

# 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

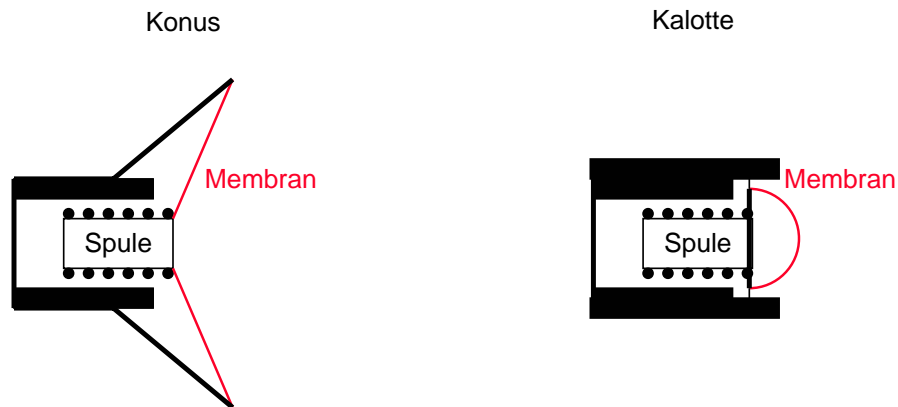
- Auswahl von
  - Mikrofontyp
  - Richtcharakteristik
  - Platzierung zur Schallquelle
  - Raummikrofone vs. Einzelmikrofone (oft beides)
- Problemfelder:
  - Nahbesprechungseffekt (Anhebung tiefer Frequenzen)
  - Interferenz zwischen Direktschall und Reflexionen
  - Wind- und Popp-Geräusche
  - Trittschall

Sprecher nahe am Mikrofon, kein Poppchutz



Sprecher unter Mikrofon, mit Poppchutz

# Konus- und Kalottenlautsprecher

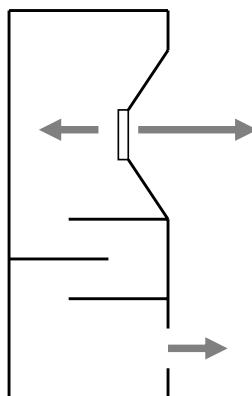


Typischerweise bestehen Lautsprecherboxen aus mehreren verschiedenen Einzellautsprechern mit einer "Frequenzweiche"  
z.B. Hochtöner, Mitteltöner, Tieftöner


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:

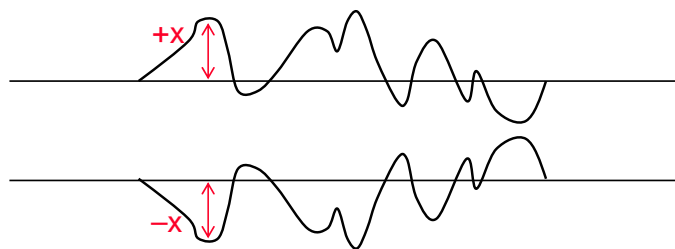
- M. Warstat, Th. Görne: Studiotechnik, 5. Auflage, Elektor-Verlag 2002
- H. Raffaseder: Audiodesign, Fachbuchverlag Leipzig 2002

## 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

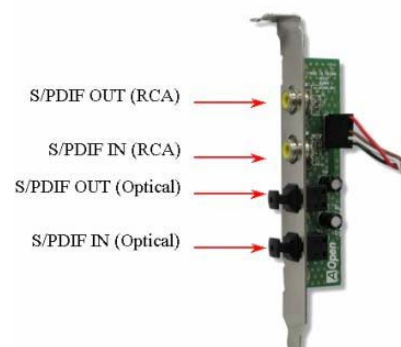
# Anschlussstechnik: Leitungen

- 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



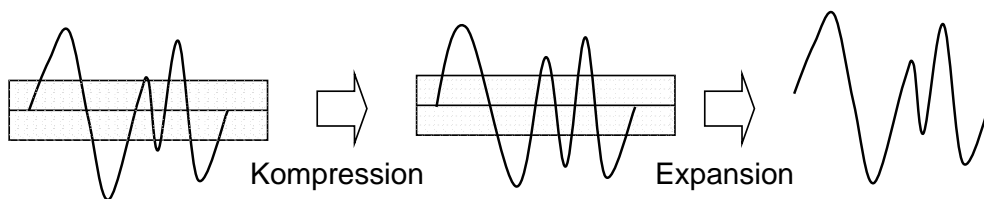
# Anschlussstechnik: Steckernormen

- 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



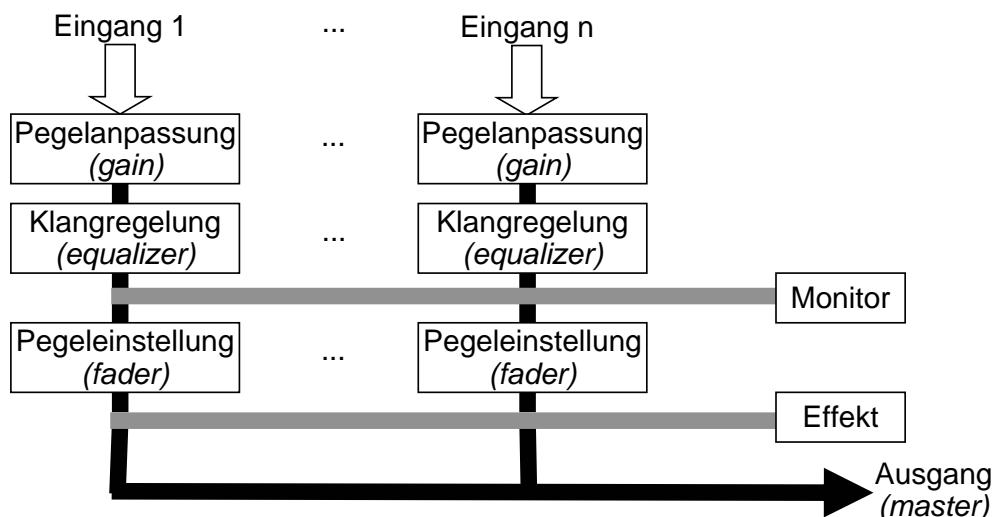
# Komponder

- 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

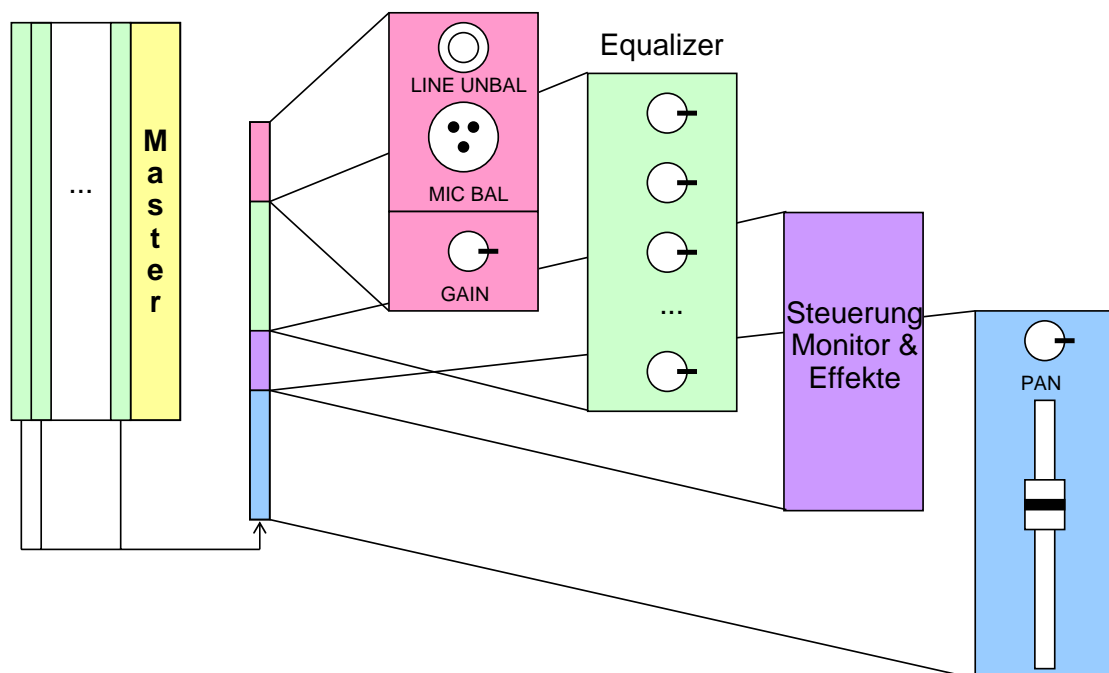
- Tonregieanlage: Herzstück eines Tonstudios
  - Pegelanpassung
  - Klangbearbeitung
  - Signalverteilung



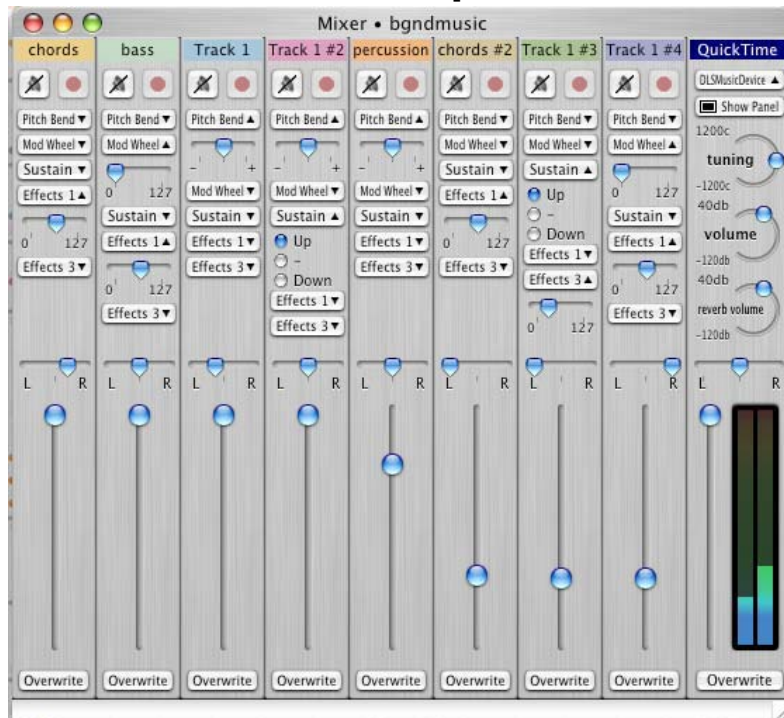
# Reale Audio-Mischpulte



# Bedienungselemente eines Mischpults (Prinzip)



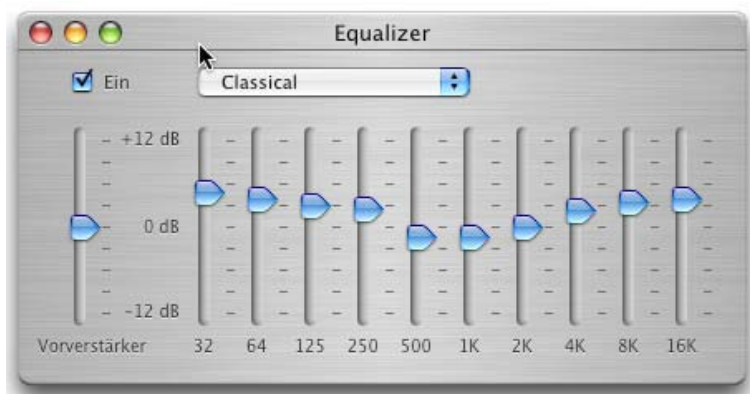
## Ein virtuelles Mischpult



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"

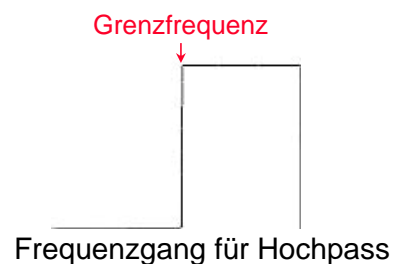
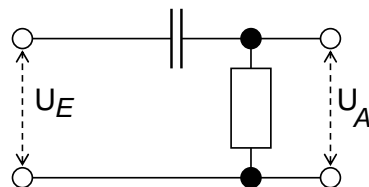


# Frequenzfilter

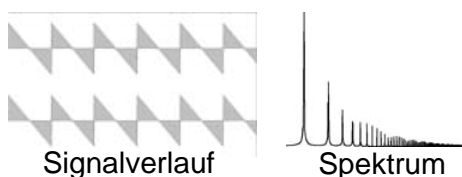
- Frequenzfilter sind Schaltungen oder Algorithmen, die ein von der Frequenz abhängiges Übertragungsverhalten von Eingang zu Ausgang aufweisen.
- Klassische Analogtechnik:
  - Filter aus Elektronik-Bauelementen (Widerstände, Kondensatoren, Spulen)
- Digitaltechnik:
  - Filter als digitaler Signalverarbeitungsbaustein (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



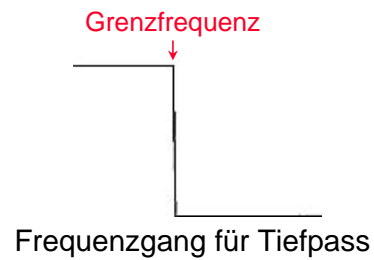
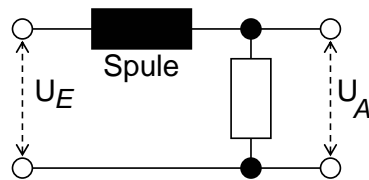
Resultat nach Hochpass:



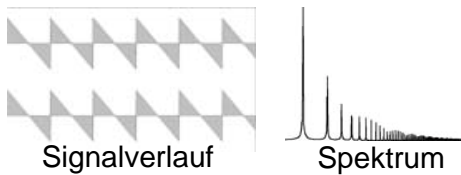


# Tiefpass

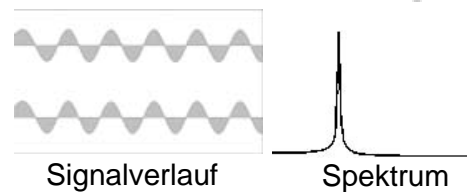
- Tiefpass: lässt tiefe Frequenzen durch, blockiert hohe Frequenzen
- Elektrotechnische Realisierung
  - "RL-Tiefpass erster Ordnung"



Eingangssignal:  
Sägezahnswingung

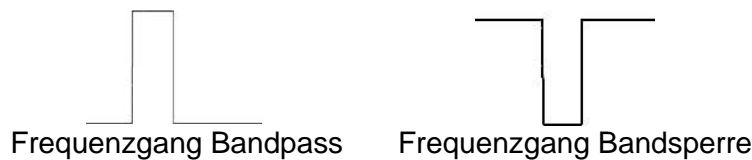


Resultat nach Tiefpass:

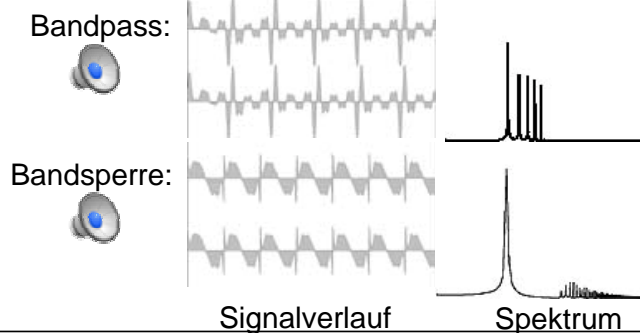
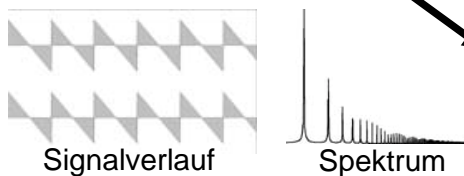


# Bandpass, Bandsperre


- 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"

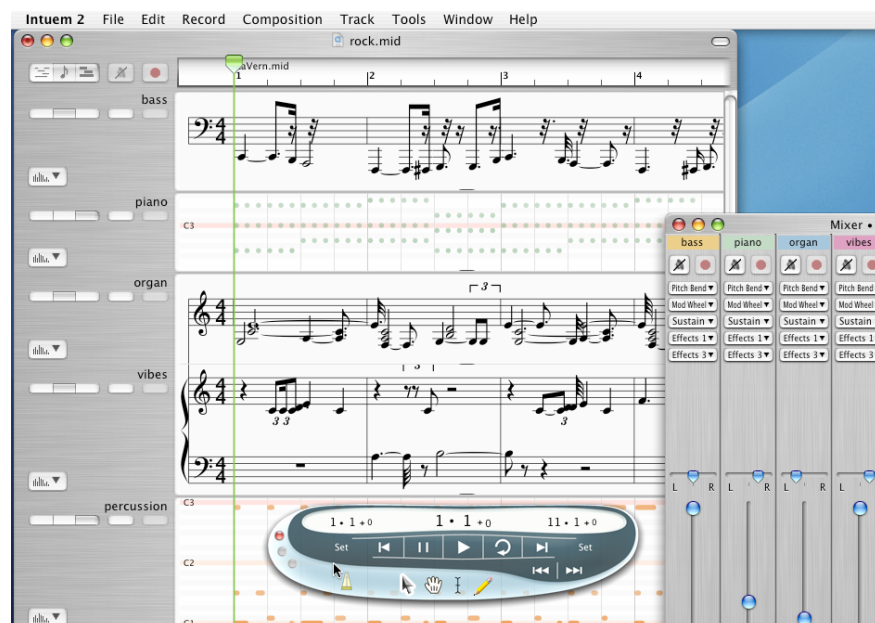
# Soundkarten



- 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

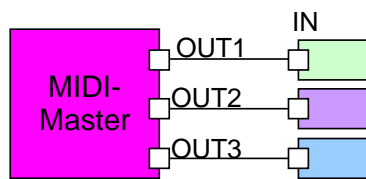
# Elektronische Klangerzeugung

- 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)

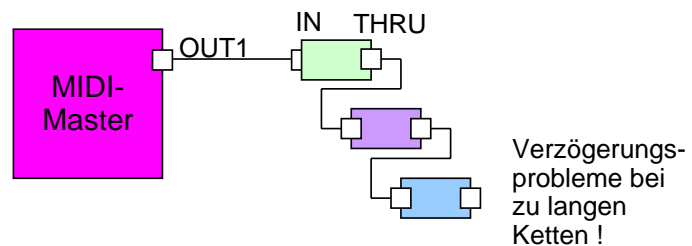
# MIDI-Anschlussstechnik

- 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:

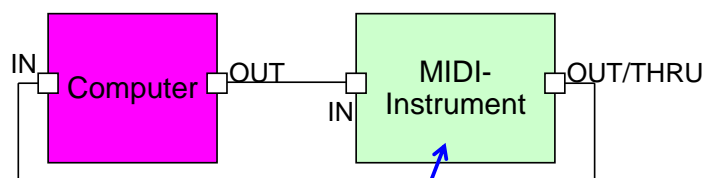


MIDI-Kette:



# 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

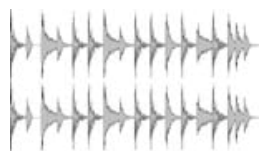
- In Sequencer-Programmen bearbeitet:
  - Digitalisierte Analogdaten oder
  - MIDI-Daten oder
  - eine Mischung beider Arten
- Effekte:
  - Bei MIDI-Daten:
    - » Beeinflussung des Klangerzeugers
  - Bei digitalisierten Audiodaten:
    - » Digitales Äquivalent analoger Audio-Effektfilter (*online*)
    - » 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

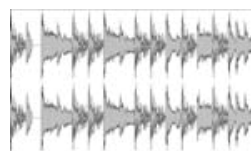
- Verstärken, Dämpfen, "Normalizing":
  - nachträgliche Anpassung des gesamten Signalpegels
  - bei Verstärkung werden auch unerwünschte Effekte (z.B. Rauschen, Nebengeräusche) mitverstärkt
- Bearbeiten der Hüllkurve:
  - Ein- und Ausblenden (*fading*)
  - Typen von Fadern:
    - » linear
    - » logarithmisch
    - » 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

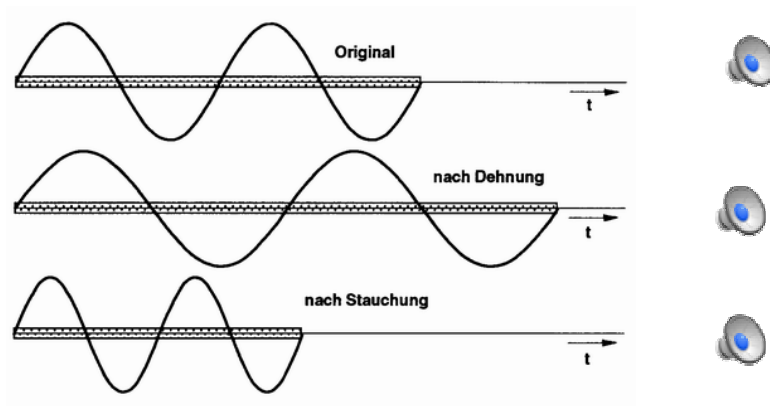
1/16 Resampling

1/64 Resampling



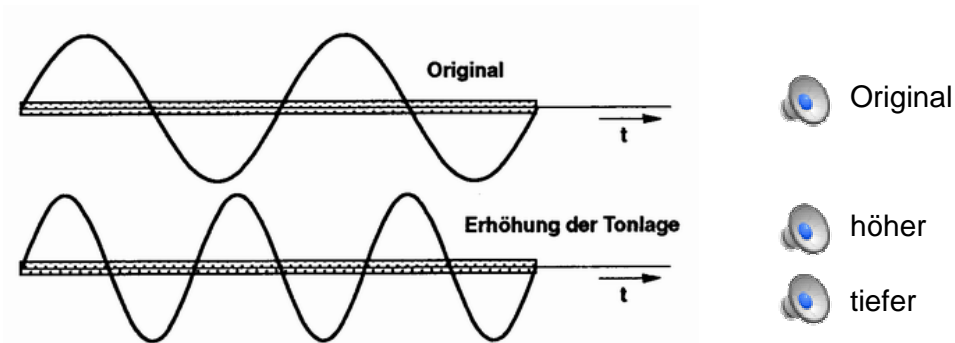
## Bearbeitung des zeitlichen Verlaufs (3): Timestretching

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



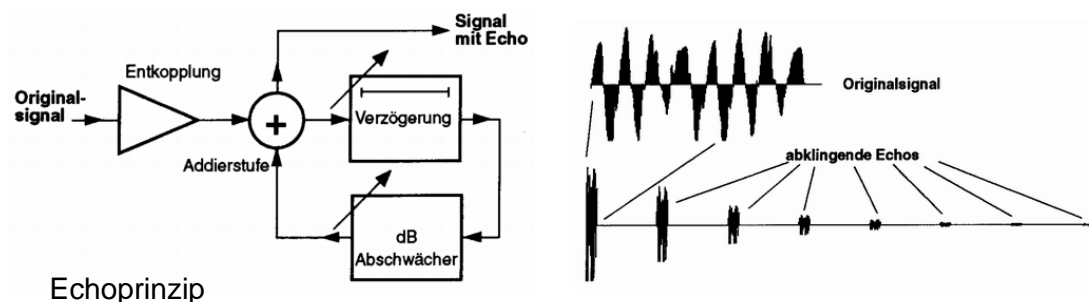
## Bearbeitung des zeitlichen Verlaufs (4): Pitchshifting

- 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 Decklicking, auch automatisch ausgeführt