

Digitale Medien

9 – DIGITAL AUDIO

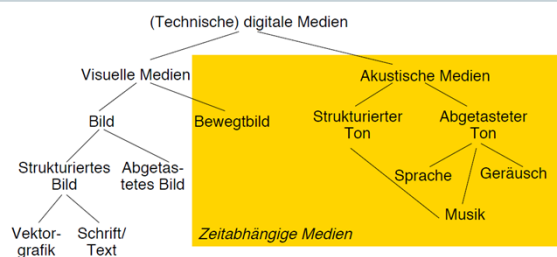
Allgemein

2

- vergangene LVen: Darstellung von Informationen: Bilder
- Heute: Audio
 - Auditive Wahrnehmung
 - Digitalisierung
 - Speicherung von Audiodaten
 - Formate
 - Schnitt

Medientypen

3

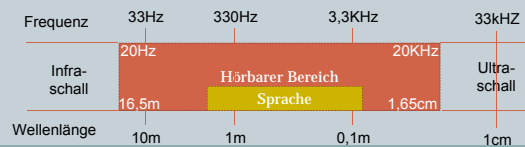


Quelle: Prof. Hußmann, LMU

Ton, Schall

5

- Schallwellen sind mechanische Wellen in einem Medium
- Ausbreitung je nach Medium unterschiedlich: Schallgeschwindigkeit c
 - Bei 20°C in Luft 343 m/s, Wasser 1521 m/s



Schallentstehung

6

- Schallquellen besitzen im Allgemeinen bis zu drei Teilkomponenten:
- Oszillator: Das schwingende System
 - Saite, Membran, elektrischer Schwingkreis
- Anregung: zum Schwingen
 - Zupfen, Anblasen, Anstreichen, Anschlagen,
- Resonanzkörper
 - Korpus einer Gitarre, Geige, Klavier

http://www.raffaseder.com/sounddesign/AT_2Sem/Schallentstehung.pdf

Schallentstehung Resonanzkörper

7

- Akustischer Verstärker
- Sorgt auch für charakteristische Klangfärbung, je nach Instrument
 - Unterschiedliche Verstärkung verschiedener Frequenzen
 - Formanten: Frequenzbereich in dem die Verstärkung am größten ist
- Abstrahlverhalten des Resonanzkörpers

http://www.raffaseder.com/sounddesign/AT_2Sem/Schallentstehung.pdf

Schallenstehung Einteilung von Schallquellen

8

Oszillator			
Art	Mechanisch	Akustisch	elektr. Strom bzw. elektr. Spannung
Körper	Saite, Membran, Stab	Röhre	Elektr. Schwingkreis, digitale Technik
Schallquelle bzw. Instrument	Idiophone (Selbstklinger) Rassel, Becken etc. Chordophone (Saitenklinger) Klavier, Cembalo, Gitarre etc. Membranophone (Fellklinger) div. Trommeln etc.	Aerophone (Luftklinger) Orgel, Harmonika, Flöte, Klarinette, Trompete, Posaune, etc.	Elektrophone („Stromklinger“) Synthesizer, Sampler

http://www.raffaseder.com/sounddesign/AT_2Sem/Schallenstehung.pdf

Reflexion

9

- Ähnlich Lichtwellen, aber Wellenlänge spielt eine Rolle
- Wellenlänge bei Schall zwischen ca. 20m und 2cm, je kürzer, desto höher die Frequenz
- Reflexionsgesetz: Einfallswinkel=Ausfallswinkel
 - Reflexionsfläche muss im Verhältnis zu Wellenlänge groß genug sein
- Diffuse Reflexion möglich, Unebenheiten müssen etwa Größe der Wellenlänge haben
- Tiefe Frequenzen werden durch zentimetergroße Unebenheiten nicht beeinflusst

Absorption

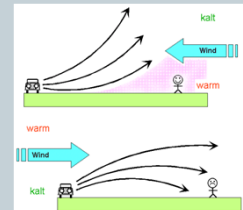
10

- Schallenergie wird teilweise absorbiert – materialabhängig
- Absorbierte Energie wird aufgeteilt in Dissipation und Transmission
 - Frequenzabhängig: niedrigere Frequenzen -> höhere Transmission
- Dissipation: Umwandlung in Wärmeenergie
- Transmission: Weiterleitung im absorbierenden Medium

Brechung

11

- Brechung erfolgt beispielsweise an unterschiedlichen Luftschichten (unterschiedlicher Temperatur)
- Anwendung: Akustische Linsen zur Schallbündelung und Schallzerstreuung

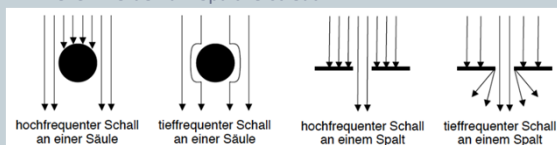


Bildquelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Schallausbreitung>

Beugung

12

- Schatten hinter Gegenstand entsteht, wenn Gegenstand im Vergleich zur Wellenlänge groß ist
- Wenn Gegenstand ungefähr die Größe der Wellenlänge hat, tritt *Beugung* auf
 - Wellen fließen um den Gegenstand herum
 - Wellen werden am Spalt zerstreut



Bildquelle: Prof. Hußmann, LMU

Das menschliche Ohr

13

- **Außenohr:**
 - Einfangen des Schalls
 - Richtungsbestimmung
- **Mittelohr:**
 - Trommelfell, Hammer, Amboss, Steigbügel: Verstärkung der Kraftwirkung
- **Innenohr:**
 - Schnecke: Corti-Organ -> Basilarmembran
 - Aufgerollte Röhren (Gänge), gefüllt mit Lympheflüssigkeit



1. Ohrmuschel (pinna)
2. Gehörgang
3. Trommelfell (ear drum)
4. Mittelohr
5. Hammer (malleus)
6. Amboss (incus)
7. Steigbügel (stapes)
8. Gleichgewichtsorgan
9. Schnecke (cochlea)
10. Hörnerven

Quelle: Prof. Hußmann, Vorlesung Digitale Medien, WS 2007/2008: <http://www.medien.fh.lmu.de/lehre/ws0708/dm/dm5a.pdf>

Auditive Wahrnehmung

14

- Hörbereich wird von zwei Parametern bestimmt:

1. wahrnehmbare Frequenz: 16Hz bis 20kHz

- Nicht hörbare Frequenzen <16Hz: Infrasschall, >16-20kHz: Ultraschall
- Höchste Empfindlichkeit: 2...4kHz

2. Schalldruck: Hörschwelle ... Schmerzgrenze



Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Ohr>

Auditive Wahrnehmung - Schalldruck

15

- Umsetzung von Schalldruckschwankungen in Nervenreize
- Dynamik(Hör-)bereich: Schalldruck von $2 \cdot 10^{-5}$... 20Pa
- Grenzen: Hörschwelle und Schmerzgrenze
- logarithmische Verarbeitung durch Gehör
- Schalldruck-Pegelwert logarithmisch, 0dB=Hörschwelle
- Gehörempfindlichkeit hängt von Frequenz ab
 - bei mittleren Frequenzen (1...4kHz) liegt Hörschwelle bei $2 \cdot 10^{-5} \text{Pa} = 20 \mu\text{Pa} = 0.00002 \text{Pa}$
- Schalldruckpegel: Verhältnis zwischen aktuellem Pegel und Bezugsgröße $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$
- Einheit: Dezibel [dB]
- Berechnung: $L_p = 20 \log_{10} (p_1/p_0) \text{dB}$

Auditive Wahrnehmung

16

Situation und Schallquelle	Schalldruck p	Schalldruckpegel L_p
Hörschwelle bei 2 kHz	$2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$	0 dB SPL
Blätterrauschen, ruhiges Atmen	$6,32 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$	10 dB SPL
Sehr ruhiges Zimmer	$2 \cdot 10^{-4} - 6,32 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$	20 - 30 dB SPL
Normale Unterhaltung, 1 m entfernt	$2 \cdot 10^{-3} - 6,32 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$	40 - 60 dB SPL
Fernseher 1 m entfernt in Zimmerlautstärke	$2 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$	ca. 60 dB SPL
Pkw, 10 m entfernt	$2 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-1} \text{ Pa}$	60 - 80 dB SPL
Hauptverkehrsstraße, 10 m entfernt	$2 \cdot 10^{-1} - 6,32 \cdot 10^{-1} \text{ Pa}$	80 - 90 dB SPL
Gehörschäden bei langfristiger Einwirkung	$6,32 \cdot 10^{-1} \text{ Pa}$	ab 90 dB SPL
Presslufthammer, 1 m entfernt / Diskothek	2 Pa	100 dB SPL
Düsenflugzeug, 100 m entfernt	6,32 - 200 Pa	110 - 140 dB SPL
Gehörschäden bei kurzfristiger Einwirkung	20 Pa	ab 120 dB SPL
Schmerzschwelle	63,25 Pa	130 dB SPL

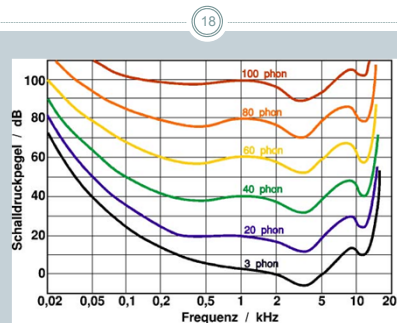
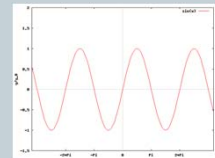
Bezugsschalldruck (Referenz) ist die Hörschwelle $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

<http://www.sengpielaudio.com/SchalldruckpegelSindNichtSchalleistungspegel.pdf>

Auditive Wahrnehmung - Lautstärke

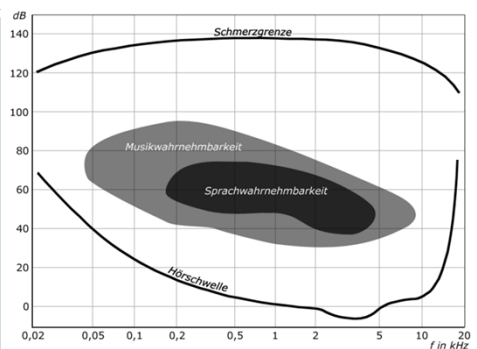
17

- Einheit: Phon
- Vergleichsmaß: beschreibt, welchen Schalldruckpegel ein Sinuston mit 1kHz haben müsste, um genauso laut wie der betrachtete Schall empfunden zu werden
- Frequenzabhängig



Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lautstärke>

Hörfläche

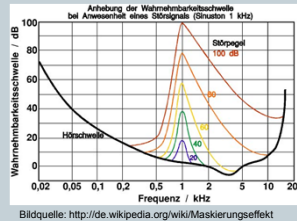


Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Hoerflaeche.png>

Maskierungseffekt

20

- Verdeckung von Tönen
- Beispiel: laute Bässe bei gleichzeitiger Wiedergabe von mittleren Frequenzen
 - Hörschwelle wird angehoben
 - Mittlere Frequenzen werden nicht oder nur teilweise wahrgenommen



Bildquelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Maskierungseffekt>

Auditive Wahrnehmung

21

- Richtungswahrnehmung durch Pegel- und Laufzeitdifferenzen zwischen den Ohren

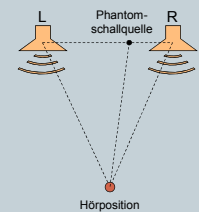
→ Lokalisation: binaurales Hören

- tiefe Frequenzen: Laufzeitdifferenz
 - × keine Richtungsrichtung möglich
- hohe Frequenzen: Pegelunterschiede

- Gehör lässt sich täuschen und nimmt Phantomschallquellen wahr

→ Ausnutzung bei Stereophonie

- zwei Signalquellen → Kanäle



Kanäle Beispiel

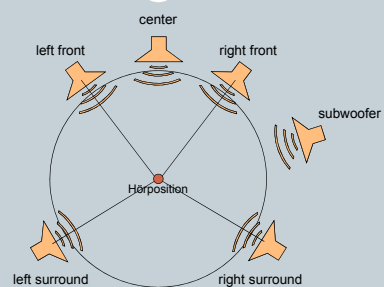
22

- mono: 1 Kanal
- stereo: zwei Kanäle
- 1D Surround: drei Kanäle (rechts, Mitte, links)
- quadrophonie: 4 Kanäle (vorn rechts, vorn links, hinten rechts, hinten links)
- Surround: 5 Kanäle, wie quadrophonie+vorn Mitte
- 5.1 Surround: wie Surround+LFE-Kanal
 - LFE: Low Frequency Effect (Subwoofer)
- 7.1 Surround: Erweiterung von 5.1 um zwei Kanäle hinter dem Hörer



Surround

23



Klang und Geräusch

Was unterscheidet Klang von Geräusch?

24

- Ton: Luftdruckschwankungen
- Reine Töne: Audiosignal mit genau einer Frequenz
- Primärempfindungen der Tonwahrnehmung:
 - Tonhöhe
 - Lautstärke
 - Klangfarbe
- Klang: alle drei Primärempfindungen wahrnehmbar
- Geräusch: nur Lautstärke

Quelle: Prof. Hußmann, Vorlesung Digitale Medien, WS 2007/2008: <http://www.medien.fh-lmu.de/lehre/ws0708/dm/dm5a.pdf>

Klang und Geräusch

Was unterscheidet Klang von Geräusch?

25

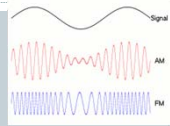
- Klänge sind meist periodisch, Geräusche meist aperiodisch
- Klang besteht aus einem Grundton dem weitere Töne mit ganzzahligem Vielfachen der Grundfrequenz überlagert sind
 - Obertöne oder Harmonische
 - Frequenz des Grundtones bestimmt die Tonhöhe des Klangs – Wahrgenommene Tonhöhe
 - Die Lautstärken der Obertöne bestimmen die Klangfarbe

http://www.laermorama.ch/laermorama/modul_akustik/tonklang_w.html#tonklang

Modulation

26

- Überlagerung einer Frequenz mit einem Nutzsignal
- Genutzt für Rundfunkübertragung
- Zwei Arten:



- Amplitudenmodulation (AM): Veränderung der Amplitude einer Trägerwelle je nach Nutzsignal
- Frequenzmodulation (FM): Veränderung der Frequenz eines Signals je nach Nutzsignal
 - Frequenzmodulation ist weniger störanfällig und besitzt einen höheren Dynamikumfang

Qualität von Audio

27

- Unterscheidung zwischen Nutz- und Störsignalen
 - Musik und Verkehrslärm
- Technische Systeme erzeugen Störungen
 - Rauschen
- wichtig für Qualität ist Signal-Rausch-Abstand (S/N): logarithmisch in dB angegeben
- gut: >70dB
- Rauschsignale, die mehr als 70dB unter Maximalpegel liegen werden nicht mehr wahrgenommen
 - Maskierungseffekt

Informationsgehalt akustischer Szenen

28

- Umgebung des Menschen ist durch Vielzahl von Geräuschen geprägt
- Menschliche Gehörsinn (Hörapparat + Nachverarbeitung)
 - Kann Aufmerksamkeit gezielt auf Teilsignale richten: Cocktailparty-Effekt
 - Nimmt Hintergrundinfos neben selektierter Information weiter war (bei Durchsagen)
 - Kann räumlich weit verstreute Informationsquellen integrieren
 - Kann sehr genau verschiedene Schallereignisse differenzieren
- -> Digitale Tonverarbeitung muss sich auch mit der Informationsverarbeitung im Gehirn befassen nicht nur mit dem physikalischen Hörorgan
- -> Psychoakustik

Psychoakustik

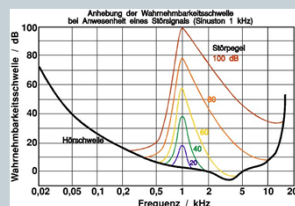
29

- Beschreibt, wie das menschliche Gehör die Lautheit von Tönen empfindet
- Wesentlich sind:
 - Hörschwelle
 - Maskierungseffekte
 - Frequenz
 - Zeitlich

Maskierungseffekt Hörschwelle

30

- Verdeckung von Tönen
- Beispiel: laute Bässe bei gleichzeitiger Wiedergabe von mittleren Frequenzen
 - Hörschwelle wird angehoben
 - Mittlere Frequenzen werden nicht oder nur teilweise wahrgenommen

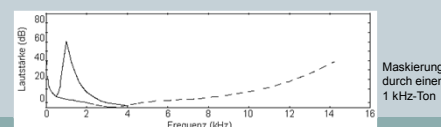


Bildquelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Maskierungseffekt>

Maskierungseffekt Frequenz

31

- Ton von 1 kHz und einer Lautstärke von 60 dB (der „Maskierungston“) verändert die Hörschwelle drastisch.
- Töne ähnlicher Frequenz müssen nun wesentlich lauter sein, um ebenfalls wahrgenommen zu werden
- Frequenzanteile unter der Kurve können weggelassen werden:



<http://www.tbc.uka.de/seminare/redundanz/vorles14/#psychoakustik>

Maskierungseffekt Ursache

34

- Mechanik des Innenohrs
- Schall bringt Basilarmembran zum schwingen
- Je nach Tonhöhe gerät eine andere Stelle der Basilarmembran in Resonanz
 - Hohe Töne am Anfang der Basilarmembran
 - Tiefe Töne am Ende
 - Bass-Schwingungen beeinflussen auch die Nervenzellen für hohe Töne
 - mittlere Töne müssen so stark sein, dass sie die Miterregung durch Bässe übertönen

Maskierungseffekt zeitlich

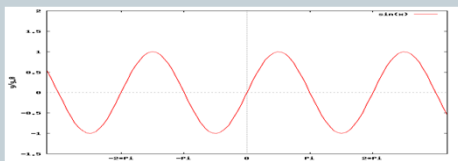
35

- Hört ein lauter Ton plötzlich auf, dauert es eine Weile, bis man leise Klänge wieder wahrnehmen kann
- Zeit ist abhängig vom Lautstärke- und vom Frequenzverhältnis der beiden Töne und liegt im Bereich von ca. 5 bis 20 ms
 - Maskierung erfolgt vorwärts und rückwärts
 - × Vorangegangene Töne werden auch beeinflusst

Signalformen

36

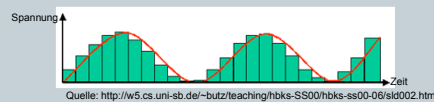
- analoges Signal: wird im Mikrofon erzeugt
- digitale Signale: werden durch Abtastung und Quantisierung der Analogwerte gewonnen
- Analog-Digital Wandlung



Darstellung: Töne

37

- Töne sind analog – Digitalisierung
- Messung zu bestimmten (diskreten) Zeitpunkten – Sampling
- Qualität ist abhängig von
 - Samplingrate (Messungen pro Sekunde)
 - × sollte doppelt so häufig geschehen, wie höchste Signalfrequenz, entsprechend Abstasttheorem, Nyquist-Shannon
 - × $\approx 20\text{kHz} \rightarrow 44.1$ oder besser 48kHz Abtastung, pro Kanal
 - × CD-Qualität: 44100 Hz
 - × Abtastwert = Sample
 - Samplingtiefe (Genauigkeit der Messung):
 - × 8 bit: 256 Stufen, 16 bit = 65536 Stufen



Quelle: <http://w5.cs.uni-sb.de/~butz/teaching/hbks-SS00/hbks-ss00-06/sid002.htm>

Speicherbedarf Audiodaten

38

- Datenrate CD-Qualität:
 - CD: $44,1\text{kHz} \times 16\text{ Bit} \times 2\text{ Kanäle} = 176\text{Kbyte/s} = 1408\text{Kbit/s}$
- zum Vergleich:
 - uralter PC: $22\text{kHz} \times 8\text{ Bit} \times 1 = 22\text{Kbyte/s}$
 - ISDN: $8\text{kHz} \times 8\text{ Bit} \times 1 = 8\text{Kbyte/s}$
 - DSL16000: $= 2000\text{Kbyte/s} = 16000\text{Kbit/s}$
- Rechenbeispiel Speicherplatzbedarf (5min Song):
 - Sampling in CD-Qualität: $44100 \times 2\text{ Byte} \times 2\text{ Kanäle} \times 300\text{s} = 52.920.000\text{Byte}$
- -> Kompression notwendig

Codec

40

- Kunstwort aus **Coder** und **Decoder**
- Verfahren, oft auch Software zur digitalen (De)Kodierung von Signalen
- Analog-Digital-Analog Wandlung
- Codecs existieren hauptsächlich für:
 - Audio: MP3, Ogg Vorbis, FLAC, Lame, RealAudio
 - Video: TMPGEnc (nur Encoder), Ogg Theora, DivX
 - Sprache, Telefonie: G.711 (Festnetz), GSM (Mobil)

WAV

41

- Containerformat zur digitalen Speicherung von Audiodaten
- enthält meist unkomprimierte Daten (PCM)
- auch geeignet für MP3
- Berechnung der Größe einer WAV-Datei:
 - pro Sekunde: Abtastrate · Bytes pro Sample · Anzahl der Kanäle (mono = 1, stereo = 2) Bytes
 - Stereo, Abtastrate 44.1 kHz, 16Bit pro Sample, 5min:
 - $2 \cdot 44100 \cdot 2 \cdot 300 = 52920000$ Byte \approx 50 Mbyte

Audio CD

42

- Aufzeichnung erfolgt mit
 - Samplingrate: 44.1kHz
 - Samplingtiefe: 16Bit
 - zwei Kanäle
 - $\rightarrow 44100 \cdot 2 \text{Byte} \cdot 2 \text{Kanäle} = 176400 \text{Byte/s}$
- Oft bei älteren CDs anzutreffen: Abkürzungen AAD, ADD, DDD
 - Hinweis ob Aufnahmeschritte (Aufnahme, Mischung, Premaster) analog oder digital erstellt wurden



Audiokompression

43

- wie bei Bildkompression: verlustfrei, verlustbehaftet
- oft asynchrone Verfahren: Komprimierung aufwendiger als Dekomprimierung
- verlustfrei:
 - kaum benutzt, Datenreduktion von ca. 25-70%
 - Qualität bleibt erhalten
- verlustbehaftet
 - Basis: psychoakustisches Modell
 - leiser Ton nach lautem Ton nicht hörbar, gewisser Unterschied in der Frequenz notwendig
 - Einteilung nach Bitrate, die verwendet werden kann ohne hörbaren Qualitätsverlust

MP3

44

- MPEG-1 Layer 3 Audio Codec (MPEG-1, MPEG-2, Lame)
- ab 1985 bei Fraunhofer in Erlangen entwickelt
- verlustbehaftetes Verfahren
- Ausnutzung des psychoakustischen Modells
- erlaubt Datenraten von 8...320 kBit/s
- Qualität und Datenrate hängen voneinander ab
 - Kodierung mit konstanter Datenrate = schwankender Qualität
 - gleichbleibende Qualität = schwankende Bitrate

Ogg

45

- freies Containerformat für Audio, Video, Multimedia
- Xiph.org Foundation seit 1993
- wesentliches Ziel: speichern und streamen von Multimedia-Inhalten
- benutzt verschiedene Codecs:
 - Vorbis für Audio
 - Theora für Video
 - Speex für Sprache
 - FLAC für Audio

Ogg-FLAC

46

- FLAC: Free Lossless Audio Compression
- Erste Veröffentlichung: 20. Juli 2001
- Codec zur verlustfreien Kompression
- Unterschiedliche Kompressionsraten einstellbar: 0 bis 7
 - Je größer die Kompressionseinstellung desto langsamer ist der Vorgang
- Kompression auf 30% bis 75% der Ausgangsgröße
- Freie Software



Ogg-Vorbis

47

- freier Codec zur verlustbehafteten Audiokompression
 - Entwickelt seit 2000, erste Version: 2002
 - Als freie Alternative zu MP3 entwickelt
- effizienter als MP3 aber weniger verbreitet
 - 25% höhere Kompression bei gleicher Qualität
- unterstützt bis zu 256 Kanäle
- Datenrate: 16-500kBit/s, prinzipiell unbegrenzt
- Hardwareunterstützung noch wenig verbreitet

Dolby Digital – AC3

48

- Verfahren zur Kodierung von Surround Kanälen hauptsächlich für Kino, DVD gedacht
- AC3 = Audio Code 3
- verlustbehaftete Kompression von Surround 5.1
- Bitraten zwischen 32 und 640KBit/s

MIDI

49

- Music Instrument Digital Interface
- Protokoll zur Übermittlung, Aufzeichnung und Wiedergabe von Audiodaten
- beinhaltet keine Klänge
- Befehle zur Steuerung digitaler Instrumente oder Soundkarte
 - Note-on, Velocity, Note-off, Instrument
- Vorteil von MIDI:
 - Musikdateien sind sehr klein
 - "Transformationen" sind einfach möglich
- MIDI ist mit digitalem Notenblatt vergleichbar

Metadaten

50

- für MP3 Dateien entwickelt: ID3-Tag
 - ID3 – Identify an MP3
- erlaubt Einfügen von zusätzlichen Informationen zu einer Audio-Datei
 - Songtitel, Künstler, Album, Erscheinungsjahr, Genre
- abgelegt seit Version 2 am Kopf der Audio-Datei als Header
- Auch für OGG-Dateien benutzbar

Anwendung

51

- Internetradio: Audio Streaming:
 - Unterscheidung zwischen:
 - Reinen Internetsendern
 - Internet alternativ zu terrestrischer Verbreitung
 - Verzeichnisse für Internet-Radiostationen
 - <http://www.surfmusik.de/>
 - <http://www.shoutcast.com>
- Privates Audio Streaming:
 - Verbreitung von Musik über Heimnetz (WLAN)
 - Benötigt Musikserver+entsprechender Streaming-Software:
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Icecast>
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/SHOUTcast>
- Podcasts:

Podcasts

52

- Anbieten von Mediendateien im Internet
 - Kunstwort aus: iPod und Broadcast
 - Meist für Audio: Video → Videocast
 - Meist kostenlos
 - „Audioblogging“, individualisierter Hörfunk
- Prinzip:
 - Anbieter erstellt Mediendatei
 - Stellt diese mittels NewsFeed auf Server im Internet bereit
 - Teilnehmer kann diesen NewsFeed abonnieren
 - Software überprüft in regelmäßigen Abständen, ob neuer Beitrag vorhanden ist

Digital Rights Management (DRM)

54

- Schutzmechanismen für digitale Informationen
- Ziel: Kontrolle der Nutzung und Lizenzierung geistigen Eigentums
- Beispiele: FairPlay (Apple), OMA DRM (Open Mobile Alliance), Windows Media DRM (Microsoft)
- Realisierung:
 - Information wird verschlüsselt → nicht lesbar für Empfänger
 - Empfänger benötigt Schlüssel zum dechiffrieren der Information
 - Schlüssel wird nach erfolgreicher Authentizitäts- und Integritätsprüfung erteilt

Zusammenfassung

56

- Audio-Signale analog zur rechnergestützten Darstellung → Digitalisierung
 - Abtastung und Quantifizierung
 - typ. Abtastrate: CD-Qualität 44.1 kHz
 - hohe Datenmenge → Kompression
- Verlustfrei: FLAC
- Verlustbehaftet: MP3, OGG, AC3
 - Benutzung des psychoakustischen Modells
 - Original nicht wieder herstellbar!
- Anwendung: Reduzierung der zu übertragenden Datenmenge

Literatur wenn nicht auf der entsprechenden Folie angegeben

57

- Kai Bruns, Klaus Meyer-Wegener: "Taschenbuch der Medieninformatik", Fachbuchverlag Leipzig, 2005
- <http://www.fh-wedel.de/~si/seminare/ss02/Ausarbeitung/9.digitalaudio/audio1.htm>
- OGG-Vorbis: <http://www.xiph.org/vorbis>
- MP3: <http://de.wikipedia.org/wiki/Mp3>
- MIDI: <http://de.wikipedia.org/wiki/MIDI>
- ID3-Tag: <http://de.wikipedia.org/wiki/ID3-Tag>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Ac3>