



# Informatik der digitalen Medien

Ergänzungs-Studienangebot der Mediendidaktik für  
Lehramtstudenten  
Dr. Harald Sack  
Institut für Informatik  
FSU Jena  
Sommersemester 2007

<http://www.informatik.uni-jena.de/~sack/SS07/infod.htm>

## Informatik der digitalen Medien

---

1 2 3 4 5 21.05.2007 – Vorlesung Nr. 6 7 8 9 10 11 12  
13  
14

### 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (Teil 3)

Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2.4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

2

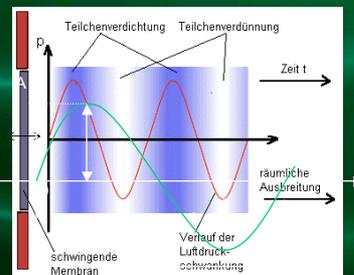
## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (4)

- Audiokodierung und -komprimierung
  - Sampling und Quantisierung
  - Pulse Code Modulation
  - Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung
  - Verlustbehaftete MP3-Audiokodierung

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- Was ist Schall?
- Schall wird hervorgerufen durch Schwingungen von Molekülen in einem elastischen Medium, die sich wellenförmig ausbreiten.
- Maßeinheit:
  - Frequenz = #Schwingungen/Sekunde = Hz (Hertz)
  - $\Delta t$  = Dauer einer Schwingung:  $\Delta t$
  - Frequenz:  $f = \frac{1}{\Delta t}$
- Lautstärke: Höhe der Amplitude A



# Audiokodierung und Komprimierung

## ● Sampling und Quantisierung

### ○ Was ist Schall?

### ○ Lautstärke: Schalldruck

- Druckschwankungen eines kompressiblen Schallübertragungsmediums, die bei der Ausbreitung von Schall auftreten

### ● angegeben wird aber meist der Schalldruckpegel, gemessen in Dezibel (db)

- 1db entspricht der Lautstärke, bei der ein Ton von 1 KHz gerade noch hörbar ist
- $p_0 = 0 \text{ db} \rightarrow$  Hörschwelle, entspricht Schalldruck von  $20\mu\text{Pa}$



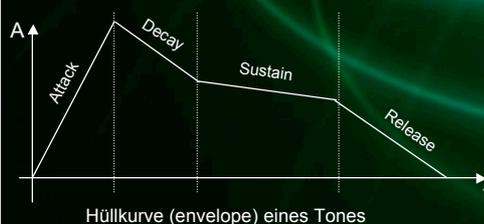
Alexander  
Graham Bell  
(1847-1922)

# Audiokodierung und Komprimierung

## ● Sampling und Quantisierung

### ○ Was ist Schall?

- der Klang (subjektives Schallerlebnis) kann charakterisiert werden durch
  - Lautstärken ( $\rightarrow$  Amplitude) und
  - Tonhöhen ( $\rightarrow$  Frequenz) seiner Grund- und Obertöne ( $\rightarrow$  Frequenzspektrum)
  - im zeitlichen Verlauf



Hüllkurve (envelope) eines Tones

### Grundton

tiefste Frequenz einer komplexen Wellenform

### Oberton

bei natürlicher Tonerzeugung wird stets neben dem Grundton eine Vielzahl höherer Töne erzeugt

### Frequenzspektrum

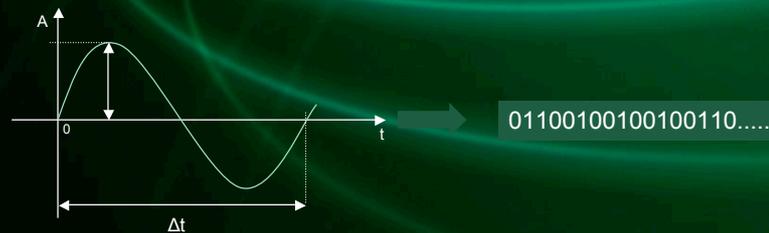
Gesamtheit aller Obertöne

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Was ist Schall?**

- Schall ist ein **analoges Signal**
  - Zeitkontinuierlich
  - Wertekontinuierlich
  - → muss zur Darstellung im Computer **digitalisiert** werden



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

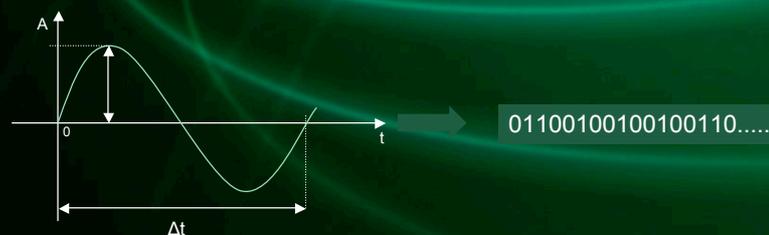
7

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**

- Lässt sich in drei Stufen zerlegen:
  1. Abtastung des Signals (**Sampling**)
  2. Diskretisierung der Abtastwerte (**Quantisierung**)
  3. **Kodierung** der quantisierten Abtastwerte



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

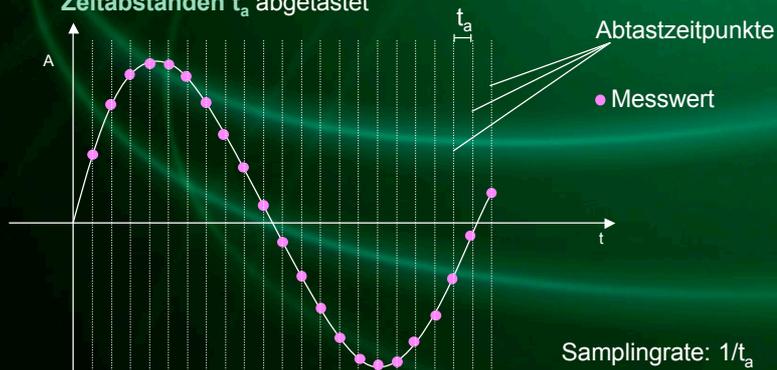
8

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**

1. **Sampling:** das Signal wird periodisch in bestimmten Zeitabständen  $t_a$  abgetastet



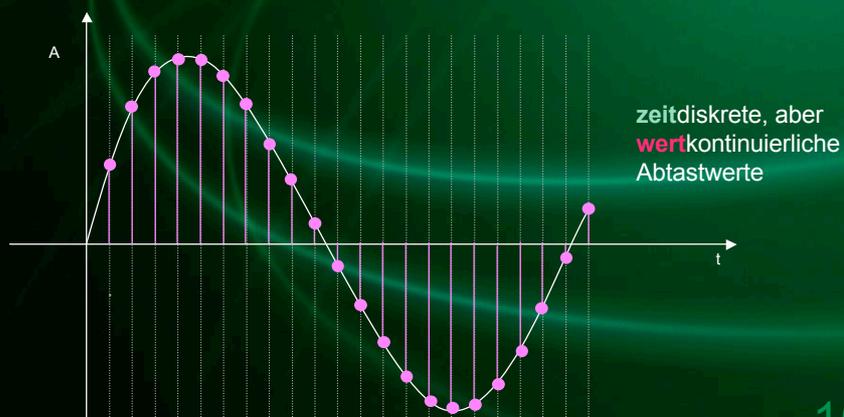
Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

9

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

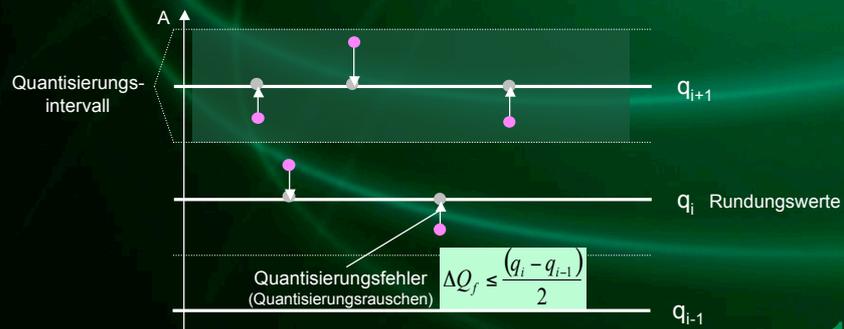
10

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**

2. **Quantisierung:** Rundung der kontinuierlichen Abtastwerte auf diskrete Quantisierungspunkte



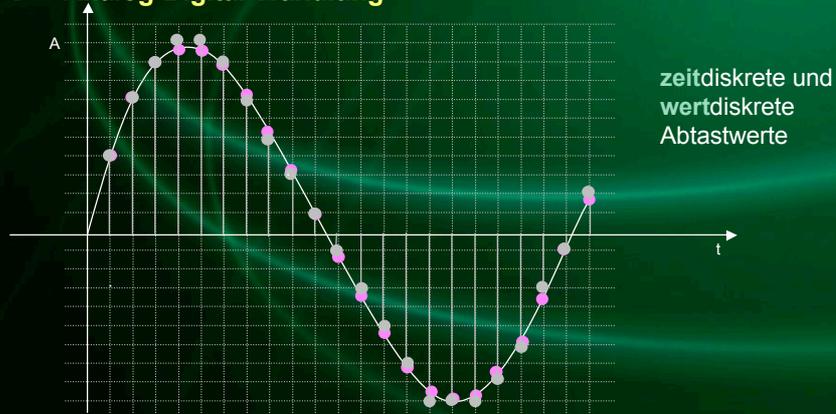
Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

11

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**



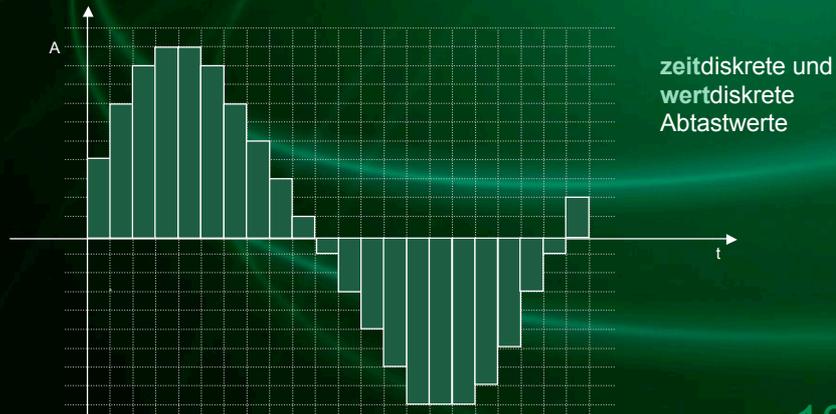
Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

12

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

13

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**

- **Problem:**

- Wie viele Abtastpunkte? (*Samplingrate*)
- Wie viele Quantisierungsintervalle? (*Samplingtiefe*)

- **Ziel:**

- Möglichst exakte Reproduktion des Ursprungssignals bei möglichst geringem Speicheraufwand

Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

14

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**

- **Abtasttheorem nach Shannon/Raabe/Nyquist/Kotelnikow**

- Für jede Größe eines Samplingintervalls  $\Delta t$  gibt es eine bestimmte **kritische Frequenz  $f_a$**  (nyquist critical frequency), die die obere Grenze angibt, bis zu der Frequenzen abgetastet werden können
- Um eine Schwingung rekonstruieren zu können, werden **zwei Abtastpunkte innerhalb einer Schwingungsperiode** benötigt.



Claude E. Shannon  
(1916-2001)



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2.4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

15

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**

- **Abtasttheorem nach Shannon/Raabe/Nyquist/Kotelnikow**

- Ist vorab die **höchste in einem Signal vorkommende Frequenz ( $f_a$ )** bekannt, kann ein optimales **Samplingintervall ( $\Delta t$ )** bestimmt werden:

$$f_a \leq \frac{1}{2\Delta t}$$

- Daher folgt für die **Samplingrate  $f_s$** :

$$f_s \geq 2 \cdot f_a$$

Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2.4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

16

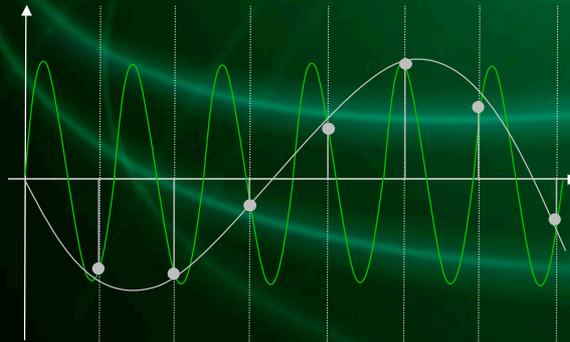
## Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**

- **Abtasttheorem nach Shannon/Raabe/Nyquist/Kotelnikow**

- Bsp.: zu niedrige Samplingrate



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

17

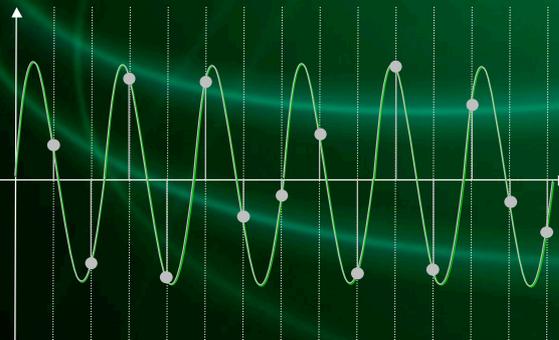
## Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**

- **Abtasttheorem nach Shannon/Raabe/Nyquist/Kotelnikow**

- Bsp.: ausreichende Samplingrate



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

18

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**

- **Abtasttheorem nach Shannon/Raabe/Nyquist/Kotelnikow**
  - in der **Praxis** müssen Frequenzanteile jenseits der kritischen Nyquist-Frequenz ( $f_a$ ) durch einen **Tiefpassfilter** entfernt werden, da sonst störende **Artfakte** auftreten
  - in der Praxis gibt es aber keinen „idealen“ Tiefpassfilter

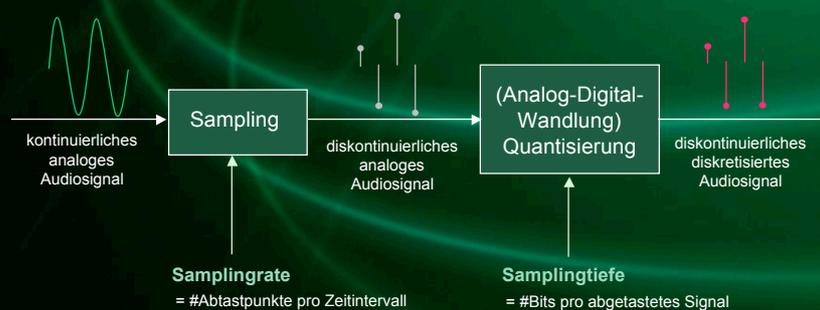


# Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- **Analog-Digital-Wandlung**

- **Ablauf der Digitalisierung**



# Audiokodierung und Komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**
  - **Analog-Digital-Wandlung**
    - Bsp. für Audio-Kodierungsparameter

Typ	Frequenzen [Hz]	Samplingtiefe [Bit]	Samplingrate [Hz]	Kanäle
Telefon	200-3.400	8	8.000	1
Radio	50-11.000	8	22.050	2
CD	20-20.000	16	44.100	2
Studio	20-20.000	24	48.000	n

Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

21

# Informatik der digitalen Medien

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (4)

- **Audiokodierung und -komprimierung**
  - Sampling und Quantisierung
  - **Pulse Code Modulation**
  - Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung
  - Verlustbehaftete MP3-Audiokodierung

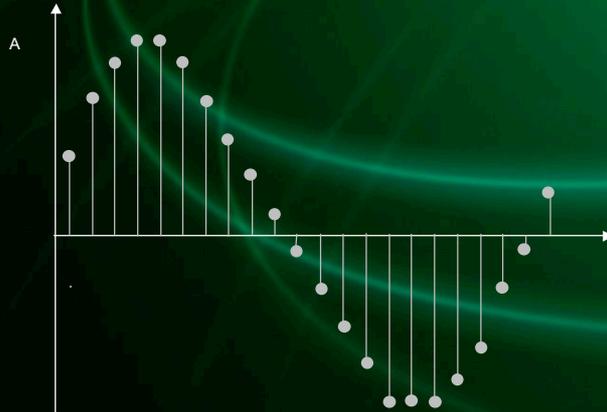
Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

22

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Pulse-Code Modulation (PCM)**

○ = Digitalisierung eines analogen Audiosignals



Pulse-Amplitudenmoduliertes Signal

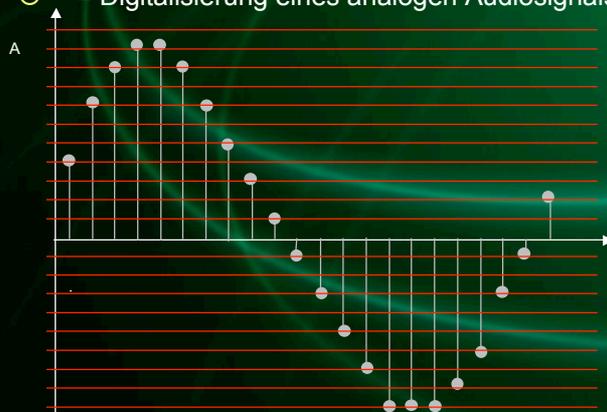


Alec A. Reeves  
(1902-1971)

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Pulse-Code Modulation (PCM)**

○ = Digitalisierung eines analogen Audiosignals



Quantisierungsstufe

• n Stufen erfordern  
 $k \geq \log_2 n$  Bits zur  
Kodierung



Effiziente  
Einteilung ???

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Pulse-Code Modulation (PCM)**

- **Lineare PCM**

- Die Signalamplitude wird in **gleich große Quantisierungsintervalle** unterteilt
  - + Hohe Auflösung
  - + Möglichst fehlerfreies Signal
  - Hohe Datenrate notwendig



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2.4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

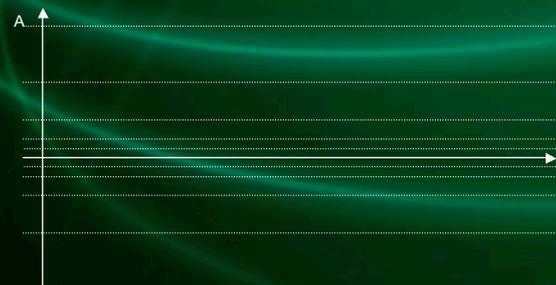
25

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Pulse-Code Modulation (PCM)**

- **Dynamische PCM**

- Die Signalamplitude wird in **unterschiedlich große Quantisierungsintervalle** (z.B. logarithmisch) aufgeteilt
  - entspricht menschlichem Hörempfinden
  - erlaubt kompaktere Kodierung (geringere Samplingtiefe)



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2.4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

26

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Pulse-Code Modulation (PCM)**

- **Differentielle PCM (DPCM)**

- Unterschiede zwischen aufeinander folgenden Abtastwerten sind oft nur gering,
- daher ist eine Kodierung der **Differenzen** zwischen den aufeinander folgenden Abtastwerten effizienter.
- Feste **Referenzpunkte** mit exakter Kodierung des Signals notwendig
- **Adaptive DPCM**
  - Treffe **Vorhersage** zum nächsten Abtastwert
  - kodiere nur die **Differenz zwischen Vorhersagewert und tatsächlichem Signalwert**
  - zusammen mit Huffman-Kodierung erreicht man damit eine verlustfreie Audiokomprimierung im Verhältnis 1:2

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Pulse-Code Modulation (PCM)**

- **Wie viel Audioinformation passt eigentlich auf eine CD?**

- Frequenzgang 20-20.000 Hz
- Samplingrate 44.100 kHz
- Stereo 2 Kanäle
- Samplingtiefe 16 bit

- 1 Minute Audioinformation in CD-Qualität:

$$60s \cdot 44.100 \text{ 1/s} \cdot 16 \text{ bit} \cdot 2 = 84.672.000 \text{ bit} \\ = 10.584.000 \text{ Byte}$$

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Pulse-Code Modulation (PCM)**

- **Unkomprimiertes Audiodatenformat - .wav**

- Waveform Audio File Format (IBM/Microsoft)
- Teil des Windows RIFF (Resource Interchange File Format)
- unterteilt Datei in einzelne „Häppchen“ (Chunks)
  - RIFF-Chunk
  - Format-Chunk
  - Data Chunk
  - Cue Chunk (Synchronisation)
  - Playlist Chunk

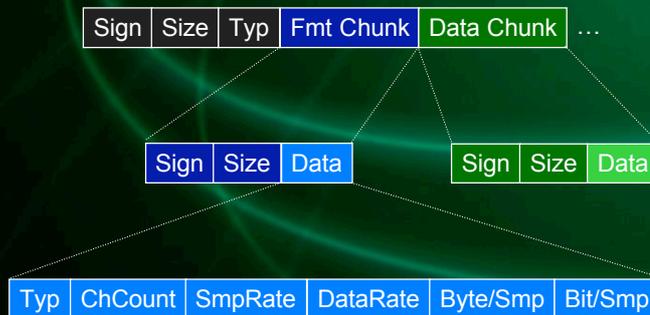


ähnlich aufgebaut: Apples **AIFF**

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Pulse-Code Modulation (PCM)**

- **Unkomprimiertes Audiodatenformat - .wav**



## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (4)

- **Audiokodierung und -komprimierung**
  - Sampling und Quantisierung
  - Pulse Code Modulation
  - **Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung**
  - Verlustbehaftete MP3-Audiokodierung

## Audiokodierung und Komprimierung

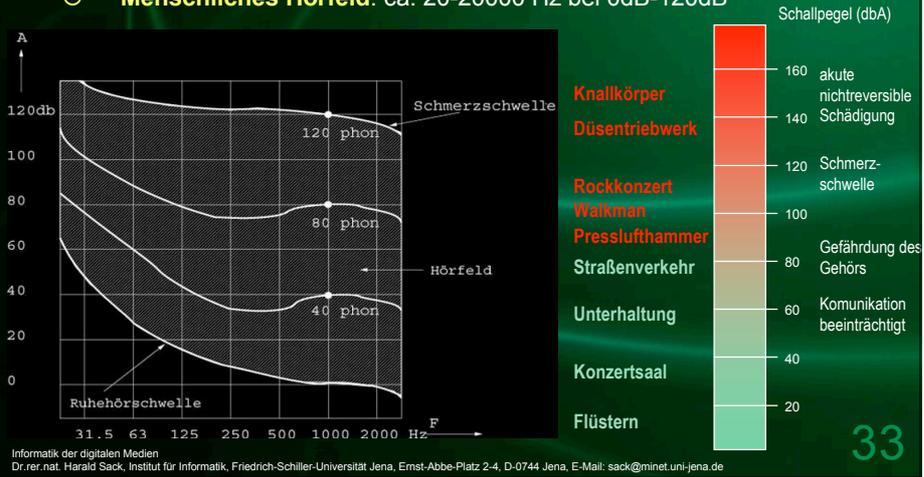
---

- **Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung**
  - mit Huffman-Kodierung erreicht man eine **verlustfreie Audiokomprimierung im Verhältnis 1:2**
  - verlustfreie Komprimierung erlaubt exakte Rekonstruktion des Ursprungssignals
  - **Adaptive DPCM** nutzt **lineare Prediktion**
    - aus bereits vergangenen Signalwerten wird Vorhersagewert ermittelt
    - kodiert wird lediglich die Differenz zwischen Vorhersagewert und tatsächlichem Signal
  - **weitere Reduktion ist nur durch gezieltes Weglassen von Audioinformation möglich**
  - → nutze die Schwächen des menschlichen Wahrnehmungssystems aus

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung**

- **Menschliches Hörfeld:** ca. 20-20000 Hz bei 0dB-120dB

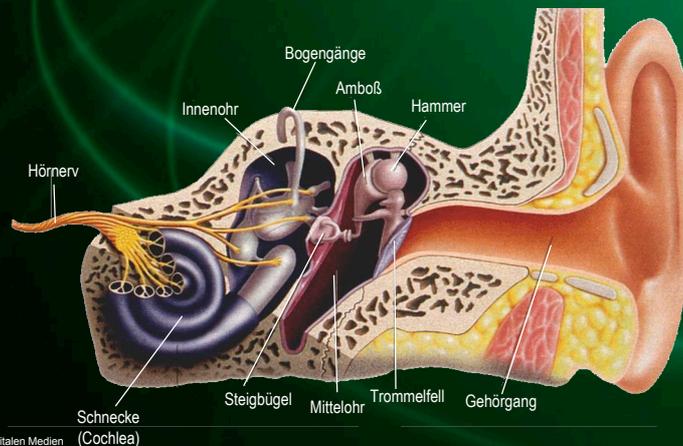


33

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung**

- **Menschliches Gehör**



34

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung**

- **Menschliches Gehör**

- **Außenohr:** Ohrmuschel, Gehörgang, Trommelfell
- **Mittelohr:** Gehörknöchel (Hammer, Amboss, Steigbügel)
  - Durch **Luftdruckschwankung** hervorgerufene Schwingung der Trommelfellmembran wird in **mechanische Schwingungen** umgewandelt
- **Innenohr:** ovales Fenster, Gehörschnecke (Cochlea), Hörnerv
  - Mechanische Schwingungen werden über ovales Fenster an Lymphflüssigkeit der Cochlea weitergegeben. Im Zentrum der Cochlea verläuft die **Basilarmembran** mit dem **Cortischen Organ**, das mit seinen **20.000 Haarzellen** von unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlich stark gereizt wird. Die von den Haarzellen abgegebenen **bioelektrischen Impulse** werden vom **Hörnerv** aufgenommen und an das **Gehirn** weitergegeben
- Unterschiedliche Frequenzbereiche werden als unterschiedlich laut wahrgenommen (vgl. Hörfeld)



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07444 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

35

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung**

- kodiere nur Signale, die **im menschlichen Hörfeld** liegen
- auch innerhalb des Hörfeldes müssen nicht alle Signale kodiert werden
  - **Simultane Verdeckung:**  
starkes (lautes) Signal verdeckt (maskiert) gleichzeitiges schwaches (leises) Signal
  - **Temporäre Verdeckung:**  
starkes Signal verdeckt schwaches Signal nicht nur zeitgleich, sondern wirkt
    - für gewisse Zeit nach (bis 200 ms)
    - sogar einige Zeit vor (bis 50 ms, liegt an der Trägheit des Hörvorganges)

Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-07444 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

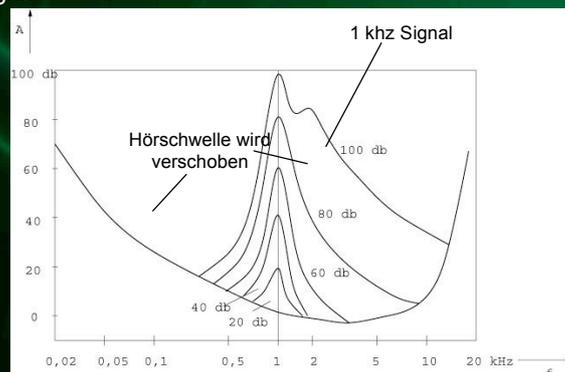
36

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung**

- **Simultane Verdeckung:**

starkes (lautes) Signal verdeckt (maskiert) gleichzeitiges schwaches (leises) Signal



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2,4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

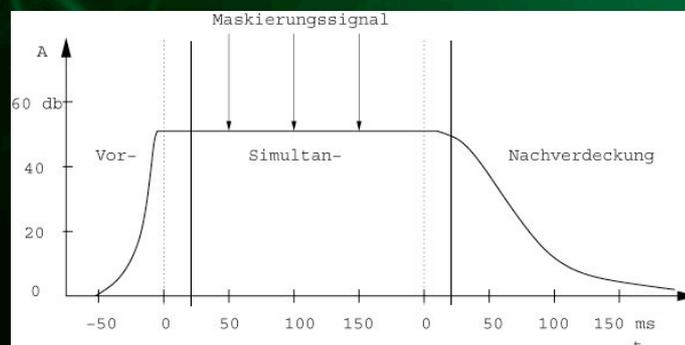
37

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung**

- **Temporäre Verdeckung:**

starkes Signal verdeckt schwaches Signal nicht nur zeitgleich, sondern wirkt nach bzw. sogar vor



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2,4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

38

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (4)

- **Audiokodierung und -komprimierung**
  - Sampling und Quantisierung
  - Pulse Code Modulation
  - **Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung**
  - **Verlustbehaftete MP3-Audiokodierung**

## Audiokodierung und Komprimierung

---

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung**
  - **MPEG 1 – Layer 3**
    - Motion Pictures Expert Group - **MP3 = MPEG 1 - Layer 3**
    - Standard für Video Compact Disc (VCD)
    - entwickelt vom Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltkreise in Erlangen mit AT&T Bell Labs und Thompson (ab 1987)
    - basiert auf **Subband-Coding** mit eigenem **psycho-akustischen Modell**
    - ISO-Standard
      - standardisiert lediglich Dekoder und Datenformat
      - Kodierer nicht standardisiert
    - MP3-Datei besitzt keinen expliziten Header, sondern ist eine Aneinanderreihung einzelner Datenblöcke mit jeweils eigenem Header + Audioinformationen (→ **Streaming**)

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung**
  - **MPEG 1 – Layer 3**
    - Vergleich der Kompressionsraten

Verfahren	Ratio	Datenrate
CD-Audio	1:1	~1,4 Mbps
MPEG 1 Layer I	1:4	384 kbps
MPEG 1 Layer II	1:6...1:8	192...256 kbps
MPEG 1 Layer III	1:10...1:12	112...128 kbps

Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

41

## Audiokodierung und Komprimierung

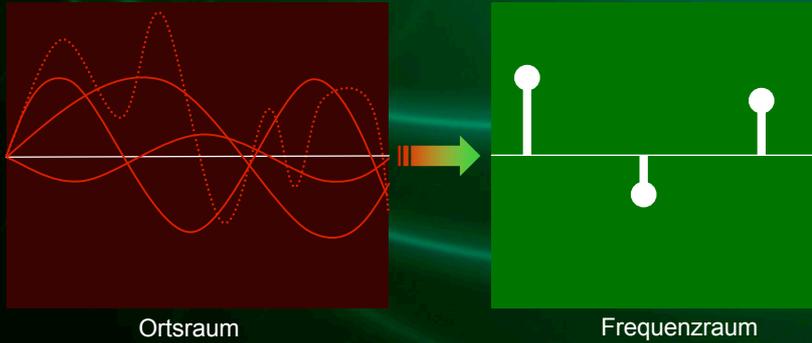
- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung**
  - **MP3-Kodierung**
    - **Predictive Coding**
      - Wissen über bereits kodiertes Signal wird zur Vorhersage des Folgesignals benutzt (nur Differenz wird kodiert)
    - **Spektral-Transform Coding**
      - Fourier-Transformation des Wellensignals (Überführung von Ortsraum in Frequenzraum)
    - **Sub-Band Coding**
      - psycho-akustisches Modell
      - Audio-Spektrum wird in Frequenzbänder aufgeteilt (fast alle Bänder haben gegenüber dem lautesten Band weniger relevante Information)

Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

42

# Audiokodierung und Komprimierung

- Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung
  - MP3-Kodierung
    - Spektral/Transform Coding

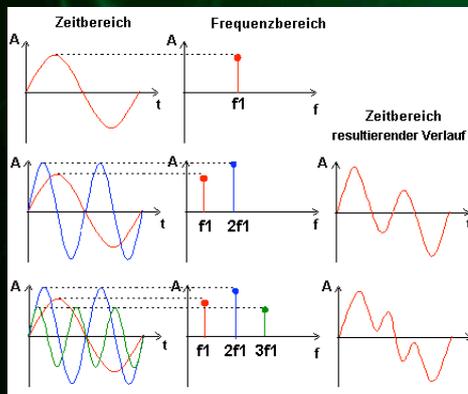


Informatik der digitalen Medien  
 Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

43

# Audiokodierung und Komprimierung

- Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung
  - MP3-Kodierung
    - Ortsraum  $\leftrightarrow$  Frequenzraum



- Jede periodische Schwingung kann als eine Überlagerung von Sinusschwingungen unterschiedlicher Amplituden und Frequenzen dargestellt werden
- Trägt man die Amplituden der beteiligten Schwingungen in Abhängigkeit der Frequenz auf, erhält man das **Frequenzspektrum**

Informatik der digitalen Medien  
 Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

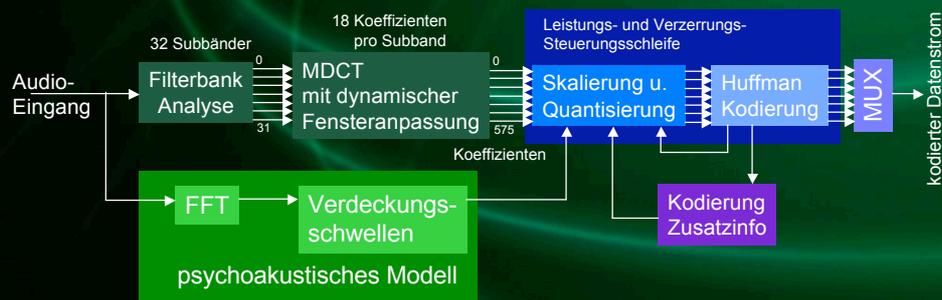
44

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung**

- **MP3-Kodierung**

- **Ablauf**



Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

45

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung**

- **MP3-Kodierung**

- **Kodierung der Stereokanäle**

- Menschliches Gehör ist nicht in der Lage, Richtungsinformationen bei sehr niedrigen/hohen Frequenzen zu gewinnen
- **Intensity Stereo**  
Kodierte bestimmte Frequenzbereiche nur mono, versehe diese mit „Richtungsinformation“ aus den anderen Frequenzbändern
- **Mid/Side-Stereo**  
Sind linker (L) und rechter Kanal (R) sehr ähnlich, übertrage (L+R) und (L-R) anstelle (L) und (R)

Informatik der digitalen Medien  
Dr.rer.nat. Harald Sack, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Ernst-Abbe-Platz 2-4, D-0744 Jena, E-Mail: sack@minet.uni-jena.de

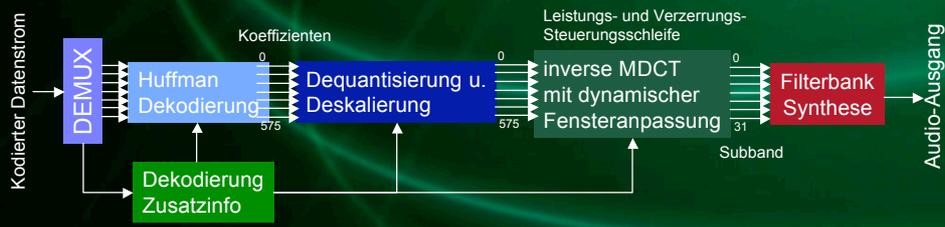
46

# Audiokodierung und Komprimierung

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung**

- **MP3-Dekodierung**

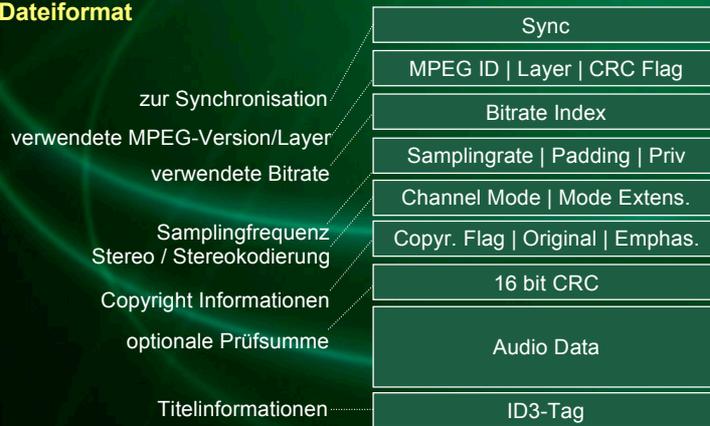
- **Ablauf**



# Audiokodierung und Komprimierung

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung**

- **MP3-Dateiformat**



## Audiokodierung und Komprimierung

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung**

- **MP3-ID3-Tag**

- beinhaltet Zusatzinformation über kodierte Audiodatei
- ID3v1 → starre Struktur
- ID3v2
  - Eigenes Containerformat
  - Pakete mit jeweils <16 MB
  - steht am Beginn (Streaming)
  - eigenständige Dateien wie z.B. Bilder, Songtexte, Karaoke, ...
  - wird eigenständig komprimiert



ID3v1-Tag (128 Byte)

## Audiokodierung und Komprimierung

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung**

- **MPEG 2 (Advanced Audio Coding)**

- Verbesserte Vorhersagealgorithmen
- bis zu 48 reguläre Kanäle + 16 Niedrigfrequenzkanäle
- Samplingraten bis zu 96 kHz
- Fenstergröße bis zu 2048 Samples (verbesserte zeitliche Auflösung/Frequenzauflösung)
- Temporal Noise Shaping (Steuerung des Quantisierungsrauschens)
- Qualität wie MP3 bei lediglich 70% der benötigten Bitrate
- **MPEG 4 AAC**
  - Speziell für **Mobile Computing** und Sprachübertragung
  - ab 4 kbps verständliche Sprachübertragung
  - Perceptual Noise Substitution (PNS) und Long Term Prediction (LTP)

## Audiokodierung und Komprimierung

---

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung**
  - **Andere verlustbehaftete Audiodatenformate**
    - ATRAC
      - Sony Minidisk, Komprimierung ca. 5:1, Kaskadeneffekte
    - AC-1 / AC-2 / AC-3
      - Dolby, für Rundfunk, Soundkarten und Digital Surround 5.1
    - MP3-Surround
    - MP3prO
    - OGG Vorbis
    - WMA/ASF
    - MP+ / MPC

## Informatik der digitalen Medien

---

### 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer (4)

- **Audiokodierung und -komprimierung**
  - Sampling und Quantisierung
  - Pulse Code Modulation
  - Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung
  - Verlustbehaftete MP3-Audiokodierung