Perceptual Coding: Agenda

- Motivation für psychoakustische Kodierung
- Übersicht der wichtigsten Verfahren
- Literatur

MPEG1 - Audio:

- Konzept
- Encoder / Decoder
- Layer 1 / 2 / 3
- Einige Details der Algorithmen
- Beispiele zur Klangqualität

- Ausblick auf MPEG2 und MPEG4
- Ausblick auf MS-Audio (Windows Media) und RealAudio

Perceptual Coding: Motivation

perceptual coding = psychoakustische Kodierung :=

- verlustbehaftete Audiokodierung
- minimale Dateigröße bei möglichst hoher Klangqualität
- Kompression bis ca. 10:1 bei CD-Qualität: 2 bits / sample (!)
- durch Ausnutzen der Gehörwahrnehmung:
    - Ruhegehörschwelle
    - Maskierungseffekte
- erfordert psychoakustische Modelle des Gehörs
- erfordert (Frequenz-) Analyse der Eingangsdaten:
    - "subband coders"
    - "transform coders"

Perceptual Coding: Verfahren

Verfahren	Methode	kHz	Kanäle	kb/s	Qualität
MPEG-1 layer 1	hybrid	32, 44.1, 48	1, 2	32 .. 448	AM / FM / (CD)
MPEG-1 layer 2	hybrid	32, 44.1, 48	1, 2	32 .. 384	AM / FM / (CD)
MPEG-1 layer 3	hybrid	32, 44.1, 48	1, 2	32 .. 320	AM / FM / CD
MPEG-2 AAC	hybrid	16 .. 48	1 .. 5.1	16 ..	AM / FM / CD
ATRAC	subband	44.1	2	256/ch	CD
Dolby AC-2	trans.	44.1	2	256/ch	CD
Dolby AC-3	trans.	44.1	1 .. 5.1	32 .. 384	CD
AT&T PAC	subband	44.1	1 .. 5.1	128/stereo	FM / CD
MS Audio ASF	?	44.1	2	10 ..	AM / FM / CD

- viele weitere Verfahren vorgeschlagen / erforscht
- detaillierte Übersicht siehe Spanias Review

Perceptual Coding: Literatur

T. Painter, A. Spanias: Perceptual Coding of Digital Audio, Proc. IEEE 88-4, p.451ff (2000)

T. Painter, A. Spanias: Review of Algorithms for Perceptual Coding of Audio Signals
  www.eas.asu.edu/~spanias/papers.html

D. Pan, An Overview of the MPEG/Audio Compression Algorithm, Proc. SPIE 260 (1997)

S. Shlien, Guide to MPEG-1 Audio Standard, IEEE Trans. Broadcasting 40-4, p.206 (1994)

Microsoft / RealAudio: msdn.microsoft.com/windowsmedia/, www.realaudio.com

Fraunhofer IIS Dokumentation, www.iis.fhg.de

LAME MP3 Encoder, www.sulaco.org/mp3/

ISO Reference Software, ftp.tnt.uni-hannover.de/mpeg2/software/

ISO/IEC Standards:
  MPEG-1, part 3: audio, ISO/IEC 11172-3 (1993)
  MPEG-2, part 3: audio, ISO/IEC 13818-3 (1994) (Mehrkanal)
  MPEG-4, part 3: audio

c't, MP3-Feature (Algorithmus, Tools, Klangtest), c't 03/2000 p.122-151

c't, MP3 vs MSAudio vs. RealAudio (mit Klangtest), c't 23/2000 p.152-161

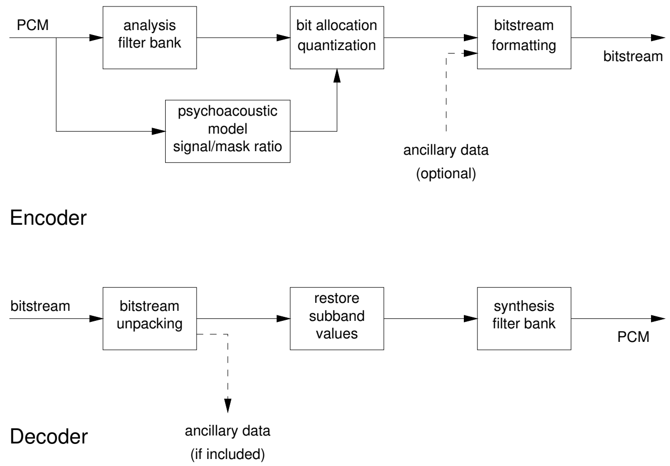
MPEG-1 Audio

- erster internationaler Standard für (Hifi-) Audio-Kompression
- entwickelt im Rahmen von MPEG-1
- bei Bitraten bis 1.5 Mb/s für Video mit Audio (Video-CD)
- verabschiedet Ende 1992 als ISO/IEC 11172-3 (1993)

- definiert das Format des Audio-Bitstroms
- und die Funktion des Decoders
- aber nicht den Encoder: Raum für spätere Verbesserungen

- Format geeignet für Sprache und Musik
- keine Quellenkodierung / keine Annahmen über Herkunft des Signals
- statt dessen psychoakustisches Modell
- Ausnutzen von Maskierungseffekten
- drei Varianten (layers), jeweils mono / stereo / joint stereo
- Sampleraten 32, 44.1, 48 KHz, Bitraten 32 .. 224 kb/s/channel

MPEG-1: Blockschaltbild (grob)



MPEG-1 Audio: Varianten

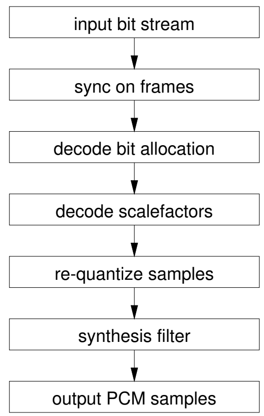
- drei Varianten, Bandbreite gesamt bis 1.5 Mb/s für Video+Audio
- zwei psychoakustische Modelle
- Encoder dürfen eigene psychoakustische Modelle verwenden

Layer 1: einfachstes Verfahren
für Bitraten höher als 128 kb/s pro Kanal
eingesetzt für Philips DCC: 384 kb/s stereo

Layer 2: mittlere Komplexität
für Bitraten von 128 kb/s pro Kanal
eingesetzt für CD-I und Video-CD

Layer 3: bessere Qualität, aber deutlich komplexer
ab 64 kb/s pro Kanal, gute Qualität ab 128 kb/s
"MP3", ISDN-Übertragungen

MPEG-1: Decoder für Layer 1 und 2



- Layer 3 Decoder deutlich komplexer (siehe ISO 11172-3 S.40)

MPEG-1: Bitstrom-Header

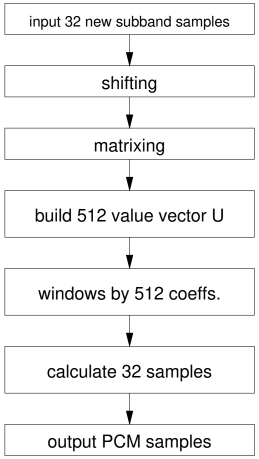
```
audio sequence()
{
  while (true)
  {
    frame()
  }
}

frame()
{
    header()
    error_check()
    audio_data()
    ancillary_data()
}
```

```
header()
{
    syncword              12   bits    bslbf
    ID                    1    bit     bslbf
    layer                 2    bits    bslbf
    protection_bit        1    bit     bslbf
    bitrate_index         4    bits    bslbf
    sampling_frequency    2    bits    bslbf
    padding_bit           1    bit     bslbf
    private_bit           1    bit     bslbf
    mode                  2    bits    bslbf
    mode_extension        2    bits    bslbf
    copyright             1    bit     bslbf
    original/home         1    bit     bslbf
    emphasis              2    bits    bslbf
}
```

- bslbf: bit string, left bit first
- Synchronisation über Bitmuster '1111 1111 1111'

MPEG-1: Synthesis Subband Filter




```
for i=0 to 31 read S[i]

for i=1023 down to 64 do
  V[i] = V[i-64]

for i=0 to 63 do
  for k=0 to 31 do
    V[i] = V[i]+N[j,k]*S[k]

for i=0 to 7 do
  for j=0 to 31 do
  U[i*64+j] = V[i*128+j]
    U[i*64+32+j] = V[i*128+96+j]

for i=0 to 511 do
  W[i] = U[i]*D[i]

for j=0 to 31 do
  for i=0 to 15 do
    PCM[j] = PCM[j] + W[j+32*i]
```


MPEG-1: Bitstrom-Daten, Layer 1

```
audio_data()
{
 if (mode==single_channel)
 {
   ...
 }
 if (mode==stereo) || (mode==dual_channel)
 {
  for (sb=0; sb<32; sb++)
   for (ch=0; ch<2; ch++)
    allocation[ch][sb]    4    bits    bsmsbf
  for (sb=0; sb<32; sb++)
   for (ch=0; ch<2; ch++)
    if (allocation[ch][sb]!=0)
     scalefactor[ch][sb]    6    bits    uimsbf
  for (s=0; s<12; s++)
   for (sb=0; sb<32; sb++)
    for (ch=0; ch<2; ch++)
     if (allocation[ch][sb]!=0)
      sample[ch][sb][s]    2..15    bits    uimsbf
  }
  if (mode==intensity_stereo)
  {
    ...
  }
}
```


MPEG-1: Zahldarstellung

- möglichst kompakte Zahldarstellung gesucht
- also mit datenabhängiger Genauigkeit
- aber mit hohem Dynamikbereich

=> MPEG-1 Bitstrom verwendet spezielles Gleitkommaformat:

- gemeinsamer Skalenfaktor (Exponent) für eine Anzahl von Samples
- variable Anzahl nb von Nachkommastellen
- Auswahl der jeweiligen Stellenanzahl über Codetabellen
  Mantisse hat nb Bits, Scalefactor aus Tabelle
- Layer 3 zusätzlich Huffman-Codierung

wert = scalefactor * (2**nb / (2**nb-1)) * (mantisse + 2**(-nb+1))

MPEG-1: Subband-Kodierung, Filterbank

"subband-Kodierung":

- Filterbank zerlegt das Eingangssignal
- in mehrere (gleich breite) Frequenzbänder

Idee:

- Gesamtenergie des Signals verteilt sich auf die Bänder
- und zwar meistens ungleichmäßig
- wenige Bänder mit viel Energie: präzise kodieren
- viele Bänder mit wenig Energie: mit wenig Bits kodieren
- Maskierung und Hörschwelle: kleine Koeffizienten auf Null setzen

- inverse Filterbank setzt das Signal (fast) perfekt wieder zusammen

MPEG-1: Filterbank, Layer 1 und 2

$$s_t[i] = \sum_{k=0}^{63} \sum_{j=0}^{7} M[i][k] * (C[k+64j] * x[k+64j]) \qquad (1)$$

where:

i is the subband index and ranges from 0 to 31,
$s_t[i]$ is the filter output sample for subband i at time t, where t is an integer multiple of 32 audio sample intervals,
C[n] is one of 512 coefficients of the analysis window defined in the standard,
x[n] is an audio input sample read from a 512 sample buffer, and
$M[i][k] = \cos[\frac{(2*i+1)*(k-16)*\pi}{64}]$ are the analysis matrix coefficients.

- Berechnung der Subband-Samples St[i]
- M[i][k] ist um k bzw. j verschoben: "polyphase" Filterbank
- effizientere Berechnung via FFT möglich

- Layer 3 verwendet aufwendigere Filterbank

MPEG-1: Filterbank, Layer 1 und 2

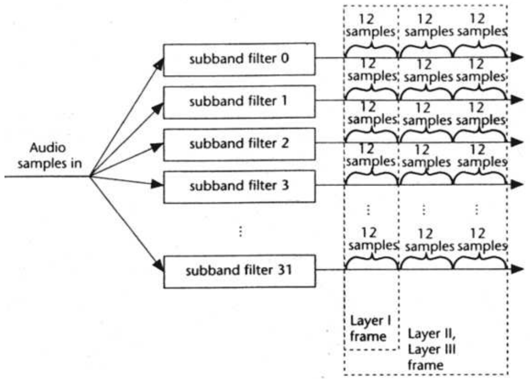
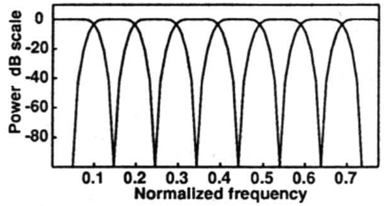


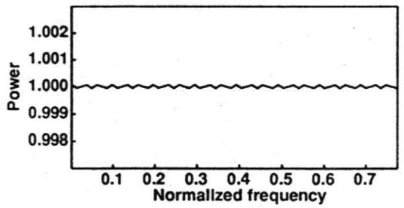
Figure 14. Grouping of subband samples for Layer I and Layer II. Note: Each subband filter produces 1 sample out for every 32 samples in.

- 32 Filterbänder, gleiche Frequenzbreite (je 20/32 KHz)
- Layer 1: 384 samples/frame input, 32x12 samples output
- Layer 2: 1152 samples/frame, 32x 3groups x 12 samples

MPEG-1: Filterbank



Filter überlappen stark



- aber Überlagerung führt zu fast-idealem Frequenzgang

Fig. 1. Top: frequency response of the first 8 subband filters. Bottom: frequency response of the analysis filter bank. The frequency has been normalized to the Nyquist frequency 2π.

MPEG-1: Filterbank Aliasing

- einzelne Filterbänder überlappen
- Signale nahe der Übergange werden in zwei Bänder kodiert
- Alias-Effekte möglich

- Layer-3 verwendet nachgeschaltete MDCT-Transformation
- zur Verbesserung der Frequenzauflösung
- mit Versuch der Alias-Reduzierung

MPEG-1: Maskierung

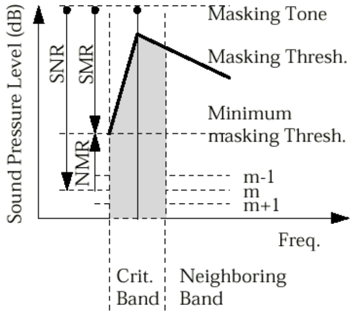


Fig. 6. Schematic Representation of Simultaneous Masking (after [30])

- lautester Ton im Frequenzband maskiert benachbarte
- Maskierung linear darstellbar, wenn Frequenz in Bark gemessen wird
- Töne leiser als der Masking-Threshold nicht wahrnehmbar
- SNR / SMR / NMR Verhältnisse

Frequenzgruppen, Bark-Skala

Tabelle 9.1: Frequenzgruppen nach Zwicker 1982

z/Bark	f_u/Hz	f_o/Hz	Δf_G/Hz	f_m/Hz
0	0	100	100	50
1	100	200	100	150
2	200	300	100	250
3	300	400	100	350
4	400	510	110	450
5	510	630	120	570
6	630	770	140	700
7	770	920	150	840
8	920	1080	160	1000
9	1080	1270	190	1170
10	1270	1480	210	1370
11	1480	1720	240	1600
12	1720	2000	280	1850
13	2000	2320	320	2150
14	2320	2700	380	2500
15	2700	3150	450	2900
16	3150	3700	550	3400
17	3700	4400	700	4000
18	4400	5300	900	4800
19	5300	6400	1100	5800
20	6400	7700	1300	7000
21	7700	9500	1800	8500
22	9500	1200	2500	10500
23	12000	15500	3500	13500
24	15500			

Tonhöhenwahrnehmung?

- Messungen
- vgl. Tuningkurven

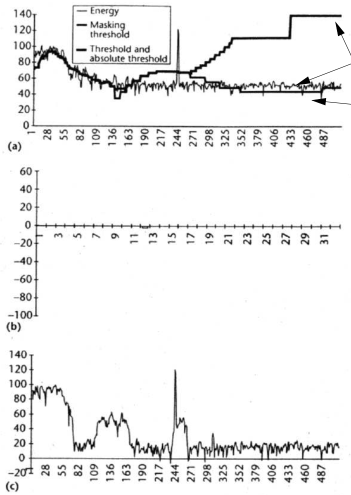
- tiefe Frequenzen:
  ca. 100 Hz Bandbreite
- hohe Frequenzen:
  log. Breite der Gruppen

=> "Bark" Frequenzskala

- Ausgangspunkt für
  psychoakustische Modelle

[Zoelzer]

MPEG-1: psychoakustisches Modell 2



Eingangssignal

Maskierung aus SNR-Betrachtung

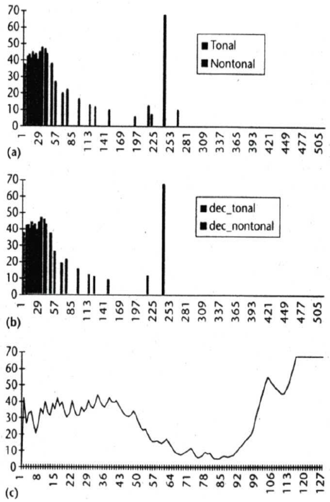
Maskierung aus SNR und Hörschwelle

Signal-to-Mask Verhältnis

kodiertes Signal (bei 64 kb/s)

[Pan MPEG tutorial]

MPEG-1: psychoakustisches Modell 1



tonale und nicht-tonale Komponenten

nach der Dezimierung

masking thresholds

[Pan MPEG tutorial]

MPEG-1: bit allocation

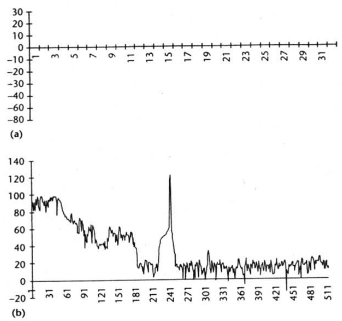
- psychoakustisches Modell liefert "signal-to-mask" Verhältnis
- für jedes einzelne Subband

Bit-Allocation Algorithmus:

- Berechnung von MNR und SNR (mask-noise, signal-noise-ratio)
- wieviele Bits stehen zur Verfügung? Bitrate minus Sync. etc.
- Aufgabe: Bitzuweisung, so daß das minimale MNR maximal
  - für die Skalierungsfaktoren
  - und die Koeffizienten aller einzelnen Subbänder
  - Details für die Layer 1,2,3 leicht unterschiedlich
  - iterativ: berechne MNR und SNR für jedes Subband
  - weise dem Subband mit der schlechtesten MNR Bits zu
  - solange noch Bits zur Verfügung stehen

MPEG-1: psychoakustisches Modell 1

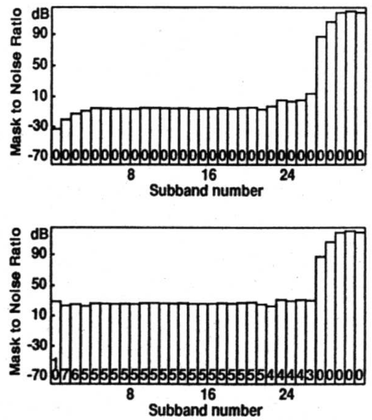
Figure 12. Psycho-acoustic model 1 processing results. (a) Signal-to-mask ratios. (b) Coded audio energy (64 Kbps).



- Ergebnis der Kodierung nach Modell 1
- teilweise deutlich schlechter als Modell 2

[Pan MPEG tutorial]

MPEG-1: bit allocation



Mask-to-noise ratio

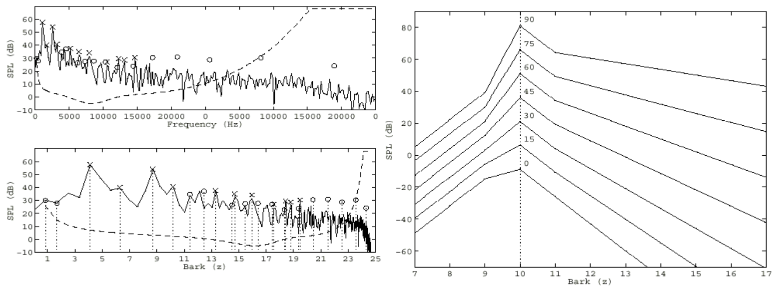
- beim Start der bit-allocation

- nach der bit-allocation
- Anzahl bits / Band

Fig. 8. Mask to noise ratio at the beginning (top) and end (bottom) of the bit allocation algorithm. The number of bits assigned to each subband sample appears at the base of each bar.

[Shlien MPEG guide]

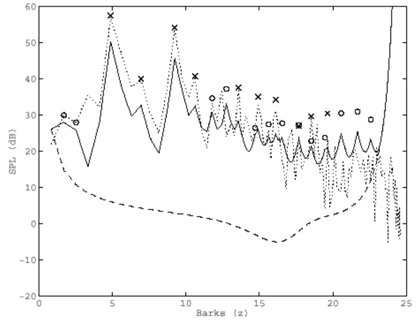
MPEG-1: model 1, tonal / noise maskers



(a) (b)

(a) *Step 1:* Obtain PSD, express in dB SPL. Top panel gives linear frequency scale, bottom panel gives Bark frequency scale. Absolute threshold superimposed. *Step 2:* Tonal maskers identified and denoted by 'X' symbol; Noise maskers identified and denoted by 'O' symbol. (b) Collection of prototype spreading functions (Eq. 28) shown with level as the parameter. These illustrate the incorporation of excitation pattern level-dependence into the model. Note that the prototype functions are defined to be piecewise linear on the Bark scale. These will be associated with maskers in steps 3, 4.

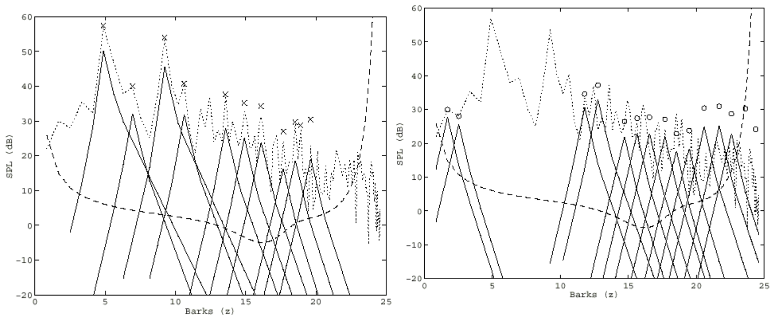
MPEG-1: model 1, masking and spreading



(e)

(e) *Step 5:* A global masking threshold is obtained by combining the individual thresholds as described in the text. The maximum of the global threshold and the absolute threshold are taken at each point in frequency to be the final global threshold. The figure clearly shows that some portions of the input spectrum require SNRs of better than 20 dB to prevent audible distortion, while other spectral regions require less than 3 dB SNR. In fact, some high-frequency portions of the signal spectrum are masked and therefore perceptually irrelevant, ultimately requiring no bits for quantization without the introduction of artifacts.

MPEG-1: model 1, masking and spreading



(c) (d)

(c) *Steps 3,4:* Spreading functions are associated with each of the individual tonal maskers satisfying the rules outlined in the text. Note that the Signal-to-Mask Ratio (SMR) at the peak is close to the widely accepted tonal value of 14.5 dB. (d) Spreading functions are associated with each of the individual noise maskers that were extracted after the tonal maskers had been eliminated from consideration, as described in the text. Note that the peak SMR is close to the widely accepted noise-masker value of 5 dB.

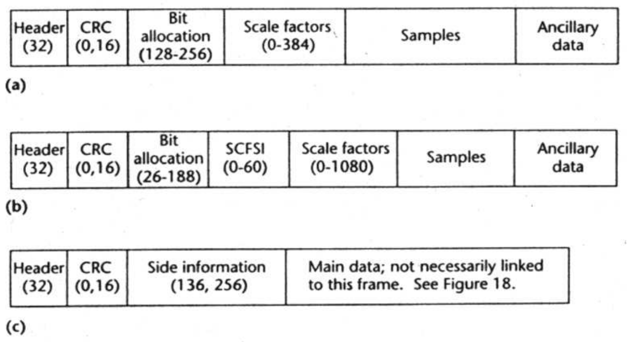
MPEG-1: Bitraten für Layer 1 .. 3

MPEG-1 Bitraten (mono/stereo/joint stereo):

index	**Layer I**		**Layer II**		**Layer III**	
'0000'	free	format	free	format	free	format
'0001'	32	kbit/s	32	kbit/s	32	kbit/s
'0010'	64	kbit/s	48	kbit/s	40	kbit/s
'0011'	96	kbit/s	56	kbit/s	48	kbit/s
'0100'	128	kbit/s	64	kbit/s	56	kbit/s
'0101'	160	kbit/s	80	kbit/s	64	kbit/s
'0110'	192	kbit/s	96	kbit/s	80	kbit/s
'0111'	224	kbit/s	112	kbit/s	96	kbit/s
'1000'	256	kbit/s	128	kbit/s	112	kbit/s
'1001'	288	kbit/s	160	kbit/s	128	kbit/s
'1010'	320	kbit/s	192	kbit/s	160	kbit/s
'1011'	352	kbit/s	224	kbit/s	192	kbit/s
'1100'	384	kbit/s	256	kbit/s	224	kbit/s
'1101'	416	kbit/s	320	kbit/s	256	kbit/s
'1110'	448	kbit/s	384	kbit/s	320	kbit/s

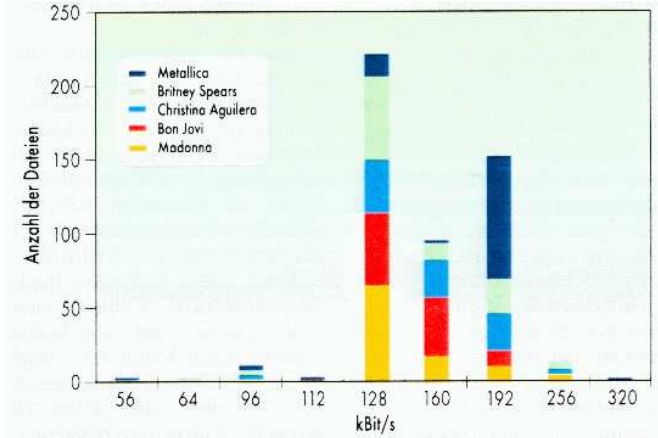
- 32 .. 448 kb/s

MPEG-1: bitstream format



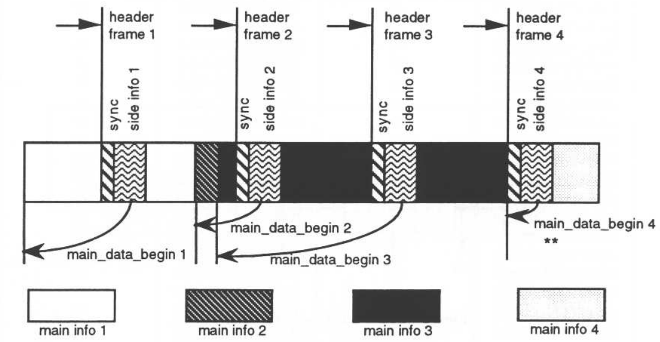
- Header mit speziellem Sync-Muster, dann CRC
- Layer 3 erlaubt "borrowing" zwischen Frames

MPEG-1: gängige Bitraten



- Histogramm der Bitraten (MP3)
- Suche per Napster, aus [c't 2x/2000]

MPEG-1: bitstream format

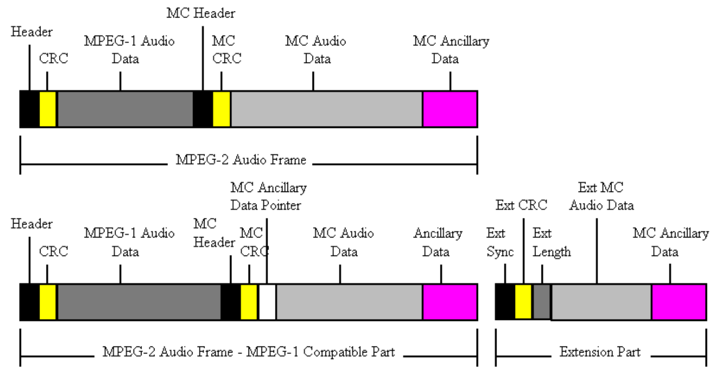


**) main_data_begin 4 == 0 : This signifies that main data starts directly after the side information for frame 4. This is the lower limit for main_data_begin; main_data cannot start later than this point. Note that data bytes used by "sync" and "side info" are not counted by the main_data_begin pointer.

Note: 'info' means information

Figure A.7.b -- Layer III bitstream organization with peak demand at main info 3 and small demand at main info 2.

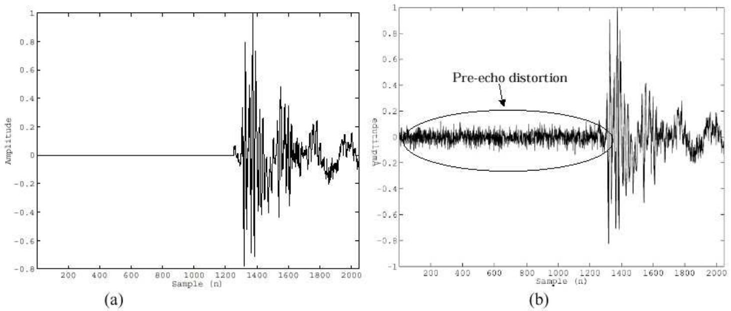
MPEG-2: multichannel bitstream



- MPEG-1 kompatibles Stereosignal, plus Mehrkanal-Erweiterung

Figure A.2 Structure of the ISO 13818-3 Layer II multichannel extension, using the ISO/IEC 11172-3 compatible bit stream as well as the extension bit stream

MPEG-1: pre-echos



(a) (b)

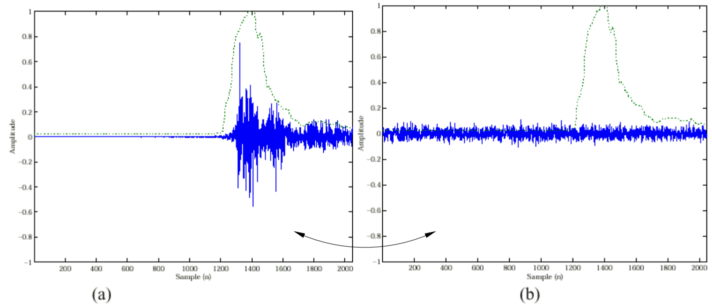
Fig. 14. Pre-Echo Example: (a) Uncoded Castanets. (b) Transform Coded Castanets, 2048-Point Block Size

[Painter Spanias]

- Problem mit plötzlichen lauten Signalen nach einer Blockgrenze
- vorheriger Block hat sehr wenig Bits kodiert
- Rauschen des lauten Signals wird nicht mehr maskiert

=> Situation erkennen und behandeln (kürzere MDCT Blöcke)

MPEG-1: temporal noise-shaping



(a) (b)

Fig. 17. Temporal Noise Shaping Example Showing Quantization Noise and the Input Signal Energy Envelope for Castanets: (a) Without TNS, and (b) With TNS

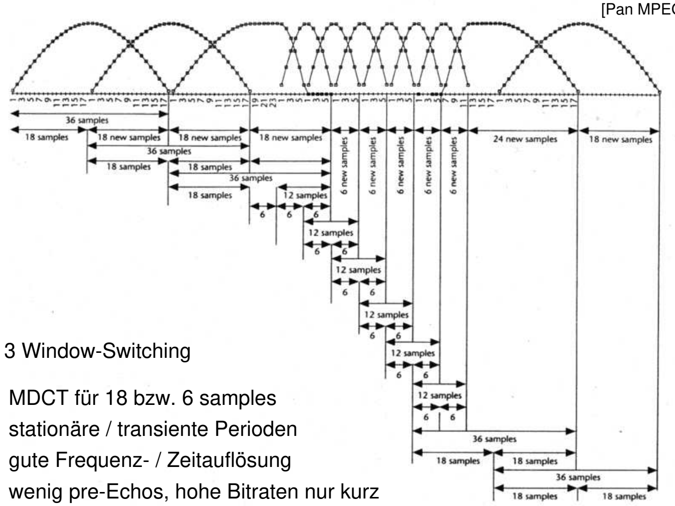
[Painter Spanias, a) b) vertauscht]

weitere Verbesserung durch TNS:

- Verlagerung des Rauschens in den Bereich mit höchster Maskierung
- wird für MPEG-2 AAC eingesetzt

MPEG-1: window-switching

[Pan MPEG tutorial]



Layer 3 Window-Switching

- MDCT für 18 bzw. 6 samples
- stationäre / transiente Perioden
- gute Frequenz- / Zeitauflösung
- wenig pre-Echos, hohe Bitraten nur kurz

MPEG-2: BC und NBC (AAC)

"backwards compatible":

- ähnliches Format wie MPEG-1 layer 3
- aber mit 3/2-Mehrkanal-Erweiterung
- abwärtskompatibel (für die 2/0 Stereosignale)
- ungeeignet für 3/2 mit Bitraten unter 640 kb/s

"non backwards compatible" / "advanced audio coding"

- gleiches Konzept wie MPEG-1 layer 3
- aber viele Verbesserungen, mit Ziel geringerer Bitrate

- viele neue Details, bessere Filterbank, bessere Zeitauflösung
- temporal noise shaping, . . .
- zusätzliche Bitraten bis herunter zu 16 kb/s/channel

MPEG-2: AAC Eigenschaften

MPEG-2 AAC (ISO 13818-7, 1997):

- Mehrkanal-Audio (3/2) bei Bitraten bis 384 kb/s
- transparente Kodierung (Hörtests) ab 320 kb/s
- mehrere "Profile": main / low / scalable sample rate profile

- bessere Filterbank als MP3:
- Frequenzauflösung 23 Hz (75Hz), Zeitauflösung 2.6 ms
- keine Hybrid-Filterbank, sondern nur MDCT

- MDCT window shape switching (stationary / transient signals)
- time prediction of transform coefficients
- more efficient Huffman code tables
- temporal noise shaping
- scalability and complexity management tools

- eingesetzt u.a. für DVD und Liquid Audio

MPEG-2: AAC-Decoder Performance

"revised report on complexity of MPEG-2 AAC tools2"

"ISO/IEC JTC1/SC229/WD11/N2957 MPEG99"

welche Hardware-Anforderungen für AAC-Dekodierung?!

Decoder	Complexity
2-channel MP software decoder	40% Pentium/133
2-channel low complexity sw decoder	25% Pentium/133
5-channel MP hardware decoder	90 mm² 0.5 µm CMOS

Huffman decode	13.3 %
inv. quantization, scaling	1.7 %
temporal noise shaping	6.6 %
prediction	43.2 %
IMDCT	19.4 %
coupling channel	15.5 %

MPEG-2: und Nachfolger

- entwickelt für geringe Bitraten
- Hörtests bescheinigen (sehr) gute Qualität
- auch für kritisches Audio-Material
- aber nicht unbedingt besser als MP3

- siehe MPEG-2 quality report
  Hörtests / Vergleich mehrerer Algorithmen

- MPEG-4 (ISO/IEC 14496, 1998) enthält MPEG-2
- zusätzlich "objekt-orientierte" Algorithmen
- für Bitraten von 64 kb/s bis hinunter zu 200 b/s (!)
- für Sprachkodierung / -synthese
- für Musikkodierung / -synthese (a la MIDI)

MPEG-1: LAME

"Lame ain’t an MPEG encoder"

- MP3-Encoder unter GPL Lizenz, im Quellcode verfügbar
- ursprünglich als Patch gegen den ISO Referenzcode
- derzeit als völlig neuentwickeltes Programm
- Decoder basiert auf mpeglib (www.mpg123.de)

- mit eigenem psychoakustischem Modell
- Qualität vergleichbar mit dem FhG-Encoder
- ideal als Grundlage für Eigenentwicklungen

- unterstützt MPEG-1 layer 1 bis 3
- recht schnelle Kodierung

- www.sulaco.com/mp3 (aktuell ist Lame 3.87)

LAME: psychoakustisches Modell

```
/* psymodel.c
 * Copyright (c) 1999 Mark Taylor
 *
 * compute FFTs
 * FFT data for mid and side channel is derived from L & R
 * compute energies
 * compute unpredicatability of first six spectral lines
 * compute unpredicatibility of next 200 spectral lines
 *
 * Calculate the energy and the unpredictability in the threshold
 * calculation partitions
 *
 * convolve the partitioned energy and unpredictability
 * with the spreading function, s3_l[b][k]
 *
 * calculate the tonality of each threshold calculation partition
 * calculate the SNR in each threshold calculation partition
 * tonality = -0.299 - .43*log(ctb/ecb);
 * tonality = 0:           use NMT    (lots of masking)
 * tonality = 1:           use TMN    (little masking)
 *
 * at this point, tbb represents the amount the spreading function
 * will be reduced.  The smaller the value, the less masking.
 *
 * long block pre-echo control.
 * compute masking thresholds for both short and long blocks
 * threshold calculation for short blocks
 * compute M/S thresholds from Johnston & Ferreira 1992 ICASSP paper
 * determin final block type
 *
 * compute side_energy / (side+mid)_energy
 * 0 = no energy in side channel
 * .5 = half of total energy in side channel
 *
 * Read long block data for converting threshold calculation
 * Read short block data for converting threshold calculation
 *
 * compute which partition bands are in which scalefactor bands
 * compute bark value and ATH of each critical band
 *
 * Now compute the spreading function, s[j][i], the value of the spread-
 * ing function, centered at band j, for band i, store for later use
 * setup stereo demasking thresholds
 */
```


LAME: Presets

```
Presets are some shortcuts for common settings.
They can be combined with -v if you want VBR MP3s.

                 phone phon+   lw     sw    fm  voice radio tape  hifi    cd  studio
====================================================================================
--resample          8    11    11     11    32    24
--highpass      0.125   0.1
--lowpass         3.4     4     4      4    15    12    15    18    18
--lowpass-width     0     0     0      0     0     0     0   0.9   0.9
--noshort         yes   yes    no     no    no   yes    no    no    no    no    no
                  -mm   -mm   -mm    -mm   -mj   -mm   -mj   -mj   -mj   -ms   -ms
                                                                    -h    -h    -h
-b                 16    24    24     24   112    56   128   128   160   192   256
-- PLUS WITH -v --------------------------------------------------------------------
-V                  6     4     3      3     3     4     3     3     2     1     0
-b                  8    16    16     16    80    40    96    96   112   128   160
-B                 24    32    56     56   256   112   256   256   320   320   320
------------------------------------------------------------------------------------
EXAMPLES:
 a) --preset fm
    equal to: -mj -b112 --resample 32 --lowpass 15 --lowpass-width 0
 b) -v --preset studio
    equals to: -h -ms -V0 -b160 -B320
```

- feste Bitraten von 16 kb/s (mono) bis 256 kb/s (stereo)
- -B setzt maximal zulässigen Wert bei variabler Bitrate
- -V 0 für beste Qualität, -V 9 für minimale Dateigröße

LAME: Status, Performance

- Echtzeit-Kodierung ist möglich
- auch bei hohen Bitraten / guter Qualität

```
                                              vs. Echtzeit
lame --preset studio          256 kb/s        3X
lame --preset cd              192 kb/s        3X
lame --preset fm              112 kb/s        3X
                                              auf Celeron/466
```

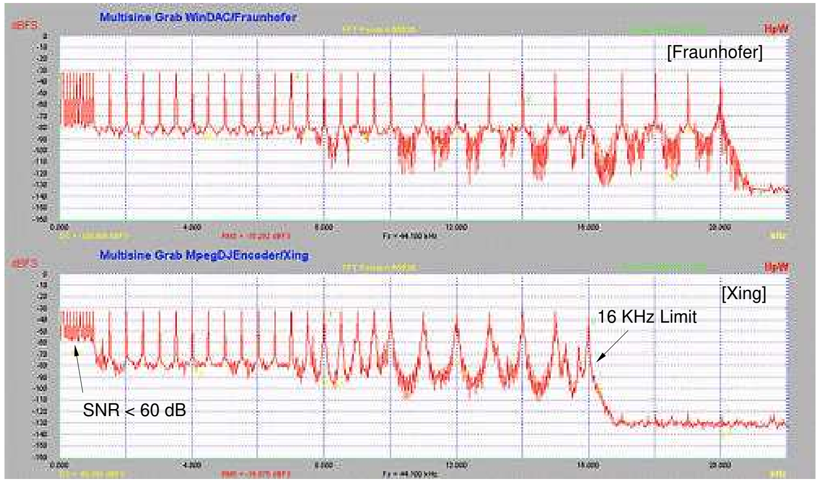
- pyschoakustisches Modell liegt im Quelltext vor
- weitere Verbesserungen vorgeschlagen und geplant
- aber massive rechtliche Probleme:
- fast alle MPEG-1/2 Verfahren patentiert und lizenzpflichtig
- siehe MPEG-2 AAC Lizenzvertrag (PDF)

Klangvergleich

	MP3	WMA	RA8	ePAC	AAC	MP+
Modem	o	++	+	++	-	x
Rock	+ 160	+ 160	+ 185	+ 160	o 256	++ 184
Pop	+ 160	++ 128	+ 185	++ 128	+ 192	++ 171
Klassik	+ 160	+ 160	++ 136	+ 160	+ 190	++ 158
Stresstest	+ 320	-- 192	o 360	-- 160	++ 320	++ 296

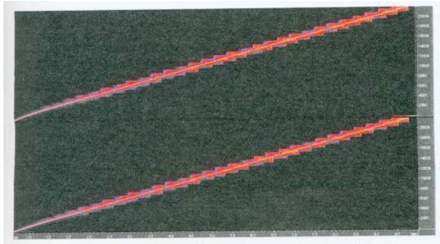
- Vergleichstest in c't 23/2000 p.152
- Klangqualität bei 128/138 kb/s / Bitrate für CD-nahe Qualität
- MP+ ist Eigenentwicklung der Autoren, "audiophil"

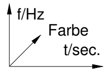
MP3: zwei Encoder . . .

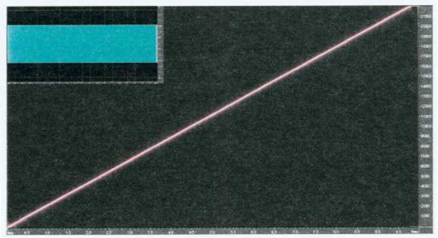


- Eingangssignal mit 44 Sinustönen . . . [ct 21/98 242]

MPEG-1: Sinus-Sweep

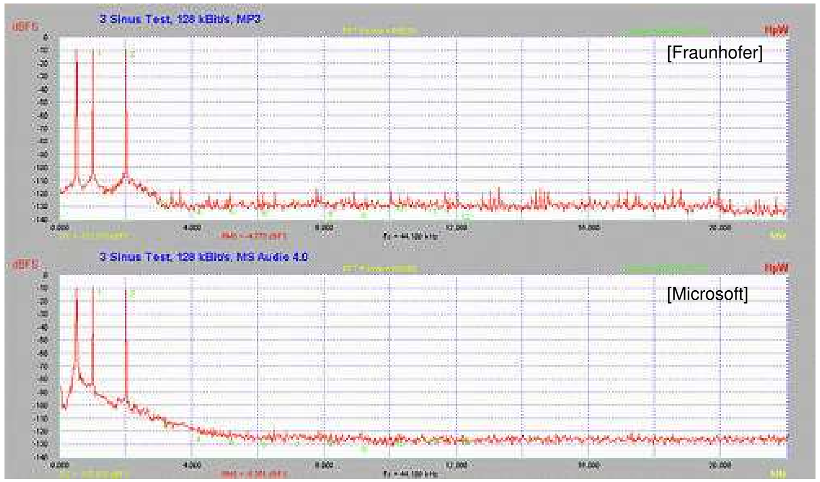

Entlarvt: Das charakteristische Spektrogramm eines Subband-Coders zeigt beim Sinus-Test treppenförmige Rauschteppiche, in diesem Fall bei MP+.




Licht: Psytels AAC-Encoder reproduziert das Sinussignal mit Abstand am besten.

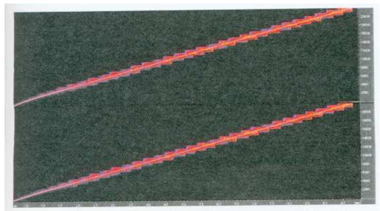
- Subband-Kodierung zerlegt das Signal in Frequenzbereiche
- Frequenz-Sweep besonders schwer zu kodieren
- Test für MP3, AAC, MP+, VQF in c't 22/2000,152

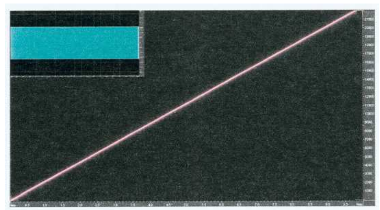
MP3: vs. MS Audio 4.0

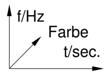


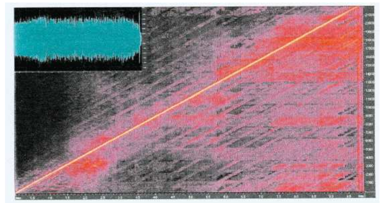
- neuere Versionen von WMA sind besser [ct 21/98 242]

Sinus-Sweep: MP+, AAC, VCQ


Entlarvt: Das charakteristische Spektrogramm eines Subband-Coders zeigt beim Sinus-Test treppenförmige Rauschteppiche, in diesem Fall bei MP+.


Licht: Psytels AAC-Encoder reproduziert das Sinussignal mit Abstand am besten.




... und Schatten: VQF scheitert völlig an dem Sinus-Sweep.

- c't 22/2000