

Ergänzung zur Blockwoche „Informationsübertragung“ an der HTA Luzern:

MP3 - Datenkomprimierung



Silvan Seeholzer

[silvan@seeholzer.net]

[3lbb-b]

Luzern, im Januar 2004

INHALT

1. Einleitung

- 1.1. Warum habe ich gerade dieses Thema gewählt?
- 1.2. Was erwarte ich von dieser Vertiefung für mich persönlich?

2. Vertiefung

- 2.1. Was ist MP3?
- 2.2. Vorteile des MP3-Formats
- 2.3. Zur Kompressionstechnik
- 2.4. MP3 Encoding
- 2.5. Die eigentliche Kompression
- 2.6. Verwendung von MP3
- 2.7. Schwachstellen bei der MP3 Komprimierung
- 2.8. Psychoakustik
- 2.9. Alternative Komprimierungsverfahren zu MP3
 - 2.9.1. AAC
 - 2.9.2. Ogg Vorbis
 - 2.9.3. RealAudio
 - 2.9.4. WMA
 - 2.9.5. MP3pro

3. Schluss

- 3.1. Was hat diese Vertiefung für mich gebracht?
- 3.2. Was ich meinen Mitstudenten zu diesem Thema unbedingt noch sagen wollte
- 3.3. Links
- 3.4. Quellennachweise

1. Einleitung

1.1. Warum habe ich gerade dieses Thema gewählt?

Musik ist ein grosses und zeitaufwendiges Hobby von mir. Ich bin aktiv in einem Verein dabei welcher die Aufgabe hat gewisse Musikstile unter die Leute zu bringen und sie damit glücklich zu machen. Wir organisieren Events, tüfteln selber an Musikstücken (sogenannte Beats), betreiben eine Internetplattform, beurteilen Musikstücke und hören natürlich sehr viel selber elektronische Musik. Das wichtigste Medium über welches wir kommunizieren ist das Internet. Und welches ist wohl für die Musik das wichtigste Dateiformat? Ganz klar das MP3. Fast verlustfrei Musikdaten komprimieren ist sehr sinnvoll, vor allem wenn man, wie früher, begrenzte Übertragungsgeschwindigkeiten hat oder sogar an Streaming (Radio) denkt. Für mich war es klar das ich was in Richtung Multimedia-Technologie ausgewählt habe auch hinsichtlich später in einer Diplomarbeit...

1.2. Was erwarte ich von dieser Vertiefung für mich persönlich?

Da ich mich sehr viel mit der Materie MP3 oberflächlich beschäftige interessiert es mich nun doch mal genauer wie es eigentlich genauer aufgebaut ist, woher es eigentlich stammt und ob es schon Erweiterungen bzw. Alternativen gibt?

2. Vertiefung

2.1. Was ist MP3?

MP3 ist ein Kompressionsverfahren für Musikdateien (Audiodateien). Es verkleinert Audiodateien auf einen Bruchteil ihrer ursprünglichen Grösse. Wenn man einen Titel einer Audio CD direkt auf die Festplatte kopiert, benötigt dieser ca. 50 MB. Im MP3-Format sind es nur noch knapp 5 Megabyte. Dabei liegen die Unterschiede zwischen MP3 und normalen Audio CD's nicht im hörbaren Bereich des menschlichen Gehörs. Das heisst im Klartext, dass MP3s genauso gut klingen wie CD's mit voller Bandbreite.

2.2. Vorteile des MP3-Formats

- Die winzige Dateigrösse erlaubt es, ein sehr grosses Musikarchiv auf der Festplatte zu haben
- MP3 stellt die absolute Verfügbarkeit von Musik dar. Mit einem Mausklick kann man genau das hören, was man will.
- Einfache Handhabung und Austausch von MP3s
- Neue Verkaufsstrategien sind möglich, zum Beispiel Verkauf von aktuellen Tracks direkt über das Internet

MP3 ist genau gesagt der MPEG Layer 3 und stammt aus der Videokompression (MPEG = Motion Picture Expert Group) und dient der Audio-Kompression bei digitalen Videos. MP3 wurde vom Fraunhofer Institut (Erlangen, Deutschland) und Thompson Multimedia im Jahr 1993 entwickelt. Es hat sich erst in den letzten Jahren renommiert. So war 1995 ein exponentieller Anwachs der Verbreitung von MPEG kodierten Audio Material im Internet festzustellen und 1999 war „mp3“ der meist gesuchte Begriff im Internet.

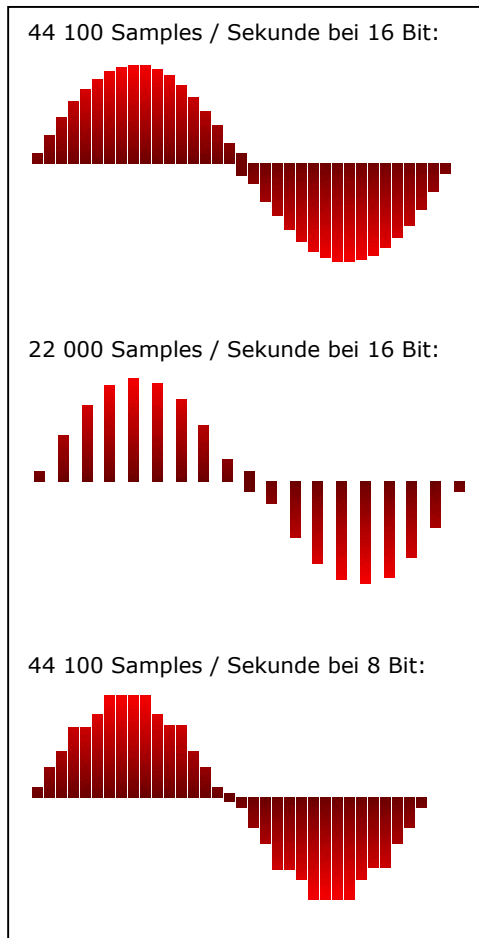
2.3. Zur Kompressionstechnik

Die MP3 Kompression arbeitet ganz anders als die schon länger bekannten allgemeinen Kompressionsalgorithmen wie etwa die von ZIP oder RAR, die im Grunde genommen ja nur Text komprimieren.

Um grundlegende Dinge von Audiosignalen verstehen zu können, folgt eine Darstellung und Beschreibung von Samples / Sekunde und Bitrate. Als Beispielsignal dient hier die Sinuskurve gemäss Abbildung auf der nächsten Seite:

Bitrate

Unter Bitrate versteht man, wie "fein" die einzelnen Klangstufen voneinander abgetrennt sind. Wenn ein Ton grafisch dargestellt wird - so wie oben - kann man seine Bitrate sehr gut an der "Treppchenbildung" erkennen. Die Bitrate wird - wie der Name schon verrät - in Bit angegeben. D.h. ein Ton mit 8 Bit hat genau 256 Abstufungen. Ein Ton mit 16 Bit hat genau 65536 Abstufungen.



Samples

Unter Samples versteht man, wie viele Abstufungen ein Ton pro Sekunde hat. Ein Ton mit 22100 Samples hat also 22100 Hz - also hat 22100x pro Sekunde eine neue Abstufung - eine Änderung des Tones.

Nach der *Nyquist-Theorie* muss die Sample-Frequenz doppelt so hoch sein, wie die höchste Frequenz, die man speichern möchte. Das menschliche Ohr nimmt Frequenzen im Bereich von 20 Hz bis 20 kHz auf. So ergibt sich eine Frequenz von 44.1 kHz, die bei Audio-CD's verwendet wird.

Maskierung

Unter Maskierung versteht man, dass ein Audiosignal ein anderes überdeckt. Beispiel: Das Klicken eines Weckers. Es ist eigentlich deutlich hörbar - doch sobald der Wecker anfängt zu klingeln, ist das Klicken nicht mehr hörbar. Das Geräusch ist zwar weiterhin existent - doch nicht mehr hörbar. Und genau diesen Effekt benutzt das MP3 Kompressionsverfahren. Leise Signale werden von lauten Signalen überdeckt und werden nicht mehr mitgespeichert. Das gilt auch für Folgesignale, die allein eigentlich laut wären.

Durch Maskierung spart man gewaltig Speicherplatz - für das menschliche Gehör ist der Unterschied dennoch nicht hörbar.

Sub-Band Coding

Dieses Verfahren hängt eng mit dem Maskierungsverfahren zusammen. Das Audiospektrum wird in mehrere Frequenzbänder aufgeteilt. Die Bitrate der einzelnen Frequenzbänder ist variabel. Für die wichtigen Bänder wird mehr Platz verwendet als für die unwichtigen Bänder, in manchen Fällen werden sehr unwichtige Bänder gar ganz weggelassen.

Predictive Coding

Das Wissen über das vorhergehende Signal wird für die Vorhersage des nächsten Samples benutzt. Es wird also nur noch die Differenz der Samples gespeichert.

Joint Stereo

Ein normales Audiosignal (von Musikstücken) hat 2 Kanäle. Einen für rechts und einen für links. Aber eigentlich ist der Unterschied zwischen beiden Kanälen nicht besonders gross. Und genau da setzt Joint Stereo an: Auf beiden Kanälen ist hier das gleiche Signal - also ein Monosignal. Nur einzelne Frequenzbänder unterscheiden sich in der Lautstärke.

2.4. MP3 Encoding

Der Encoder besteht im groben aus vier Teilen:

- **Filterbank**
- **Psychoakustisches Modell**
- **Quantisierung**
- **Bildung des Bitstroms**

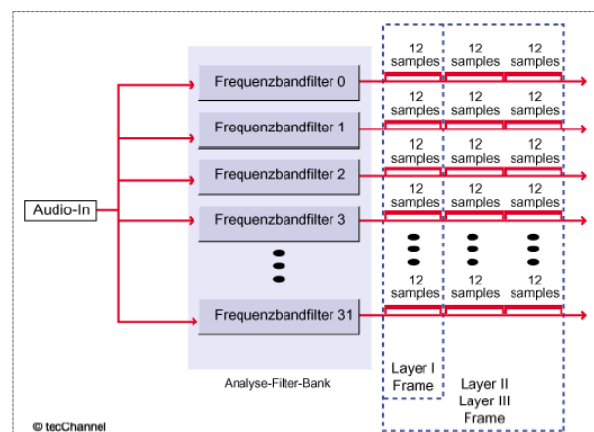
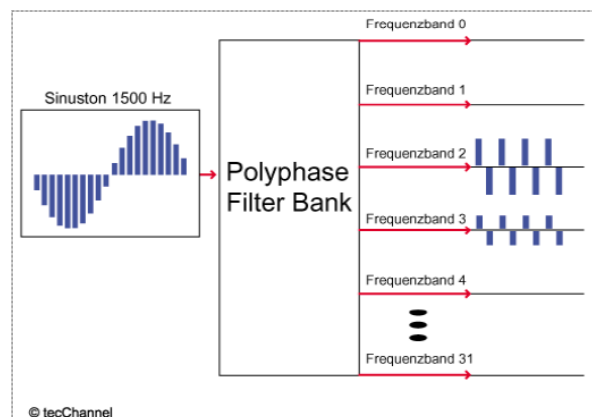
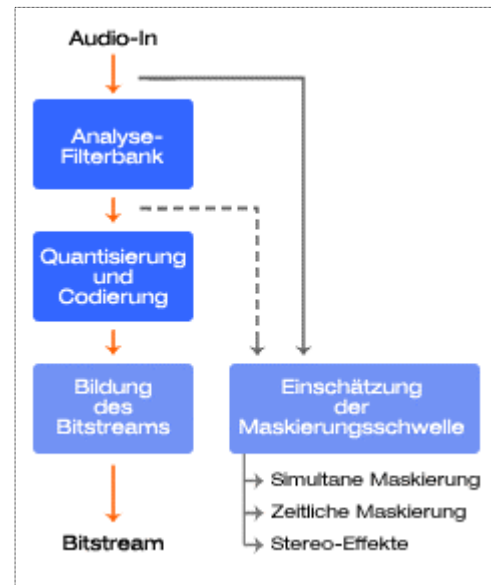
Filterbank

Die Filterbank unterteilt das eingehende Audiosignal in Frequenzbereiche. Die bei der MP3-Komprimierung eingesetzte Filterbank ist eine hybride Filterbank. Sie besteht aus einer polyphasen Filterbank und einer MDCT (modifizierte diskrete Kosinustransformation).

Die polyphase Filterbank zerlegt das Signal in 32 Unterbereiche, sogenannte Subbänder. Dabei richtet sich die Breite der Subbänder nach der Empfindlichkeit des Gehörs für die jeweiligen Frequenzen.

Die in den Subbändern enthaltenen Töne werden in eine Kosinuskurve angenähert. So können die Daten als eine mathematische Formel beschrieben werden, das zu einer eindeutigen Datenreduktion führt. Zur besseren Weiterverarbeitung werden alle Kosinuskurven gestaucht bzw. gestreckt um somit einen vergleichbaren Frequenzbereich zu erzeugen. Die Subbänder werden dann durch die MDCT (modifizierte diskrete Kosinus-Transformation) jeweils in 18 feinere Teilbereiche unterteilt, also in insgesamt 576 Bereiche.

Durch die starke Zerlegung in 32x18 Bänder wird zwar eine hohe Frequenzauflösung erreicht, aber die zeitliche Auflösung leidet darunter. Die Verschlechterung der Zeitaufklärung hat zur Folge, dass ein Pre-Echo-Effekt auftreten kann. Als Pre-Echo bezeichnet man solche Geräusche, die vor dem eigentlichen Signal entstehen. Um dieses Pre-Echo zu unterdrücken wird wieder das Psychoakustische Modell zu Rate gezogen, welches einzelne Töne als Pre-Echo identifiziert und diese unterdrückt.



Psychoakustisches Modell und FFT

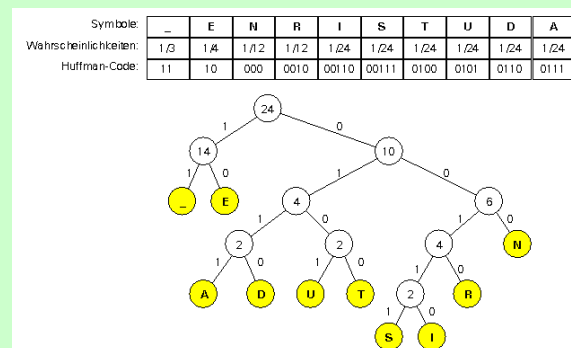
Parallel zur eigentlichen Zeit-Frequenzumwandlung wird mit Hilfe des psychoakustischen Modells berechnet, welche Signale der Subbänder ausgeblendet werden können. Diese Berechnung wird mit einer Fast-Fourier-Transformation (FFT) durchgeführt. Das Psychoakustische Modell ist massgeblich für die Qualität des Encoders, wobei es keine festen Vorgaben für dieses Modell gibt. Auf das Psychoakustische Modell werde ich später noch weiter eingehen (siehe X.X).

Quantisierung & Kodierung

Als Eingangsgrößen dienen die zuvor berechneten 576 Subbänder, die Maskierungskurven aus dem Psychoakustischen Modell und die vom Anwender eingestellte Bitrate. Bei der Quantisierung werden Bereiche vereinfacht, in denen Informationen redundant sind. Bereiche mit hohen Frequenzen werden weggelassen. Die Quantisierungswerte werden mittels des Huffman-Verfahrens (siehe Kasten) kodiert, wobei mehrere Huffmanstabellen zur Verfügung stehen, aus der jeweils die optimale ausgewählt wird. Ebenso können verschiedene Huffmanstabellen für verschiedene Teile des Frequenzspektrums gewählt werden.

Huffman – Codierung

Für jedes Zeichen wird ein Code mit variabler Länge eingesetzt: häufiger vorkommende Zeichen bekommen einen kürzeren, seltenere einen längeren Bit-Code zugeteilt. 1.Schritt: durch Zählen wird die Häufigkeit innerhalb der zu kodierenden Zeichenfolge ermittelt. 2.Schritt: Ein Kodierungs-Tree wird erstellt. 3.Schritt: Ableitung des Huffman – Codes.



Bildung des Bitstreams

Hier wird der Frame mit einem Header versehen. Darin stehen unter anderem eine Kennung der Kodierung, die Datenrate und die Abtastfrequenz. Danach wird der Frame mit den anderen Frames zu einem Audio-Stream verbunden.

2.5. Die eigentliche Kompression

Was sich einfach anhört, wird spätestens dann kompliziert, wenn man bedenkt, dass die in den anderen Frequenzbändern anliegenden Töne ebenfalls Maskierungseffekte erzeugen. Für jedes Frequenzband muss der MP3-Codec die Effekte errechnen, die sich auf die umliegenden Sub-Bänder auswirken. Entsprechend der Überlagerung kann die Sample-Tiefe in den Bändern bis zum Erreichen des hörbaren Schwellwertes reduziert werden. Darüber hinaus hält der Maskierungseffekt bis zu 100 Millisekunden länger an, als das lautere Signal eigentlich anliegt. Und selbst zwei bis fünf Millisekunden bevor das laute Signal

überhaupt zu hören ist, kann das Sample bereits reduziert werden. Die weitere Datenreduktion des MP3-Verfahrens funktioniert verlustfrei und soll daher nur kurz angerissen werden:

Klangqualität	Modus	Bitrate	Kompressionsrate
Telefon	mono	8 KBit/s	96:1
besser als KW-Radio	mono	16 KBit/s	48:1
besser als MW-Radio	mono	32 KBit/s	24:1
ähnlich UKW-Radio	stereo	56 KBit/s	26 bis 24:1
annähernd CD	stereo	96 KBit/s	16:1
CD-Qualität	stereo	112 bis 128 KBit/s	14 bis 12:1

Anstatt das Stereo-Signal auf zwei Kanälen zu übertragen, umfasst bei MP3 ein

Kanal das linke und rechte Signal, der zweite überträgt das linke abzüglich des rechten Signals ("Joint-Stereo"). Beim Abspielen ist es eine Frage der Addition und Subtraktion, die ursprünglichen Signale wieder herzustellen. Zuletzt wird die erzeugte Datei "Huffmann-codiert", weshalb es eigentlich unsinnig ist, einen MP3-Song beispielsweise in „Win-ZIP“ zu packen.

2.6. Verwendung von MP3

Die Verwendungsmöglichkeiten für MP3-Files sind vielseitig. Songs von der CD "ripen" und auf Festplatte als MP3-Dateien speichern erspart viel Platz und die Systemressourcen werden nicht so stark belastet wenn die Musik im Hintergrund abgespielt wird. Mit MP3-Playern wie „Winamp“ können Play-Listen zusammen gestellt werden. Man kann die MP3-Files auch auf portable MP3-Player übertragen, die ja jetzt immer günstiger und besser werden. MP3-Files aus dem Internet, legale natürlich, können in Wave-Dateien umgewandelt werden und auf CD gebrannt werden.

MP3-Tipp: Eine Kompressionsrate von 128 KBit/s bei 44,1 kHz Samplingfrequenz ergibt eine Verkleinerung der Datei um einen Faktor 10 bis 12 bei annähernd gleichbleibender Klangqualität!

2.7. Schwachstellen bei der MP3 Komprimierung

Der theoretische Exkurs zeigt vor allem eins: Damit das Verfahren effektiv arbeiten kann, müssen in möglichst vielen Frequenzbändern Signale anliegen. Mit Elektronischer-Musik, klassischen Konzerten oder auch Chören wird die Kodierung daher problemlos fertig und hat genügend Reserven, um nicht so bald an ihre Grenzen zu stossen. Musikstücke, die mit wenigen Klangquellen auskommen, machen dem Codec dagegen schwer zu schaffen. Wo kein Signal anliegt, treten auch keine Maskierungseffekte auf! Grosse Teile des Frequenzbandes müssen daher mit 16 Bit gesampelt werden.

2.8. Psychoakustik

Die MPEG-Audiokompression beruht auf dem Umstand, dass in Audiosignalen vorhandene "Information" vom Gehör nicht wahrgenommen werden kann. Das Gehör verfügt über eine Art Filterfunktion: Bei einer Überlagerung von Geräuschen dominiert das lauteste. Leisere Signale können teilweise überhaupt nicht mehr gehört werden. Ein Beispiel ist das Ticken eines Weckers. Bei Stille ist es gut hörbar, klingelt der Wecker, kann man es nicht mehr wahrnehmen, obwohl der Wecker weitertickt. Das Ticken wird also durch das Klingeln maskiert.

Damit enthält aber solche nichthörbare "Information" gar keine eigentliche Information, denn sie wird für den Empfänger irrelevant. Eine Audiokompression muss deshalb versuchen, die irrelevante Information zu erkennen und diesen Umstand möglichst geschickt auszunutzen. Zum ersten Schritt benötigt man eine möglichst präzise Beschreibung des menschlichen Gehörs. Diese kommt aus der Psychoakustik, die sich mit der Wahrnehmung von Geräuschen befasst. Erst die Einführung dieser Technik verhalf der Datenreduktion im Musikbereich zum Durchbruch.

2.9. Alternative Komprimierungsverfahren zu MP3

Gerade haben wir uns an MP3 gewöhnt, da tauchen schon andere Audioencoder, d.h. andere Komprimierungsverfahren oder Codecs auf. Die Wichtigsten will ich hier kurz vorstellen:

2.9.1. AAC



AAC wurde vom Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) entwickelt und von Anfang an als Nachfolger von MP3 propagiert mit dem erklärten Ziel, insbesondere im Internet MP3 als Standard abzulösen. Das Hauptziel bei der Entwicklung von AAC bestand darin, eine effiziente Komprimierungsmethode für 5.1-Kanal Surround-Signale einzubinden. Und eben dazu bietet MPEG-2 die ideale Grundlage, denn die dazu erforderlichen Algorithmen sind im MPEG-2-Standard bereits eingearbeitet. Allerdings wurden sie bisher noch von keinem Audioencoder nachhaltig zum Leben erweckt, da sich für den DVD-Tonstandard bekannterweise die Konkurrenten AC3/Dolby Digital und DTS durchgesetzt haben. Dies war jedoch lange nachdem das Fraunhofer Institut MPEG-2 zur Grundlage seines damals neuen Komprimierungsverfahrens ACC auserkoren hatte. AAC komprimiert Musikdaten laut den Spezifikationen vom IIS um den Faktor 16 und nutzt dabei erheblich verbesserte Fehlerkorrektur-Algorithmen bei Samplingraten von 8 bis 96 (!) kHz. Der AAC-Encoder verfügt über eine Reihe interessanter neuer Leistungsmerkmale wie z.B. LTP (Long Term Prediction), PNS (Perceptual Noise Substitution) und TNS (Temporal Noise Shaping), die alle im Wesentlichen das Ziel verfolgen, die Bitrate in feineren Schritten abzusenken und dabei keine oder nur unwesentliche Qualitätsverluste der Musik in Kauf nehmen zu müssen. Übrigens berichtet die Fraunhofer Gesellschaft, dass AAC besonders in Japan auf starkes Interesse stösst. Nahezu alle digitalen Rundfunksender in Japan setzen laut IIS bereits seit 2000 ausschliesslich AAC als Tonformat ein.

Insbesondere wegen seines Mehrkanal-Potentials (AAC unterstützt bis zu 48 diskrete Kanäle) in Verbindung mit seiner MPEG-4-Video-Fähigkeit könnte AAC noch eine hochinteressante Zukunftsperspektive haben. Dafür spricht auch, dass MPEG-4 AAC von der ISO als Standard-Tonspur für ISO-konforme MP4-Dateien eingesetzt werden soll ist. Der bekannteste AAC-fähige Decoder bzw. Player ist der Apple iPod.

2.9.2. Ogg Vorbis



Nach allem, was man so hört und liest, scheint sich Ogg Vorbis im Kreis der heute bekannten Audio-Kompressionsformate (Codecs) als die ernstzunehmendste MP3-Alternative zu etablieren. Streng genommen ist das "Ogg" von Ogg Vorbis ein Oberbegriff für eine ganze Serie von freien Multimedia-Formaten, die sich bei der Xiphophorus Foundation in der Entwicklung befinden. Das erste "serienreife" Produkt ist "Vorbis". Der grosse Vorteil von Vorbis: Es handelt sich hier um einen vollständig offenen und lizenzfreien Encoder/Decoder. Allein auf die übermächtige Dominanz von MP3 ist es zurückzuführen, dass sich Ogg Vorbis nur langsam, dafür aber stetig, durchsetzt. Nach gut achtjähriger Entwicklungsgeschichte präsentiert Xiph.Org heute die Version 1.0 ihres kostenlosen und patentfreien Audio-Codecs.

2.9.3. RealAudio



Anders als Ogg Vorbis ist RealAudio ein sogenannter proprietärer Codec mit dem RealNetworks und Microsoft den Markt erobern wollen. RealAudio setzt auf HDTV-Videoqualität und Surround-Sound. In der Praxis hat sich RealAudio als Verfahren zur Echtzeit-Übertragung von Audiodaten über das Internet etabliert, das vorwiegend beim Internet-Radio benutzt wird. Möglich wird die Radiofunktion von RealAudio durch seine Streaming-Technologie. Beim Streaming wird die Sound-Datei schon beim Herunterladen abgespielt und muss nicht zuerst heruntergeladen werden, um dann erst abspielbar zu sein ("Store-and-forward-Prinzip"). Dieses Radiohören wird dann auch "Streamen" genannt. RealAudio8 ist übrigens eine Variante des von der MiniDisc bekannten Komprimierungsverfahrens ATRAC3.

2.9.4. WMA



"Windows Media Audio", kurz WMA, ist das Standard-Streaming-Media-Format von Microsoft für Audiodateien unter Windows wird vom Windows MediaPlayer erzeugt. Microsoft propagiert das WMA Format mit dem Hinweis auf die Integration eines Kopierschutzes, der die Urheberrechte von Studios und Interpreten schützen soll. Kern dieses Systems ist das sogenannte Digital-Rights-Management-System (DRM). Wie RealAudio ist auch WMA ein Standard für **Echtzeit-Übertragung** von Audio und Video im Internet.

"Windows Media Audio" (WMA) unterstützt neuerdings auch eine variable Bitrate (VBR), die Variante **"WMA Professional"** steigert sich in wahre High-End-Regionen und lässt das Kodieren von Quellmaterial mit 24 Bit/96 kHz und digitalen Surround-Sound zu. Dabei schafft es WMA Professional sogar, 5.1 diskrete Kanäle auf 7.1 aufzubohren. Microsoft verwendet allerdings ein proprietäres Format für den so entstandenen Digital-Surround-Sound.

2.9.5. MP3Pro



Das von Coding Technologies entwickelte und von Thomson Multimedia 2001 auf den Markt gebrachte MP3Pro stellt eine Weiterentwicklung des MP3-Codecs dar. Im Kern soll MP3Pro nicht nur die Tonqualität erhöhen, sondern auch mit verbesserten Komprimierungsraten und mit niedrigeren Bitraten um die 64 kBit/s arbeiten. Bei 64 kBit/s erreicht die Klangqualität von MP3Pro etwa das Niveau, das MP3 bei 128 kBit/s auffährt. Bei den höheren Bitraten weist MP3 bekanntermassen erhebliche Schwächen auf. Daher empfiehlt sich die Anwendung von MP3Pro insbesondere für Streaming und mobile Nutzung auf tragbaren MP3-Playern mit begrenzter Speicherkapazität.

3. Schluss

3.1. Was hat diese Vertiefung für mich gebracht?

Allgemein natürlich mehr fachspezifische Informationen über Komprimierung und das Digitalisieren der Musik. Bisher dachte ich auch es sei eine Erfindung der Amerikaner, ist es aber nicht. Zudem finde ich das Thema „Psychoakustik“ ganz interessant welches auch hauptverantwortlich ist für die MP3 Komprimierung. Nun habe ich aber auch andere interessante Formate kennen gelernt die ich nächstens auch genauer unter die Lupe nehmen werde.

3.2. Was ich meinen Mitstudenten zu diesem Thema unbedingt noch sagen wollte

Ich denke das die MP3 Komprimierung noch weiterentwickelt und in naher Zukunft verbessert wird, auch wenn wir immer mehr Bandbreite zur Verfügung haben. Doch gerade Handys mit wenig Speicherplatz setzen demnächst auf den MP3 Klingelton. Gerade auch in der Film Industrie müsste das MP3 Format verbessert werden, was die Audiotechnische 5.1 Systeme anbelangt und im Streaming ist es auch nicht das „high-end“ Produkt da gibt es noch genügen Aufholbedarf. Interessant ist es auch wie sich das ganze in Zukunft verhalten wird, bleibt das Format MP3 wirklich auch bestehen? Wird es abgelöst von anderen Technologien oder gar verschwinden? Schaut euch auch mal die anderen Formate genauer an, hat wirklich noch interessante darunter, vor allem das „ogg“ Format für Open-Source Freunde und das „aac“ für 5.1 und 7.1 Fans. Würde mich noch interessieren was ihr dazu meint?

3.3. Links

MP3 Spezifikation Fraunhofer IIS

<http://www.iis.fraunhofer.de/amm/techinf/layer3/index.html>

AAC Spezifikation Fraunhofer IIS

<http://www.iis.fraunhofer.de/amm/techinf/aac/index.html>

OGG Vorbis Website

<http://www.vorbis.com/>

RealAudio Website

<http://www.real.com>

MP3Pro Informationen

<http://www.mp3prozone.com/>

MP3Pro Entwickler Firma Coding Technologies

<http://www.codingtechnologies.de>

MP3 & MP3Pro Entwickler Firma Thomson Multimedia

<http://www.thomson.de>

Homepage von Silvan Seeholzer

<http://www.seeholzer.net>

3.4. Quellennachweise

<http://goethe.ira.uka.de/seminare/rftk/mp3/>

<http://www.substream.org/mp3-einfuehrung1.html>

http://www.liebel-net.de/Allgemein/MP3/body_mp3.html

http://www.chscene.ch/ccs/ds/66/025_mp3workshop.html

http://www.chip.de/artikel/c_artikelunterseite_8816741.html

<http://www.dascomputerlexikon.de/genauer/mp3.htm>