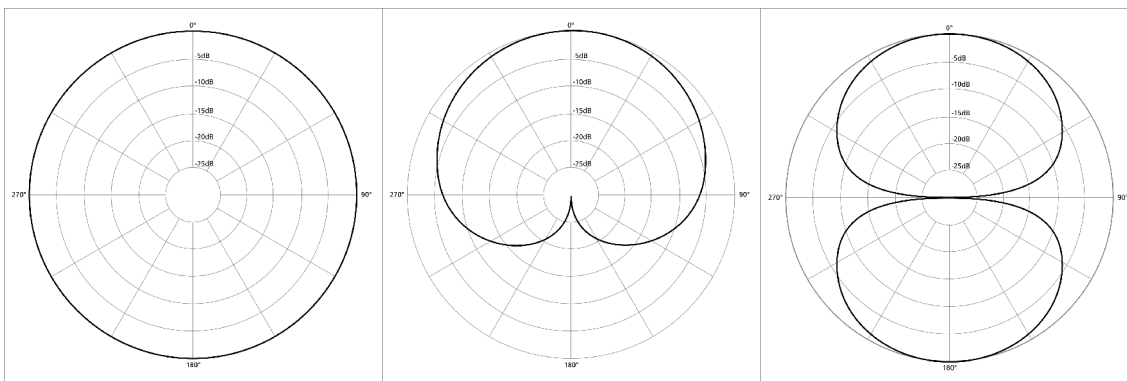
Dieses Bild zeigt beispielhaft ein Hauptfenster einer DAW. Die beschrifteten Elemente sollten grundsätzlich vorhanden sein (der Transport ist zumindest einmal verankert), andere Dinge variieren je nachdem ob der DAW ein Audio - oder ein MIDI-Editor zugrunde liegt.

Aufbau des Mixer-Fensters:



Auch hier können wahlweise Elemente anders aussehen bzw. angeordnet sein.

Auszug aus den Richtcharakteristiken für Mikrofone:



Quellen: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/Polar_pattern_figure_eight.png http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6d/Polar_pattern_cardioid.png http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/Polar_pattern_omnidirectional.png

Kugelcharakteristik

Nierencharakteristik

Achtcharakteristik

Die Richtcharakteristik zeigt an bzw. stellt ein aus welchen Richtungen das Mikrofon auf Beschallung empfindlich ist. Die Schallwellen werden im Mikrofon in ein analoges Signal gewandelt und an das Audio-Interface weitergeleitet.

Die Abbildungen sind Ideal angesehen. In der Praxis hat jedes Mikrofon seine ganz eigene Charakteristik, selbst wenn seine Richtcharakteristik eingestellt werden kann.

Reduzierung von Zisch-Lauten:

Bei der Aufnahme mit Mikrofonen können so genannte Zisch (ts, sch,...) Laute auftreten.

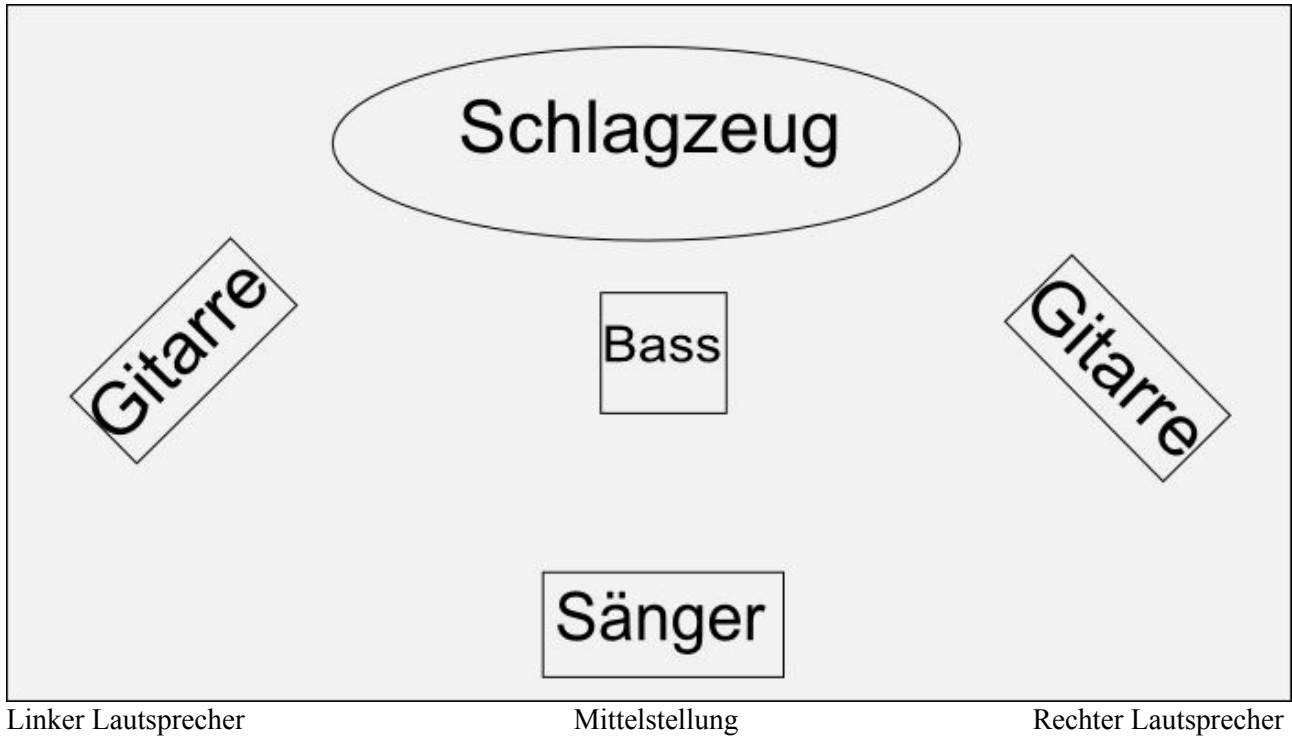
Zur Reduzierung verwendet man ein DE-ESSER Plugin.

Es mindert den Hochfrequenzbereich, indem diese Laute vorkommen.

Panoramaregelung:

Mit Hilfe der Panoramaregler (siehe Bild des Mixers auf vorheriger Seite) wird die Ortung der Instrumente bzw. der Stimmen im Mix realisiert. Man kann sich die Einstellungen so vorstellen, wie auf einem Konzert. Allerdings ist der Bass mit der Base-Drum des Schlagzeugs auf Panorama-Stellung 0, also Mitte.

Beispiel zur Anordnung einer Band im Panorama:



Reglerstellungen:

100% Links Anschlag

0

100% Rechts Anschlag

7. Vorgehensweise beim Aufnehmen mit DAW's

1. Neues Projekt anlegen (24Bit, 48kHz)
2. Tempo des Stückes festlegen (bei reiner Sprachaufnahme evtl. nicht erforderlich)
3. Falls noch nicht vorhanden Master-Spur (Summenausgang) anlegen
4. Spur anlegen:
 - Was möchte ich aufnehmen MIDI oder Audio Signale?
 - Falls ich Audio-Signale aufnehme, benötige ich eine Mono oder eine Stereo Spur? (Anzahl Mikrofone)
5. Nach Anlegen der Spur, die Effekte im Mix-Fenster einbinden, die während der Aufnahme benötigt werden! (De-ESSER für Gesang und Sprache)
Effekte, wie Kompressoren oder Ähnliches, während der Aufnahme deaktivieren!
6. Zum Aufnehmen, die Spuren auf Record stellen und im Transport in den Aufnahmemodus wechseln
7. Signalpegel einstellen, sowohl für die Aufnahme, als auch für das Monitoring (Selbsthören des Sprechers etc.)
8. Beginn der Aufnahme durch Drücken der Play-Taste
9. Wenn genügend Material aufgenommen wurde, folgt die Bearbeitung des aufgenommenen Materials mit Hilfe der Werkzeuge:
 - Hierbei werden die verschiedenen Spuren zugeschnitten und ggf. Rauschen oder Nebengeräusche entfernt
 - Jede Spur sollte ausgefadet werden!
10. Als nächstes werden die Signale im Mischpult gemixt:
 - Dabei sollte der Signalpegel der Masterspur nicht über 0dB gelangen!
 - Falls die Spuren im Raum positioniert werden sollen, wird hierzu der Panorama-Regler verwendet
 - Hinzufügen weiterer Effekte geschieht über die Plugin-Sektion in den Insert-Bussen oder an der Spur direkt im Einschleifweg.
11. Bevor der Track heruntergerechnet (bouncing) wird, fügen wir als „Mastering“-Effekt einen Maximizer hinzu, welchen wir zum Beispiel wie folgt einstellen:
Einstellung Maximizer für AudioCD:
 - Auflösung 16 Bit
 - Dithering bzw. Dither aktivieren
(Hinzufügen eines Gegenrauschens, da beim Herunterrechnen Rauschen entsteht)
 - Release Zeit von 250ms
 - Threshold von -3.0 dB
 - Mixing Wert (Anteil am Mix) auf 100%
 - Ceiling Wert auf -0.1 dB

Schlusswort

Meiner Meinung nach kann man mit jeglicher Art von DAW ein gutes Ergebnis erzielen. Es hängt im Wesentlichen vom Gehör des Audio-Engineers und dessen Kenntnissen ab. In dieser Arbeit wollte ich einen Überblick geben, welche Möglichkeiten es gibt mit Hilfe von Software am PC Audio-Signale aufzunehmen und welche komplexe Vorgänge sich dahinter verbergen.

Quellen:

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,543754,00.html>
<http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/>
http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/krieg_der_pegel.pdf
http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/Mastering_Mueller.pdf
http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/Hardware_vs_Plugins.pdf
<http://www.steinberg.net/de/company/aboutsteinberg.html>
http://de.wikipedia.org/wiki/Steinberg_Media_Technologies
<http://www.audiosonica.com/en/course/post/2/Index>
http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/Audiokommunikation_Computer.pdf
<http://www.itwissen.info/uebersicht/lexikon/Audiotechnik.html?page=0>
http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/MIDI_Pasold.pdf
http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/Digitale_Audiosignalverarbeitung_Neumann.pdf
http://de.wikipedia.org/wiki/Pro_Tools
<http://de.wikipedia.org/wiki/Digidesign>
http://de.wikipedia.org/wiki/Digital_Audio_Workstation
http://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter#Application_to_music_recording
<http://de.wikipedia.org/wiki/A/D-Wandler>
<http://de.wikipedia.org/wiki/Tontechnik>
<http://de.wikipedia.org/wiki/Samplitude>
<http://de.wikipedia.org/wiki/Audio-Fachbegriffe>
http://de.wikipedia.org/wiki/Sequencer_%28Musik%29
<http://de.wikipedia.org/wiki/Tonaufnahme>
http://de.wikipedia.org/wiki/Harddisk_Recording
<http://www.sengpielaudio.com/Tutorium01.htm>
<http://www.sengpielaudio.com/Tutorium02.htm>
http://www.beis.de/Elektronik/DeltaSigma/SigmaDelta_D.html
http://www.musik.uni-osnabrueck.de/lehrende/enders/lehre/App_Musik_I/AD_DA_Wandler.html
http://www.musik.uni-osnabrueck.de/lehrende/enders/lehre/App_Musik_I/studio_.jpg
http://www.musik.uni-osnabrueck.de/lehrende/enders/lehre/App_Musik_I/AD_Wandlung_1.jpg
http://www.musik.uni-osnabrueck.de/lehrende/enders/lehre/App_Musik_I/AD_Wandlung_2.jpg
http://www.dra.de/rundfunkgeschichte/radiogesichte/pdf/historie_der_schallaufzeichnung.pdf
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/Polar_pattern_figure_eight.png
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6d/Polar_pattern_cardioid.png
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/Polar_pattern_omnidirectional.png
http://www.home.no/gunnare/images/minimoque_synth-project.png
<http://www.home.no/gunnare/screenshot.htm>

Softwarelinks

Freeware DAW's für Linux:

<http://www.ardour.org/>
<http://www.rosegardenmusic.com/>

Freeware Audio-Editor:

<http://audacity.sourceforge.net/?lang=de>

Freeware Audioplayer:

<http://www.foobar2000.org/>

Freeware Audioanalyser:

<http://www.sonicvisualiser.org/>

Video Workshops:

<http://www.musotalk.de/video-workshops/>