

5. Ton und Klang

- 5.1 Ton: Physikalische und physiologische Aspekte
- 5.2 Kompression von Audio-Signalen: MPEG-Audio
- 5.3 Audio-Datenformate: Übersicht
- 5.4 Klangerzeugung und MIDI



Literatur:

Medieninformatik-Buch Kapitel 4

D. Pan: A Tutorial on MPEG/Audio Compression,
IEEE Multimedia 2(1995), 60–74

Arne Heyda, Marc Briede, Ulrich Schmidt: Datenformate im Medienbereich,
Fachbuchverlag Leipzig 2003, Kapitel 5

John Watkinson: MPEG Handbook, 2nd ed., Butterworth-Heinemann 2004

Wiederholung und Abrundung (1): Akustische Illusionen

- Fehlender Grundton
 - Melodie mit künstlich entferntem Grundton bei den einzelnen Noten
 - Melodie dennoch gut wiedererkennbar: Grundton wird ergänzt

http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Suppress_fundamental.ogg
- Beliebige lange aufsteigende bzw. abfallende Tonleiter (Shepard-Effekt)

<http://www.cs.ubc.ca/nest/imager/contributions/flinn/Illusions/ST/st.html>

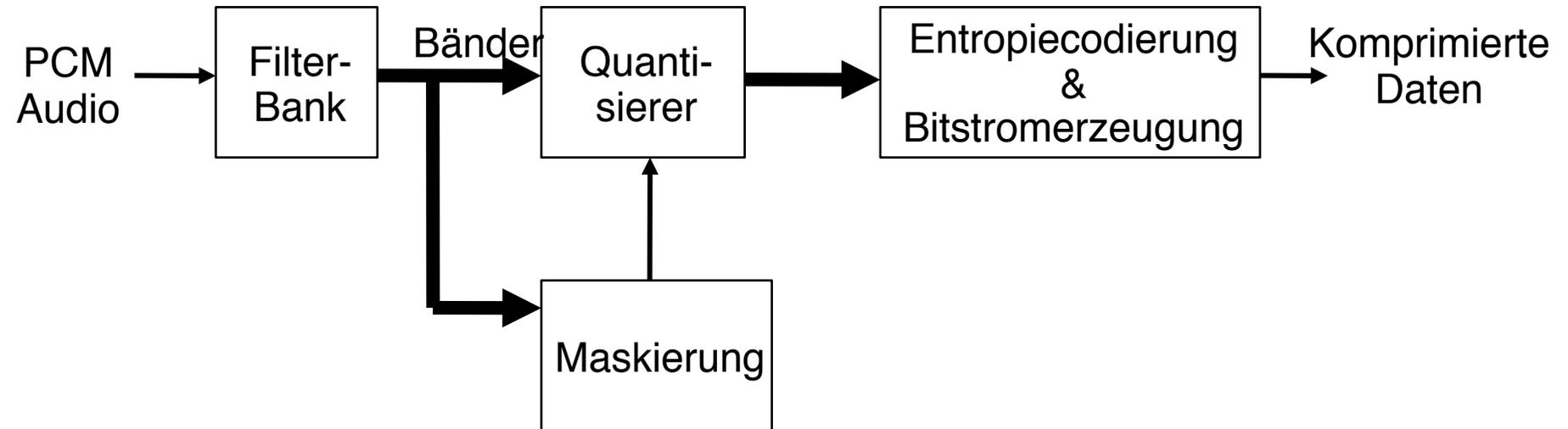
Wiederholung und Abrundung (2): Maskierung

- Akustisches Beispiel zur Frequenzmaskierung:
 - Ton gefolgt von Kombination des selben Tons mit höherem Ton
 - Höherer Ton schrittweise im Pegel abgesenkt (zuerst um 12 dB, dann schrittweise um 5 dB)
 - Wiederholung der Sequenz mit höherer Frequenz bei zweitem Ton
 - Maskierung hörbar bei der ersten Sequenz
- Akustisches Beispiel zur Maskierung hoher Frequenzen:
 - Maskierung tritt schnell und deutlich auf
- Akustisches Beispiel zur Maskierung tiefer Frequenzen:
 - Maskierung weniger deutlich



<http://www.ece.uvic.ca/~aupward/p/demos.htm>

MPEG-Audio Encoder: Grundlegender Aufbau

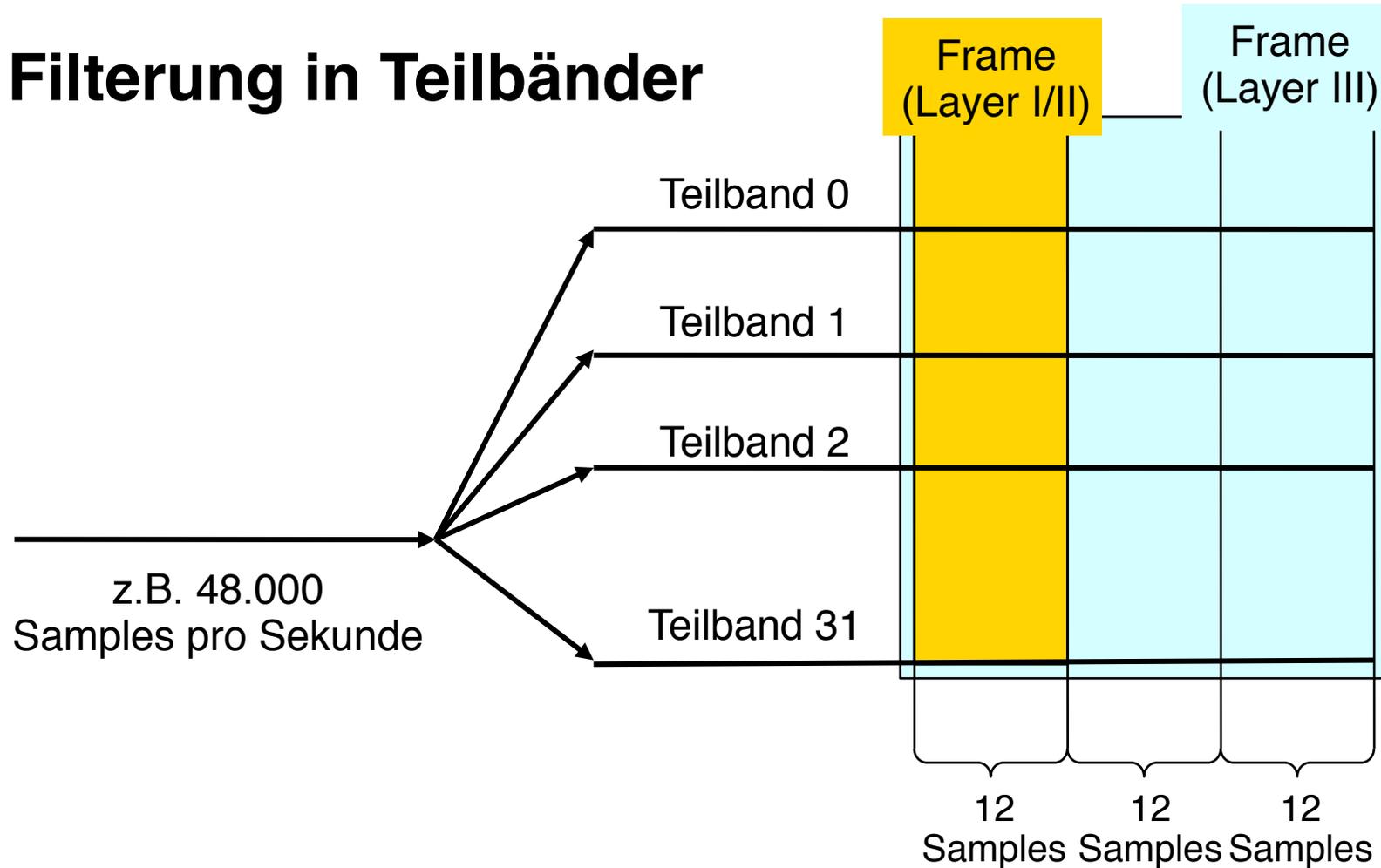


- Hinweis: Der MPEG-Standard definiert nicht den Aufbau eines Encoders, sondern nur die Decodierung!
- Signal wird in Frequenzbänder aufgeteilt
- Maskierung auf der Basis der Bänder mit einem psychoakustischen Modell

Subband-Kodierung

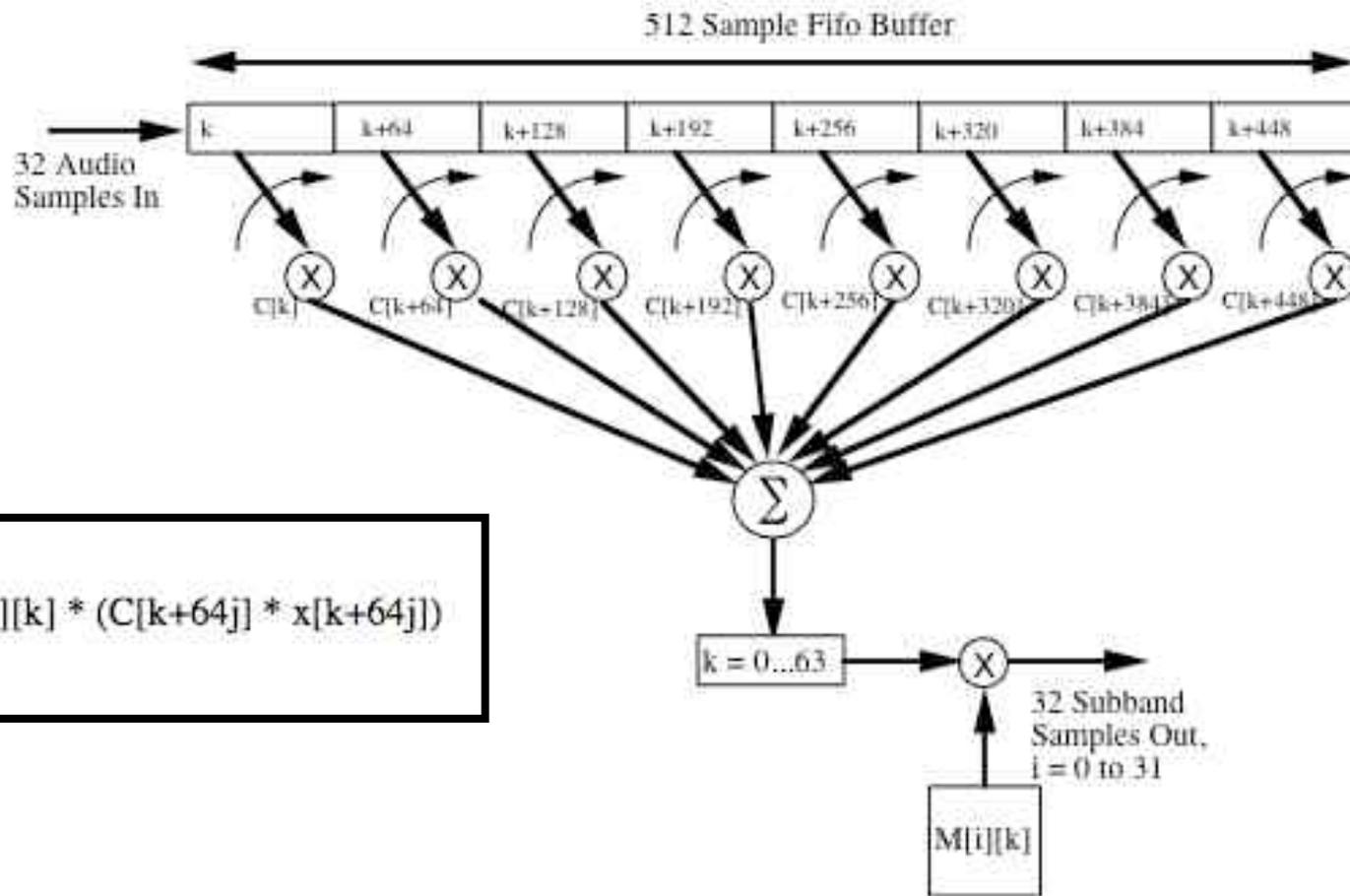
- Energie eines Tonsignals ist meist nicht gleichmäßig auf das Frequenzspektrum verteilt
- Idee:
 - Aufteilen des Signals in Teil-Frequenzbänder
 - Ermittlung des Signalpegels für jedes Teilband
 - Einzel-Codierung der Teilbänder mit jeweils angemessener Bitanzahl
 - » z.B. nicht belegtes Teilband: 0 Bit
 - Funktioniert optimal, wenn Teilbänder an kritische Bänder des Gehörs angepasst

Filterung in Teilbänder



- 12 Samples entsprechen bei 48 kHz ca. 8 ms
- Ein Block von Samples in einem Teilband wird manchmal *bin* genannt
- *Frame*: Gesamtheit der Samples in allen Teilbändern
 $12 \times 32 = 384$ Samples in Layer I/II, $3 \times 12 \times 32 = 1152$ Samples in Layer III

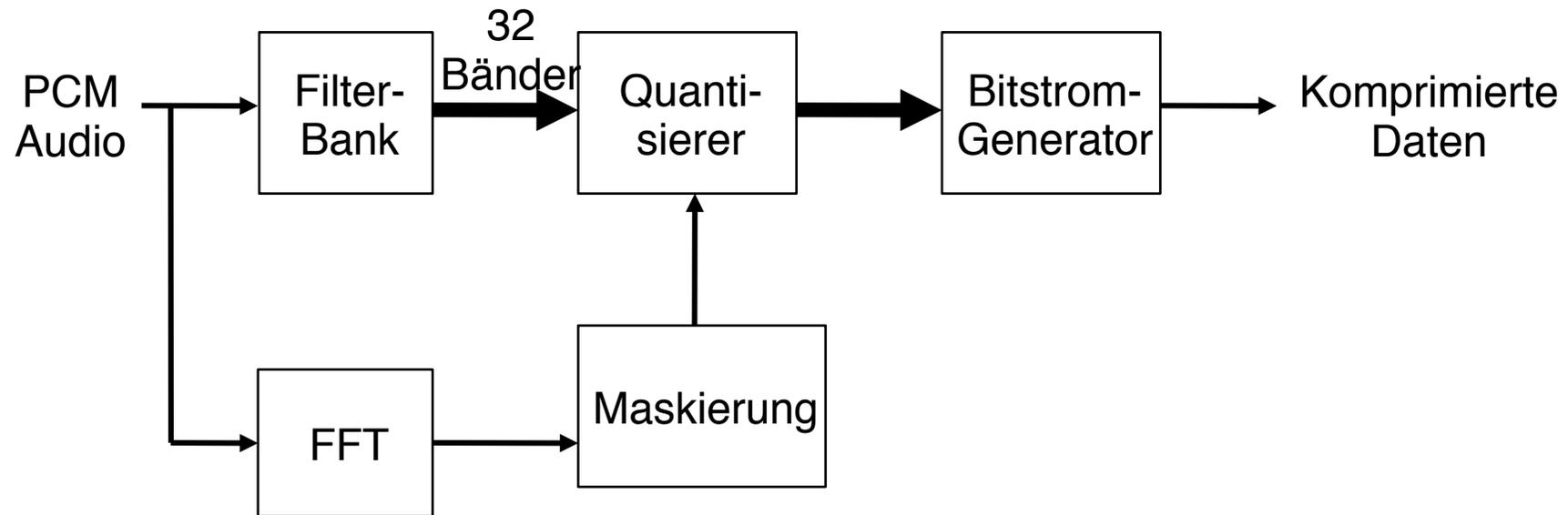
Polyphasen-Filterbank



$$s_t[i] = \sum_{k=0}^{63} \sum_{j=0}^7 M[i][k] * (C[k+64j] * x[k+64j])$$

- Basiert auf Verfahren von Rothweiler
- Optimierter Algorithmus: Ca. 80 Multiplikationen und 80 Additionen pro Ausgabewert, gut in Hardware (DSP) realisierbar

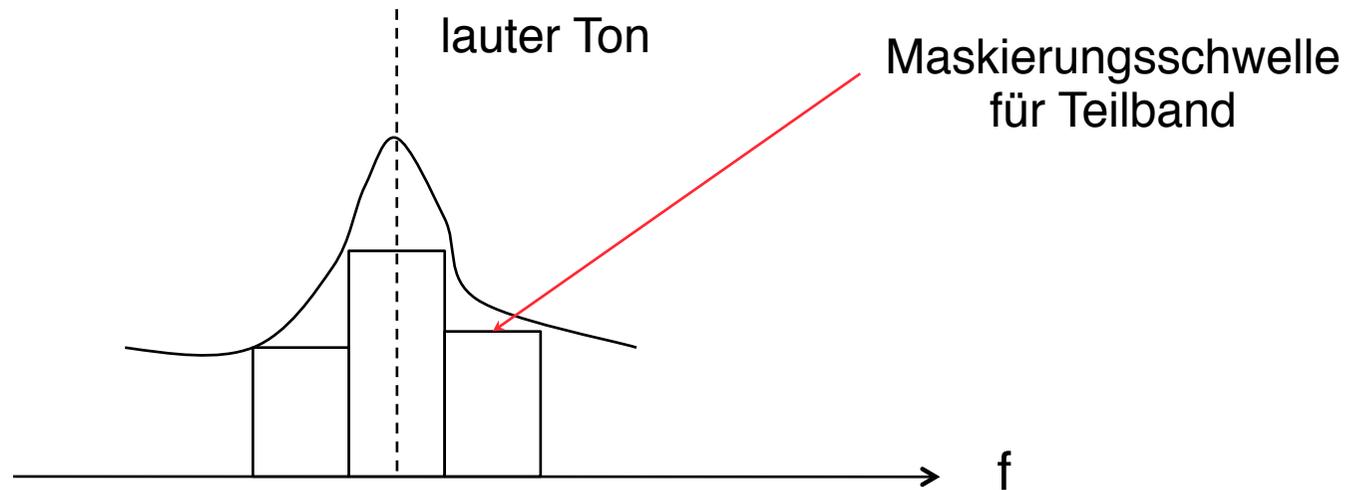
Aufbau eines MPEG-Layer I/II Encoders



- Signal wird in 32 *gleich breite* Frequenzbänder aufgeteilt
 - Effektive Bandfilter funktionieren nur für gleich breite Teilbänder
 - Breite der Teilbänder bei Layer I/II: 750 Hz
 - „Unterabtastung“ der Subbänder: Keine zusätzliche Bandbreite benötigt
- Wegen der Eigenschaften des menschlichen Gehörs sind die Teilbänder ungeeignet für Maskierung
 - Zu breit bei niedrigen und zu schmal bei hohen Frequenzen
 - Einsatz einer zusätzlichen Frequenzanalyse (Fast Fourier Transform, FFT)

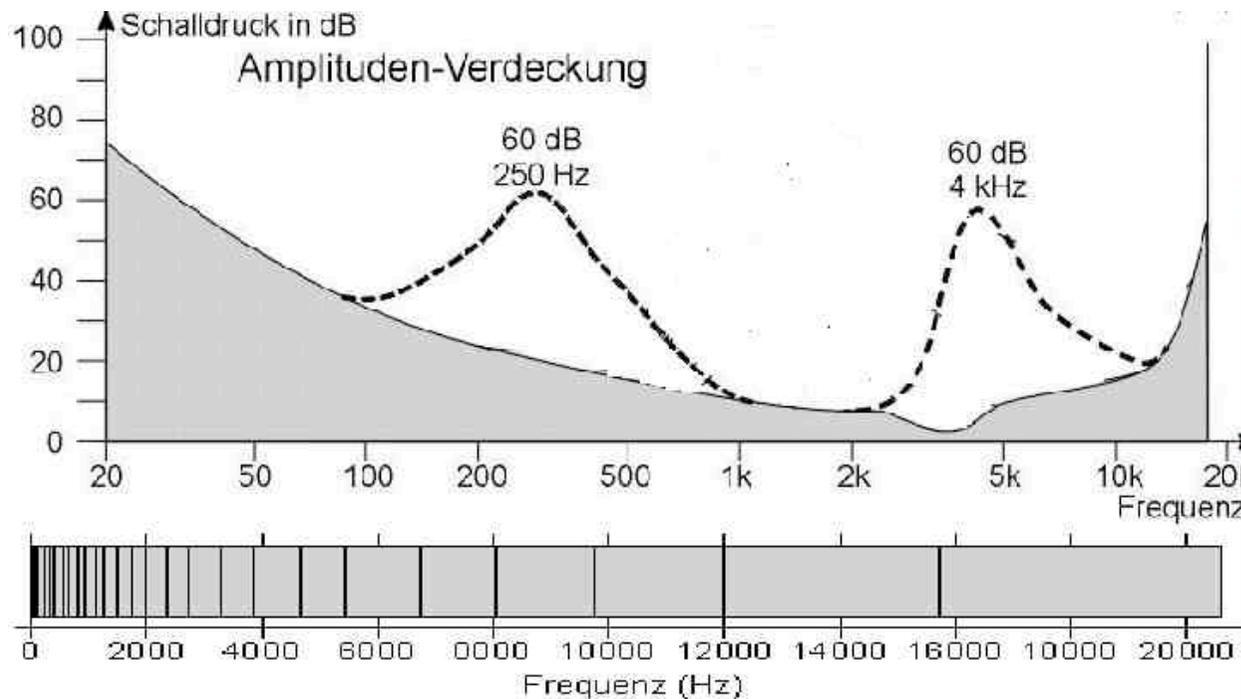
FFT zur Berechnung der Maskierungsschwelle

- FFT = Fast Fourier Transform
- Umsetzung des Amplitudensignals in Frequenzspektrum
 - Angewandt auf die Länge eines Frames (12 Samples)
- Ergebnis:
 - Aufteilung des aktuellen Signals auf viele (Layer I 512, Layer II 1024) Frequenzanteile
- Weiterverarbeitung:
 - Berechnung der aktuellen Kurve für die (frequenzabhängige) Maskierungsschwelle



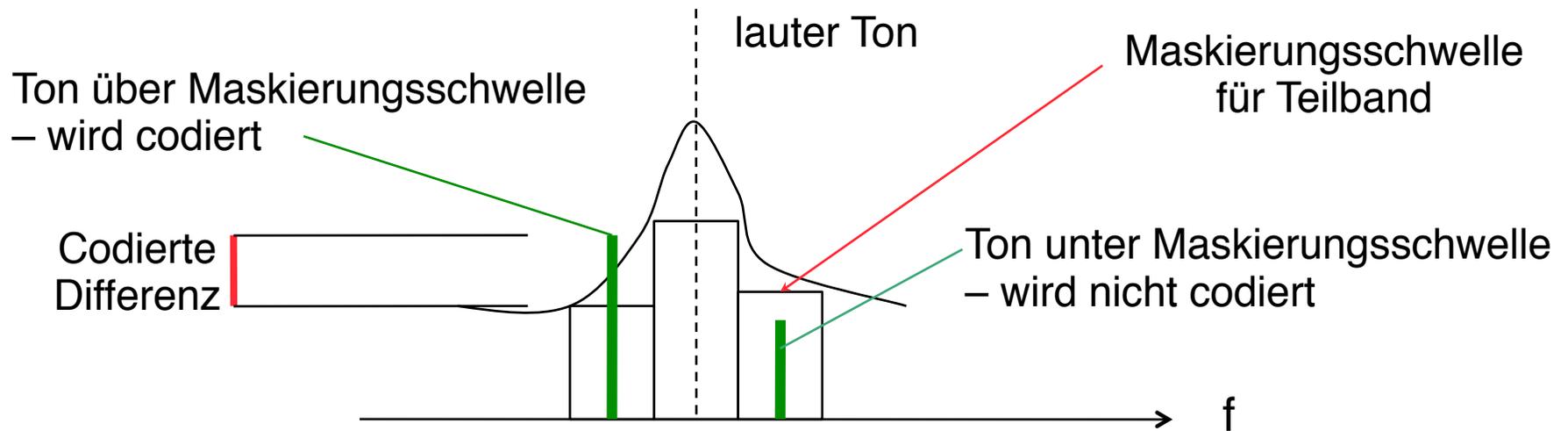
Psychoakustisches Modell

- Aus dem aktuellen Signalspektrum ergibt sich eine aktuelle Hörbarkeitskurve (wird berechnet)
 - Insbesondere: Für jedes Frequenzband eine Maskierungsschwelle, unter der der Ton nicht mehr hörbar ist
 - Details: z.B. tonale vs. geräuschartige Anteile verschieden behandelt



Maskierung

- Die Maskierungsschwellen aus dem psychoakustischen Modell werden mit dem tatsächlichen Signalpegel (pro Teilband) verglichen
 - Verdeckte Signalanteile werden nicht codiert
- Es genügt bei teilweiser Maskierung eine geringere Bitauflösung
 - Wir nehmen nur den „Differenzanteil“ oberhalb der Maskierungsschwelle wahr!



Maskierung: Beispiel

- Ergebnis nach der Analyse der ersten 16 Bänder:

Band	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Pegel (dB)	0	8	12	10	6	2	10	60	35	20	15	2	3	5	3	1

- Annahme: Psychoakustisches Modell liefert, dass der Pegel in Band 8 (60 dB) zu folgender Maskierung der Nachbarbänder führt:

→ Maskierung um 12 dB in Band 9

→ Maskierung um 15 dB in Band 7

- Pegel in Band 7 ist 10 dB

--> Weglassen!

- Pegel in Band 9 ist 35 dB

--> Codieren!

Wegen Maskierung 12 dB Ungenauigkeit (Rauschen) zulässig,

d.h. mit zwei Bit weniger codierbar

1 Bit der Codierung =
doppelter Amplitudenumfang =
6 dB Genauigkeit !

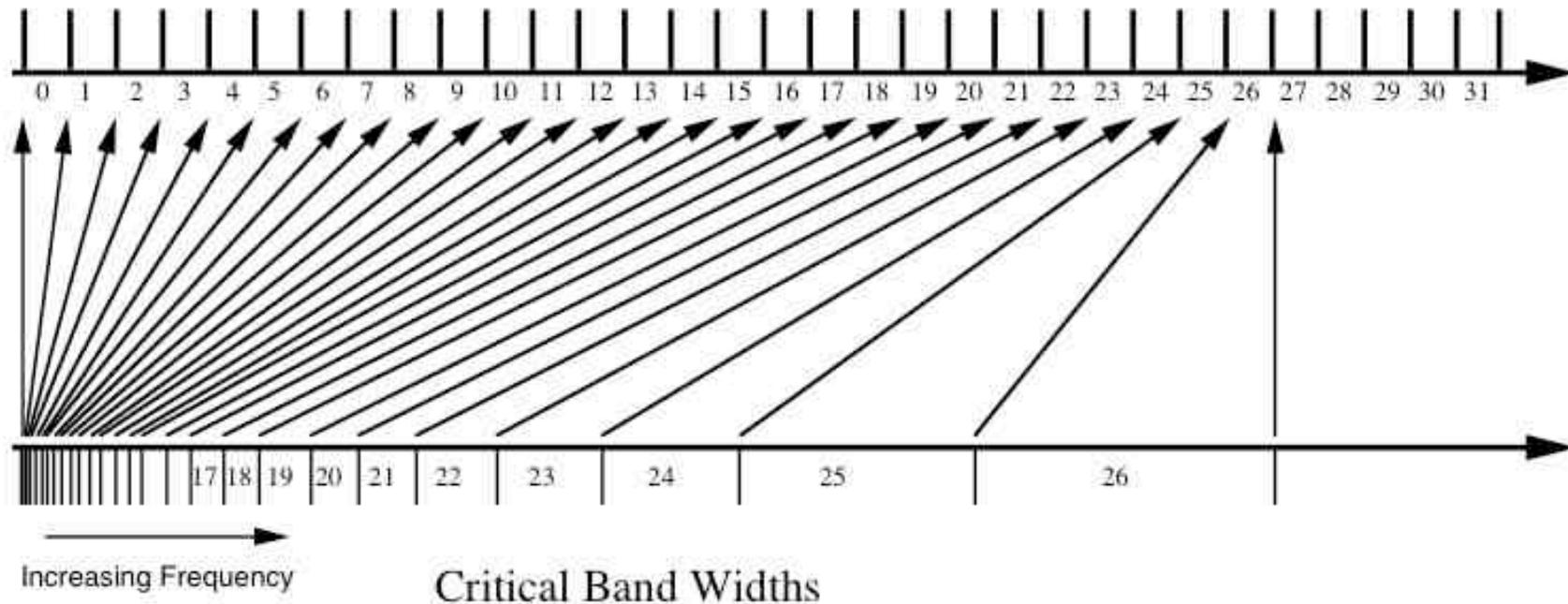
Unterschiede der MPEG Layer

- Layer I:
 - 32 gleichbreite Teilbänder
 - FFT mit 512 Punkten
 - Betrachtung nur eines Frames
 - Psychoakustisches Modell benutzt nur Frequenzmaskierung
- Layer II:
 - 32 gleichbreite Teilbänder
 - FFT mit 1024 Punkten
 - Betrachtung von drei Frames (jetzt, vorher, nachher)
 - Einfache Zeitmaskierung, verfeinerte Bittiefenzuweisung
- Layer III:
 - Teilbänder verschiedener Breite, ähnlich zu den kritischen Bändern
 - Größere Frames (36 Samples)
 - (Modified) DCT der Teilbänder
(in überlappenden „Fenstern“ variierender Breite)
 - Zusätzliche Entropiecodierung (Huffman)
 - Behandlung von Stereo-Redundanzen

Kritische Bänder und Filterbänder

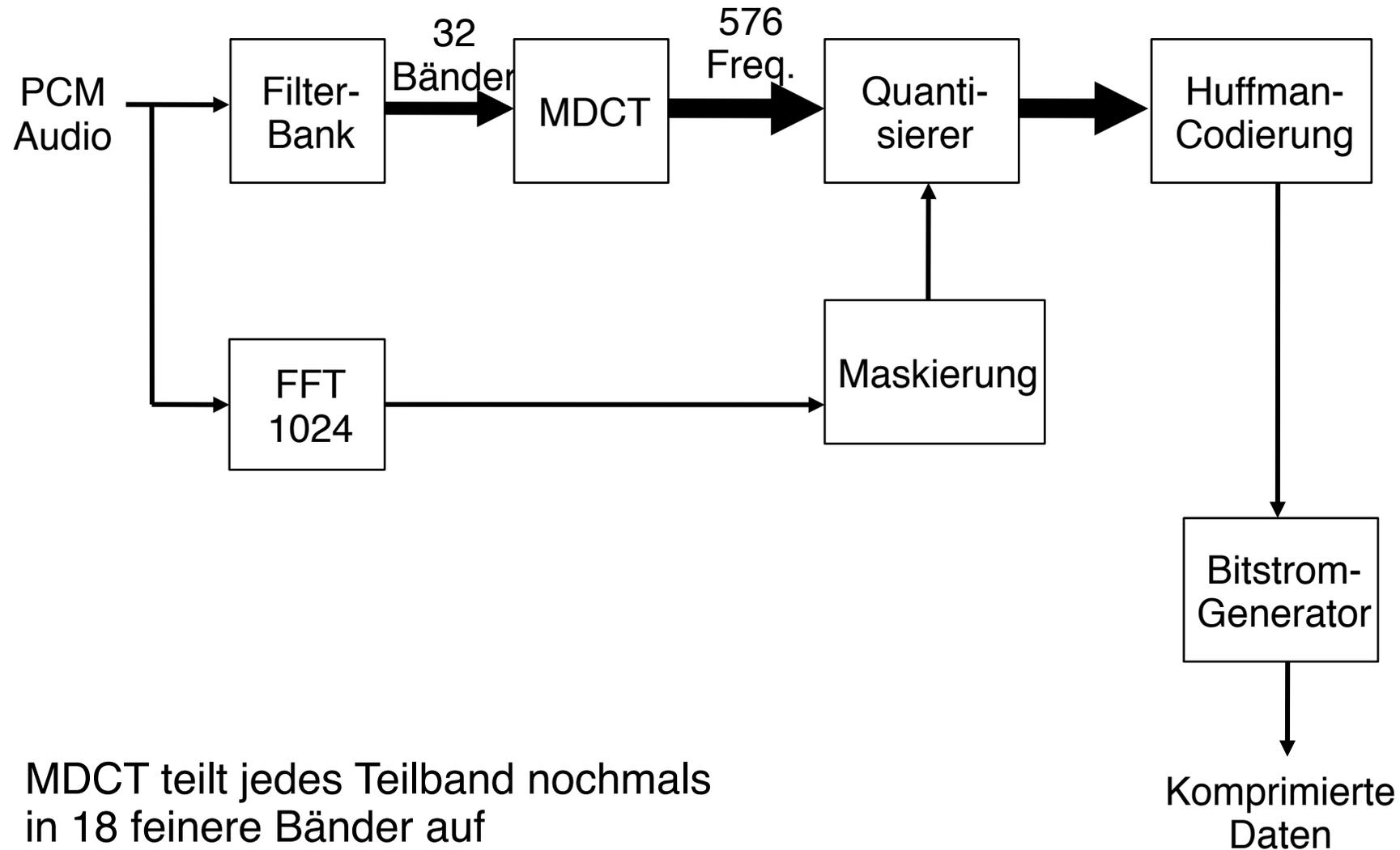
- Situation in MPEG Layer I/II:

MPEG/Audio Filter Bank Bands



Ziel: bessere Anpassung an die Bandbreite der kritischen Bänder
Aber: Nicht durch Filterbank realisierbar

Aufbau eines MPEG-Layer III Encoders



DCT: Diskrete Cosinus-Transformation

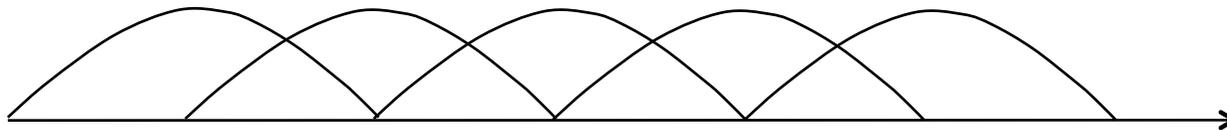
- Ähnlich zur Fourier-Transformation:
 - Gegebenes Signal wird durch Anteile bestimmter Grundfrequenzen beschrieben
- Diskrete Transformation:
 - n Messwerte werden in n Anteilswerte (*Koeffizienten*) umgerechnet
 - Lineare Transformation (Matrixmultiplikation)
 - » D.h. sehr effizient zu berechnen
- Vorteile der Cosinus-Transformation
 - Besser geeignet für Kompression (Filtern von Frequenzen)
 - Bessere „Kompaktheits“-Eigenschaften (Energie auf wenige Grundfrequenzen konzentriert)

$$f_j = \sum_{k=0}^{n-1} x_k \cos \left[\frac{\pi}{n} (j + 1/2)(k + 1/2) \right]$$

Modified Discrete Cosine Transform MDCT (1)

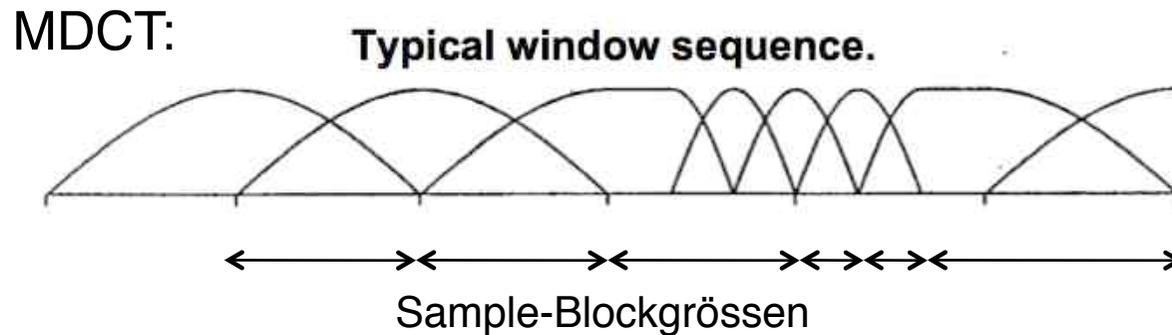
- DCT
 - entspricht kleineren Teilbändern bei der Maskierungsanalyse
 - bei Audio Probleme mit Artefakten an Blockgrenzen
- Modified DCT
 - Überlappung der Cosinusfunktionen um 50%
 - Damit Vermeidung von Artefakten durch Blockgrenzen
 - Doppelt einbezogene Werte heben sich gegenseitig auf
 - Adaption der „Fenstergröße“ an Signalverlauf möglich

Überlappungen der Fenster bei MDCT:



Modified Discrete Cosine Transform MDCT (2)

- Modified DCT
 - Adaption der „Fenstergröße“ an Signalverlauf möglich



- Bei MP3: 6-Sample-Blöcke und 18-Sample-Blöcke
 - 6 Samples: Gut für schnelle Änderungen (Transienten)
 - 18 Samples: Gute Frequenzauflösung (wenn Signal relativ stationär)

Stereophonie in MPEG-Audio

- Single Channel
 - Monosignale
- Dual Channel
 - Verschiedene Monosignale (z.B. Sprachsynchronisation)
- Stereo Coding
 - Separat codierte Stereosignale
- Joint Stereo Coding
 - Redundanzen im Stereosignal ausgenutzt
 - Linker Kanal und Differenz Links/Rechts
 - Frequenzabhängigkeit der Raumwahrnehmung
 - » Monosignal für tiefe Frequenzen
- Hinweis:
 - Räumliches Hören kann z.T. MPEG-Kompressionsverluste wahrnehmbar machen; spezielle Vorkehrungen nötig

MPEG-2 Advanced Audio Coding AAC

- AAC = Advanced Audio Coding
 - Nachträglich zum MPEG-2 Standard hinzugefügt
 - Nicht rückwärtskompatibel
 - Bei gleicher Bitrate qualitativ überlegen zu MP3
- MPEG-2 AAC:
 - Größere Auswahl an Abtastfrequenzen (8 kHz bis 96 kHz)
 - 48 volle Audio-Kanäle
 - Reines MDCT-Filter, keine Filterbank mehr
 - Stark adaptierende Fenstergrößen
 - Joint Stereo Coding flexibilisiert (Methodenwahl frequenzabhängig)
 - Prädiktive Kodierung im Frequenzraum (Temporal Noise Shaping TNS)
 - » gute Kodierung für „Transiente“ (zeitweilige Pegelspitzen)

MPEG-4 Advanced Audio Coding

- AAC = Advanced Audio Coding
 - Verbesserte Fassung des MPEG-2 Standards im aktuellen Video-/Audio-Standard MPEG-4
- MPEG-4 AAC:
 - alle Vorteile von MPEG-2 AAC
 - Perceptual Noise Substitution: Rauschen-ähnliche Teile des Signals werden beim Dekodieren synthetisiert
 - Long Term Prediction: Verbesserte Prädiktionskodierung
 - "Baukasten" zur Konstruktion verschiedener Kompressionsverfahren (effiziente Sprachcodierung bis hin zu sehr hoher Musikqualität)
 - "Profile", d.h. feste Kombinationen der Bausteine, Beispiele:
 - » Speech Audio Profile, Synthetic Audio Profile, High Quality Audio Profile, Low Delay Audio Profile, Mobile Audio Internetworking Profile

MP3 Beispiel (100 KB) 

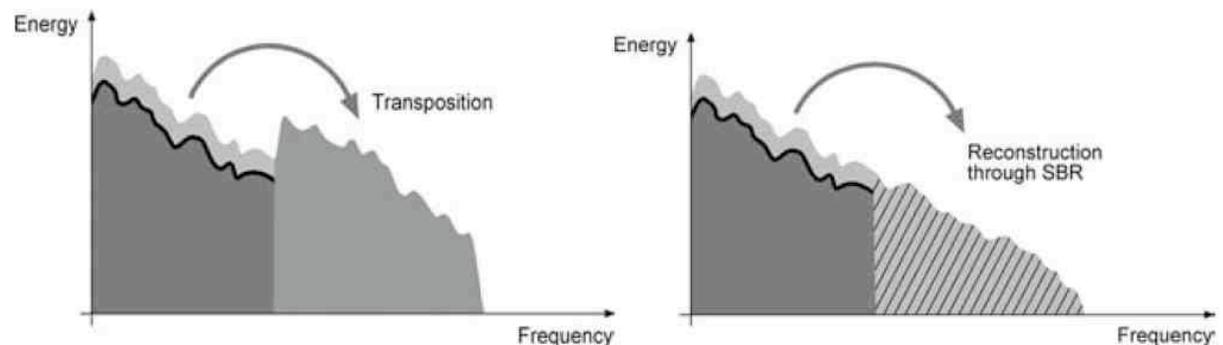
MP4 Beispiel (60 KB) 

thales-ee.com

High-Efficiency AAC (HE-AAC)

- Auch AAC+ (v1) genannt
 - v2 (eAAC+) mit zusätzlicher parametrischer Stereo-Kompression
- Gute Audioqualität bei niedrigen Bitraten (z.B. für Livestreams)
- SBR (Spektralband-Replikation):
 - Frequenzanteile oberhalb einer Grenzfrequenz (z.B. 8 kHz) werden nicht direkt codiert (Bandbreitenbegrenzung)
 - Enge Korrelation zwischen Signalverlauf in hohen und niedrigen Frequenzbändern
 - Akustische Wahrnehmung bei hohen Frequenzen weniger genau
 - Hohe Frequenzanteile aus niedrigeren synthetisiert

Henn et al.: Spectral Band Replication (SBR) Technology and its Application in Broadcasting,
www.broadcastpapers.com



Weitere Audiokompressionsverfahren

- Dolby AC-3 (Audio Code No. 3)
 - Prinzipiell sehr ähnlich zu den MPEG-Verfahren
 - Time-Domain Aliasing Cancellation (TDAC)
 - » Überlappende Fenster in einer MDCT
 - » Transformation so ausgelegt, dass sich Redundanzen im Folgefenster auslöschen
- ATRAC (Adaptive Transform Acoustic Encoding)
 - Sony-Verfahren, entwickelt für MiniDisc
 - Ebenfalls Aufteilung auf Teilbänder, MDCT, Skalierung
 - Hörbare Verzerrungen bei mehrfachem komprimieren/dekomprimieren
- Microsoft Windows Media Audio (WMA)
 - Nicht offengelegtes Verfahren mit recht hoher Kompression (CD-Qualität bei 64 kbit/s)

VORBIS

- Meist in Zusammenhang mit dem "Container"-Format (zur Datenspeicherung) *Ogg* benutzt, deshalb auch *Ogg-Vorbis*
- Offenes und kostenloses Audio-Kompressionsverfahren
 - Xiph.org Stiftung, OpenSource-Projekt
 - Reaktion auf Patentansprüche aus MP3
- Ähnlich AAC:
 - Reine MDCT
 - Signal wird in "Basis-Rauschen" und Rest aufgeteilt
 - » Angenehmeres Verhalten bei zu niedriger Bitrate als MP3
 - "Bitrate Peeling":
 - » Vorhandene Dateien in der Bitrate reduzieren

Einfachere verlustbehaftete Verfahren

- Stummunterdrückung (*silence compression*)
 - Ausblenden von Zeitbereichen mit Nullsignal
- μ -Gesetz-Codierung bzw. α -Gesetz-Codierung (u.a. in G.711):
 - Nichtlineare Quantisierung: leise Töne angehoben
 - Ähnlich zu Dynamischer Rauschunterdrückung in Audiosystemen
- Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)
 - Prädiktives Verfahren
 - Vorhersage des Signalverlaufs durch Mittelung über bisherige Werte
 - Laufende Anpassung der Quantisierungstiefe an Signal
 - Kodierung der Differenzwerte zur Prädiktion
- Linear Predictive Coding (LPC)
 - Vergleicht Sprachsignal mit analytischem Modell der menschlichen Spracherzeugung, codiert Modellparameter und Abweichungen von der Vorhersage (militärische Entwicklung)
 - Nur für Sprache, klingt „blechern“, hohe Kompression
 - Weiterentwicklungen, z.B. Code Excited Linear Predictor (CELP)

5. Ton und Klang

- 5.1 Ton: Physikalische und physiologische Aspekte
- 5.2 Kompression von Audio-Signalen: MPEG-Audio
- 5.3 Audio-Datenformate: Übersicht 
- 5.4 Klangerzeugung und MIDI

Weiterführende Literatur:

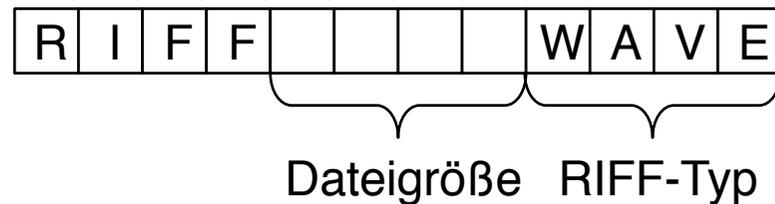
Arne Heyda, Marc Briede, Ulrich Schmidt: Datenformate im Medienbereich, Fachbuchverlag Leipzig 2003

RIFF (Resource Interchange File Format)

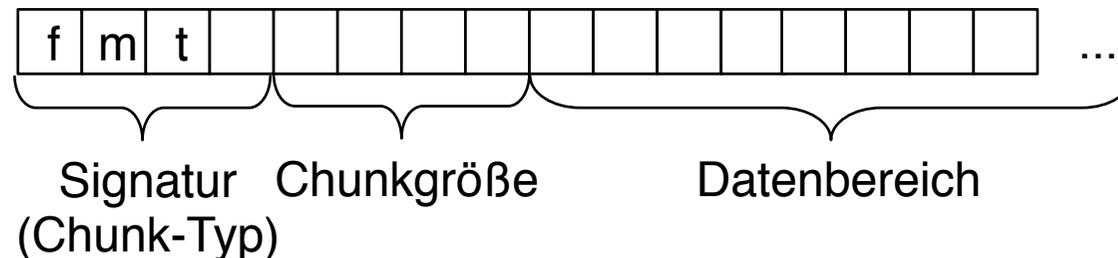
- **IFF:** 1985 von der Firma Electronic Arts eingeführt
 - Sehr einfaches Einheitsformat für verschiedene Arten von Multimedia-Daten, stark verbreitet auf AMIGA-Rechnern
 - Prinzip („Tagged File Format“):
 - » Header gibt Dateityp an
 - » Eigentliche Daten in einer Folge von ebenfalls (über Header) typisierten *chunks*
- **RIFF:**
 - Bestandteil der „Multimedia Programming Interface and Data Specifications“ von Microsoft und IBM, 1991
 - Basiert auf der Idee von IFF
 - Existiert prinzipiell in zwei Varianten:
 - » RIFF für Intel-Architektur („little-endian“)
 - » RIFX für Motorola-Architektur („big-endian“)(RIFX heutzutage auch auf Motorola-Prozessoren ungebräuchlich)

Grundstruktur von RIFF-Dateien

RIFF-Header (in Bytes):



Chunk-Header (in Bytes):

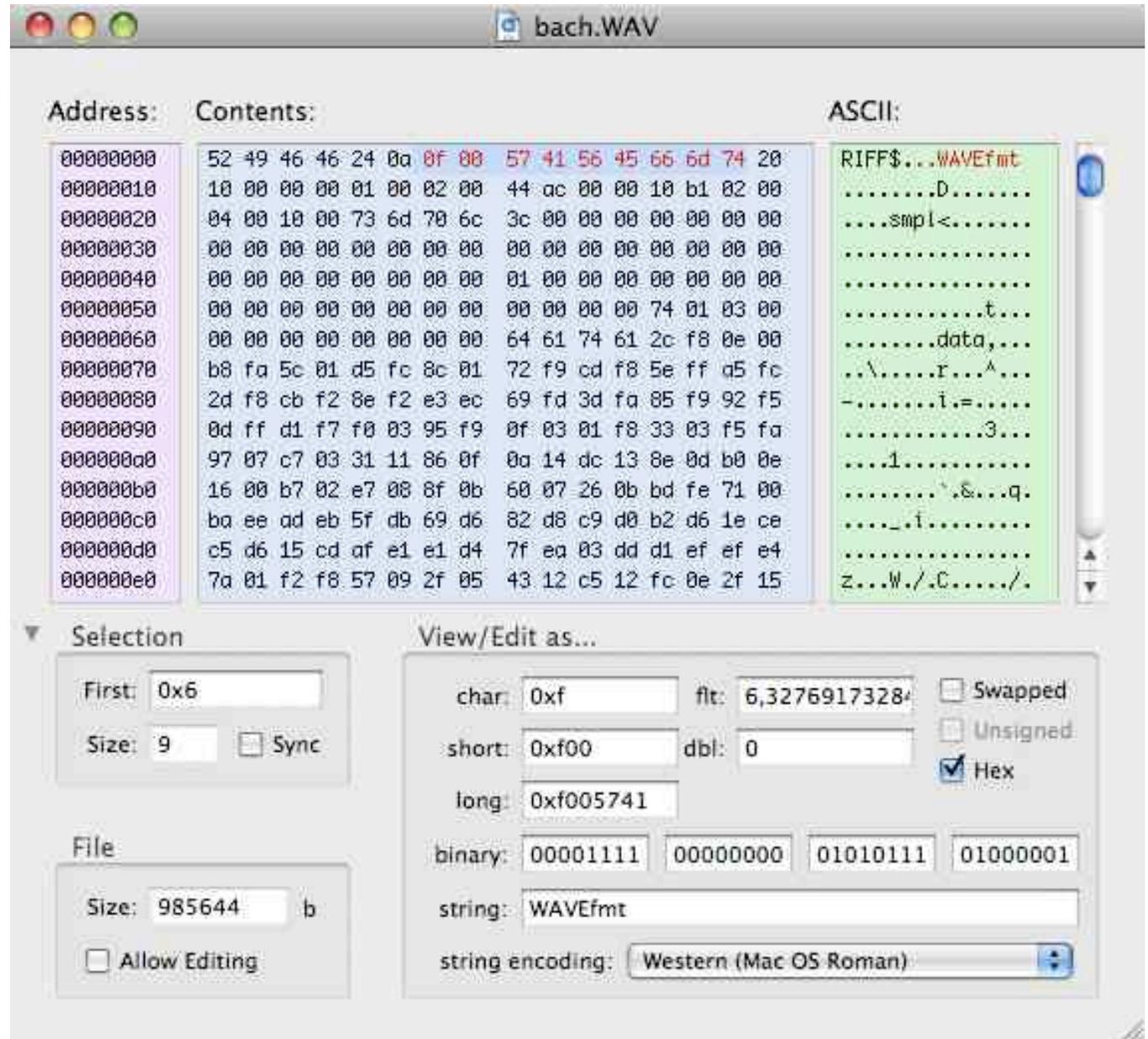


- Verbreitete RIFF-Datentypen (als eigenständige Dateiformate bekannt):
 - WAVE (oder .wav): Audio, unkomprimiert
 - AVI: Video (Audio/Video Interlaced), unkomprimiert
 - RMI: MIDI-Daten (sh. später)
 - BND: „Bündel“ von RIFF-Dateien

Wave-Format

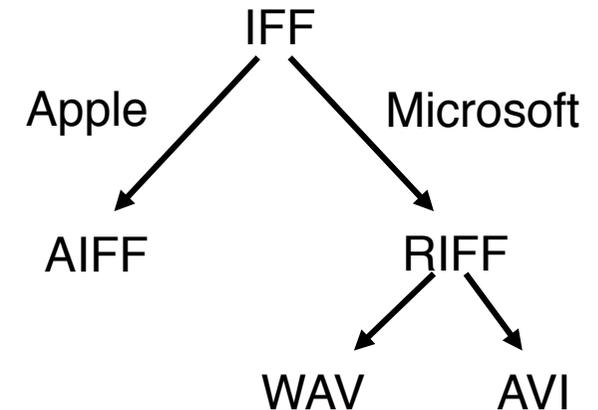
- Spezialfall des RIFF-Formats (RIFF-Typ „WAVE“)
- Zwei Arten von Chunks:
 - FMT-Chunk (Signatur „fmt“)
 - » Format-Typ (z.B. MS PCM, IBM ADPCM)
 - » Anzahl Kanäle
 - » Sampling-Rate (Hz)
 - » Datenrate (Bytes/s)
 - » Größe von Datenblöcken
 - » Formatspezifische Information
(Z.B. bei MS PCM 2 Byte Sample-Größe (bits/Sample))
 - DATA-Chunk (Signatur „data“), meist nur ein solcher Chunk vorhanden
 - » Bei mehreren Kanälen „interleaving“,
d.h. alle Kanäle für einen Zeitpunkt in Folge

Beispiel: Hexadezimaler Editor



AIFF (Audio Interchange File Format)

- Herstellerspezifische Erweiterung von IFF durch Apple für unkomprimiertes Audio
 - Format-Chunk
 - Daten-Chunks, byteweise gepackt
- Audiodaten für bis zu 6 Kanäle (Surround Sound)
- Möglichkeit zur Einstreuung von MIDI-Chunks und Instrumenten-Chunks
- Spezialvariante AIFF-C für komprimierte Audiodaten (ca. 6:1)



AU (Audio File Format)

- Bei NeXT entwickelt, weit verbreitet im UNIX-Bereich (z.B. Sun)
- Header:
 - Abtastrate, Kanalzahl, Datenformat etc.
 - beliebig lange Textinformation
- Datenbereich:
 - Kanäle miteinander verschränkt
 - Viele Datenformate, z.B.:
 - » von 8 bis 32 Bit
 - » μ -Law und linear
 - » Festkomma, Gleitkomma, doppelte Genauigkeit
- Unterstützung von Dateifragmentierung

QuickTime

- Bibliothek von systemnahen Programmen für MacOS und Windows für die Bearbeitung von zeitbasierten Medien („movies“)
 - Entwickelt von Apple ca. 1991-heute
- Sehr allgemeines Konzept für Medienstrukturen
 - „Atom“: Allgemeiner Container für Mediendaten
 - Mehrere Tracks je Präsentation
 - Pro Track:
 - » Medienstruktur (Referenzen zu Medien verschiedenen Typs)
 - » „Edit List“ für Zeitsynchronisation
- QuickTime wurde als Basis für die MPEG-4 Dateistruktur gewählt.
- Viele verschiedene Dateitypen von QuickTime unterstützt
 - Wichtiges spezifisches QuickTime-Format: „Movie“ (MOV)

```

'moov' - Movie
  'mvhd' - Movie Header
  'trak' - Track
    'tkhd' - Track Header
    'edts' - Edits
    'elst' - Edit List
    'mdia' - Media
      'mdhd' - Media Handler Header
      'hdlr' - Handler Description
      'minf' - Media Information
        'vmhd' - Video Media Header
        'hdlr' - Handler Description
        'dinf' - Data Handler Information
          'dref' - Data Reference
        'stbl' - Sample Table
          'tsd' - Sample Descriptions
          'stts' - Sample to Time
          'stsc' - Sample to Chunk
          'stsz' - Sample Sizes
          'stco' - Chunk Offset Table
    'udta' - User Data
  'trak' - Track
    'tkhd' - Track Header
    'edts' - Edits
    'elst' - Edit List
    'mdia' - Media
      'mdhd' - Media Handler Header
      'hdlr' - Handler Description
      'minf' - Media Information
        'smhd' - Sound Media Header
        'hdlr' - Handler Description
        'dinf' - Data Handler Information
          'dref' - Data Reference
        'stbl' - Sample Table
          'tsd' - Sample Descriptions
            flags 00000000 numEntries 1
            descSize 52 numChannels
            dataFormat sowl sampleSize
            dataRefIndex 1 sampleRate
            packetSize 0 compressionID
            bytesPerPacket 2 bytesPerFrame
          'stts' - Sample to Time
          'stsc' - Sample to Chunk
          'stsz' - Sample Sizes
          'stco' - Chunk Offset Table
    'udta' - User Data
  'udta' - User Data
  'VLOC'

```

Beispiel: QuickTime Dateistruktur

2	version
16	revLevel
0.032000	vendor
-1	samplesPerPacket
4	bytesPerSample

1	reserved	0
0		0
0		
1		
2		

Verlustfreie Audio-Kompression: Beispiele

- MPEG-4 Audio Lossless Coding (ALS)
 - TU Berlin, Real Networks, NTT
 - Basiert auf LPC-Codierung (und Golomb-Rice-Codierung)
- FLAC (Free Audio Lossless Coding)
 - Josh Coalson, jetzt bei Xiph.org Stiftung
 - Ca. 50% Reduktion der Dateigröße
 - Lineare Prädiktion, Lauflängen-Codierung, Golomb-Rice-Codierung
- ALAC (Apple Lossless Audio Codec)
 - 40-60 % Reduktion
 - In MPEG-4 Container gespeichert

5. Ton und Klang

- 5.1 Ton: Physikalische und physiologische Aspekte
- 5.2 Kompression von Audio-Signalen: MPEG-Audio
- 5.3 Audio-Datenformate: Übersicht
- 5.4 Klangerzeugung und MIDI



Literatur:

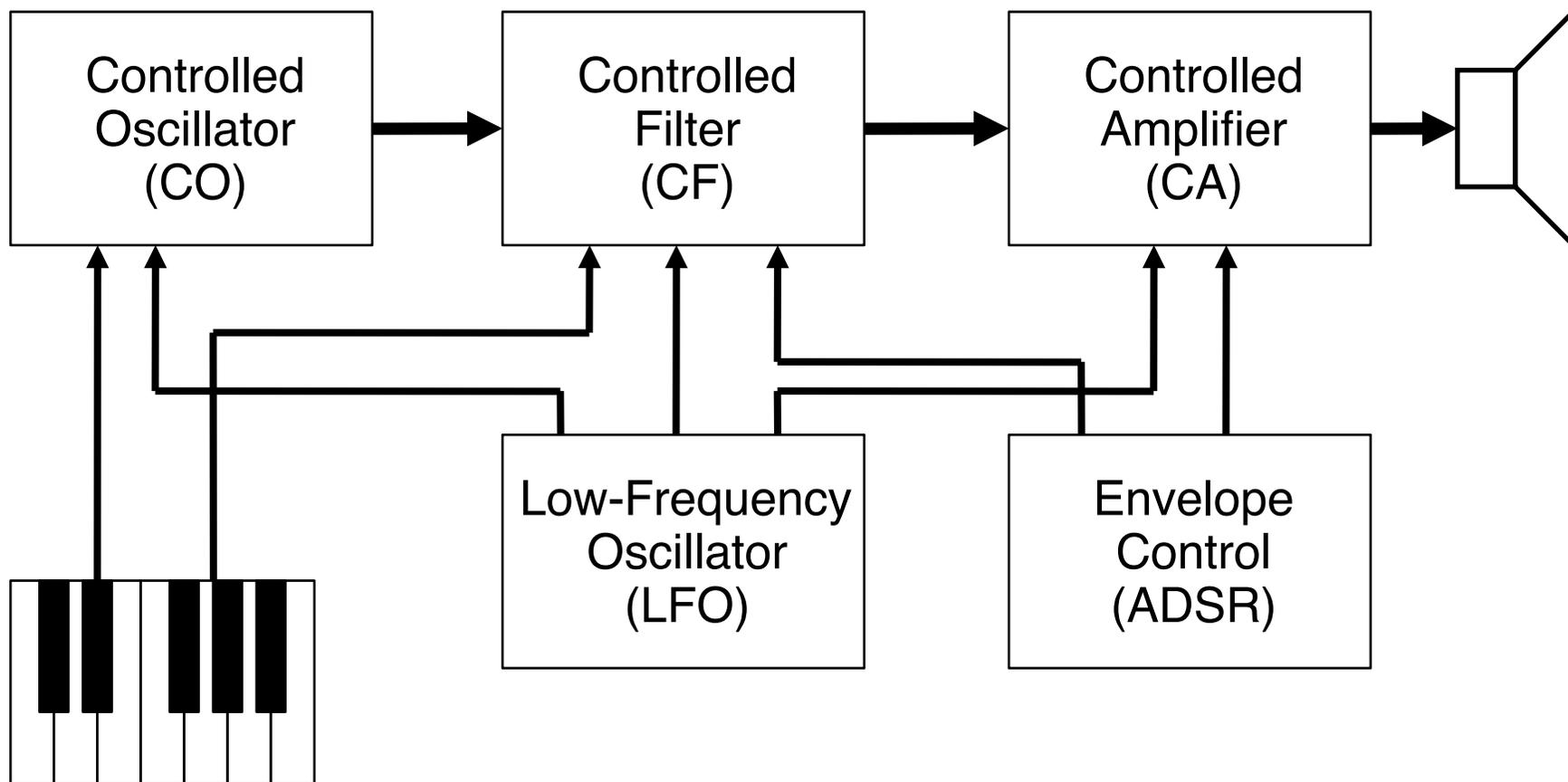
Hannes Raffaseder: Audiodesign, Fachbuchverlag Leipzig 2002

Elektronische Klangerzeugung

- Klänge für Musik oder Sprache können künstlich produziert werden
 - Tonhöhe, Lautstärke, Klangfarbe (*timbre*) einstellbar
- Klangerzeuger:
 - Einfache Klangerzeuger in Soundkarten enthalten (Frequenzmodulation einfacher Wellenformen)
 - Hochwertige Klangerzeuger z.B. in elektronischen Musikinstrumenten („Synthesizer“, MIDI-Keyboards)
 - » mehrstimmig (z.B. 128)
 - » multitimbral (z.B. 64 Klangfarben)
- Historisch gesehen:
 - 1900 Dynamophone (Thaddeus Cahill), 1920 Termenvox (Lew Termen), 1930 Trautonium (Friedrich Trautwein), 1960 Mellotron
 - Anfang der 60er Jahre (Robert Moog): Moderne Synthesizer-Architektur
 - 1968 Walter Carlos „Switched-on Bach“



Grundstruktur eines Synthesizers



Grundelemente bei der Klangerzeugung

- Oszillator
 - Erzeugt mehr oder weniger obertonreiches Signal, das die Grundfrequenz und auch wesentlich den Klangcharakter bestimmt
- Filter
 - Z.B. Hochpass, Tiefpass, Bandfilter
- Verstärker (*Amplifier*)
 - Kann über zeitabhängigen Pegelverlauf Klangempfindung wesentlich beeinflussen
- Hüllkurvengenerator (*Envelope Control*)
 - Zeitlicher Verlauf eines Klangereignisses auf ein einmaliges erzeugendes Ereignis hin (z.B. Tastendruck), meist ADSR (siehe nächste Folie)
- *Low Frequency Oscillator LFO*
 - Dient zur kontinuierlichen Veränderung eines klangbestimmenden Parameters innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls
 - Frequenzen typischerweise zwischen 0 und 20 Hz

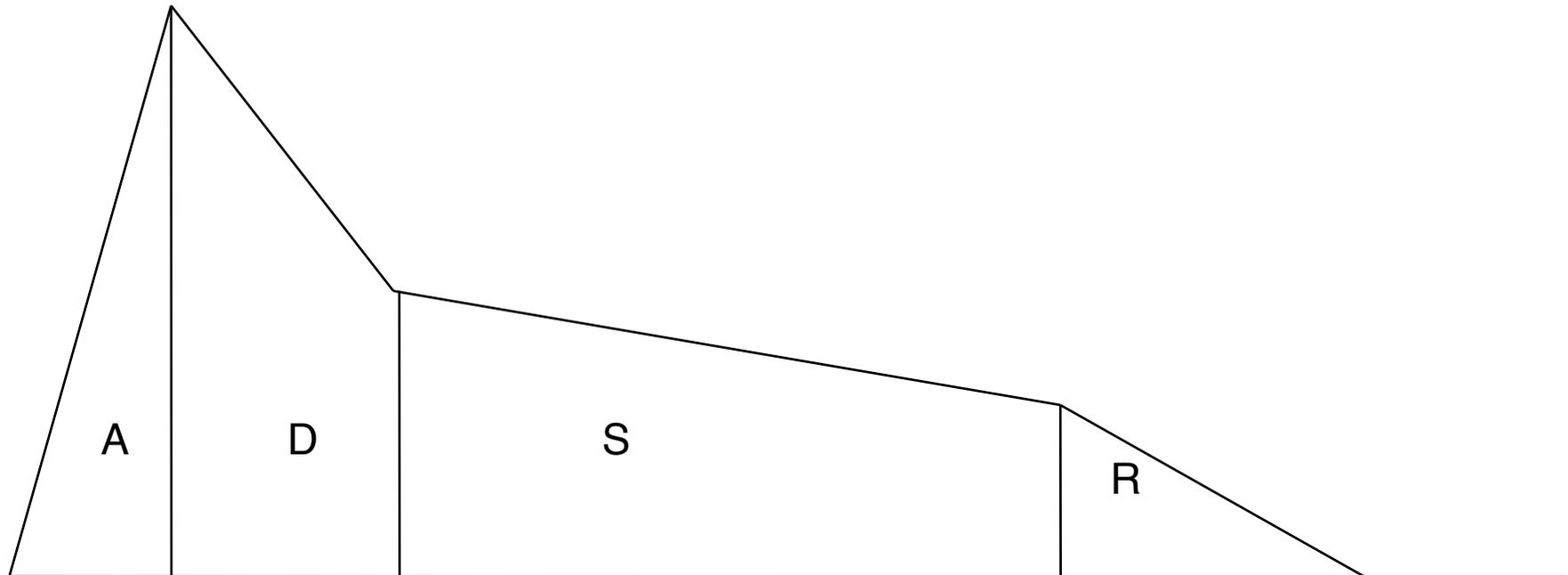
Beispiel: Software-Synthesizer



Software: Propellerhead Reason

ADSR-Modell

- Modulation nach dem ADSR-Modell
 - Attack (A), Decay (D), Sustain (S), Release (R)
 - Höhe und Breite der vier Parameter variabel
 - Verbreitet: Einstellung der A-, D-, S- und R-Zeiten über Regler



Verfahren zur Klangsynthese

- Additive Klangsynthese
 - Fourier-Analyse in der Praxis, zur Synthese umgewandelt
 - Realisierung eines Klangs als Überlagerung von Sinustönen
- Subtraktive Klangsynthese
 - Erzeugung obertonreicher Grundsignale (z.B. Sägezahn, Dreieck, ...)
 - Steuerung der Spektren mit Filtern und der Amplitude mit Verstärkern
- Wavetable-Synthese
 - Vordefinierte, gespeicherte Wellenformen
 - Oszillator durchläuft Wavetable in programmierter Weise (z.B. LFO)
- Sampling
 - Wiedergabe digital aufgezeichneter akustischer Ereignisse
 - Multisampling: Viele Aufnahmen mit verschiedenen Parameterwerte
- Granularsynthese
 - Zerlegung von Schallsignalen in *Grains* (wenige ms lange Abschnitte)
 - Entkopplung von Wiedergabegeschwindigkeit und Tonhöhe

MIDI: Geschichte und Überblick

- Synthesizer: Revolutionäres Musikinstrument in den 70er Jahren
 - Beatles (White Album), Carlos (Switched-on Bach), ...
 - Technische Probleme:
Polyphonie, Kombination verschiedener Geräte, Synchronisation
- 1983: Erste Interoperabilitäts-Vorführung
- MIDI (Musical Instrument Digital Interface) Standard
 - International MIDI Association (IMA)
 - MIDI Manufacturers Association (MMA)
- Bedeutung für Multimedia:
 - Standardisierte Sprache für
 - » Übernahme von Daten aus Endgeräten, die Musikinstrumenten entsprechen (insb. Keyboard)
 - » Ansteuerung von Peripheriegeräten (Synthesizer, Beleuchtung)
 - » Abstrahierte Darstellung von gespielter Musik

MIDI-Grundbegriffe

- Ereignis (*event*):
 - Musikalische Aktion, z.B. Musiker drückt Taste auf Keyboard mit bestimmter Anschlagsstärke (*velocity*)
 - » etwa: „NOTE ON C3 velocity 100“
 - Jedes Ereignis findet zu einem bestimmten Zeitpunkt statt (Zeitstempel)
- Nachricht (*message*):
 - Binäre Codierung der in einem Ereignis enthaltenen Information
 - Kann gespeichert, weitergegeben, vervielfältigt, modifiziert werden
- Befehl (*command*):
 - Anweisung an ein externes Gerät, bestimmte musikalische Aktionen auszuführen
- Klangfarbe (*timbre*):
 - Charakteristik eines bestimmten wiederzugebenden Instruments
 - „Multitimbral“
- Kanal (*channel*):
 - Identifikator für bestimmten Empfänger (traditionell 16 Kanäle)
 - „Musikinstrument“ bzw. entsprechender Klangerzeugungsprozess

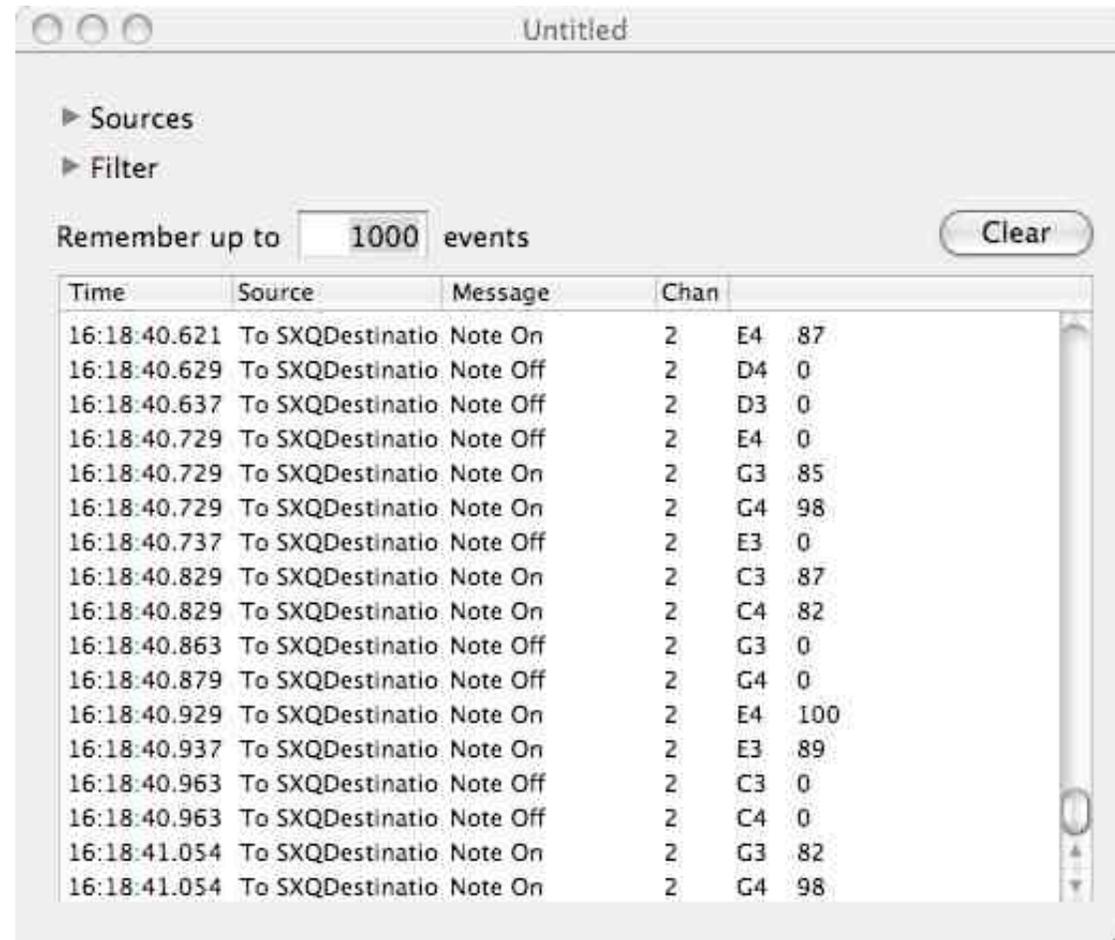
MIDI-Nachrichten

- Channel Voice Messages
 - Eigentliche Musikdaten (sh. nächste Folie)
- Channel Mode Messages
 - Steuerung des Synthesizers
 - » Ein-/Ausschalten der eigenen Tastatur (z.B. bei Keyboard/Synthesizer)
 - » Testmodus
 - » Polyphonie-Steuerung
- System Real-Time Messages
 - Synchronisationstakt
 - Synchronisierte Sequenzen
 - Überprüfung der Verfügbarkeit von Geräten
- System Exclusive Messages (SysEx)
 - Weitergabe herstellerspezifischer Information an individuelle Geräte

Inhalt einer MIDI-Datei: MIDI-Ereignisse

- Header-Information
- Track-Information
 - *Track* = Separat abspielbare und bearbeitbare Musikspur
- Track-Information Teil 1: Metainformation
 - Track-Nummer, -Name
 - Angaben zum Instrument (z.B. aus *General Midi*-Instrumenten)
 - Zeitbasis
- Track-Information Teil 2: Melodie
 - Folge von Channel Voice Messages, jeweils mit Zeitstempel relativ zur Zeitbasis
 - Note On (Parameter Notenwert, Anschlagstärke)
 - Note Off (Parameter Notenwert, Anschlagstärke)
 - Polyphonic Key Pressure (Parameter Notenwert, Anschlagstärke) (Änderung der Anschlagstärke über die Zeit)
 - Pitch Bend Change (Parameter Verschiebung) (Tonhöhenverstellung)

MIDI Ereignisse: Beispiel



Remember up to events

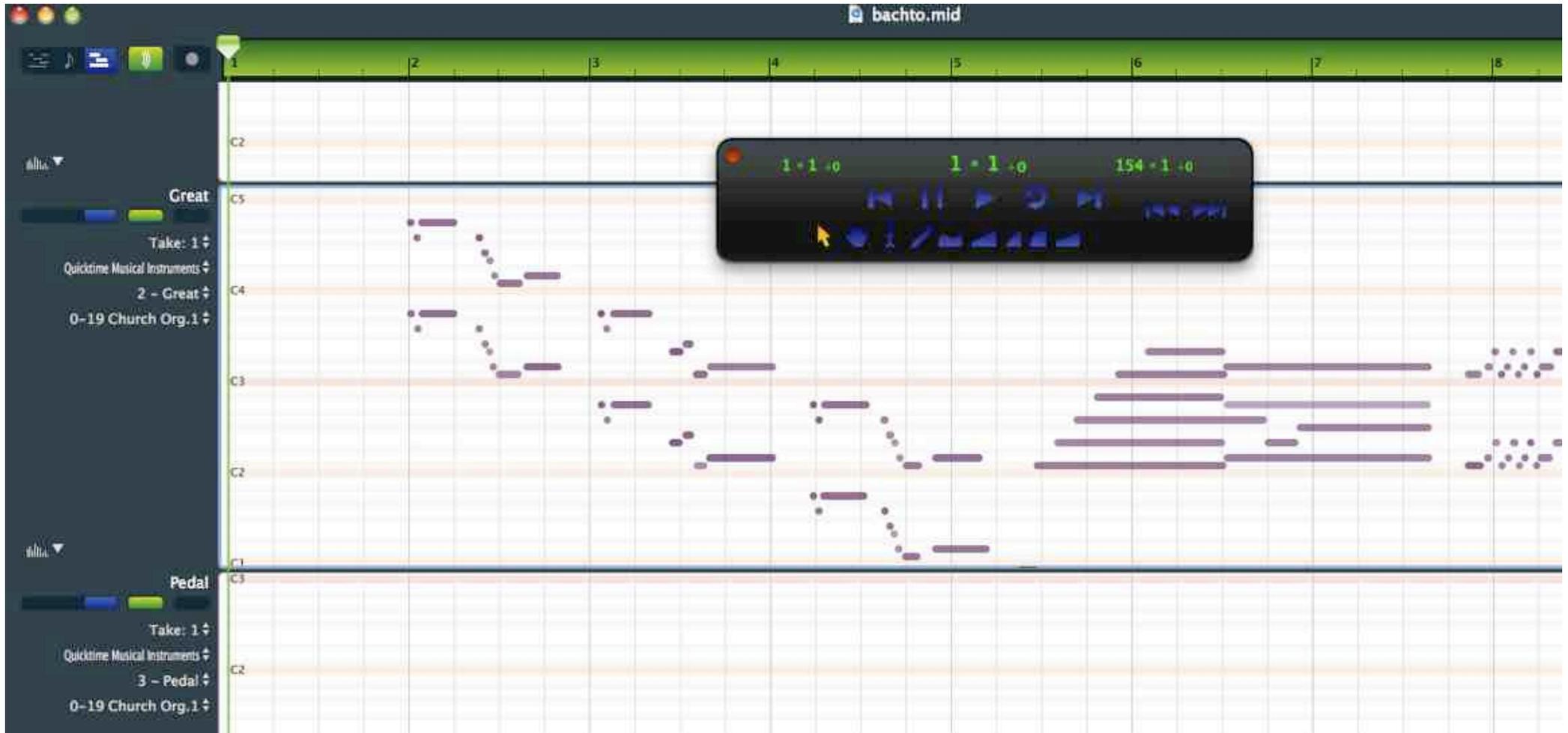
Time	Source	Message	Chan
16:18:40.621	To SXQDestinatio	Note On	2 E4 87
16:18:40.629	To SXQDestinatio	Note Off	2 D4 0
16:18:40.637	To SXQDestinatio	Note Off	2 D3 0
16:18:40.729	To SXQDestinatio	Note Off	2 E4 0
16:18:40.729	To SXQDestinatio	Note On	2 G3 85
16:18:40.729	To SXQDestinatio	Note On	2 G4 98
16:18:40.737	To SXQDestinatio	Note Off	2 E3 0
16:18:40.829	To SXQDestinatio	Note On	2 C3 87
16:18:40.829	To SXQDestinatio	Note On	2 C4 82
16:18:40.863	To SXQDestinatio	Note Off	2 G3 0
16:18:40.879	To SXQDestinatio	Note Off	2 G4 0
16:18:40.929	To SXQDestinatio	Note On	2 E4 100
16:18:40.937	To SXQDestinatio	Note On	2 E3 89
16:18:40.963	To SXQDestinatio	Note Off	2 C3 0
16:18:40.963	To SXQDestinatio	Note Off	2 C4 0
16:18:41.054	To SXQDestinatio	Note On	2 G3 82
16:18:41.054	To SXQDestinatio	Note On	2 G4 98

- MIDI-Dateien sind extrem kompakt.
- MIDI-Aufzeichnungen sind genauer als normale Notenschrift!

Typische Funktionen von MIDI-Sequenzern

- „Sequencer“ = Software zur Bearbeitung von synthetisierter Musik, z.B. mit MIDI
- Aufnehmen und Wiedergeben von Tonspuren
- Verschiedene Ansichten der gleichen Information:
 - Partitur, Keyboard-Matrix
 - Zeitgenaue Liniendarstellung
 - Darstellung von Zusatzinformation (z.B. *velocity*)
- Musik-Editor:
 - Komponieren (Noten einsetzen und verschieben, Längen verändern, Transponieren, ...)
 - Instrumente variieren
 - Effekte einfügen
 - Synchronisieren von Spuren und Abmischen
 - Oft integriert mit klassischer Mischpult-Funktionalität
 - Oft integriert mit Notensatz-Funktionalität

Beispiel: MIDI-Sequencer

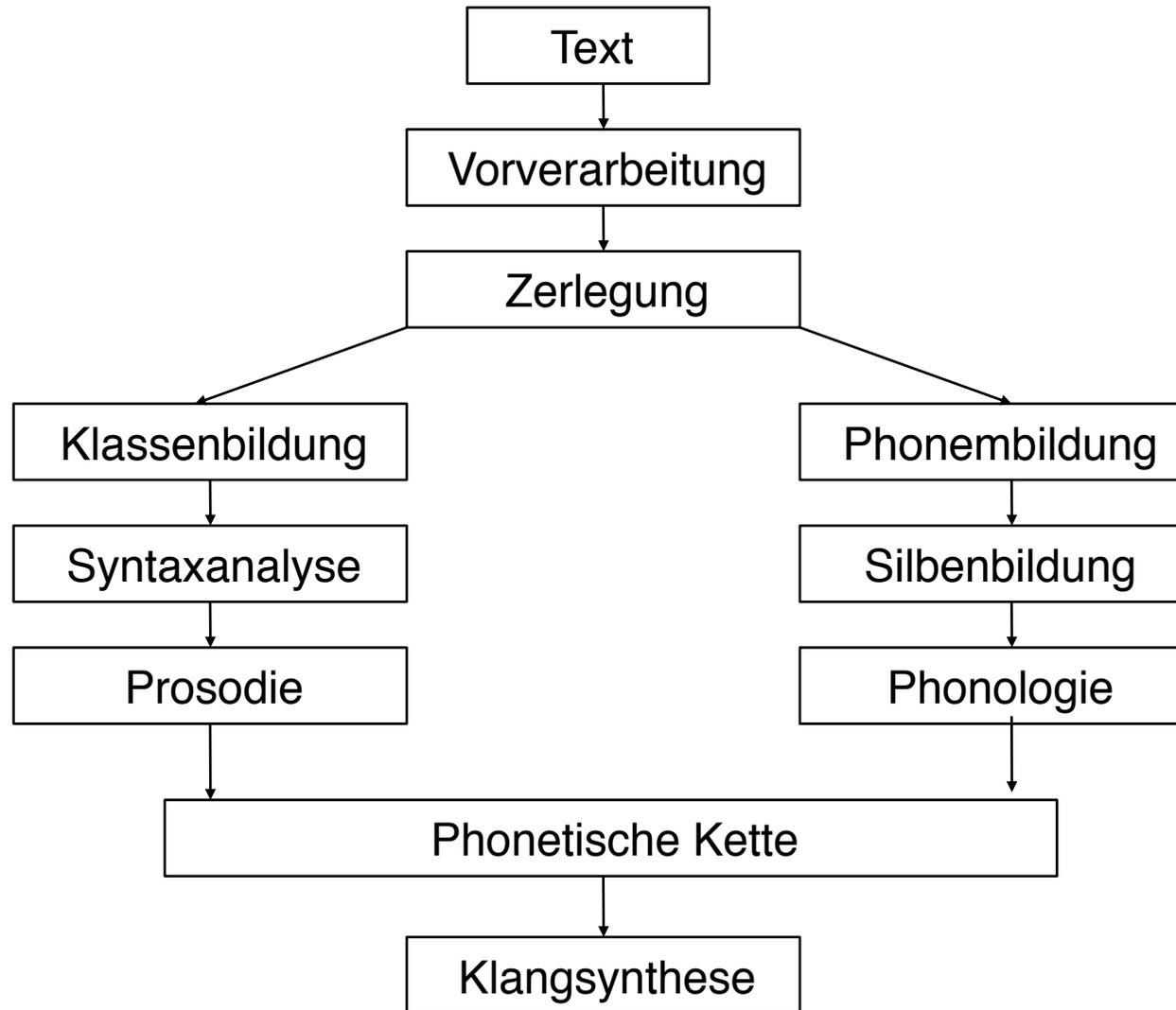


Intuem

Sprachanalyse und Sprachsynthese

- Ein- und Ausgabe in natürlicher Sprache
 - Alter Traum der Informatik
 - Grenzgebiet zu Computerlinguistik, KI
- Sprachausgabe:
 - relativ stabile Technologie
 - Bestandteil vieler Standard-Betriebssysteme
- Spracheingabe:
 - immer noch relativ wenig beherrscht
 - Trainingsfreie Systeme noch störanfällig
 - Trainingsgebundene Systeme existieren mit akzeptabler Leistung

Sprachsynthese: Grob Ablauf



Weiterentwicklung im Bereich Klangerzeugung

- MPEG-4 Standard:
 - *Structured Audio Format* ermöglicht Spezifikation von Klangerzeugern
 - *SAOL (Structured Audio Orchestral Language)* zur Beschreibung von elektronischen Instrumenten und Audioeffekten
 - *SASL (Structured Audio Source Language)* erlaubt differenzierte Formulierung von Spielanweisungen (über MIDI hinaus)
- Anwendungsfeld Interaktion:
 - Akustische Signale in Spielen und Softwaresystemen tendieren dazu, den Benutzer durch stupide Wiederholung zu ermüden
 - Softwaresynthese von Klängen eröffnet die Möglichkeit, situationsabhängig neue Klänge zu generieren, wo erwünscht