

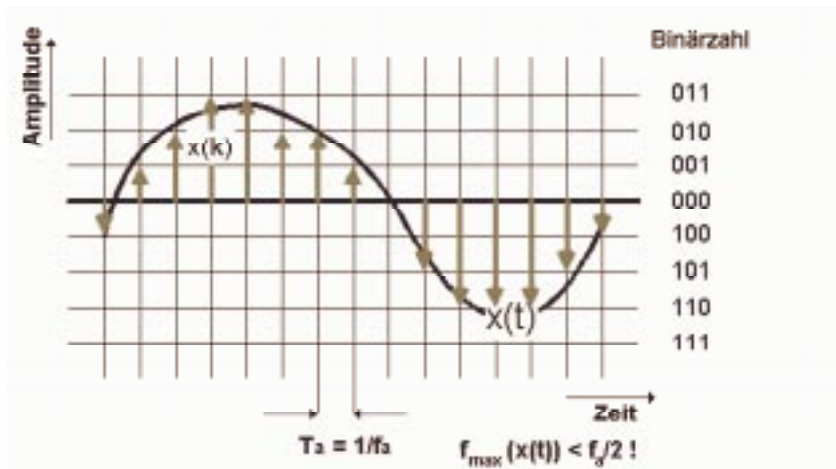
# Technik und Anwendung von **MP3**

Dr. Hansjörg Mixdorff

## 1. Einführung → **Kenngößen digitaler Audio-Signale**

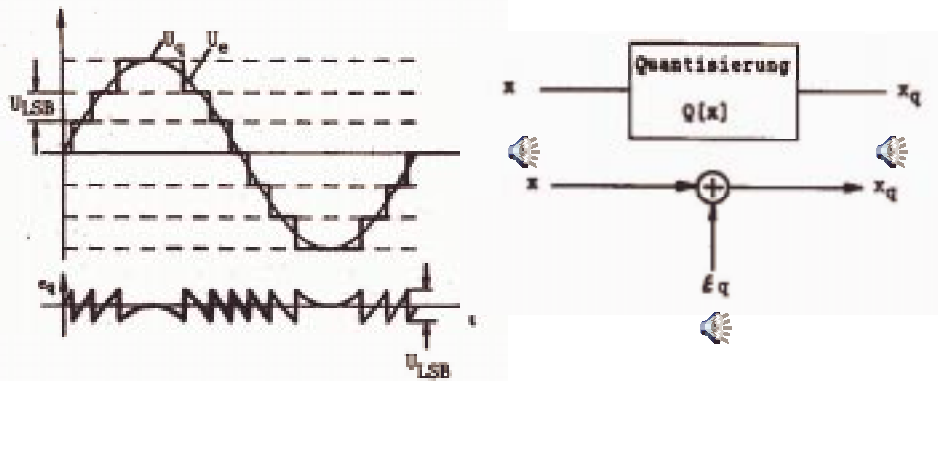
Abtastfrequenz (-rate)  $f_a$

Bitzahl  $n$ :  $2^n$  ist die Anzahl der darstellbaren Amplitudenstufen



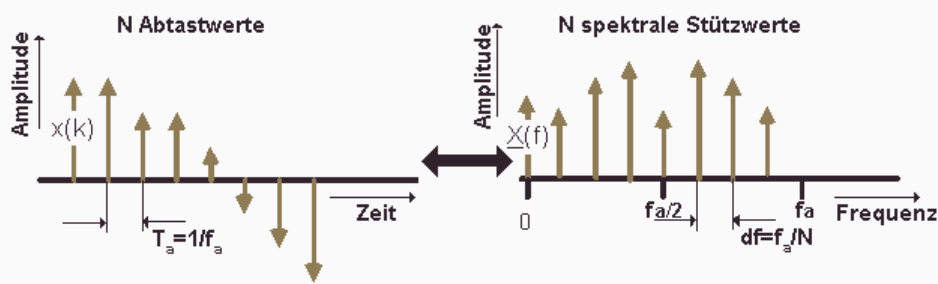
## 1. Einführung → Quantisierungsfehler

abhängig von der Bitzahl  $n$ :  $\text{SNR} \approx 6.02 \cdot n$  dB, bzw. Reduktion um  $n$  bit erhöht Rauschpegel um  $6.02 \cdot n$  dB



## 1. Einführung → Spektrale Transformation digitaler Signale

Diskrete Fourier-Transformation (DFT) und ihre Invertierte (IDFT)



$$\text{DFT: } \underline{X}(f) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cdot \exp(-jk2\pi n\Delta f)$$

$$\text{IDFT: } x(k) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \underline{X}(f) \cdot \exp(jk2\pi n\Delta f)$$

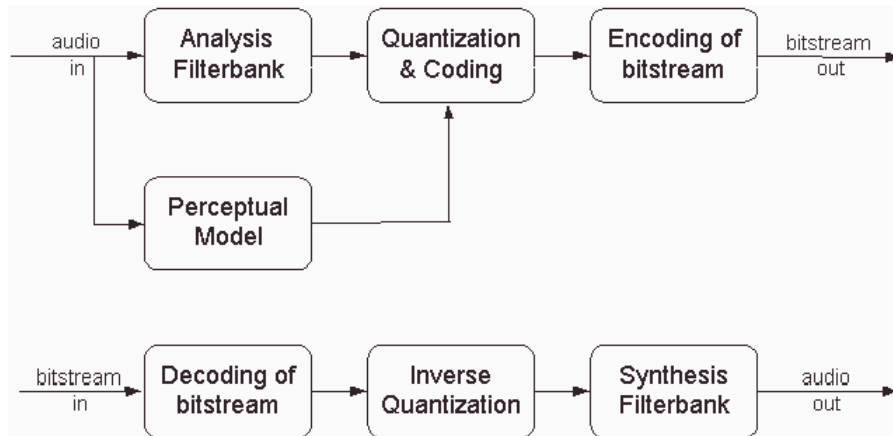
## 2. Das MPEG-Projekt→ MPEG-1/2 Layer 3 alias **MP3**

- Entwickelt durch die MPEG (Moving Pictures Encoding Group)
- Offener Standard
- Verlustbehaftete Kompression von Audio-Signalen
- Perzeptive Codierung
- Kompressionsraten bis auf 12 % bei annähernd gleichbleibender Qualität
- begleitende Faktoren: Zunehmende Verbreitung von Internet, CD-ROM-Brennern
- Gängige Bitraten: Kompression von CD-Stereo-Qualität (44.1 kHz, 16 bit, entspr. 1.41Mbit/s) auf 128 oder 256 kbit/s

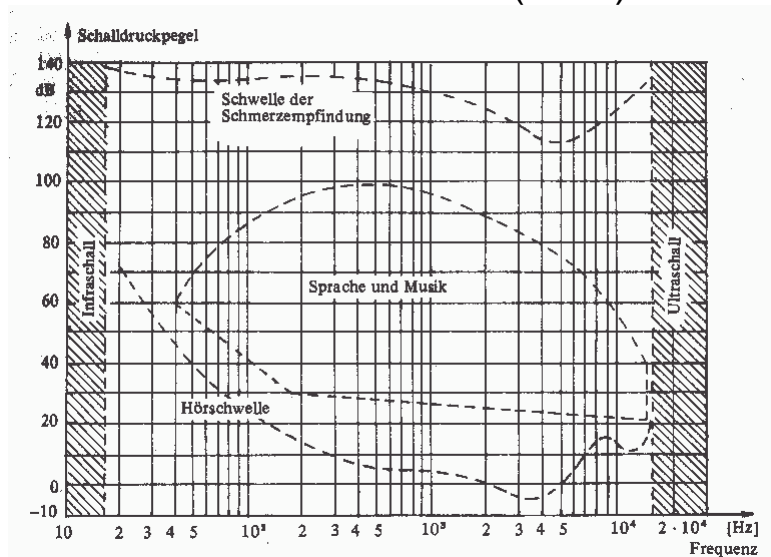
## 2. Das MPEG-Projekt→ Überblick über die Projekt-Phasen

Phase	Zeitraum	Beschreibung (Audio-Teil)	Layers
MPEG-1	1988-1992	Audio-Codierung bei Abtastraten von 32, 44.1 und 48 kHz, Bitraten 32-320 kbit/s	1,2 und 3.
MPEG-2	Fertiggestellt 1994	Zusätzliche Abtastraten: 16, 22.05 und 24 kHz, Bitraten 8-320 kbit/s	Layer3 entspr. MP3
MPEG-2 AAC	Ab 1994	Verbesserte Codierungsalgorithmen gegenüber MPEG 1/2-3	
MPEG-3	Ab 1994	Video-Codierung für HDTV, später nach MPEG Phase 2 zurückverlegt	
MPEG-4	Fertiggestellt Ende 1998	Multimedia-Standard (Terminals, Services, Anbindung von Datenbanken), Sprach-und Audiocodierung zwischen 2-64 kbit/s	
MPEG-7	Ende voraus. 2001	Standard für die Repräsentierung von Multimedia-Information (Filterung, Suche, Management)	

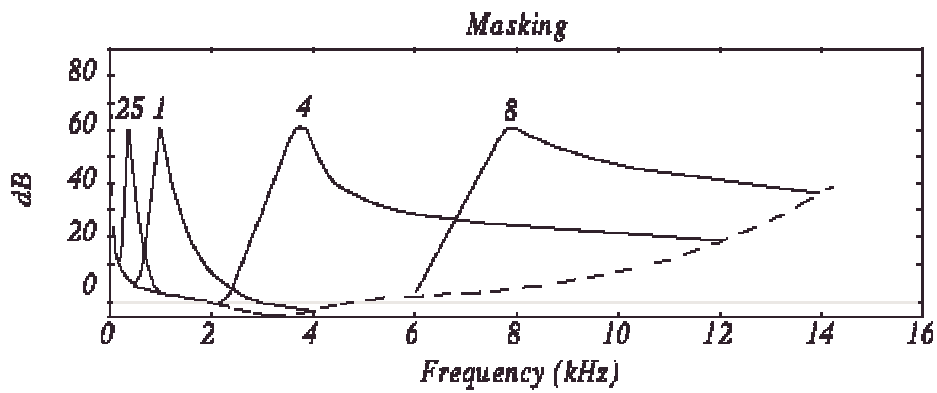
## 2. Das MPEG-Projekt → Überblick über die Audio-Codec-Strecke



## 3. Eigenschaften des Gehörs → Spektrale Empfindlichkeit, Ruhehörschwelle (RHS)

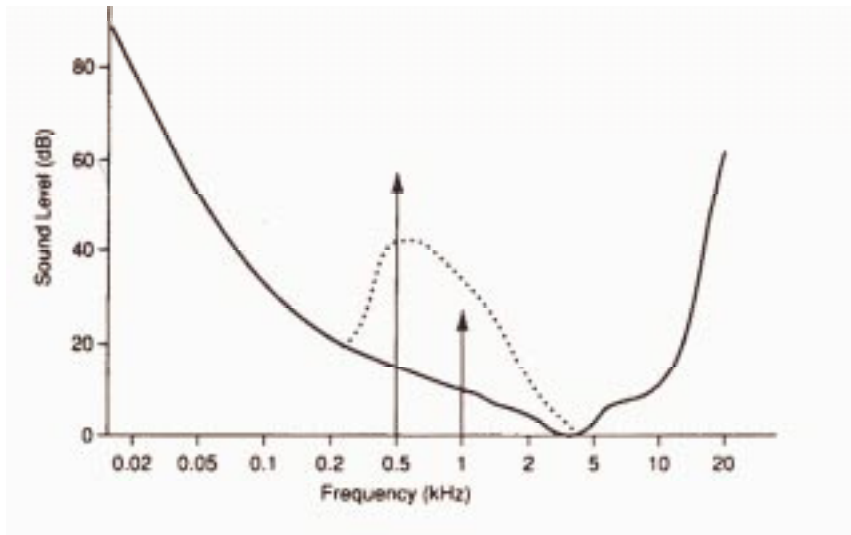


### 3. Eigenschaften des Gehörs→ Frequenzgruppen

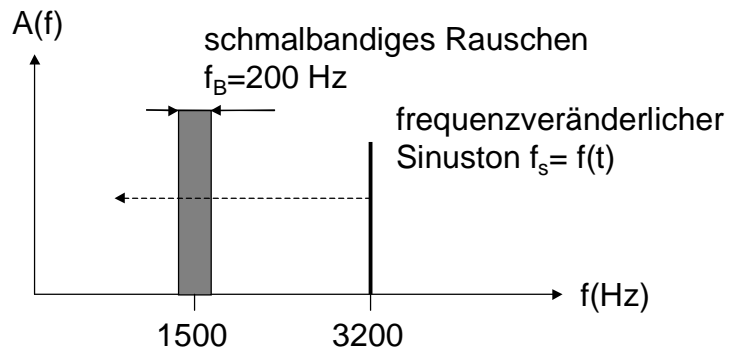


$$f_B(f) = \begin{cases} 100 \text{ Hz}, & f < 500 \text{ Hz} \\ 0.2 \cdot f \text{ Hz}, & f \geq 500 \text{ Hz} \end{cases}$$

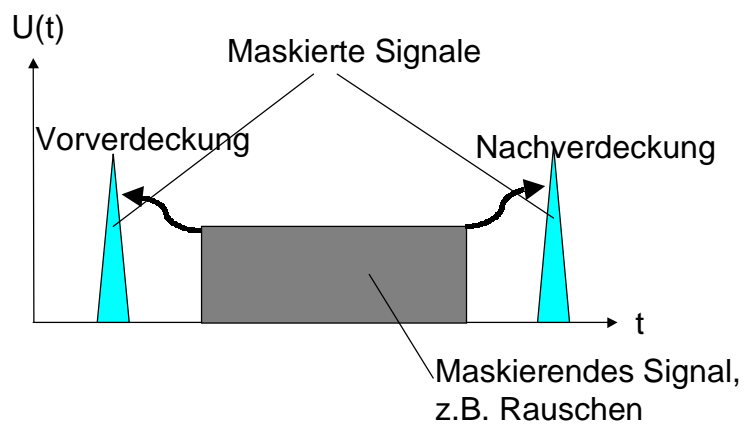
### 3. Eigenschaften des Gehörs→ Spektrale Verdeckung, Mithörschwelle (MHS)



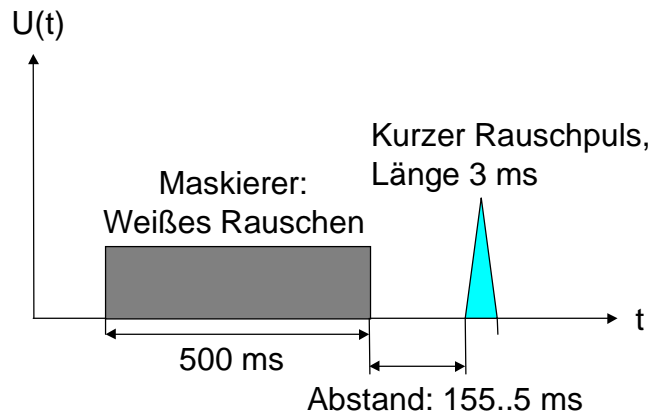
3. Eigenschaften des Gehörs→ **Spektrale Verdeckung, Mini-Experiment**



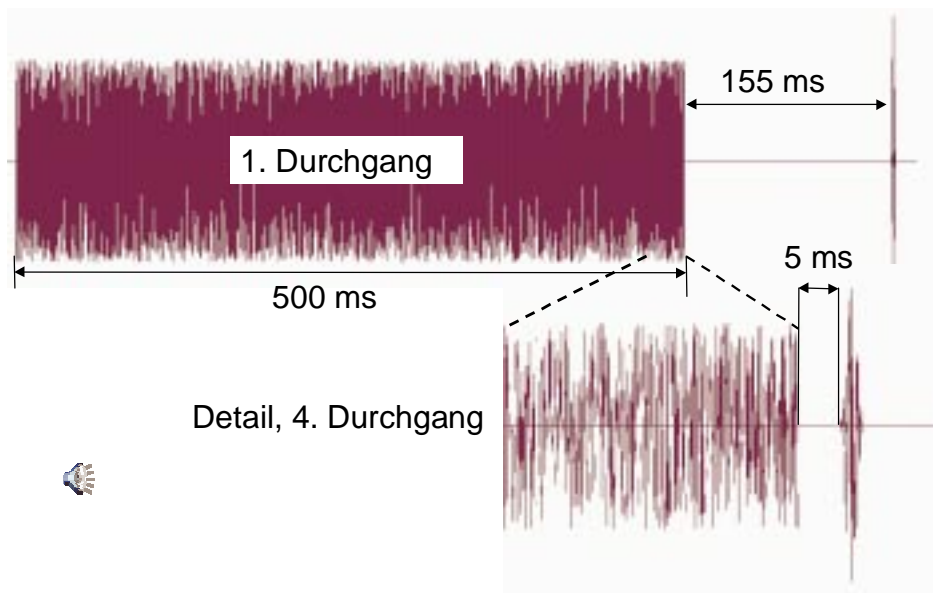
3. Eigenschaften des Gehörs→ **Zeitliche Verdeckung**



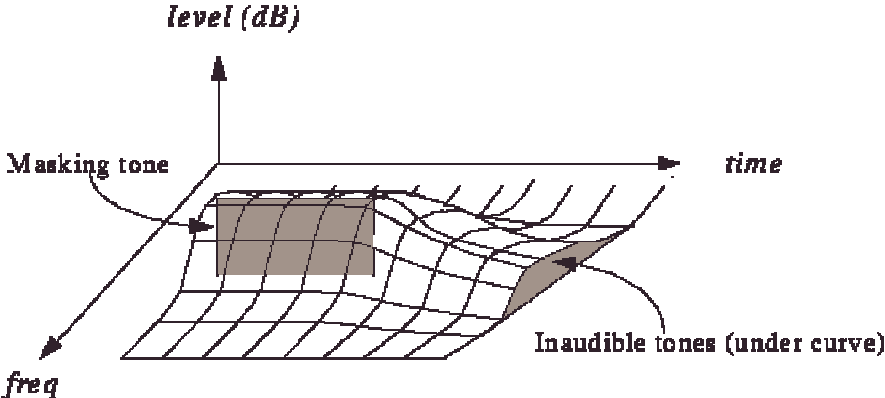
3. Eigenschaften des Gehörs→ **Nachverdeckung,**  
*Mini-Experiment*



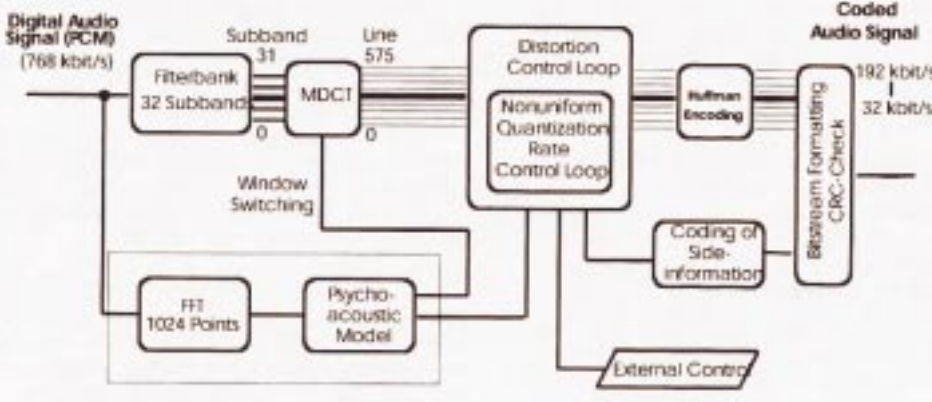
3. Eigenschaften des Gehörs→ **Nachverdeckung, Zeitsignale**



3. Eigenschaften des Gehörs→ Zusammenwirken von zeitlicher und spektraler Verdeckung



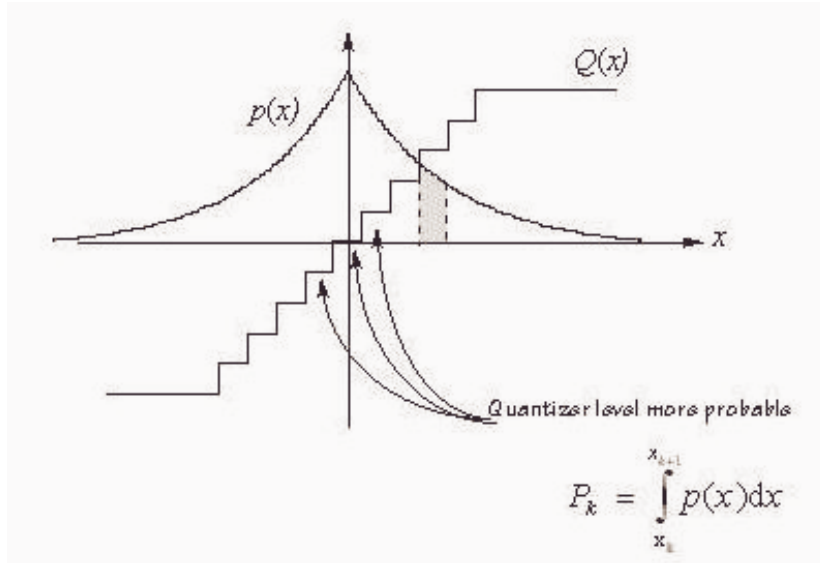
4. Funktion des MP3-Coders→ Blockschaftbild



MPEG1/2-Layer 3-Coder



4. Funktion des MP3-Coders → Berücksichtigung der Amplitudendichteverteilung  $p(x)$

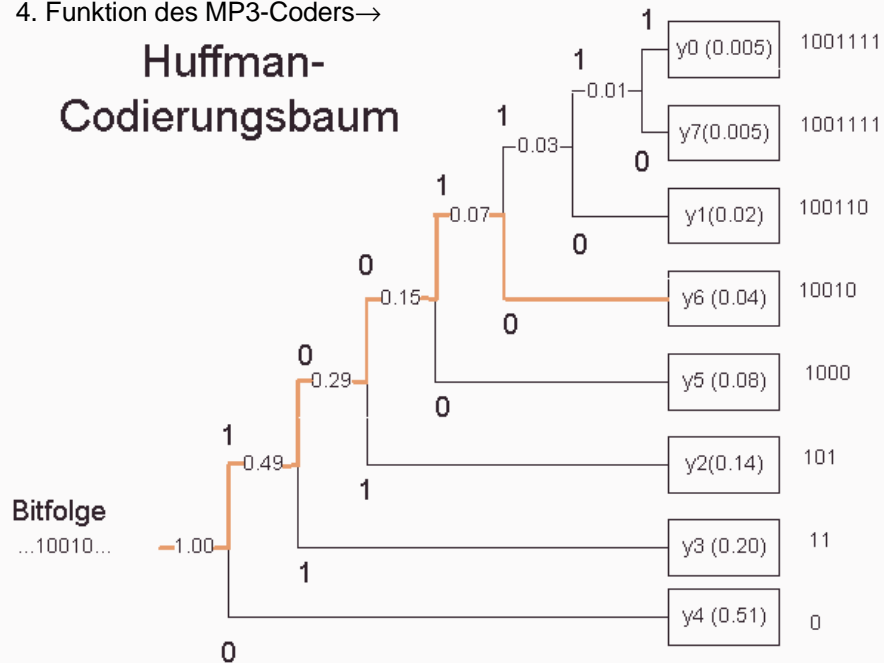


4. Funktion des MP3-Coders → Huffman-Codierung

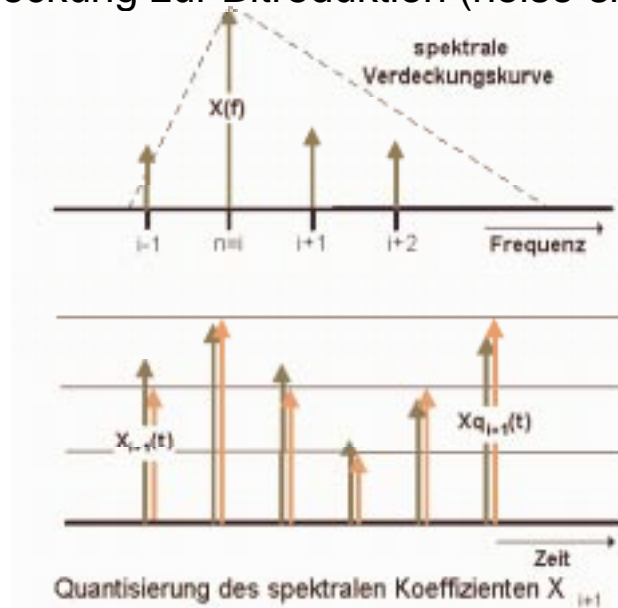
Intervall Index k	Ue in [V],		Wahrscheinlichkeit ( $p_k$ )	Natürl. Binär- Zahl	Huffman- code
	$\geq U_u$	$< U_o$			
y0	-10.0	-7.5	0.005	111	1001111
y1	-7.5	-5.0	0.02	110	100110
y2	-5.0	-2.5	0.14	101	101
y3	-2.5	0.0	0.20	100	11
y4	0.0	2.5	0.51	000	0
y5	2.5	5.0	0.08	001	1000
y6	5.0	7.5	0.04	010	10010
y7	7.5	10.0	0.005	011	1001110
	Bei Ue= -10..10 V				

4. Funktion des MP3-Coders →

## Huffman-Codierungsbaum




4. Funktion des MP3-Coders → Nutzung der spektralen Verdeckung zur Bitreduktion (noise-shaping)




5. Hörbeispiele→ **Audio-CD vs. MP3:  
Zwei Encoder im Vergleich**


Datenrate

1.4Mbit/s Audio-CD (0:24) 


LAME  
sulaco.org/mp3

BLADEENC  
bladeenc.mp3.no

256kbit/s \*0:35 

\*1:42 

128kbit/s \*0:46 

\*2:07 


\*Rechenzeit Pentium I,  
120 MHz, (m:ss)

5. Hörbeispiele→ **Akustische Artefakte:  
Schlechte Anpassung an die Zielbitrate**


Datenrate LAME  
sulaco.org/mp3

BLADEENC  
bladeenc.mp3.no


96 kbit/s \*0:42 

\*3:33 

64 kbit/s \*0:29 

\*3:35 

32 kbit/s \*0:22 

\*3:18 

\*Rechenzeit Pentium I,  
120 MHz, (m:ss)

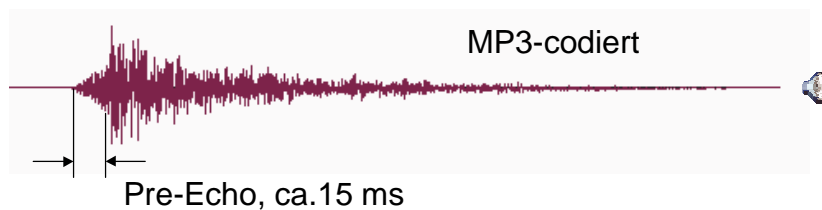
5. Hörbeispiele → **Akustische Artefakte: Pre-Echo**

Serie von Rimshots (Kantenschläge auf einer Snare-Drum)

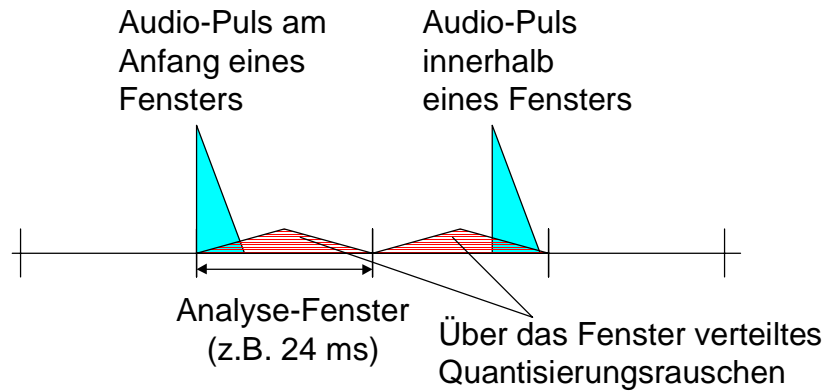
Original: 

MP3-codiert: 

5. Hörbeispiele → **Akustische Artefakte:  
Pre-Echo, Beispiel Rimshot**



## 5. Hörbeispiele → Akustische Artefakte: Pre-Echo



## 6. Qualitätsvergleich Audio-CD vs. MP3 (c't 6/2000)

Leser-Hörtest - Ergebnisse															
Titel/Nr.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	Punkte/Titel (je 100 mögliche Punkte) 11 Punkte
Cher - Strongly Live	3	3	3	3	3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	21
Brahms - Ungarische Tänze	1	1	1	0	3	0	0	0	1	0	3	3	1	0	14
Donald Fagan - IDY	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	3	12
Anne S. von Oros - Ein so Stranger Here	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	3	3	16
Peter Gabriel - Stealin	3	3	0	1	0	3	1	0	3	1	0	3	3	1	22
Lionel Cohen - For We Take Manhattan	1	3	0	0	0	1	3	1	3	3	0	3	0	0	18
Orff - Carmina/Burlesca	1	3	0	1	0	1	0	1	3	3	1	1	1	3	19
Shostakovich - Jazz/2 March	0	1	1	3	3	1	1	1	0	0	1	0	0	3	13
Bill Whittier - Ain't No Sunshine	1	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	7
Adrian Legg - Norah Hanley's Waltz	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1	8
Liszt - Après une lecture de Dante	1	0	0	1	3	0	1	0	0	3	1	0	0	0	10
Mussorgsky - Bilder einer Ausstellung	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	8
Sarah K. - Tell Me I'm Not Dreamin'	3	2	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	14
Grieg - Arabischer Tanz	0	1	3	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	9
Marlo Glen - The Cost Of Freedom	1	0	1	0	1	1	3	0	1	0	3	1	0	3	15
Anne S. von Oros - Quella è Tu e il volto	0	0	0	3	0	3	0	0	0	1	0	0	1	0	8
Clara Mello - All For The Feeling	3	3	3	3	0	3	3	3	3	0	3	1	1	0	29
Punkte/Note	20	25	19	20	14	15	15	15	17	16	16	22	17	20	

## 7. Kommerzielle und rechtliche Problematik

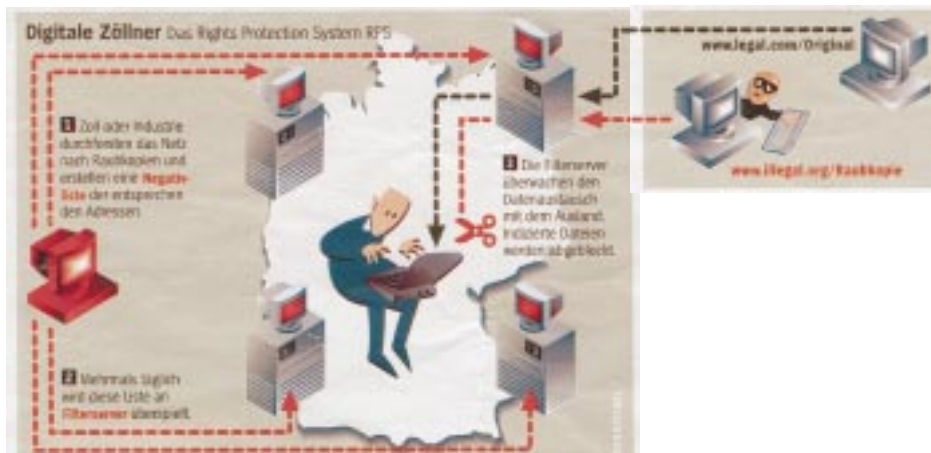


Der SPIEGEL,  
15/2000

c't, 6/2000



## 7. Kommerzielle und rechtliche Problematik→ Prinzip des Right Protection Systems (RPS)



Der SPIEGEL,  
15/2000

## 8. Ausblick→Zukünftiger Standard: MPEG 2-Advanced Audio Coding (AAC)

- Höhere Frequenzauflösung
  - Prädiktion von Spektralwerten (Vorteile bei stark tonalen Klängen)
  - Kürzere Einschwingzeiten der Analyse-Filterbank
  - Flexiblere Zuordnung von Huffman-Codierungstabellen
  - TNS (Temporal Noise Shaping)
- ⇒gleiche Qualität bei 70% der Bitrate von MP3