

Stereo-Mikrofonverfahren

- Zwei Mikrofone nehmen dasselbe Signal auf.
- Intensitätsstereofonie:
 - z.B. XY-Anordnung: Zwei Mikrofone mit Nierencharakteristik um 90° oder 120° zueinander verdreht
 - Hohe "Präsenz"
- Laufzeitstereofonie:
 - z.B. AB-Anordnung: Zwei Mikrofone mit Kugelcharakteristik in ca. 50 cm Abstand
 - Hohe "Räumlichkeit"
- Äquivalenzstereofonie:
 - Naturgetreue Nachbildung des menschlichen Hörens
 - z.B. mittels Kunstkopf (Kopfnachbildung mit Mikrofon-"Ohren")
 - z.B. mittels Ohrmikrofonen ("Originalkopf")



Mikrofonierung

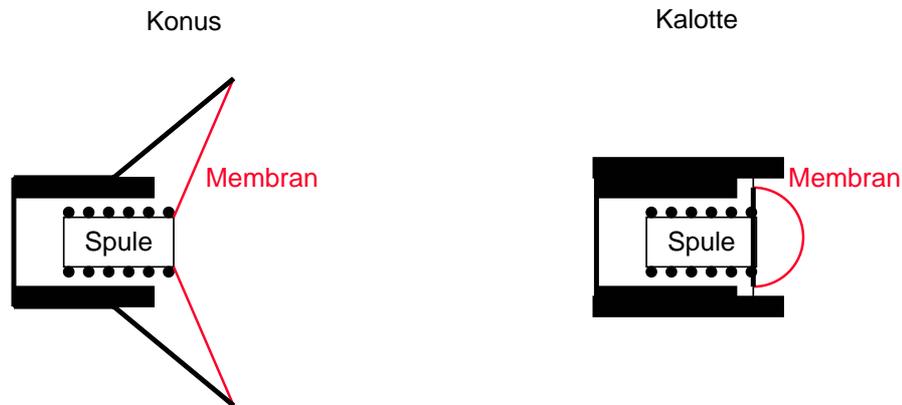
- Auswahl von
 - Mikrofontyp
 - Richtcharakteristik
 - Platzierung zur Schallquelle
 - Raummikrofone vs. Einzelmikrofone (oft beides)
- Problemfelder:
 - Nahbesprechungseffekt (Anhebung tiefer Frequenzen)
 - Interferenz zwischen Direktschall und Reflexionen
 - Wind- und Popp-Geräusche
 - Trittschall

Sprecher nahe am Mikrofon, kein Poppchutz

Sprecher unter Mikrofon, mit Poppchutz



Konus- und Kalottenlautsprecher

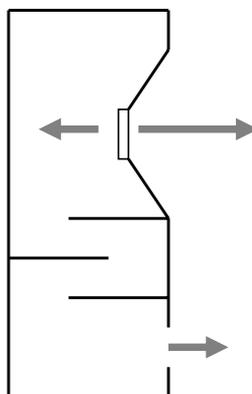


Typischerweise bestehen Lautsprecherboxen aus mehreren verschiedenen Einzellautsprechern mit einer "Frequenzweiche"
z.B. Hochtöner, Mitteltöner, Tieftöner

Lautsprecher werden in Boxen eingebaut, um "akustischen Kurzschluss" (sofortigen Druckausgleich) zu vermeiden

Bass-Reflexbox

- Durch Einbau in Gehäuse geht ca. 50% der Schallenergie verloren
- Bei Bass-Lautsprechern lenkt man die rückwärtige Schallkompression nach vorne um, um den Wirkungsgrad zu verbessern.



7. Digitale Tonverarbeitung

- 7.1 Akustische Grundlagen der Audiotechnik
- 7.2 Audio-Aufnahme- und Wiedergabetechnik
- 7.3 Analoge Audio-Verarbeitungsketten 
- 7.4 Digitale Audiotechnik
- 7.5 Software zur Tonbearbeitung
speziell: Tonbearbeitung in Java

Java Sound

Literatur:

- M. Warstat, Th. Görne: Studiotechnik, 5. Auflage, Elektor-Verlag 2002
- H. Raffaseder: Audiodesign, Fachbuchverlag Leipzig 2002

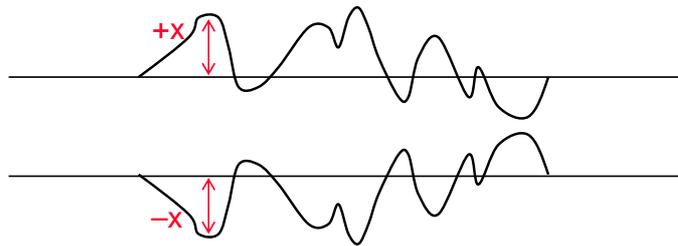
Analoge Komponenten zur Audio-Verarbeitung

- Mikrofon, Lautsprecher, Kopfhörer
- Verstärker
 - Vorverstärker
 - Endverstärker
- Equalizer
- Mischpult
- Effektgeräte
- Klangerzeugung (Synthesizer)
- Rauschverminderer (Kompander)
- Tonbandgeräte (Mehrspurgeräte)

- Mit Digitaltechnik (teilweise rein durch Software) realisierbar:
 - Equalizer, (Digital-)Mischpult, Effektgeräte, Synthesizer, Speicherung
- Typische analoge Komponenten:
 - Klangwandler, Verstärker, Kompander, (Analog-)Mischpult

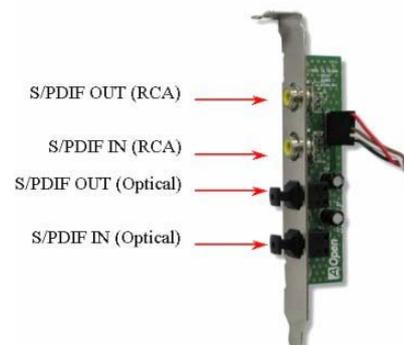
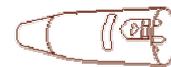
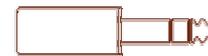
Anschlussstechnik: Leitungen

- Leitungen grundsätzlich abgeschirmt
 - unsymmetrisch (*unbalanced*):
 - » Eine signalführende Leitung
 - » Abschirmung = Erdung = Nullpotential für Signal
 - » geeignet für kurze Leitungslängen
 - symmetrisch (*balanced*):
 - » Zwei signalführende Leitungen, erdfreie Signalführung
 - » Signal auf der zweiten Leitung um 180° phasenverschoben
 - » Evtl. Störeinkopplungen heben sich durch Interferenz auf
- In der Studio- und Bühnentechnik *nur symmetrische* Leitungen
 - d.h. dreipolige Stecker



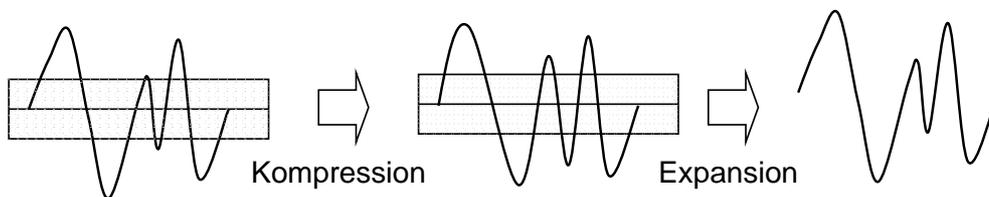
Anschlussstechnik: Steckernormen

- Klinkenstecker, zweipolig (6,3 mm)
 - symmetrische Beschaltung (dann nur Mono-Signal!)
 - unsymmetrische Beschaltung (dann Stereo)
- XLR-Stecker
 - symmetrische Beschaltung
 - » vor allem für (Kondensator-)Mikrofone verbreitet
 - unsymmetrische Beschaltung
 - digitale Variante: AES/EBU
- Cinch-Stecker
 - nur symmetrische Beschaltung
 - selten im professionellen Einsatz
- S/PDIF
 - Sony/Philips Digital Interface
 - Digitalschnittstelle, verwendet entweder Cinch-kompatible Verbinder (elektrisch) oder optische Schnittstelle



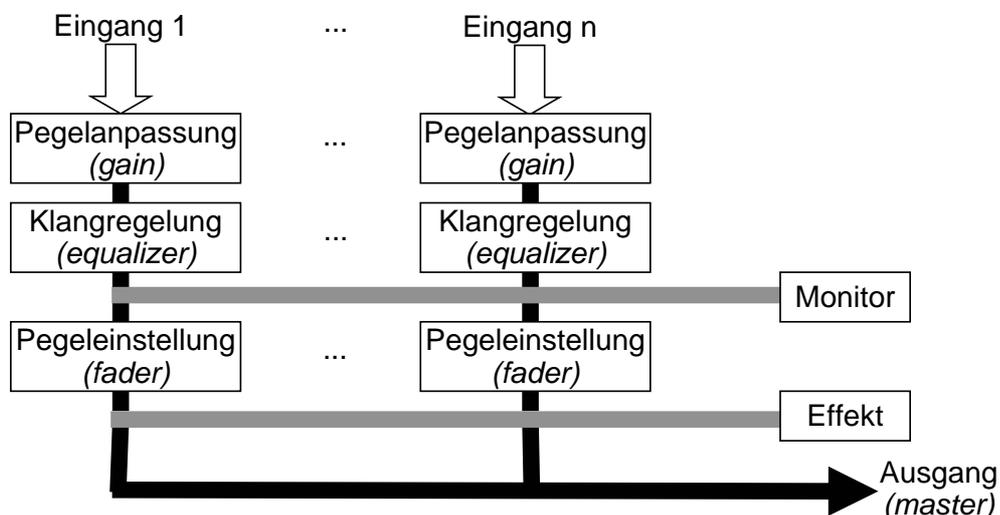
Komponder

- Typische Komponente für Analogtechnik
- Analoge Komponenten führen zu störendem Rauschen
 - vor allem "Eigenrauschen" bei Magnetbandaufzeichnung
 - Bei Tonbandaufnahmen mit grosser "Dynamik" (d.h. grossem Unterschied zwischen höchstem und niedrigstem Signalpegel) stört das Bandrauschen die leisen Passagen
- Abhilfe: Kompressor – Expander (= Komponder)
 - Signal wird auf kleineren Dynamikumfang "komprimiert" (leise Passagen angehoben, laute abgesenkt) und später wieder "expandiert"
 - » Kompressor und Expander auch als separate Klangeffekte, sh. später
 - Bekannte Produktstandards: Dolby A/B/C/SR, dbx



Mischpult

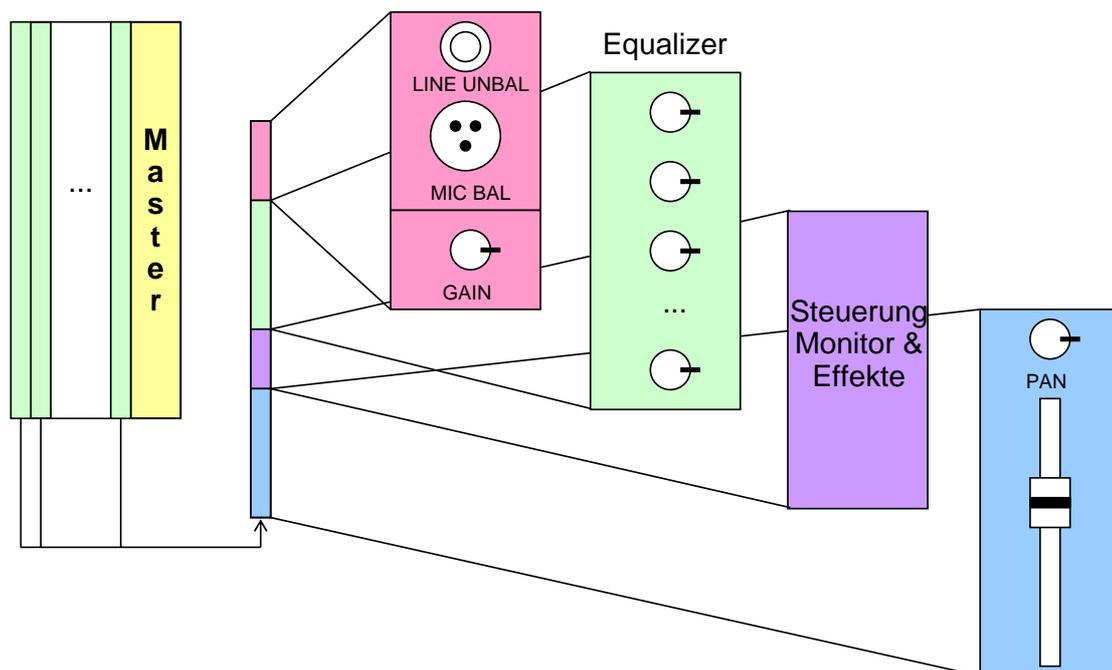
- Tonregieanlage: Herzstück eines Tonstudios
 - Pegelanpassung
 - Klangbearbeitung
 - Signalverteilung



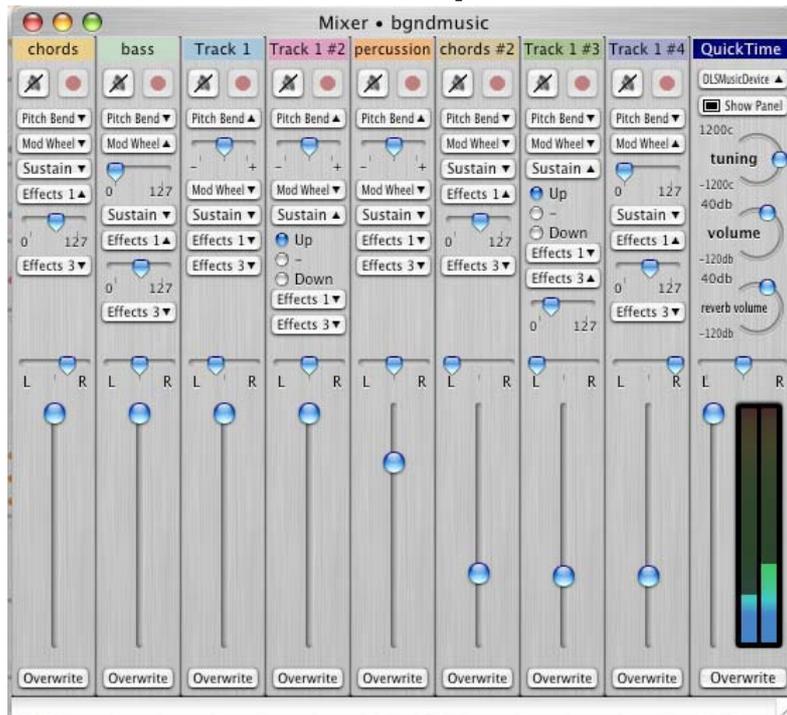
Reale Audio-Mischpulte



Bedienungselemente eines Mischpults (Prinzip)



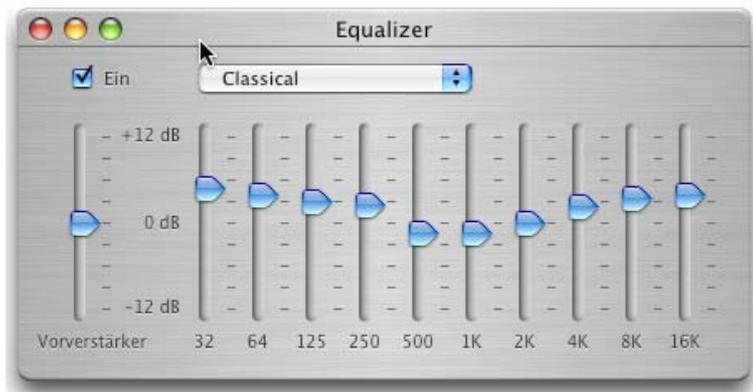
Ein virtuelles Mischpult



Software:
Intuem 2.1.0

Equalizer

- Ursprungsidee:
 - Ausgleichen von Frequenzgang-Unterschieden zwischen verschiedenen Mikrofonen
- Heutzutage:
 - Generelles Instrument zur frequenzselektiven Klangveränderung
 - Bedienung meist als "graphic equalizer"

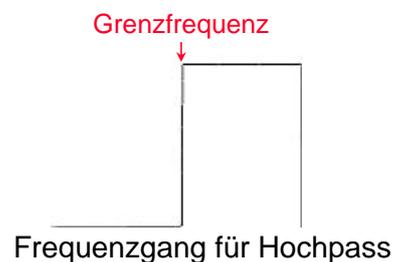
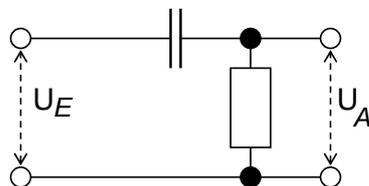


Frequenzfilter

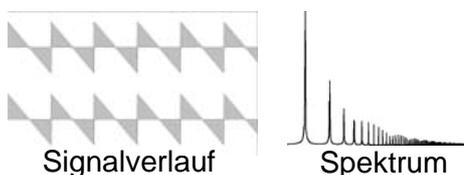
- Frequenzfilter sind Schaltungen oder Algorithmen, die ein von der Frequenz abhängiges Übertragungsverhalten von Eingang zu Ausgang aufweisen.
- Klassische Analogtechnik:
 - Filter aus Elektronik-Bauelementen (Widerstände, Kondensatoren, Spulen)
- Digitaltechnik:
 - Filter als digitaler Signalverarbeitungsbaustein (digitale Hardware)
 - Software-Filter
- Einfache Standard-Filterformen:
 - Hochpass, Tiefpass
 - Bandpass, Bandsperre
- Komplexe Spezialfilter:
 - In aufwändigen Effektgeräten in Hardware realisiert
 - Relativ einfach in Software zu realisieren

Hochpass

- Hochpass: lässt hohe Frequenzen durch, blockiert niedrige Frequenzen
- Elektrotechnische Realisierung
 - "RC-Hochpass erster Ordnung"



Eingangssignal:
Sägezahnswingung

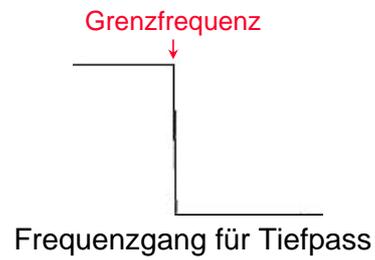
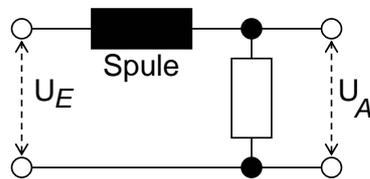


Resultat nach Hochpass:

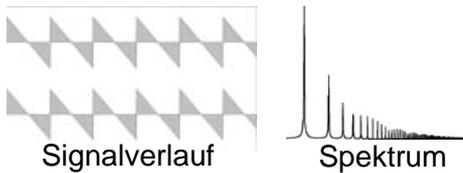


Tiefpass

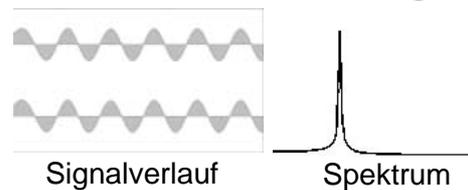
- Tiefpass: lässt tiefe Frequenzen durch, blockiert hohe Frequenzen
- Elektrotechnische Realisierung
 - "RL-Tiefpass erster Ordnung"



Eingangssignal:
Sägezahnswingung

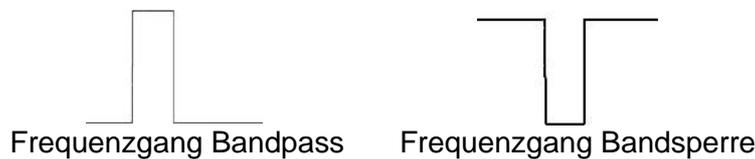


Resultat nach Tiefpass:

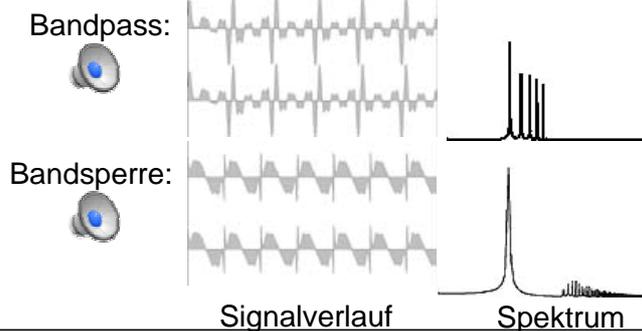
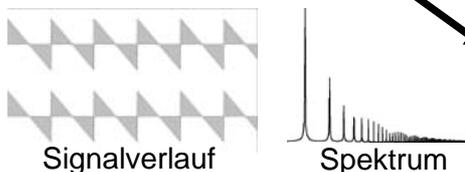


Bandpass, Bandsperre

- Bandpass: lässt Frequenzen in bestimmtem Intervall durch, blockiert andere Frequenzen
- Bandsperre: blockiert Frequenzen in bestimmtem Intervall durch, lässt andere Frequenzen durch



Eingangssignal:
Sägezahnswingung



7. Digitale Tonverarbeitung

- 7.1 Akustische Grundlagen der Audiotechnik
- 7.2 Audio-Aufnahme- und Wiedergabetechnik
- 7.3 Analoge Audio-Verarbeitungsketten
- 7.4 Digitale Audiotechnik 
- 7.5 Software zur Tonbearbeitung
speziell: Tonbearbeitung in Java
Java Sound

Literatur:

- M. Warstat, Th. Görne: Studiotechnik, 5. Auflage, Elektor-Verlag 2002
- H. Raffaseder: Audiodesign, Fachbuchverlag Leipzig 2002

Digitale Audio-Information

- Analog/Digital-Wandlung durch Sampling:
 - Abtastung des Originalsignals in fester Frequenz mit fester Auflösung
 - » Abtastrate min. 44,1 kHz, heute oft auch 96 kHz
 - » Qualitätsverbesserung für leise Signale durch *Dithering* (Einfügen von Rauschen um Rundungsfehler zu umgehen)
 - Ermöglicht Weiterverarbeitung jedes beliebigen Tonsignals
 - In Tonbearbeitungs-Software: "Audio-Clip", "Audio-Track"

- Digital erzeugte Audio-Information:
 - z.B. digitales Keyboard (bzw. andere digitale Geräte wie Drumpad, Gitarre, Saxophon)
 - MIDI-Standard ("Musical Instruments Digital Interface")
 - Direkte Aufzeichnung der Ereignisse beim Musizieren
 - Wiedergabe nur durch Klangsynthese möglich (Synthesizer)
 - In Tonbearbeitungs-Software: "MIDI-Track"

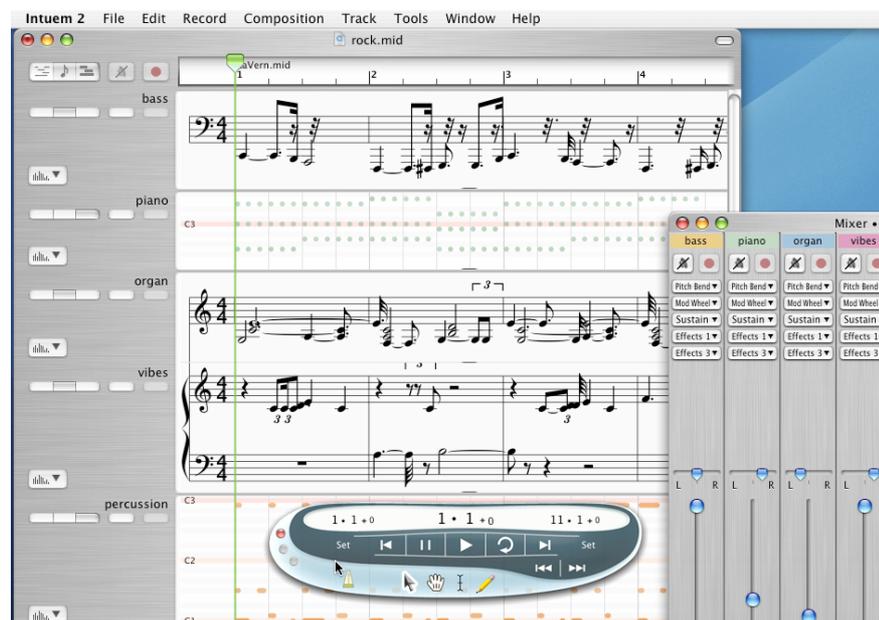
Soundkarten



- Bestandteile:
 - Digitaler Signal-Prozessor (DSP)
 - » Digital-Analog-Converter (DAC)
 - » Analog-Digital-Converter (ADC)
 - Speicher (z.B. für Wellenformen bei Klangsynthese und als Puffer)
- Anschlüsse:
 - Analoge und digitale Audio-Ein-/Ausgänge
 - MIDI-Ein-/Ausgänge
 - Raumklang- (Surround Sound-)Ausgänge
- Einfache Soundfunktionalität heutzutage meistens "on board" (d.h. auf dem Mainboard integriert)
- Geschichte:
 - Xerox Alto Prototyp beherrscht einfache Audio-Verarbeitung (1972)
 - Erster Audio-fähiger Kleincomputer für den Massenmarkt: Apple Macintosh (1982)

Sequencer-Software

- Aufnahme und Erstellung (Komposition) von MIDI-Daten
- Mischen von MIDI-Spuren und digitalisierten Audio-Daten (virtuelles Mischpult)
- Digitale Effekte



Musical Instruments Digital Interface - MIDI

- 1983 von Industriekonsortium standardisiert
- Serielles Übertragungsprotokoll
 - MIDI-Befehl besteht aus drei Teilen (Bytes)
 - » Statusbyte: Was ist zu tun?
 - » Zwei Datenbytes: Wie ist es zu tun?
 - Beispiel:
 - » Statusbyte: "Note On" (Taste gedrückt)
 - » 1. Datenbyte: Welche Taste
 - » 2. Datenbyte: Geschwindigkeit des Anschlags
 - Weitere organisatorische Befehle
 - » z.B. "ProgramChange" (Instrumentwechsel), Effektsteuerung
- MIDI-Ereignis:
 - Befehl mit Zeitstempel
- Datenrate: 31.250 bps
 - In der Praxis meist unproblematisch

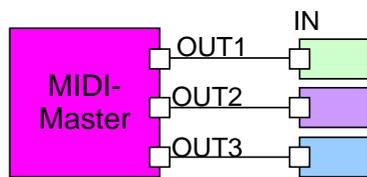
Elektronische Klangerzeugung

- Klangerzeugungsprinzipien
 - Klangsynthese durch Überlagerung von Sinustönen
 - Frequenzmodulation (FM)
 - „Wavetable“-Verfahren
 - » Basiert auf Aufnahmen realer Töne (Sampling)
 - Akustische Modellierung
 - » Versucht reale Klangerzeuger mathematisch nachzubilden
- Klangerzeuger in Soundkarten enthalten oder externe Geräte (Synthesizer)

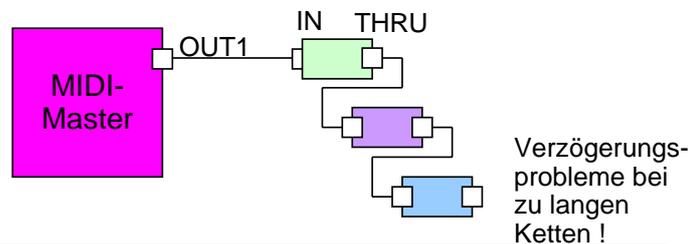
MIDI-Anschlussstechnik

- Traditionelle MIDI-Anschlussstechnik:
 - 5-polige DIN-Stecker
 - Jedes MIDI-Gerät besitzt Eingang (MIDI-IN) und Ausgang (MIDI-OUT)
 - Viele MIDI-Geräte leiten das Eingangssignal an weitere Buchse weiter (MIDI-THRU)
 - Erlaubt Ketten-(=Daisy-Chain-) und Stern-Topologien
 - "Patch Bay": Schaltbarer Verteiler
- Moderne MIDI-Anschlussstechnik:
 - MIDI-Geräte über USB angeschlossen ("MIDISport")

MIDI-Stern:

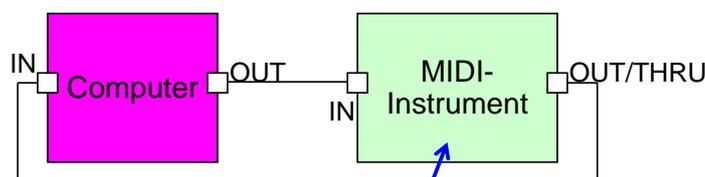


MIDI-Kette:



MIDI-Schleife

- Daten sollen auf Computer gespeichert (aufgenommen) und vom Instrument abgespielt werden
- Einfache Beispiel-Konfiguration (längere Ketten möglich):



Um Rückkopplungseffekte zu vermeiden:
"LOCAL ON/OFF"
(Schalter am MIDI-Instrument)

Wichtige MIDI-Begriffe

- MIDI Device:
 - Meist externes Gerät (z.B. Keyboard, Synthesizer)
 - kann auch internes Gerät oder Softwarelösung sein
- MIDI Instrument:
 - Klang, der von einem Klangerzeuger realisiert wird
- Programm:
 - Numeriert von 1 bis 128, bezeichnet Instrument
 - Standardisierte Klänge/Instrumente: *General Midi*
 - Ausserdem möglich: Spezielle Instrumente installieren (müssen aber dann bei Wiedergabe vorhanden sein)
- Klangbank (*sound bank*):
 - Enthält Satz von MIDI-Instrumenten und eine spezielle Zuordnung von Klängen/Instrumenten zu den Programmnummern
- Kanal:
 - Bis zu 16 verschiedene Instrumente in einem MIDI-Ereignisstrom ansteuerbar
 - » Wichtig: Kanal Nr. 10 bedeutet Interpretation als Schlagzeug

Digitale Bearbeitung von Audiodaten

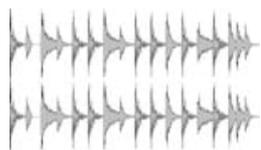
- In Sequencer-Programmen bearbeitet:
 - Digitalisierte Analogdaten oder
 - MIDI-Daten oder
 - eine Mischung beider Arten
- Effekte:
 - Bei MIDI-Daten:
 - » Beeinflussung des Klangerzeugers
 - Bei digitalisierten Audiodaten:
 - » Digitales Äquivalent analoger Audio-Effektfilter (*online*)
 - » Realzeitbedingungen machen oft Spezialhardware nötig
- Digitale Nachbearbeitung für digitalisierte Audiodaten :
 - zur Erzeugung zusätzlicher Klangeffekte
 - zur Gestaltung von Audio-Präsentationen ("digitaler Schnitt")
 - zur Qualitätsverbesserung
 - *offline*, d.h. reine Softwarelösungen möglich

Bearbeitung der Amplitude

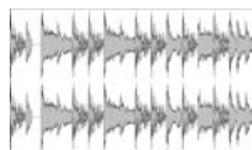
- Verstärken, Dämpfen, "Normalizing":
 - nachträgliche Anpassung des gesamten Signalpegels
 - bei Verstärkung werden auch unerwünschte Effekte (z.B. Rauschen, Nebengeräusche) mitverstärkt
- Bearbeiten der Hüllkurve:
 - Ein- und Ausblenden (*fading*)
 - Typen von Fadern:
 - » linear
 - » logarithmisch
 - » exponentiell
 - » diverse Zwischenformen
- Kompensation von "DC-Offset"
 - Signal genau auf die gewünschte Null-Linie einstellen
 - Unerwünschten "Gleichspannungsanteil" abziehen

Bearbeitung der Dynamik (1)

- Kompressor:
 - Reduktion der Dynamik (der Differenz zwischen lautester und leisester Stelle)
 - Schwelle (*threshold*): Amplitudenwert, ab dem die Reduktion einsetzt
 - Faktor (*ratio*): Stärke der Reduktion
 - Einsatz (*attack*) und Ausklingen (*release*): Übergangszeiten
- Beispiel:



unkomprimiert



komprimiert
Threshold -10dB
Ratio 10.0
Attack 10 ms
Release 100 ms

Bearbeitung der Dynamik (2)

- Multiband-Kompressor
 - Aufteilung des Signals in Frequenzbänder
 - Jedes Frequenzband einzeln komprimiert
 - Geeignet zur selektiven Veränderung des Klangbilds
- Expander:
 - Umkehrfunktion zum Kompressor (Dynamikerhöhung)
- Limiter:
 - Schneidet Signal oberhalb der Schwelle auf festen Pegel ab
 - Vermeidet Übersteuerung
- Gate:
 - Schneidet Signal unterhalb des Schwellwertes ab
 - Kann zur Rauschunterdrückung oder zum Ausschalten von Nebengeräuschen dienen

Bearbeitung des zeitlichen Verlaufs (1)

- Schneiden von Audio-Material
 - Früher wirklich mit der Schere (am Tonband)!
- Heute mit Cut, Copy und Paste im Audio-Editor
 - Möglichst in Pausen schneiden
 - Schnitte zu ähnlichem Signal sind relativ problemlos
 - Schnitte von leisem zu lautem Signal sind relativ problemlos
 - Schwierig sind Schnitte innerhalb eines kontinuierlichen Signals
- Überblenden:
 - Bearbeiten der Hüllkurven und Zusammenmischen
 - Kreuzblende (langsam) und Sturzblende (rasch)
- Schleifen (*loop*):
 - Verlängern eines akustischen Ereignisses durch Wiederholen
 - Schnittregeln an der Nahtstelle zu beachten

Bearbeitung des zeitlichen Verlaufs (2): Resampling

- Andere Wiedergabegeschwindigkeit als Samplingrate
- Ändert die Zeitdauer und gleichzeitig alle Tonhöhen

- Beispiel:

Original

Resampling * 0,7

Resampling * 1,4



- Beispiel: Erzeugung neuer Töne

Kugel auf Teller

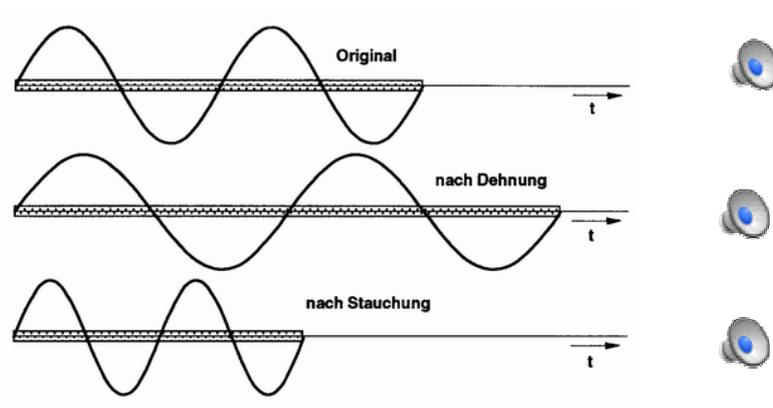
1/16 Resampling

1/64 Resampling



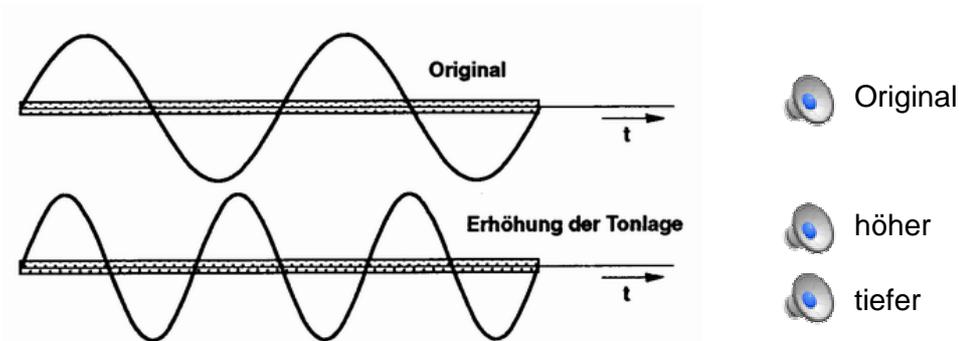
Bearbeitung des zeitlichen Verlaufs (3): Timestretching

- Zeitkorrektur ohne hörbare Tonhöhenveränderung
 - nur in begrenztem Umfang möglich
 - Idee: Wiederholung kleiner periodischer Abschnitte



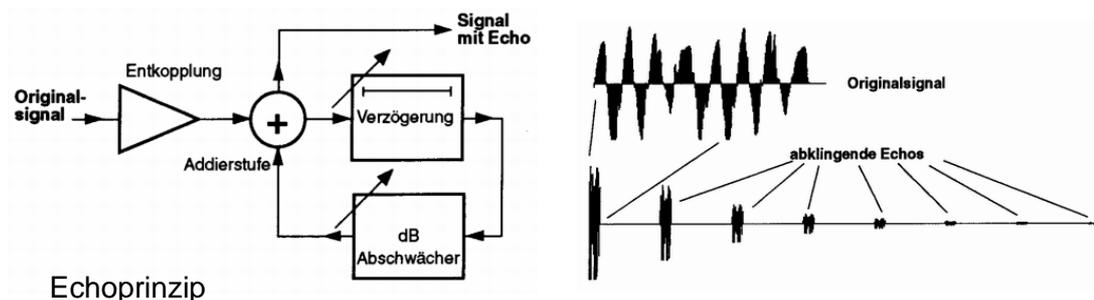
Bearbeitung des zeitlichen Verlaufs (4): Pitchshifting

- Tonhöhenkorrektur bei gleicher Spieldauer
 - Zusammensetzbar aus Timestretching und Resampling



Raumorientierte Bearbeitung: Echo und Hall

- Echo:
 - Signal einmal verzögert und abgeschwächt zurückgeführt
 - Parameter: Verzögerung, Abschwächung
- Hall:
 - Signal vielfach (unendlich oft) mit verschiedenen Verzögerungszeiten zurückgeführt
 - Halleinstellungen können sehr komplex sein



Phasenorientierte Bearbeitung

- Sehr kurze Verzögerungen (unter 30 ms) werden als Phasenveränderungen wahrgenommen und beeinflussen den Gesamtklang
- Chorus:
 - Sehr schnelle, minimal in der Höhe veränderte Signalarückführung
 - Lässt Klang voller erscheinen
- Flanging:
 - Noch kleinere Verzögerungszeit (8 ms)
 - Tonhöhe konstant - Überlagerung mit Originalsignal
 - Feedback: Effektsignal wird an Eingang zurückgeführt
 - Verwendung z.B. bei Gitarrenklängen
- Phasing:
 - ähnlich zu Flanging, aber ohne Feedback
 - synthetischer Klang



Restauration

- Fehler auf alten Tonträgern:
 - Rauschfehler (*Noise, Hiss*)
 - Clickfehler (*Clicks*)
 - Knistern (*Crackles*)
- **Denoising:**
 - "Fingerprint" (Spektrum) des Rauschens wird bestimmt
 - dann exakt diese Frequenzen ausgefiltert
- **Declicking:**
 - Signallücke durch Interpolation (oder zweiten Stereokanal) ersetzen
- **Decracking:**
 - Wiederholtes Declicking, auch automatisch ausgeführt