

Das -Format
(Seminar Musikinformatik)

Abgabetermin: 11.06.2009

Name: **Bente, André** (8501)

Fachrichtung: Wirtschaftsinformatik

Verwaltungssemester: 6
Fachsemester: 6

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Motivation.....	3
3. Geschichte	3
4. Kodierungskette	5
4.1. FFT mit Filterbank.....	5
4.2. Psychoakustisches Modell	6
4.3. Quantisierung und Huffman-Kodierung	8
5. Datenformat	9
5.1. Framezerlegung	9
5.2. Bit-Reservoir.....	9
5.3. ID3-Tag.....	10
6. Stereo-Kodierung	10
6.1. Midi/Side Stereo Coding (MSSC).....	11
6.2. Intensity Stereo Coding (ISC)	11
7. Weitere Formate.....	12
8. Einsatz	12
9. Patentrechte	13
10. Kopierschutz	14
11. Ausblick.....	14
13. Literaturverzeichnis.....	15

1. Einleitung

Im Jahre 1988 wurde die Moving Pictures Experts Group (MPEG) gegründet um eine Standardisierung für Video- und Audiokompression zu erreichen. 1992 wurde der MPEG-1 Standard verabschiedet, der 3 verschiedenen Ausführungen (Layer) für Audiokompression beinhaltet. MPEG-1 Layer 3 beschreibt den Modus mit der höchsten Komplexität. Die Dateiendung .mp3 wurde 1995 in Folge dieser Bezeichnung festgelegt.

2. Motivation

Im Verhältnis zu komprimiertem Video war komprimiertes Audio zu groß. Teilweise wurde die Hälfte einer Videodatei nur für die Audiospur verwendet. Bei der Bild- und Videokompression wurde bereits auf Verfahren gesetzt, die die menschliche Physiologie berücksichtigten und so nicht sichtbare Effekte einsparten. Diese Verfahren können mit Hilfe der Psychoakustik auch auf Audio-Signale angewendet werden. Zudem wurde es immer interessanter Audio-Signale in Form von Musik oder auch Sprache einzeln zu komprimieren. Video- und Audiokompression sollten voneinander getrennt werden (Verfahren einzeln auswählbar). Es gab es schon um 1990 die Notwendigkeit der Fernübertragung von Musik (z.B. zwischen Radiostationen) und die zu übertragenden Daten mussten an die damals geringen Bandbreiten angepasst werden. Auch die Rechenleistung stieg immer weiter und es wurde so möglich auch komplexere Verfahren zur Datenkompression anzuwenden.

3. Geschichte

Prof. Dr.-Ing. Dieter Seitzer beschäftigt sich seit 1960 mit der Entwicklung von Audiokompression. Er war zuerst bei IBM, dann beim Fraunhofer Institut für integrierte Schaltungen beschäftigt. Schon 1977 wollte er ein Patent anmelden, dass die Musikübertragung über das Telefon zum Inhalt hatte, jedoch wurde ihm dieses verwehrt, weil keine praktische Einsatzmöglichkeit gesehen wurde. Nach einigen Verbesserungen seiner Patentschrift gelang es Seitzer 1983 schließlich das Patentamt doch noch zu überzeugen und das Patent wurde eingetragen. Schon etwa 4 Jahre später meldete Seitzer das Patent jedoch wieder ab, weil er selbst nicht mehr überzeugt von der Praxistauglichkeit seiner Idee war.

Prof. Dr.-Ing. Karlheinz Brandenburg ist ein Schüler Seitzers und ebenfalls am Fraunhofer IIS beschäftigt. Sein Spezialgebiet sind psychoakustische Kompressionsmethoden. Weil diese psychoakustischen Methoden das wirklich neue an mp3 waren, wird er häufig als der Erfinder von mp3 bezeichnet. Jedoch war eine ganze Gruppe von Personen an der Entwicklung beteiligt, die sowohl vom Fraunhofer IIS als auch von anderen Firmen kamen.

1989:

Karlheinz Brandenburg schließt seine Doktorarbeit OCF (Optimum Coding in the Frequency Domain) ab, die später als einer der wichtigsten Meilensteine von mp3 bezeichnet wird. Die theoretisch erarbeiteten Überlegungen wurden bei der Entwicklung von mp3 umgesetzt.

1991:

ASPEC (Adaptive Spectral Perceptual Entropy Coding), eine vom Fraunhofer IIS, der Uni Hannover, AT&T und Thomson entwickelte Audio-Komprimierung, wird der MPEG vorgestellt. Insgesamt gab es 14 Vorschläge an die MPEG für die Audiocodierung, die sich nach Zusammenschlüssen zu 4 reduzierten. ASPEC wird für den höchsten Komplexitätsgrad (Layer 3) ausgewählt. Für Layer 1 und 2 wird die Arbeit einer anderen Gruppe MUSICAM (Masking pattern adaptetd Universal Subband Integrated Coding And Multiplexing) gewählt. Damit ASPEC in den MPEG-1 Standard aufgenommen wird muss ein produktiver Einsatz vorgeführt werden. Dafür wurde schnell ein System entwickelt mit dem ASPEC-komprimierte Sprache und Musik über ISDN zwischen Radiostationen übertragen werden kann.

1992:

MPEG-1 wird bei Video-CDs erstmals produktiv eingesetzt. Zum Archivieren wird es erstmals möglich CDs auf die Festplatte zu überspielen (im späteren mp3-Format). Künstler ohne Plattenlabel können erstmals ihre Musik als Hörproben in akzeptabler Qualität über das Internet verschicken.

1994:

Eine erste Generation von mp3-Decoderchips wird von der Schweizer Firma Micronas entwickelt, die bereits 1992 von einer Nokia-Tochter übernommen wurde. Im selben Jahr wird bereits ein erster Prototyp für einen mp3-Player ohne bewegliche Teile entwickelt.

1995:

Die Dateiendung .mp3 wird nach einer internen Umfrage im Fraunhofer Institut festgelegt. Es wird eine offizielle Mitteilung veröffentlicht, dass ab sofort alle MPEG-1 Layer 3 Dateien diese Endung tragen sollen.

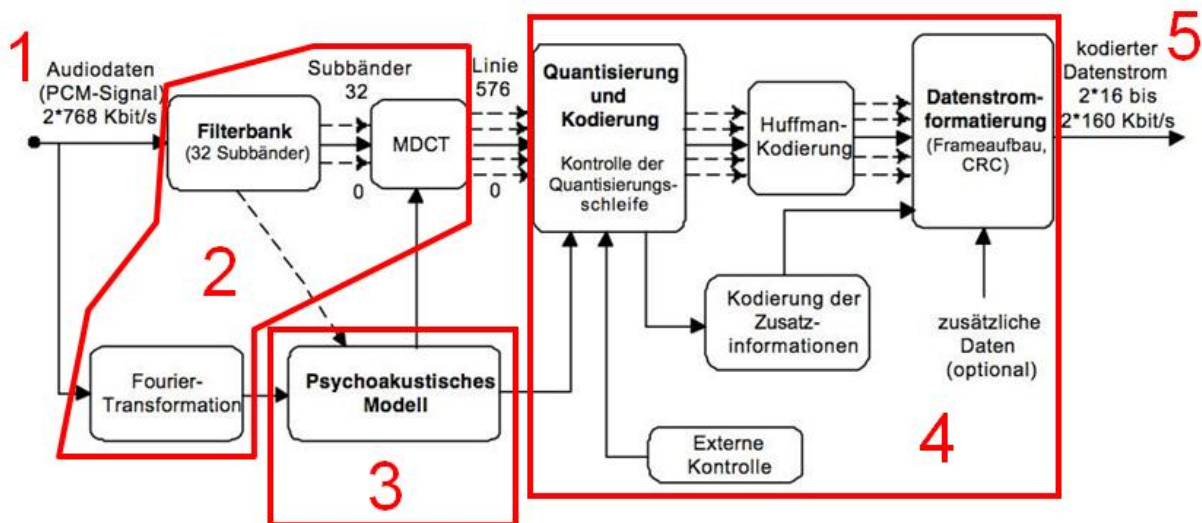
1997:

Michael Robertson, der sich schon 1996 die Domain mp3.com gesichert hatte, geht mit einem Portal für mp3-Technik, -Encoder und -Player online. Das Besondere an diesem Portal ist, dass Künstler hier ihre Musik kostenlos anbieten können.

1998:

Der "MPMAN" von Saehan Information Systems aus Korea wird der Öffentlichkeit vorgestellt. Dieser mp3-Player wird schon 2 Jahre später als der "Ruin der Musikindustrie" beschrieben, weil mp3 damals vornehmlich für illegale Kopien urheberrechtlich geschützter Musik diente. Kurz auf den "MPMAN" folgte der "Rio" von Diamond Multimedia aus den USA.

4. Kodierungskette



1. PCM-Signal (z.B. CD oder .wav-Datei)
2. Mit der Fourier Transformation und der Filterbank werden die Daten für das psychoakustische Modell vorbereitet und durch die MDCT (Modifizierte, Diskrete Cosinus-Transformation) werden nachträglich so genannte Pre-Echos verhindert, die sonst zum Beispiel ein Schlagzeug metallisch klirrend klingen lassen würden.
3. Das Herzstück von mp3, hier werden bis zu 60% der Kompression erzielt.
4. Es wird quantisiert, huffman-kodiert und Zusatzinformationen werden zu den Datenpaketen hinzugefügt.
5. Am Ende erhält man einen kodierten Datenstrom der im Mittel etwa mit dem Faktor 1:12 komprimiert ist (je nach eingestellter Bitrate)

4.1. FFT mit Filterbank

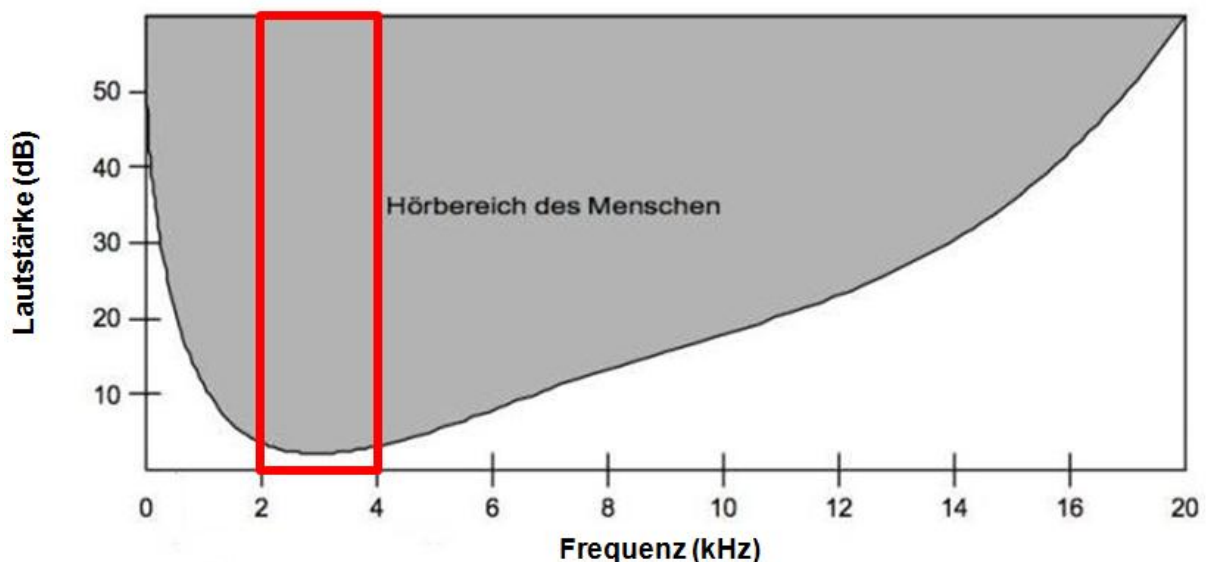
Die **Fast Fourier Transformation** wurde schon 1965 von J. Cooley und J. W. Tukey veröffentlicht und dient hier als Vorbereitung für das Psychoakustische Modell. Dabei wird die Schwingungskurve des Audiosignals durch sich überlagernde Sinusfunktionen dargestellt und so von dem Zeit- in den Frequenzbereich übersetzt. Dann wird eine **Filterbank** von 20 Hz bis 20 kHz (Hörbereich des Menschen) eingesetzt um den Datenstrom in 32 Frequenzbänder (Subbänder) variabler Breite zu zerlegen. Die Frequenzbänder sind zwischen 2 und 4 kHz besonders schmal, weil das menschliche Gehör in diesem Bereich besonders empfindlich ist.

4.2. Psychoakustisches Modell

Das im mp3-Format eingesetzte Verfahren wird Perceptual-Audio-Coding-Modell genannt und beschreibt das, was damals gegenüber früheren Verfahren neu war. Frei nach dem Prinzip: „Alles was nicht hörbar ist wird entfernt!“ werden hier etwa 60% der späteren Gesamtkomprimierung erreicht. Die Filterung nach hörbaren und nicht hörbaren Anteilen wird in 3 Schritten vollzogen (PAC 1-3), die durch aufwendige Hörversuche im Akustiklabor entwickelt wurden. Dabei wurden geschulte Hörer mit der Quelldatei und der komprimierten Zieldatei beschallt und mussten beschreiben ob ein Unterschied wahrnehmbar ist.

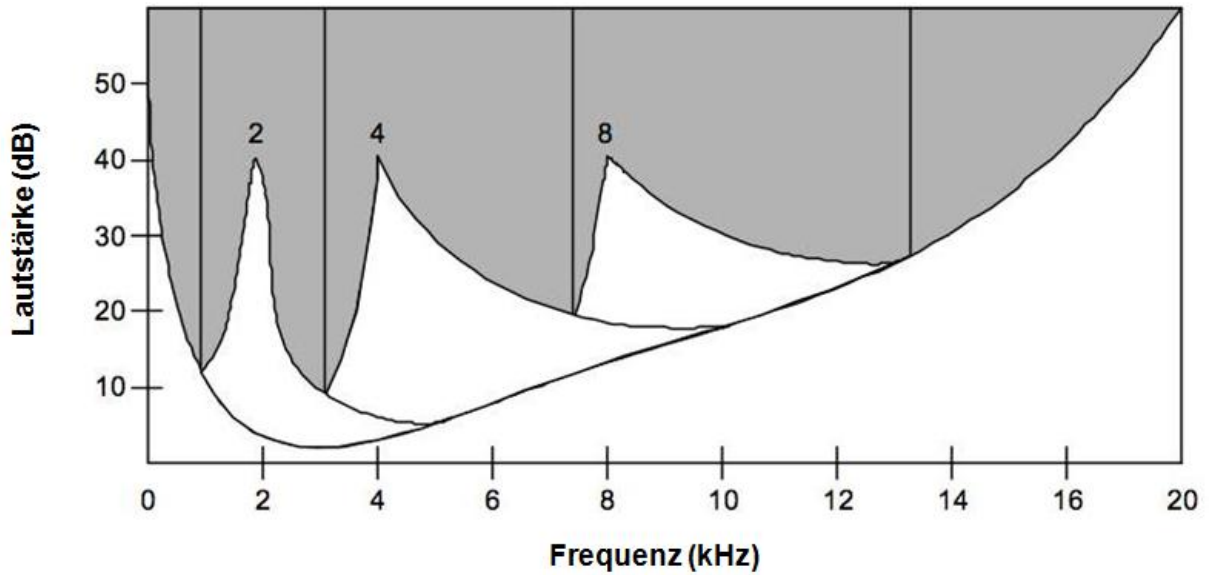
1. Schritt:

Für verschiedene Frequenzen ist die Hörschwelle beim Menschen unterschiedlich, so können zum Beispiel sehr hochfrequente Töne nur bei sehr hoher Lautstärke wahrgenommen werden. Es können somit alle Frequenzen, die leiser gespielt werden als die entsprechende Hörschwelle, entfernt werden. Der Frequenzbereich den der Mensch nach oben hin wahrnehmen kann verringert sich im Schnitt alle 10 Jahre um 2 kHz. Die Hörschwelle wird demzufolge auch mit dem Alter angehoben, wodurch es nötig wurde auch junge Testhörer im Akustiklabor zu beschäftigen.

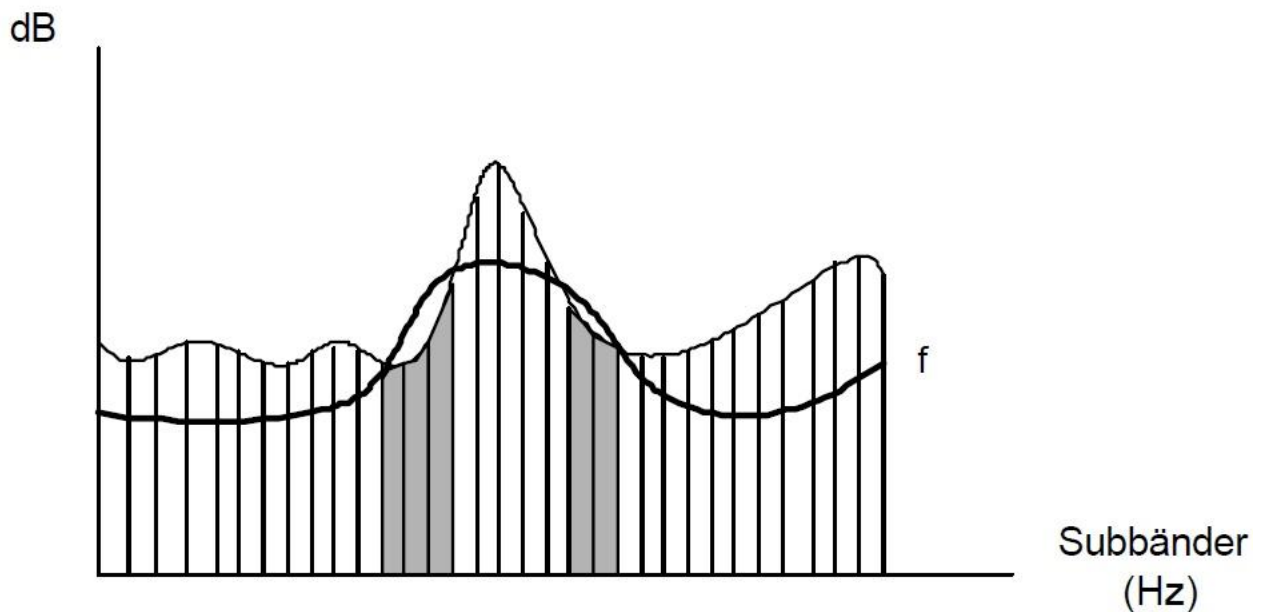


2. Schritt:

Wird zum Beispiel ein Ton mit einer Frequenz von 2 KHz mit einer Lautstärke von 30 dB gespielt, dann überdeckt er benachbarte Frequenzen, die eine geringere Lautstärke haben. Dies wird in der Abbildung für 2, 4 und 8 kHz bei 40 dB gezeigt.

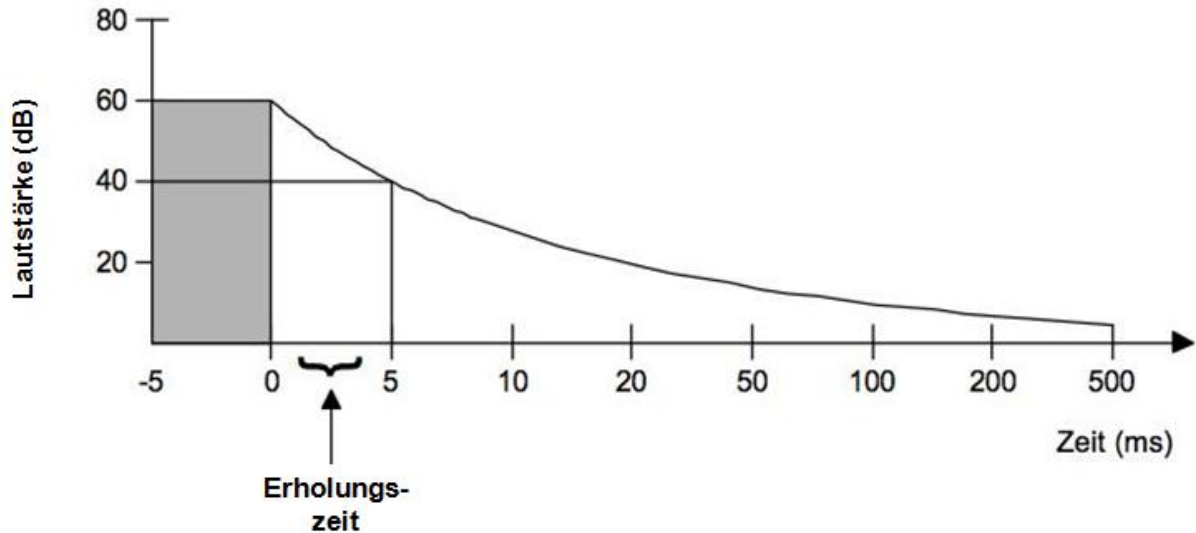


Es werden alle Frequenzbänder untersucht und damit die Funktion f erzeugt. Danach wird anhand der Funktion berechnet, welche Subbänder komplett unter der Kurve liegen und durch Stille ersetzt werden können (graue Bereiche).



3. Schritt:

Wenn das menschliche Gehör einen lauten Ton wahrnimmt, dauert es eine gewisse Zeit (Erholungszeit) bis wieder ein leiser Ton wahrgenommen werden kann. Dieser Effekt tritt sogar kurz vor einem lauten Ton auf, weil es eine gewisse Zeit (etwa 5 ms) braucht einen leisen Ton zu verarbeiten und der lautere Ton schneller verarbeitet wird. Dieser Effekt ermöglicht es wiederum die dadurch nicht hörbaren Töne zu entfernen.



4.3. Quantisierung und Huffman-Kodierung

Beim **Quantisieren** werden die Frequenzkurven genau so durch Stufenfunktionen approximiert, dass gerade kein Rauschen hörbar ist. Bei hoher Komprimierung (niedrigen Bitraten) treten hier die größten Qualitätsverluste auf. Durch dieses Verfahren werden etwa 20% der späteren Gesamtkomprimierung erreicht.

Vor der **Huffman-Kodierung** wird erst mal eine Lauflängenkodierung durchgeführt (z.B. 00000 -> 5x0). Die Codierung wird dabei ähnlich wie beim Morse-Alphabet durch einen Baum mit Code variabler Länge realisiert. Häufig vorkommende Sequenzen werden durch einen kurzen und selten vorkommende Sequenzen durch einen langen Code repräsentiert. Diese Form der Komprimierung ist verlustfrei und wird zum Beispiel auch bei WinZIP und JPG eingesetzt. Sie trägt etwa zu 20% zur späteren Gesamtkomprimierung bei.

5. Datenformat

5.1. Framezerlegung

Der Datenstrom ist in Frames von 1/40 Sekunden aufgeteilt, was ein flüssiges Abspielen ermöglicht, ohne die Übergänge zwischen den Frames wahrzunehmen. Durch die Aufteilung in Frames ist es außerdem möglich das Abspielen auch mitten in einer Datei zu starten.

Kopf (32)	CRC (0,16)	Zusatzinfos (12)	Hauptdaten (3344)
--------------	---------------	---------------------	----------------------

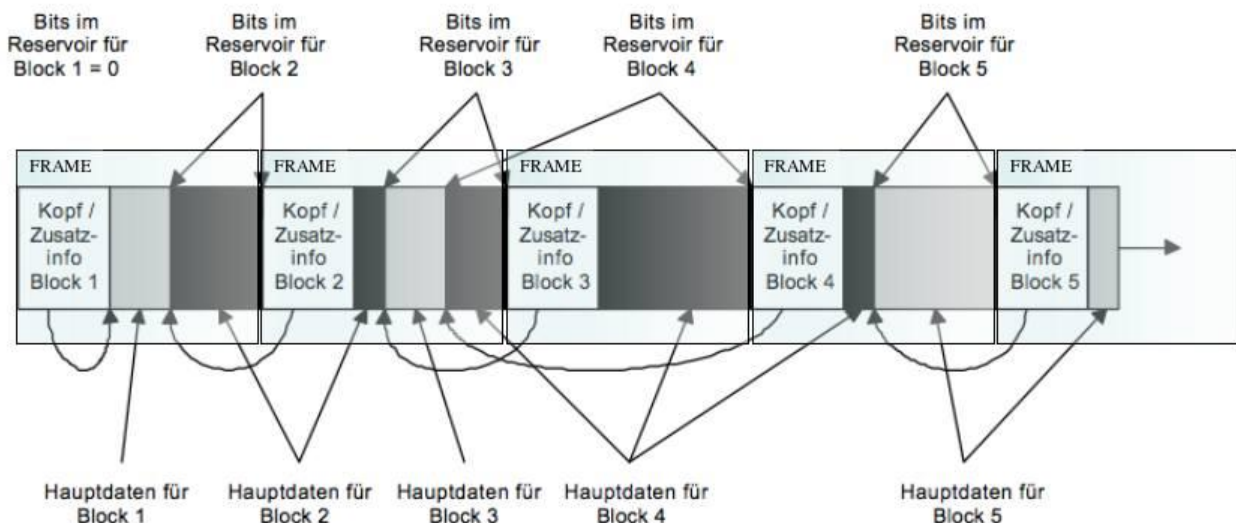
In den 32 Bits des Kopfes sind neben anderen Informationen die verwendete Kodierung (Layer 1-3), die Bitrate und die verwendete Abtastfrequenz hinterlegt.

Im CRC-Bereich der, optional ist, wird eine CRC-Prüfsumme hinterlegt, mit der Fehler entdeckt aber nicht behoben werden können. So können defekte Frames einfach beim Abspielen durch Stille ersetzt werden, wodurch diese Fehler dann kaum noch auffallen.

In den Zusatzinfos werden Verweise auf die verwendeten Huffman-Bäume und auf die Bitallokations-Skalierung, die für die Quantisierung benötigt wird, gespeichert. In den 3344 Bit Hauptdaten werden die Huffman-kodierten Frequenzsampledaten gespeichert, aus denen beim Abspielen das Audiosignal wieder hergestellt wird.

5.2. Bit-Reservoir

Das Bit-Reservoir ist eine Möglichkeit bei gleichgroßen Paketen dennoch mehr oder weniger Speicher für die einzelnen Nutzdaten zu verwenden. Wenn sich eine Passage besonders gut komprimieren lässt ist sie kleiner als 3344 Bit und der restliche freie Platz kann für die nachfolgenden Passagen verwendet werden.



5.3. ID3-Tag

Es entstand die Notwendigkeit mehr als nur den reinen Dateinamen als Zusatzinformation zu einer mp3-Datei zu haben, somit haben Entwickler von Abspielsoftware für mp3-Dateien den so genannten ID3-Tag entwickelt. Dieser wurden in der Version 1 (ID3v1) noch am Ende der Datei hinzugefügt, um das Abspielverhalten auch bei älteren Playern nicht zu beeinflussen. Jedoch hat sich später gezeigt, dass es besonders bei Streams sehr unpraktisch ist erst am Ende eines Musikstücks dessen Titel und Interpreten zu erfahren. Bei ID3v2 wurde daher der Tag an den Anfang der Datei gesetzt, wodurch es auch möglich wurde noch mehr Informationen vor der eigentlich Musik unterzubringen (z.B. Bilder oder Videos).

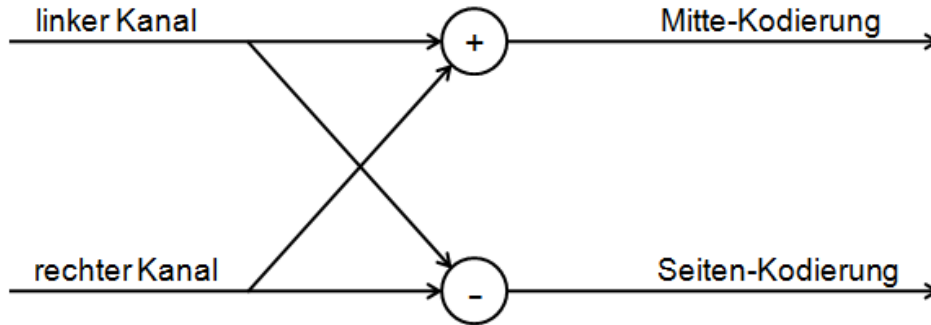
Anzahl der Bytes	Inhalt
3	Tag = Kennung des ID3-Tags
30	Titel des Stücks
30	Interpret
30	Album
4	Publikationsjahr
30	Kommentar
1	Genre-Kennung

6. Stereo-Kodierung

Die Stereo-Kodierung wurde erst 1991 zu ASPEC hinzugefügt, weil andere Entwicklungen diese bereits genutzt hatten. Es wird vor allem die große Korrelation der beiden Stereo-Kanäle genutzt. Bei Quellen, die zwar in Stereo aufgenommen wurden aber keine Stereo-Effekte enthalten, ist eine Ersparnis von bis zu 50% möglich. Es gibt zwei verschiedene Verfahren zur Stereo-Kodierung, von denen jedoch nur eines verlustbehaftet ist. Mittlerweile lässt sich bei den meisten Encodern auswählen welche Verfahren man einsetzen möchte. Zusätzlich ermöglicht es der "Joint-Stereo-Effekt" (auch Subwoofer-Effekt genannt) tiefe Töne in Mono zu speichern, weil diese sowieso durch unser Gehör nicht geortet werden können. Alle Verfahren werden bei mp3 noch vor der Quantisierung ausgeführt.

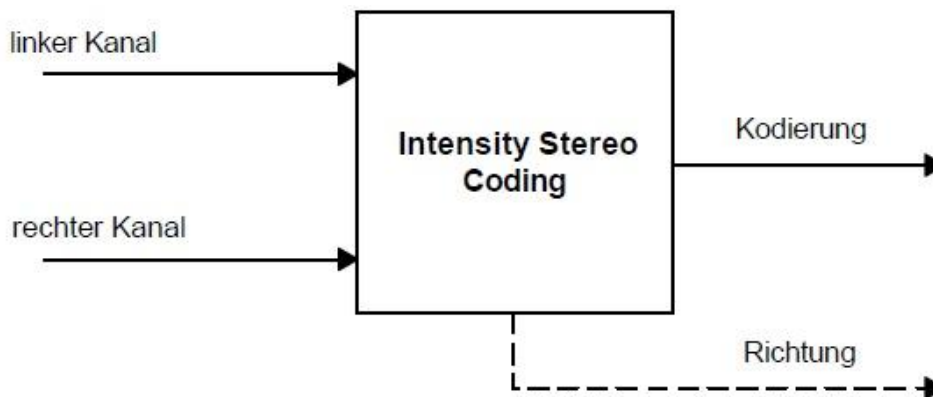
6.1. Midi/Side Stereo Coding (MSSC)

Bei diesem Verfahren werden der linke und der rechte Kanal addiert (Mitte-Signal) und subtrahiert (Seiten-Signal), wodurch bei hoher Korrelation der beiden Kanäle das Seiten-Signal zum großen Teil eingespart werden kann. Dieses Verfahren arbeitet verlustfrei.



6.2. Intensity Stereo Coding (ISC)

Es wird nur noch ein Mono-Signal gespeichert und zusätzlich eine Richtung aus der das Signal kommen soll (Links, Rechts oder Beide). Wenn gleichzeitig auf den beiden Kanälen unterschiedliche Töne gespielt werden, lässt sich das später nicht wieder so herstellen. Aus diesem Grund sollte dieses Verfahren nur angewendet werden, wenn die Dateigröße minimal sein muss und dabei nicht so viel Wert auf die Soundqualität gelegt wird. Früher wurde bei Stereo-Kodierung oft dieses Verfahren verwendet, wodurch sich ein Irrglaube entwickelt hat, dass Stereo-Kodierung grundsätzlich verlustbehaftet ist.



7. Weitere Formate

AAC (Advanced Audio Coding):

Es wurde von diversen großen Firmen für DVB-S und DVD entwickelt (AT&T, Bell Laboratories, Dolby, Nokia und Fraunhofer IIS). Die mp3-Kompression wurde weiter optimiert und auf bis zu 255 Kanäle erweitert. Auch das Pre-Echo-Problem wurde bei AAC durch neu entwickelte Verfahren weiter reduziert.

Ogg Vorbis:

In der Linux-Welt reagierte man auf die Lizenzgebühren für mp3 damit, dass man ein eigenes Verfahren entwickelte, das unter einer Open-BSD-Lizenz patentfrei angeboten wird. Es handelt sich dabei nicht um einen ISO-Standard und das Verfahren unterliegt ständiger Weiterentwicklung (wie bei OpenSource oftmals der Fall). Die Qualität ist bei niedrigen Bitraten besser als bei mp3, jedoch ist das bei fast allen neuen Entwicklungen nach mp3 der Fall.

Real Audio:

Real Audio ist nur ein Überbegriff für verschiedene Fremdentwicklungen die Real Media eingekauft hat. Der Schwerpunkt lag bei Real Audio immer mehr auf dem Streamen und weniger in guter Qualität. Mittlerweile gibt es jedoch auch eine verlustfreie Komprimierung die von Real Media selbst entwickelt wurde. Real Audio wird vor allem bei Real Video und für Hörproben eingesetzt (Musikstücke in beabsichtigt schlechter Qualität).

Windows Media Audio:

Liefert bei 64 kbit/s eine ähnliche Qualität wie mp3. Schon bei 128 kbit/s wird eine schlechtere Qualität erzielt als bei mp3 (bei WMA1). Das Format wurde von Microsoft größtenteils zum Online-Verkauf von Musik entwickelt, was man an integrierten Funktionen wie Abspielzähler und Kopierschutzmechanismen erkennt. Mittlerweile ist WMA ein ernstzunehmender Konkurrent zu mp3, da es immer weiter entwickelt wird.

mp3PRO:

Diese Weiterentwicklung von mp3 wurde vom Fraunhofer IIS, Thomson und Coding Technologies entwickelt und ist beim Abspielen abwärtskompatibel zu mp3. Die Kompression wurde verbessert, wodurch eine 80 kbit/s mp3PRO-Datei in der Qualität etwa einer 128 kbit/s mp3-Datei entspricht. Bei Bitraten unter 96 kbit/s sind große Qualitätsunterschiede zu einer mit der gleichen Bitrate komprimierten mp3-Datei zu hören. Die Tatsache, dass die Qualität sehr stark nach der Art der Audiodatei variiert, und die im Vergleich zur Leistung zu teuren Lizenzgebühren haben den Durchbruch verhindert.

8. Einsatz

Das mp3-Format wird mittlerweile bei vielen Dingen des täglichen Lebens eingesetzt. So können wir mit Hilfe eines mp3-Players unterwegs Musik oder zum Beispiel ein Hörbuch hören. Auch für Internet-Radio und DAB (Digital Audio Broadcasting) werden mp3 und dessen Nachfolger eingesetzt. Bei vielen Videokompressionsprogrammen kann man mp3 für die Audiospur auswählen und bei Mobiltelefonen werden mp3-Dateien als Klingeltöne eingesetzt. Auch bei Navigationsgeräten oder im öffentlichen Personennahverkehr weißt uns mp3 den Weg, außerdem wird es bei vielen Telefonanlagen als Wartemusik oder Ansage eingesetzt.

9. Patentrechte

Zunächst war die Verwendung von mp3-Codec und -Decoder kostenlos, was die Verbreitung sehr unterstützt hat, aber nach 6 Jahren wurden 1998 Lizenz-Gebühren erhoben. Die Fraunhofer Gesellschaft und Thomson besitzen 18 mp3-bezogene Patente und Thomson verwaltet die Rechte an mp3 und mp3PRO. Jedoch erheben sowohl Bell Laboratories als auch Philips Ansprüche an Techniken die im mp3-Format genutzt werden. Aufgrund der relativ hohen Lizenzgebühren wurden diverse kostenlose Produkte sowohl zum Encodieren, als auch zum Codieren entwickelt (z.B. LAME-mp3).

PC Software Programme		
mp3	Decoder	0.75 US\$ pro Einheit
	Codec	2.50 – 5.00 US\$ pro Einheit
mp3PRO	Decoder	1.25 US\$ pro Einheit
	Codec	5.00 US\$ pro Einheit
Jedoch mindestens 15 000 US\$ pro Kalenderjahr		

Wenn man sowohl den Codec als auch eine bereits lauffähige Software dazu haben möchte, kostet das 5.00 US\$ pro Einheit. Für die leichten Größenvorteile der mp3PRO-Dateien zu den mp3-Dateien ist die teurere Lizenzierung meiner Ansicht nach nicht gerechtfertigt.

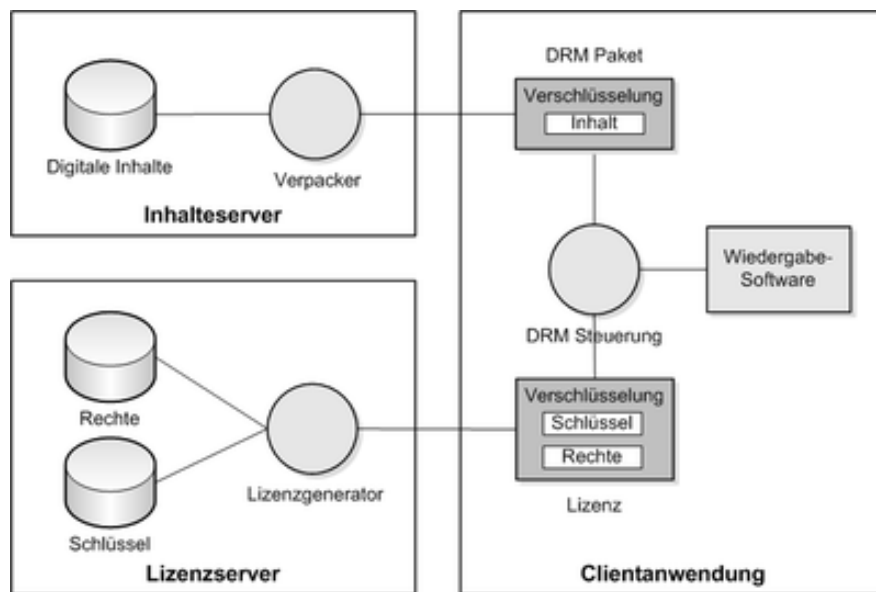
Hardware Produkte		
mp3	Decoder	0.75 US\$ pro Einheit
	Codec	1.25 US\$ pro Einheit
mp3PRO	Decoder	1.25 US\$ pro Einheit
	Codec	5.00 US\$ pro Einheit
Jedoch mindestens 15 000 US\$ pro Kalenderjahr		

Spiele	
mp3	2 500 US\$ pro Titel
mp3PRO	3 750 US\$ pro Titel

Musik-Dienste	
mp3	2% der Einkünfte
mp3PRO	3% der Einkünfte
Jedoch mindestens 2 000 bzw. 3 000 US\$ pro Jahr	

10. Kopierschutz

Schon 1996 hat die Firma Liquid Audio mit dem gleichnamigen Produkt einen Kopierschutz für mp3-Dateien eingeführt. Dabei wurde die gesamte mp3-Datei verschlüsselt und konnte so nur mit einem speziellen Programm abgespielt werden. Dieses Verfahren wurde jedoch, wie auch andere Kopierschutzsysteme, immer wieder überwunden. 2003 wurde von Apple mit FairPlay für iTunes eines der ersten Verfahren für die Digitale Rechteverwaltung (DRM) eingeführt. Dabei muss man sich wie auf der Abbildung gezeigt zur Wiedergabe sowohl die verschlüsselte Datei, als auch eine Lizenz zum Entschlüsseln von verschiedenen Servern laden. Das Abspielen oder Kopieren der Datei wird so auf eine bestimmte Zeit oder Anzahl reduziert.



Jedoch verkaufte sich mit diesem Kopierschutz ausgestattete Musik nicht mehr so gut, weil es trotz gültiger Lizenz dazu kommen kann, dass eine Datei nicht mehr abgespielt werden kann (z.B. Defekt des mp3-Players -> eine Lizenz weniger vorhanden). Außerdem gab es Anbieter, die Musik DRM-frei vertrieben haben (z.B. Amazon.co.uk), was iTunes Anfang 2009 gezwungen hat auch DRM-freie Musik anzubieten.

11. Ausblick

In Zukunft wird wohl eher AAC als Grundstein für weitere Entwicklungen verwendet als mp3, weil es bezüglich der Kanäle flexibler ist und eine bessere Qualität liefert. Es gibt zwei Richtungen in die sich die Audiokompression in Zukunft entwickeln wird. Einmal bedingen Blu-ray und HD-TV ein Umdenken dahingegen, ob eine verlustbehaftete Komprimierung überhaupt noch nötig ist. Zudem machen immer größere Festplatten und Flash-Speicher mp3 mittlerweile entbehrlich. Als Folge dieser Entwicklung wurde unter anderem von Thomson im März 2009 das neue Dateiformat mp3HD vorgestellt, das eine verlustfreie Komprimierung realisiert. Andererseits setzten viele Anwendungen weiterhin auf mp3 und dessen Ableger. Vor allem beim Mobiltelefon ist ein Qualitätsverlust bei niedrigen Bitraten kaum relevant, weil die verbauten Lautsprecher ohnehin keine so gute Soundqualität liefern, dass man die hohe Kompression bemerken würde. Gerade bei neuen Anwendungen wie Mobile-TV spielen hochkomprimierte Audio-Streams eine große Rolle.

13. Literaturverzeichnis

Mazzola, Guerino, - Elemente der Musikinformatik, Basel 2006 (Birkhäuser).
Online Version: http://www.encycloSPACE.org/Musikinformatik_1/

Das neue Audiospeicherformat mp3 – Pascal Schriber :
<http://www.ifi.uzh.ch/mml/publications/diplomarbeiten/schriber.pdf>

mp3 – Wikipedia :
<http://de.wikipedia.org/wiki/Mp3>

mp3 Geschichte – Fraunhofer IIS :
<http://www.iis.fraunhofer.de/bf/amm/products/mp3/mp3history/index.jsp>

mp3 wird 10 Jahre alt – Fraunhofer IIS :
http://www.iis.fraunhofer.de/pr/Presse/pressemitteilungen_2005/20050712_PM_MP3.jsp

mp3 Working principle - Fraunhofer IIS :
<http://www.iis.fraunhofer.de/EN/bf/amm/products/mp3/mp3workprinc.jsp>

Psychoakustik - Ekkehard Endruweit :
http://koeln.ccc.de/archiv/congress/17c3-2000/speech/Vortrag_Psychoakustik_1_2.pdf

Psychoakustik – Markus Fiedler :
<http://www.markus-fiedler.de/psychoakustik.html>

Märchen und Mythen zu Joint Stereo :
http://home.arcor.de/benjamin_lebsanft/mp3.html#8

AAC – Wikipedia :
http://de.wikipedia.org/wiki/Advanced_Audio_Coding

OGG Vorbis – Wikipedia :
http://de.wikipedia.org/wiki/Ogg_Vorbis

RealAudio – Wikipedia :
http://de.wikipedia.org/wiki/Real_Audio

RealAudio – Real Networks :
<http://www.realnetworks.com/products/codecs/realaudio.html>

WMA – Wikipedia :
http://en.wikipedia.org/wiki/Windows_Media_Audio

mp3PRO – Wikipedia :
<http://de.wikipedia.org/wiki/Mp3PRO>

mp3PRO – Coding Technologies :
<http://www.mp3prozone.com/basics.htm>

Lizenzgebühren - mp3licensing.com :
<http://www.mp3licensing.com/royalty/>

DRM – Wikipedia :
http://de.wikipedia.org/wiki/Digitale_Rechteverwaltung

FairPlay – Wikipedia :
<http://de.wikipedia.org/wiki/FairPlay>