



Interaktive Medien

Medien, Digitalisierung, Kodierung

Prof. Dr.-Ing. Timo Gerkmann
Signal Processing Group, Universität Hamburg
Folien von: Prof. Dr. Frank Steinicke
Human-Computer Interaction, Universität Hamburg

Inhalt

- Grundbegriffe über Medien
- Analoge vs. Digitale Medien
- Grundlegende Konzepte der Digitalisierung
- Grundlegende Verfahren der Kodierung



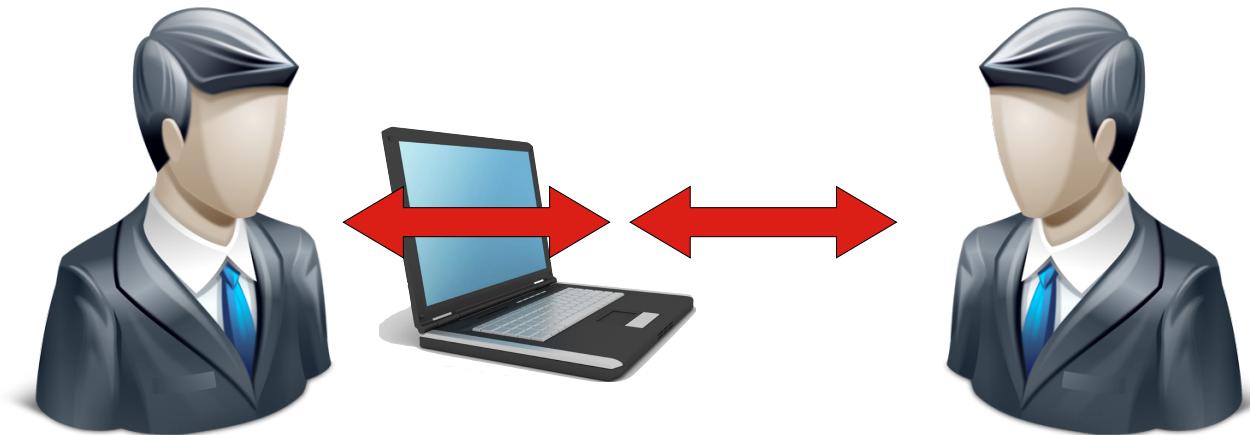
Interaktive Medien

Medien, Digitalisierung, Kodierung

Medien

Medien

- **Medien** (Einzahl: **Medium**) sind vor allem Träger / Vermittler von **Kommunikation** und **Interaktion** zwischen kommunizierenden oder handelnden Akteuren



Interaktivität

- **Interaktivität** (*lat.: inter („zwischen“) und agere („treiben“/„betreiben“)*) weist auf **Wechselbeziehung** zwischen Menschen und Computer(n) hin, bei der Informationen ausgetauscht werden

Interaktive Medien

- Interaktive Medien sind **synchrone** und **asynchrone** technische **Kommunikationsmittel**, die zum **Austausch** von **nichtlinearen Informationen** genutzt werden können

Natürliche Medien

- **Natürliche Medien** realisieren sich auf Grundlage natürlich gegebener Kanäle

Natürliches Medium	Physische Grundlage
Sprache	Sprachmotorik, Schall, Hörvermögen
Handlung	Sensomotorik und Newtonische Physik

Künstliche Medien

- **Künstliche Medien** werden auf Grundlage von Medientechnologien unterstützt

Künstliches Medium	Medientechnologie
Fernsprechen	Telefon
Fernschreiben	Telegraph, Telefax, SMS
Fernsehen	Video- und Nachrichtentechnik
World Wide Web	Internet

Digitale Medien

- **Digitale Medien** sind Medien, die
 1. vom Computer erfasst, gespeichert, verarbeitet oder versendet und
 2. vom Menschen genutzt werden können, z.B. durch sehen, lesen, hören, interagieren etc.

Sight

1250 MB/s



Touch

125 MB/s



Hearing/Smell

12.5 MB/s



Taste



A group of six people are gathered in a formal living room. In the center, a man in a dark uniform lies face down on a large, patterned rug. A red ribbon or cord is stretched across the floor from the left side towards the body. To the left, a man in a grey suit stands holding a hat. Next to him is a police officer in a dark uniform. To the right of the body, a woman in a pink dress and hat stands, and further right, a man in a dark suit and white shirt. Further right still, a woman in a maid's uniform holds a tray with a pan on it. On the far right edge of the frame, a person in a large black bear costume is partially visible. The room features a chandelier, framed pictures on the wall, and a mounted animal head on the left.

WHODUNNIT?





Sight

1250 MB/s



Touch

125 MB/s



Hearing/Smell

12.5 MB/s



Taste

Filterung & Selektion

- beschränkte Speicher- und Verarbeitungskapazität hinsichtlich
 - Wahrnehmung
 - Gedächtnis
- hierbei keine festen Grenzwerte
 - **inter- und intra-individuelle Varianz**

Filterung & Selektion

- Gesamte „einfließende“ Informationsmenge
ca. 1.5 GBits/s
 - ca. 15 MBits/s erreichen Rezeptoren
 - ca. 100 Bits/s erreichen Bewusstsein
- **Filterung und Selektion der Informationen**

Medien und Kanäle

- **Digitale Medien** dienen computervermittelten Kommunikation zwischen Menschen
- Erscheinungsform der Medien sind vom Computer und von Informationstechnologie geprägt

Medien und Kanäle

- **Präsentationsmedium:** Hilfsmittel zur Ein- und Ausgabe, z.B. Bildschirm, Lautsprecher, Kopfhörer
- **Codierung:** Repräsentation der Information, z.B. Wahlergebnis als Text, Zahlen oder Grafik
- **Modalität:** vom Menschen genutzter Sinneskanal für Wahrnehmung, z.B. visual, auditiv oder haptisch

Multimedia

- “*Multimedia ist der Trend, die verschiedenen Kommunikationskanäle des Menschen mit den Mitteln der Informationswissenschaft über alle Quellen zu integrieren und als Gesamtheit für die Kommunikation zu nutzen.*”

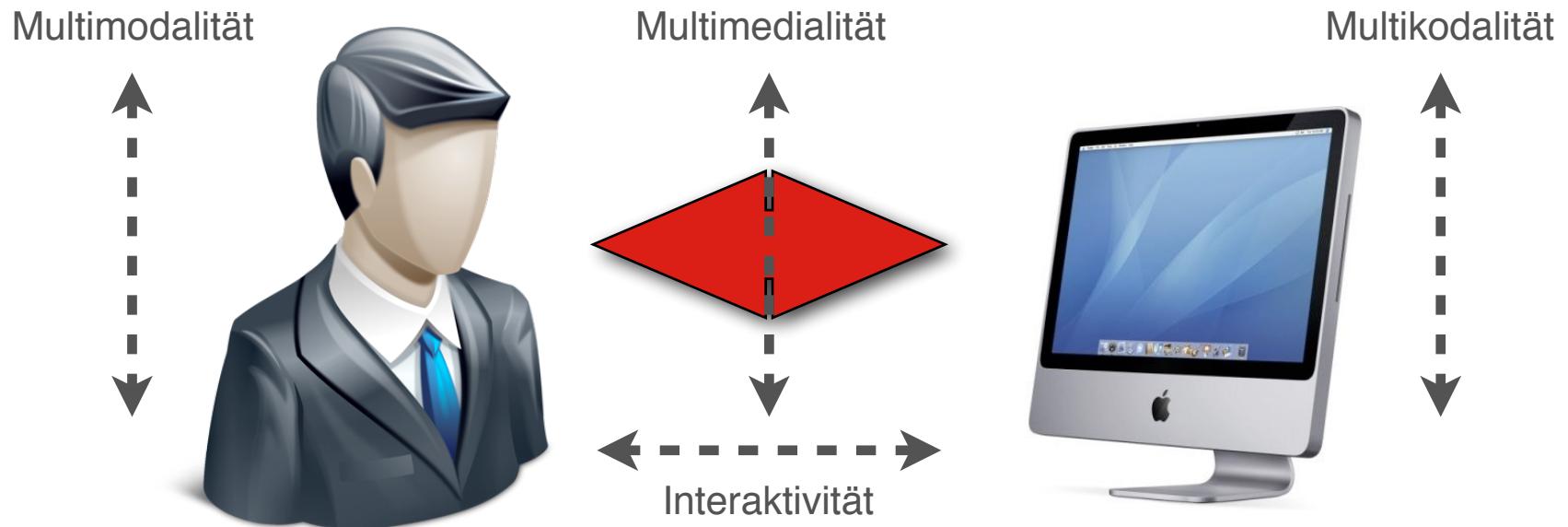
— Peter Henning (2003)

Multimedia

Unterscheidung

- Präsentationsebene
 - monomedial vs. multimedial
- Kodierungsebene
 - monocodal vs. multicodal
- Perzeptionsebene
 - monomodal vs. multimodal

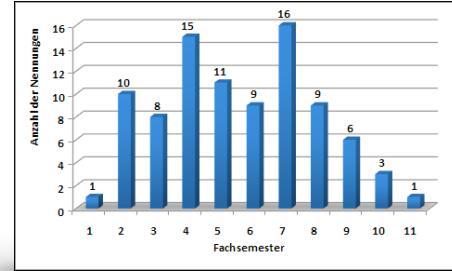
Modal / Medial / Kodal



Kommunikation /
Interaktion

Multicodal

- Text
- Farbe
- Anordnung
- Illustration
- Grafik
- ...



Lorem Ipsum

"Neque porro quisquam est qui dolorem ipsum quia dolor sit amet, consectetur, adipisci velit..."
"There is no one who loves pain itself, who seeks after it and wants to have it, simply because it is pain...".

Why do we use it?

It is a long established fact that a reader will be distracted by the readable content of a page when looking at its layout. The point of using Lorem Ipsum is that it has a more-or-less normal distribution of letters, as opposed to using 'Content here, content here', making it look like readable English. Many desktop publishing packages and web page editors now use Lorem Ipsum as their default model text, and a search for 'lorem ipsum' will uncover many web sites still in their infancy. Various versions have evolved over the years, sometimes by accident, sometimes on purpose (injected humor and the like).

Where does it come from?

Contrary to popular belief, Lorem Ipsum is not simply random text. It has roots in a piece of classical Latin literature from 45 BC, making it over 2000 years old. Richard McClintock, a Latin professor at Hampden-Sydney College in Virginia, looked up one of the more obscure Latin words, consectetur, from a Lorem ipsum passage, and going through the cities of the world looking for its source. He discovered the undoubtable source. Lorem Ipsum comes from sections 1.10.32 and 1.10.33 of "de Finibus Bonorum et Malorum" (The Extremes of Good and Evil) by Cicero, written in 45 BC. This book is a treatise on the philosophy of ethics, which in turn is based on a series of short ethical maxims which生存于古罗马时期的一部古典拉丁文学作品《关于善与恶的极端》(De Finibus Bonorum et Malorum)。该书由西塞罗(Cicero)撰写于公元前45年，是关于道德哲学的一部经典著作，其核心思想基于一系列简短的道德箴言。

Various versions have evolved over the years, sometimes by accident, sometimes on purpose (injected humor and the like).



Multimedial

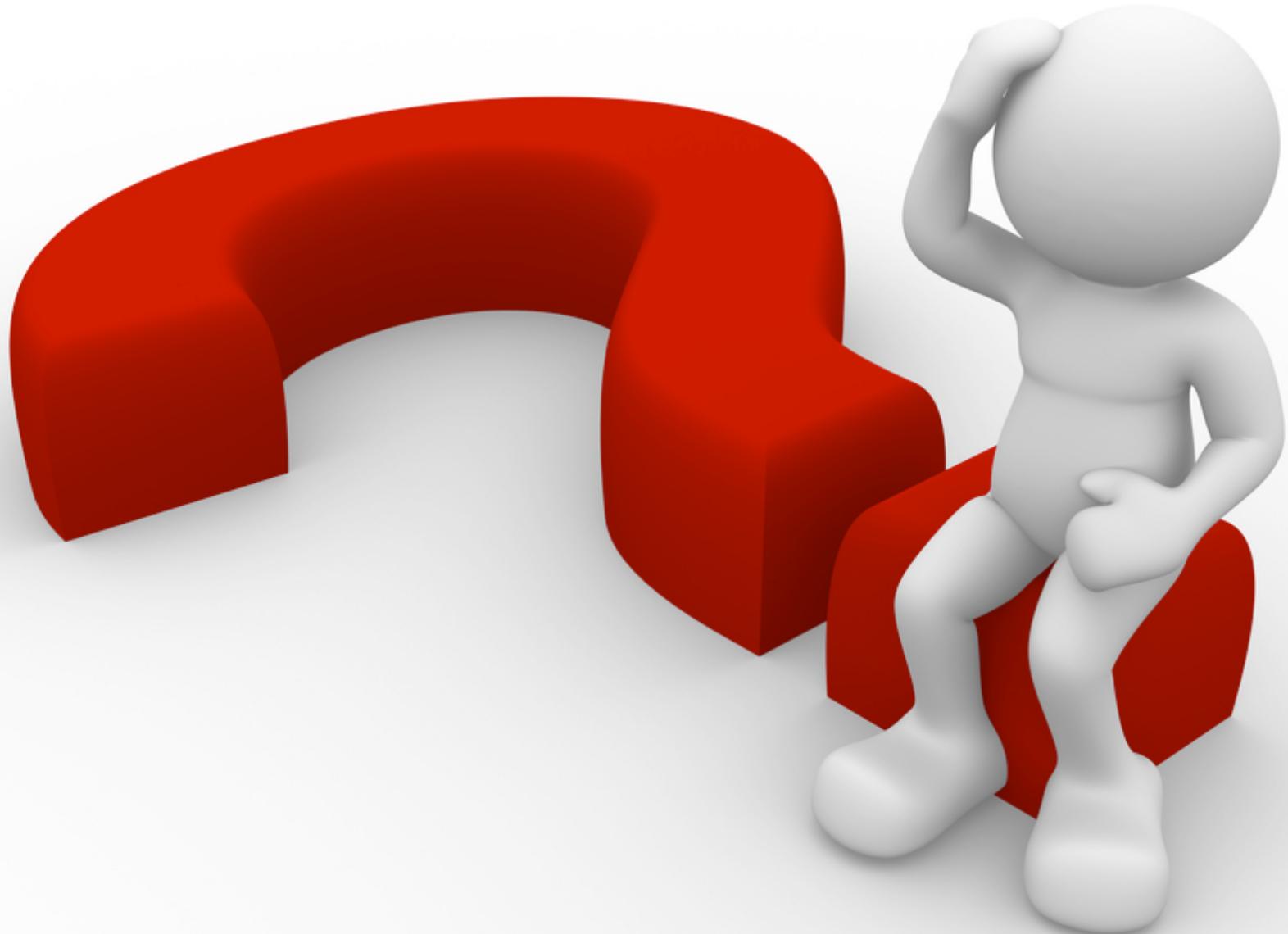
- Bildschirm
- Lautsprecher
- Touchscreen
- Force-Feedback
- Vibration
- ...



Multimodal

- visuell
- auditiv
- haptisch
- olfaktorisch
- gustatorisch
- ...







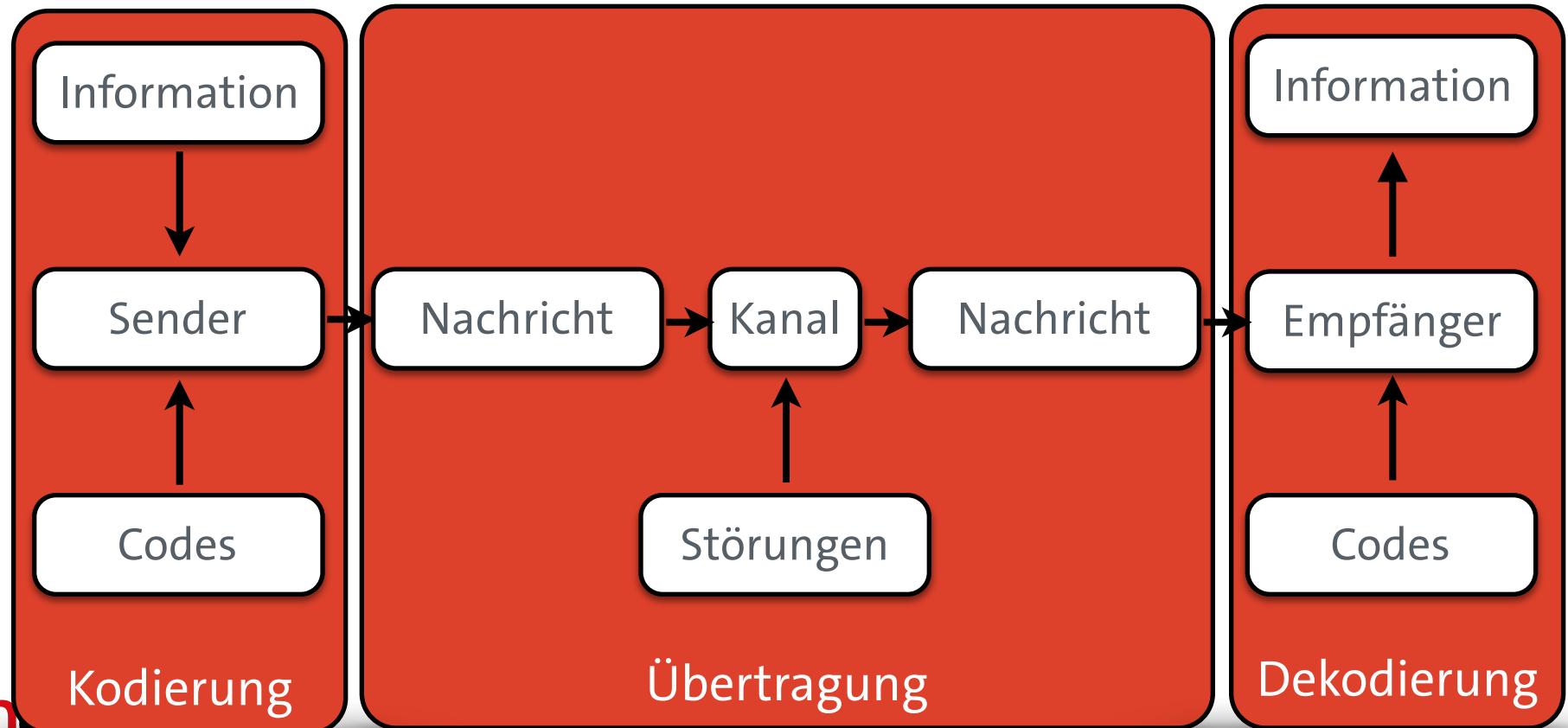
Interaktive Medien

Medien, Digitalisierung, Kodierung

Signale und Übertragung

Kommunikationsmodell

Shannon and Weaver



Analoges Signal

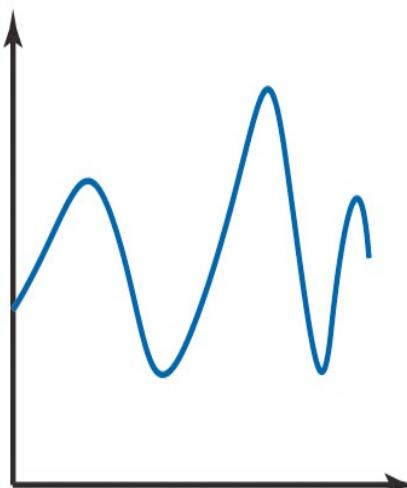
Definition

- **Analoges Signal** ist gegeben durch *deterministische* Änderungen einer physikalischen Größe entsprechend einem Messwert der zu übertragenden Information
- dazu kommen meist noch stochastische Änderungen, z.B. additive Störungen

Analoge Signale

Beispiele

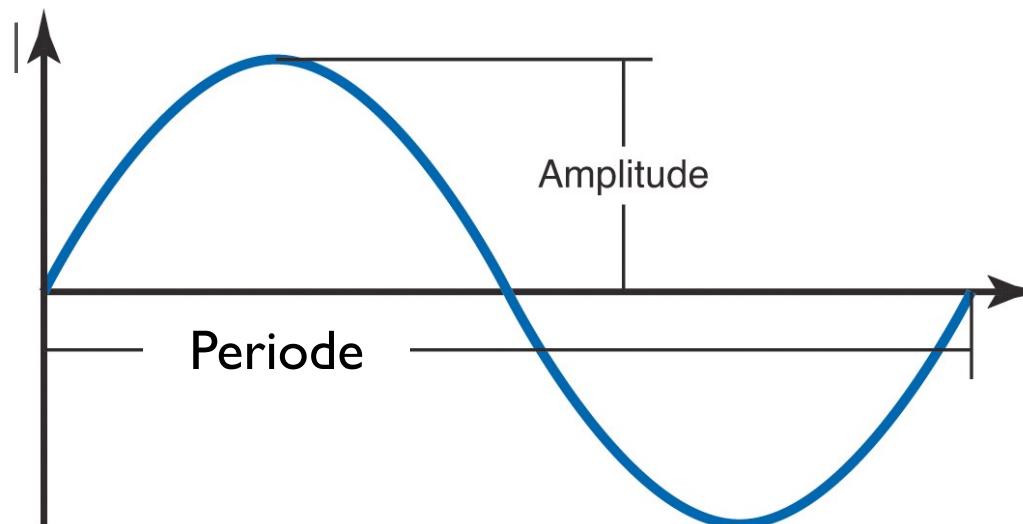
- oft **periodische Signale**, z.B. Schall- oder Lichtwellen
 - Verlauf wiederholt sich nach festen Zeitabständen (Perioden)



Analoge Signale

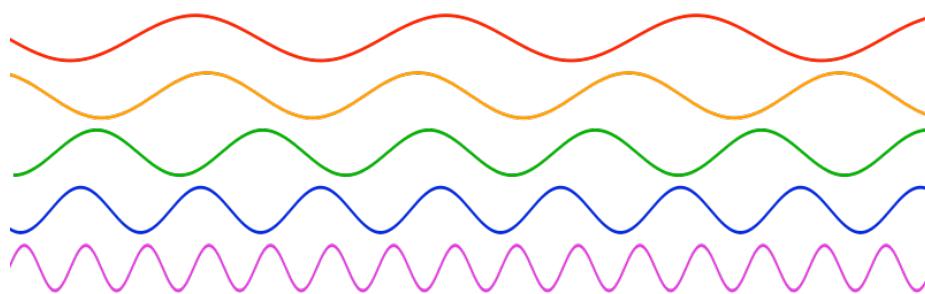
Begriffe

- **Periode** beschreibt sich wiederholenden Verlauf in festem zeitlichen Abstand
- **Amplitude** ist durch maximalen Wert der



Analoge Signale

- **Wellenlänge** gibt Weg an, den Signal bei gegebener Ausbreitungsgeschwindigkeit innerhalb einer Periode zurücklegt
- **Frequenz** gibt Anzahl von sich wiederholenden Schwingungen pro Zeiteinheit an



Analoge Signale

- **Periodendauer T** (in Sekunden) gibt an, wie lange eine vollständige Schwingung dauert
$$T = \frac{1}{f}$$
- **Frequenz f** ist Kehrwert der Periodendauer in Hz
 - Anzahl sich wiederholender Perioden pro Sekunde

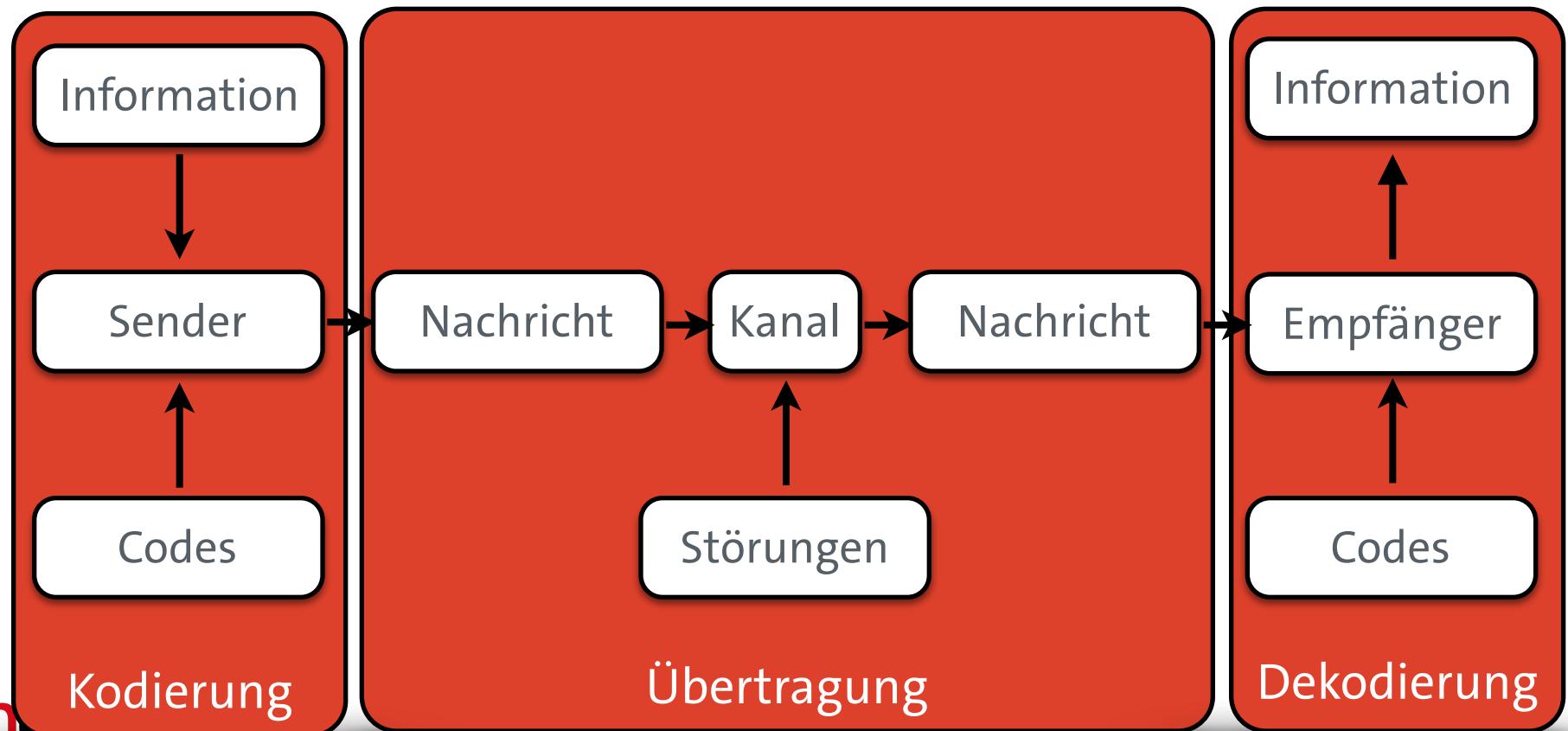
Diskussion



Wie lange ist Periodendauer für ein analoges
Signal mit $f=0.5 \text{ Hz}$?

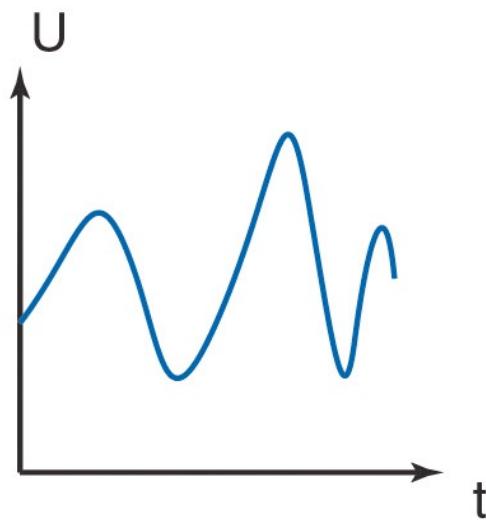
Kommunikationsmodell

Shannon and Weaver

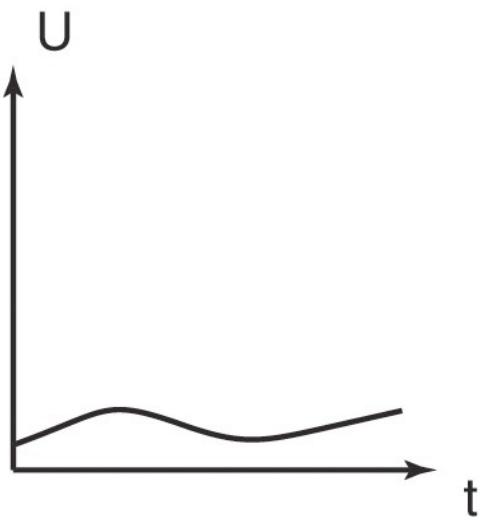


Stör-Signale

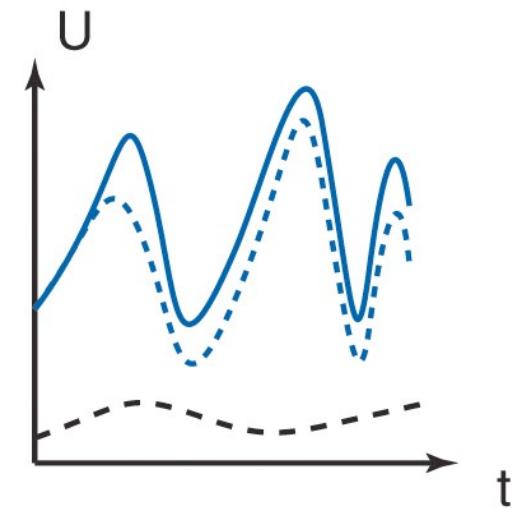
Beispiel: Analog



Originalsignal



Störsignal

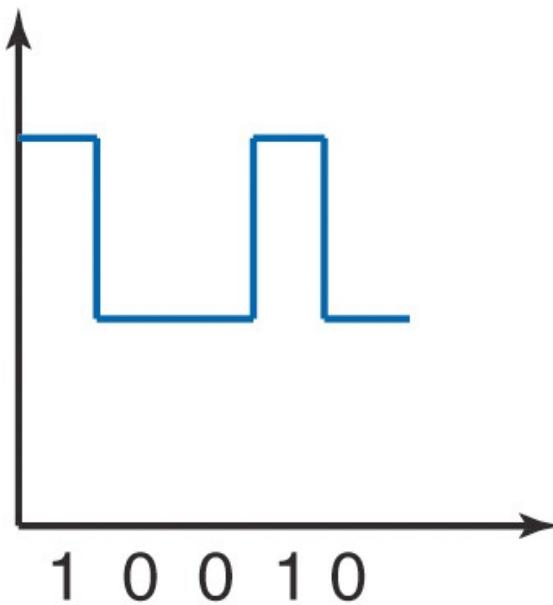


resultierendes
analoges Signal

Digitales Signal

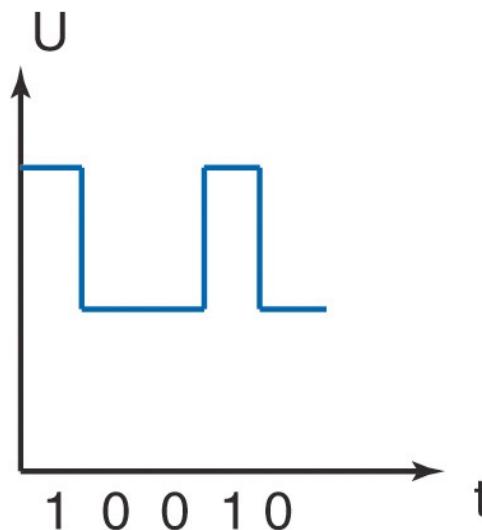
Definition

- **Digitales Signal** orientiert sich an festem Raster des Raumes bzw. der Zeit und gibt für jeden Punkt einen diskreten Wert

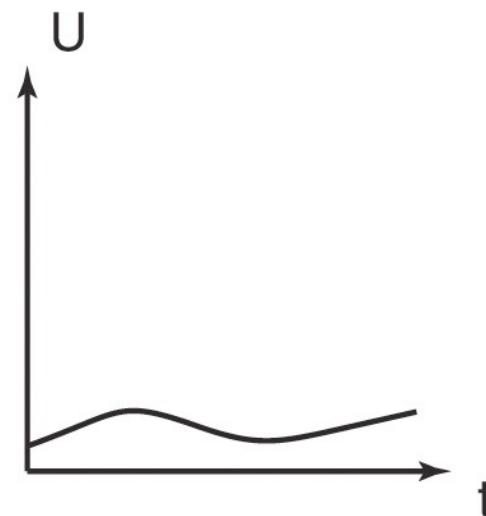


Stör-Signale

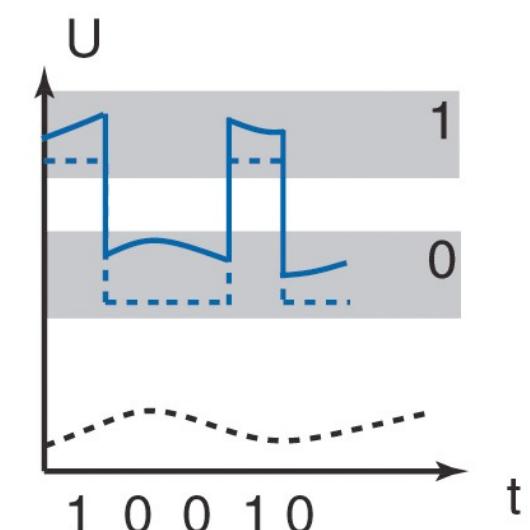
Beispiel: Digital



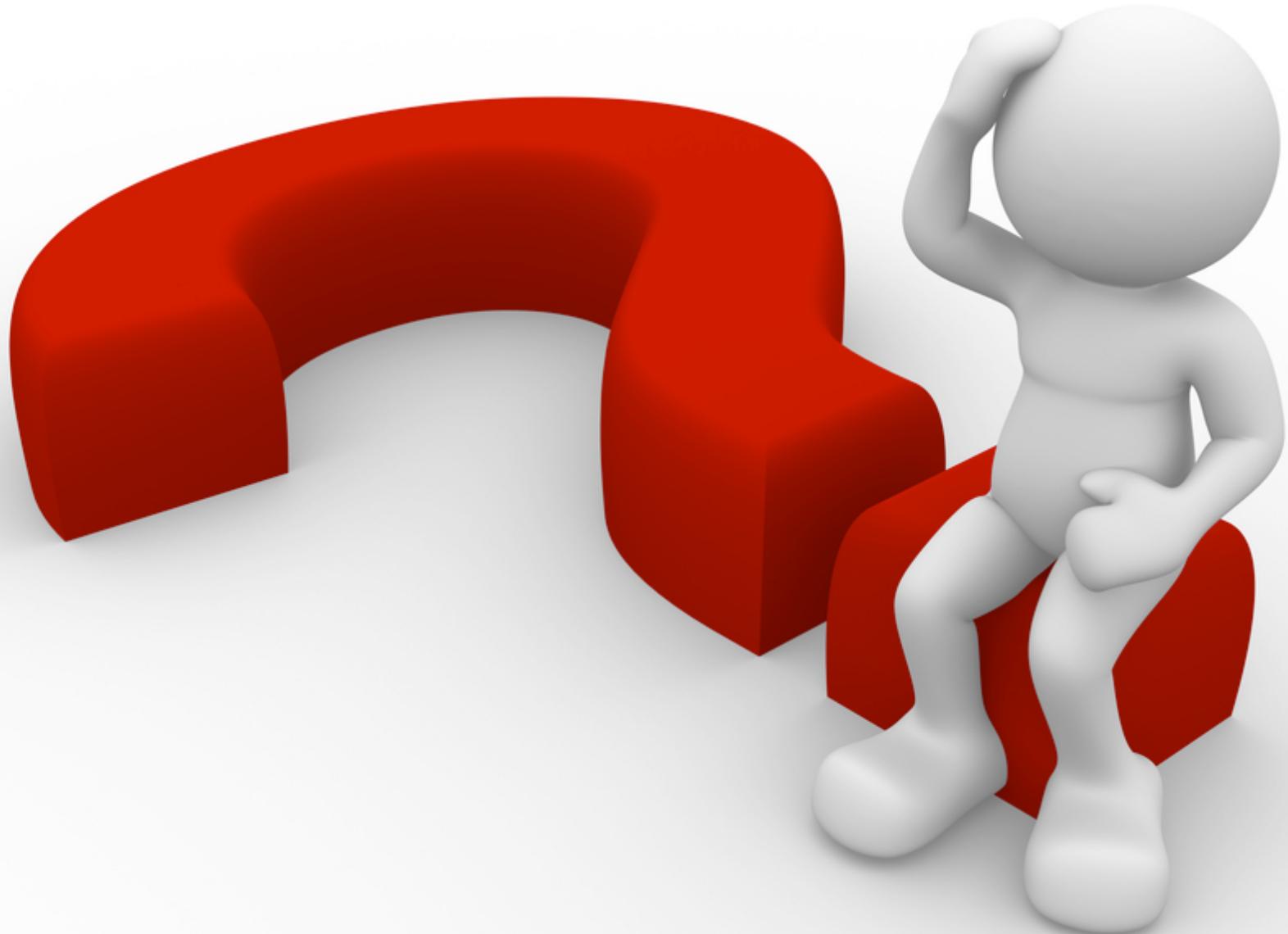
Originalsignal



Störsignal



resultierendes
digitales Signal





Interaktive Medien

Medien, Digitalisierung, Kodierung

Digitalisierung

Wandlung

- Amplitude des Signals wird in kurzen Zeitabständen gemessen und festgehalten bzw. wiedergegeben
 - **Analog/Digital (A/D)-Wandlung**, d.h. Digitalisierung des analogen Signal
 - **Digital/Analog (D/A)-Wandlung**, d.h. Abspielen des digitalen Signals

Abtastung vs. Synthese

- Information, die als digitales Medium präsentiert werden soll, muss digitalisiert werden:
 - **Abtastung (engl. Sampling):** analoges Signal wird in zeitdiskretes Signal umgewandelt
 - **Synthese:** Signal liegt digital vor und wird in anderes (analoges/digitales) Signal umgewandelt



J. Lasseter: Toy Story, 1995

Diskretisierung

- Bei zeitlichen **Diskretisierung** oder **Abtastung (engl. Sampling)** wird festes Raster von Messpunkten gleichen Abstands festgelegt über die sich analoges Signal verändert
- Beispiele:
 - Zeit bei Musik

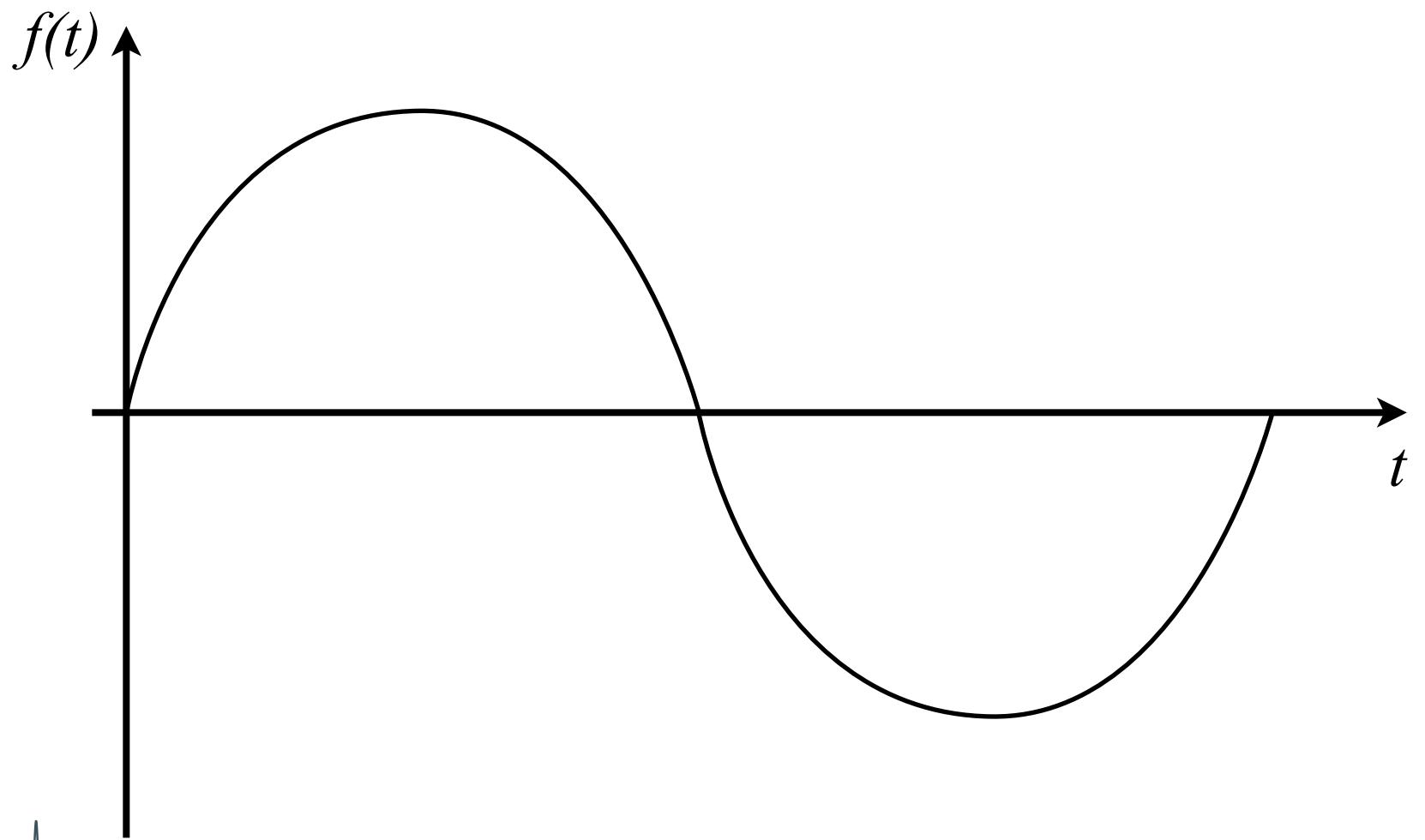
Diskretisierung

Abtastrate

- Dichte der Messwerte wird als **Abtastrate** bezeichnet
 - Beispiele: Samples pro Sekunde oder Samples pro Längeneinheit
- Zu jedem Messpunkt gemäß Diskretisierung wird **aktueller Wert des Signals** (engl. *Sample*) bestimmt

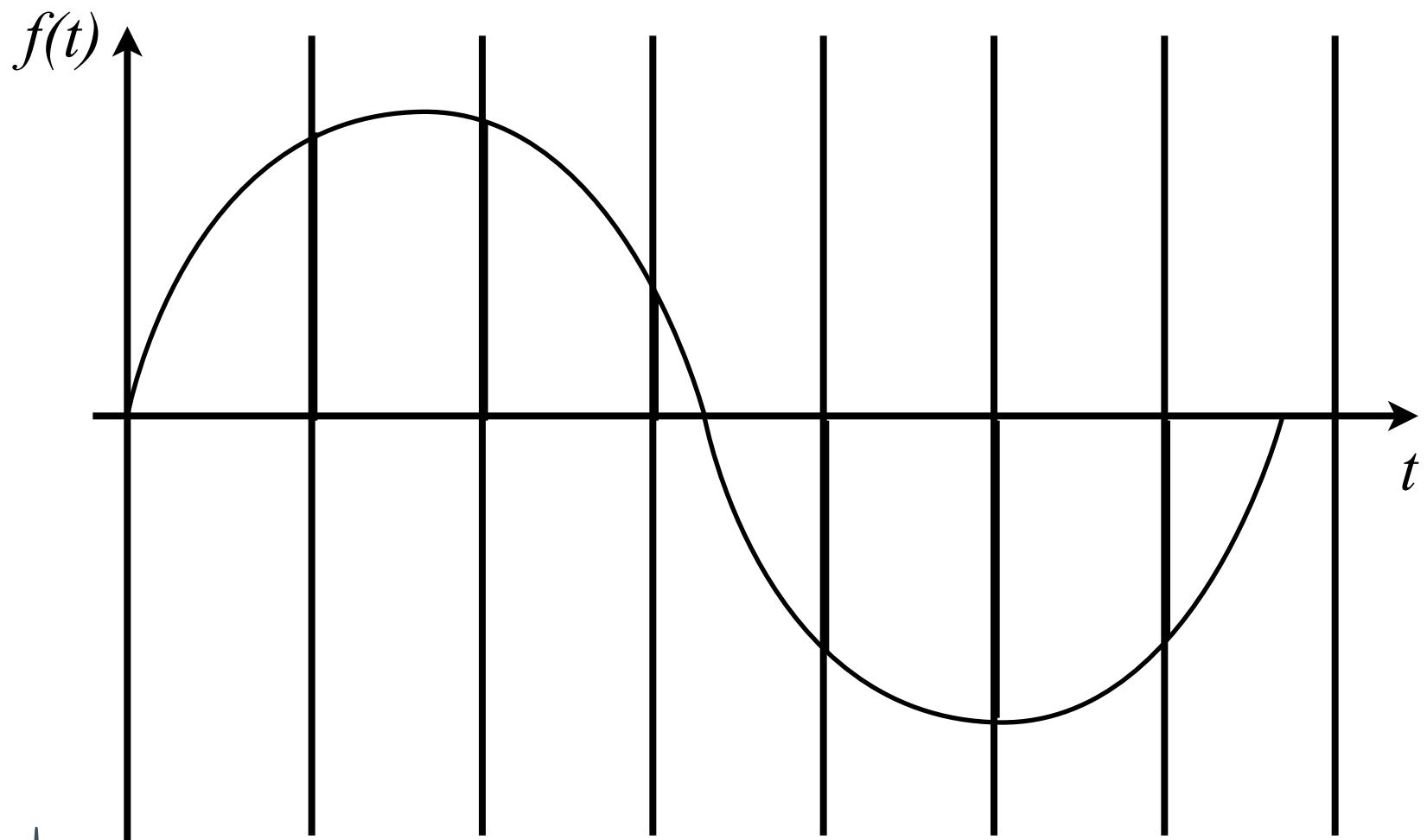
Diskretisierung

Beispiel



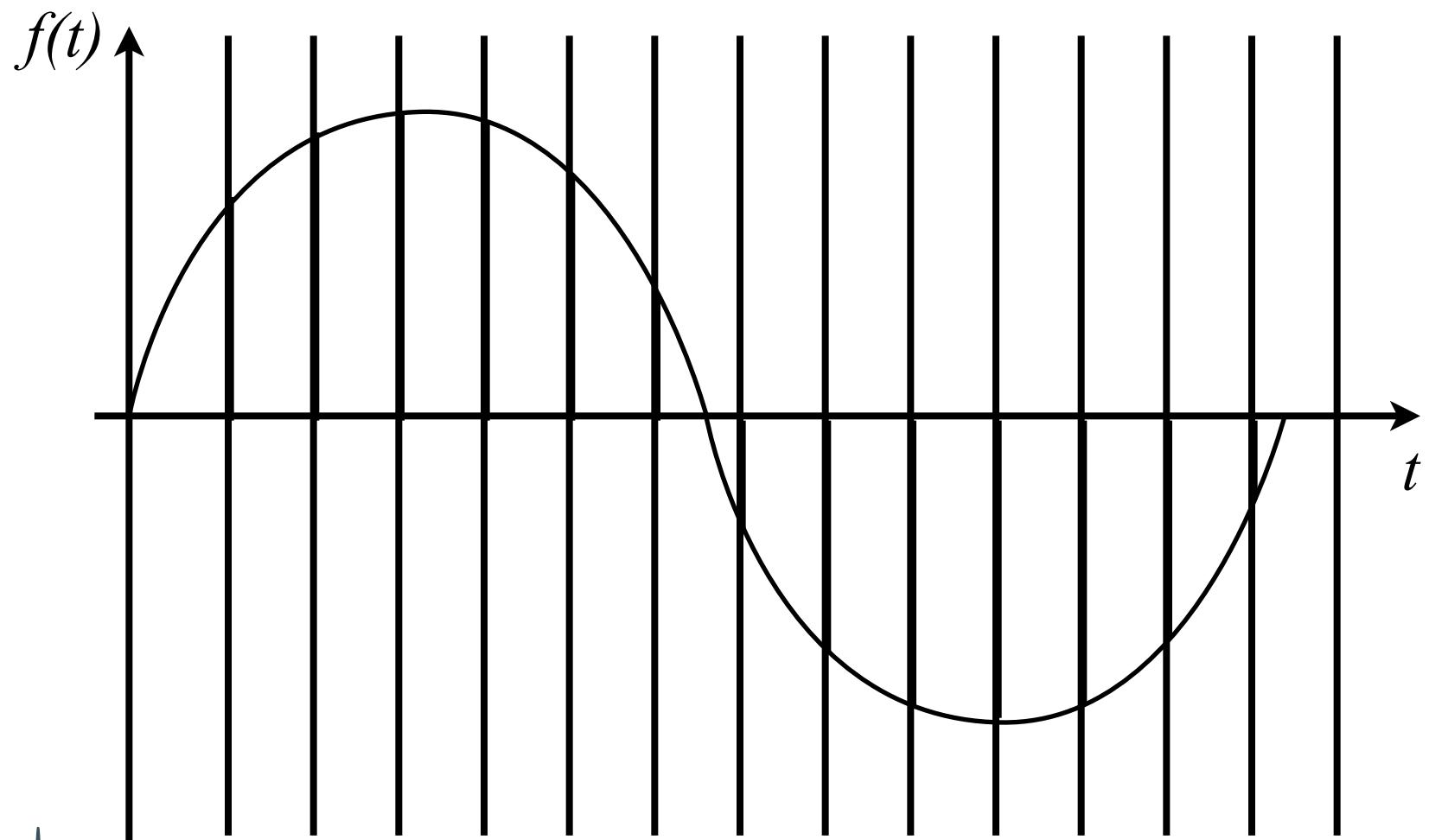
Diskretisierung

Beispiel



Diskretisierung

Beispiel



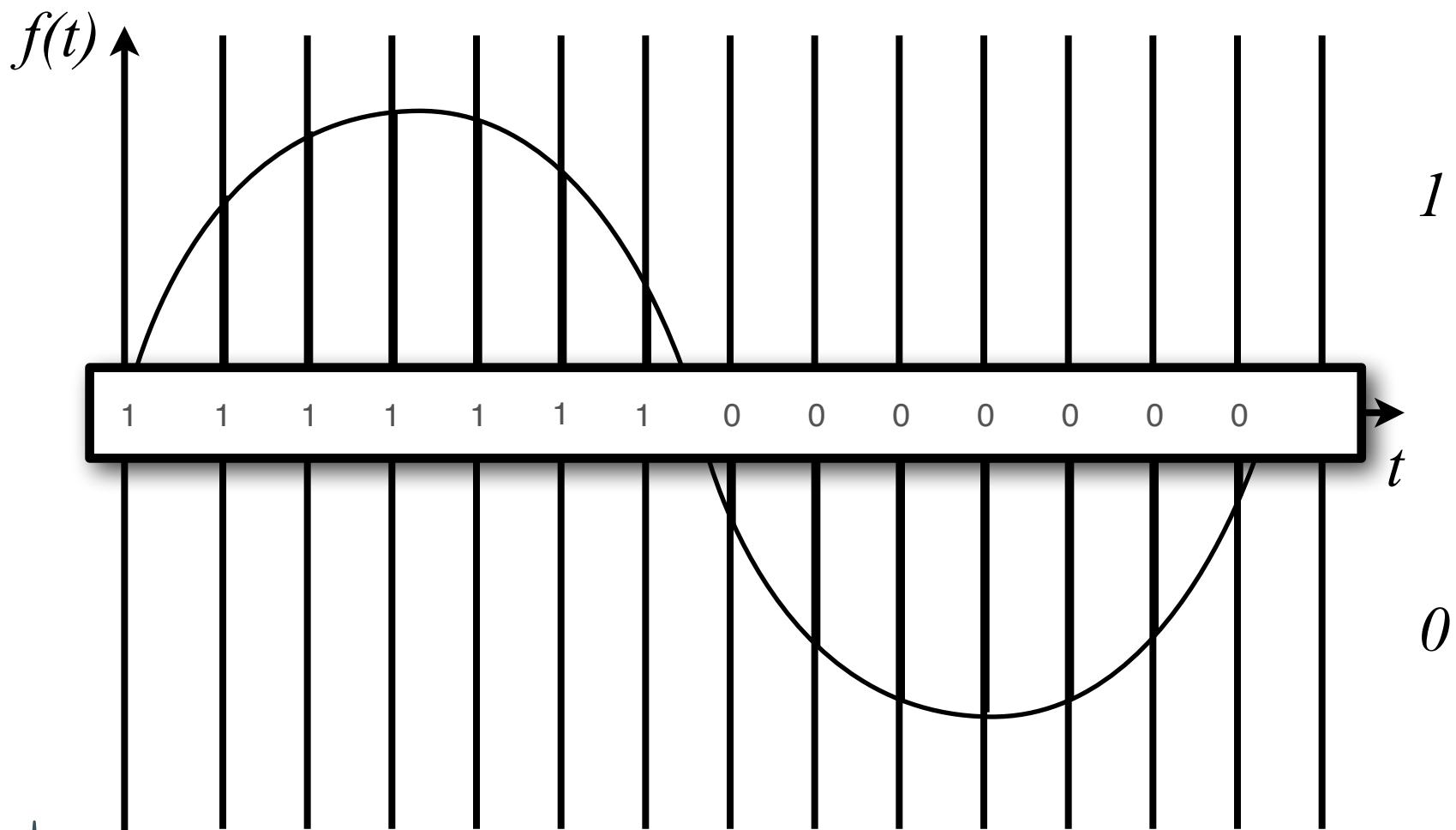
Quantisierung

Definition

- Bei **Quantisierung** werden im Rahmen der Diskretisierung ermittelten Messwerte in **festem Werte-Raster** dargestellt
- Messwerte werden als Zahlen im endlichen Wertebereich festgehalten
- Bits pro Sample definieren Genauigkeit der gewählten Digitalisierung

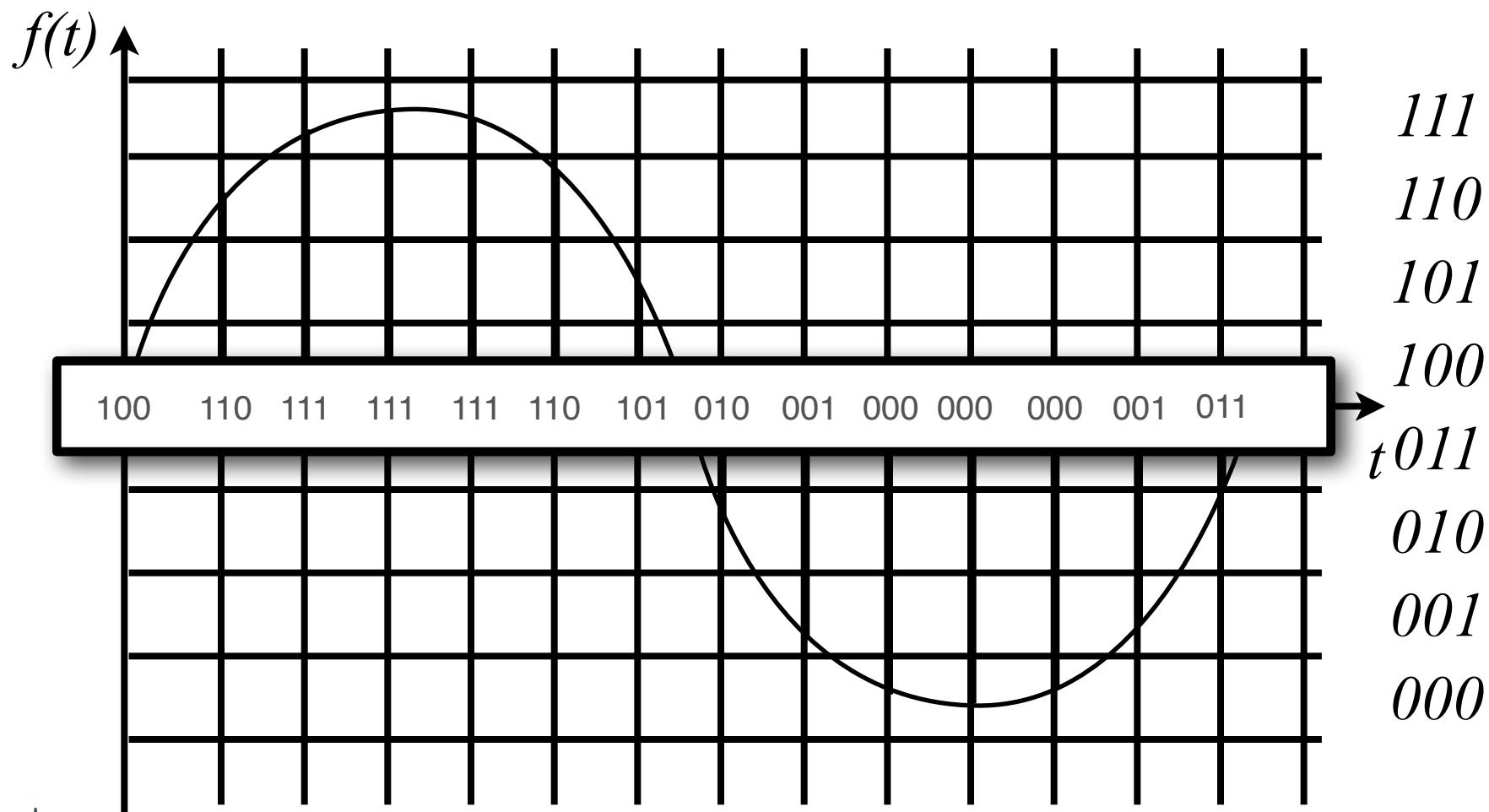
Quantisierung

Beispiel: 1-Bit



Quantisierung

Beispiel: 3-Bit



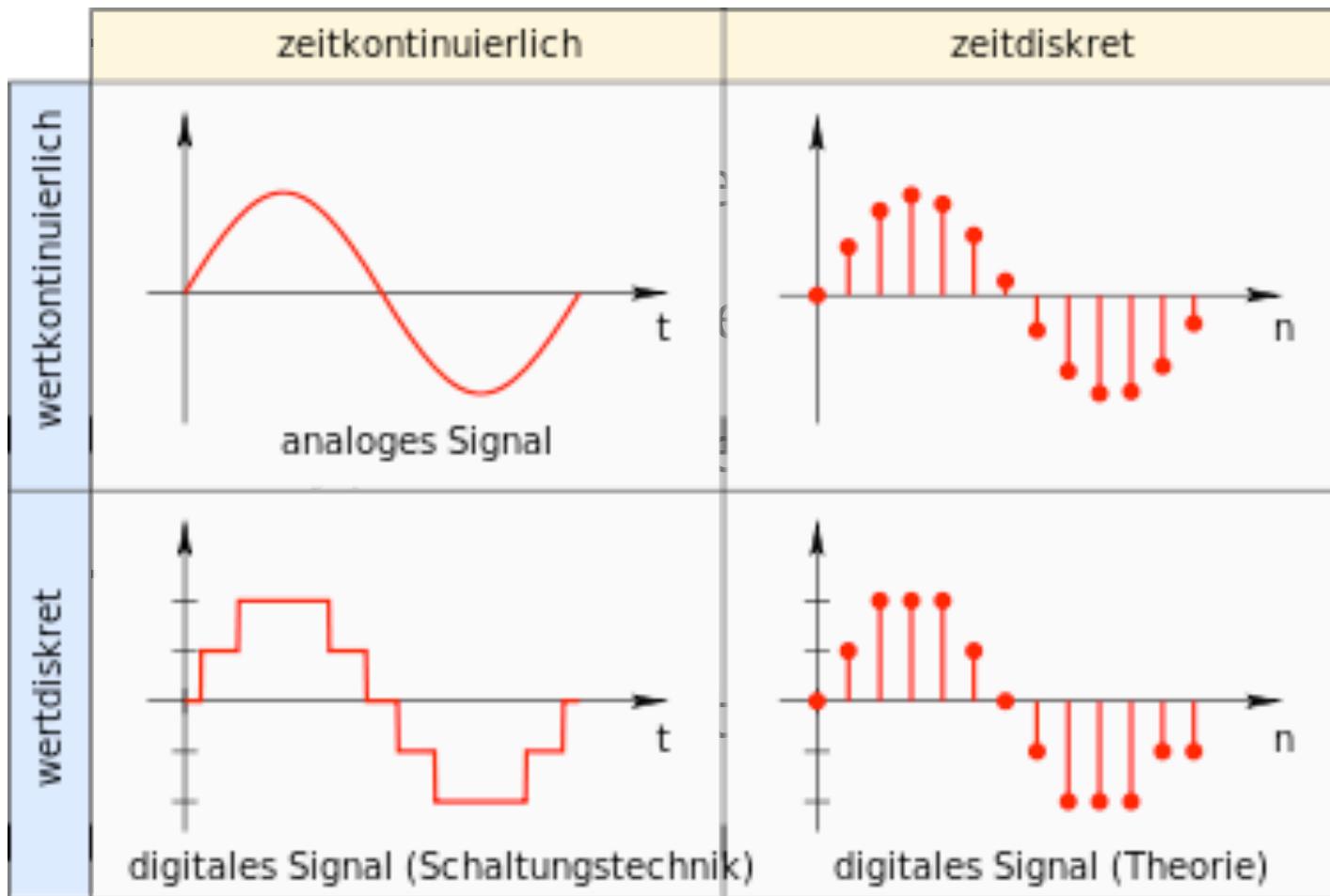
Quantisierung

Beispiele

- Bilder: typische Werte (24 oder 32 Bit)
 - 1-Bit-Quantisierung: s/w Bild
 - 8-Bit-Quantisierung: 256 Farben
- Audio: typischer Wert (16 Bit)
 - hochwertige Studioaufnahme (24 Bit)

Signale

Kontinuierlich vs. Diskret

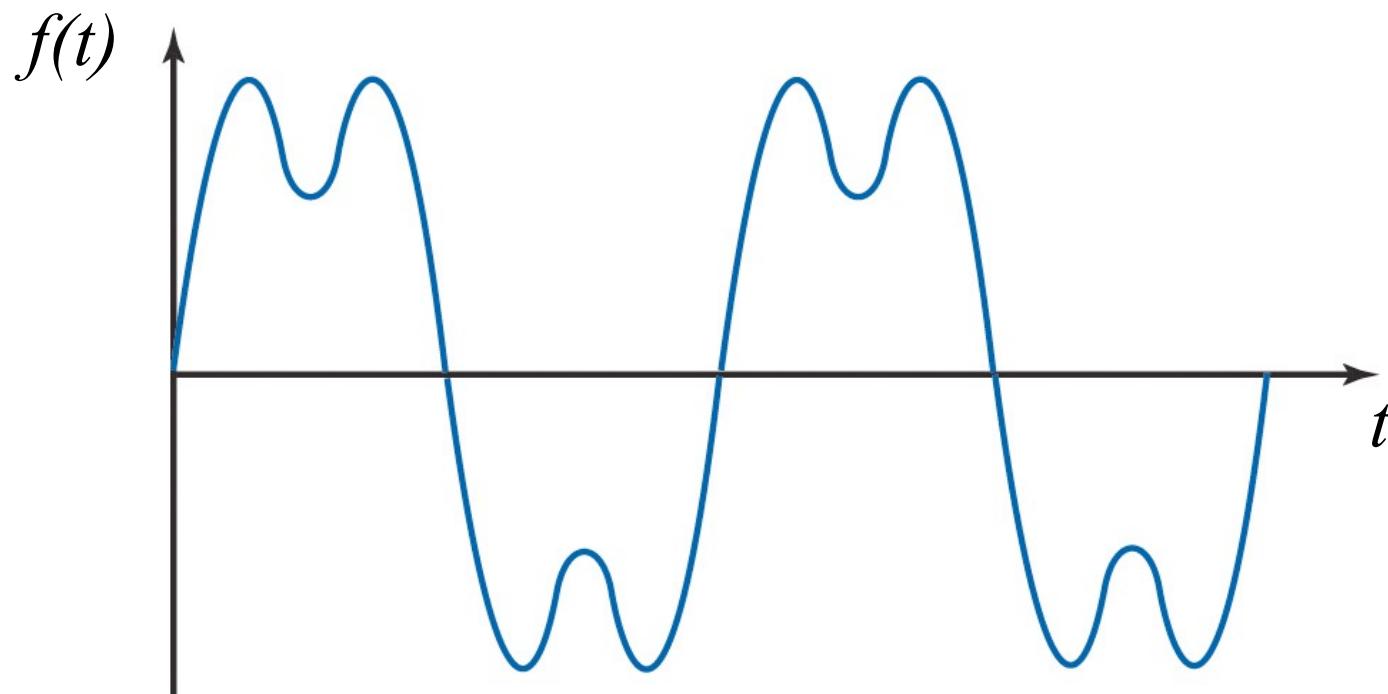


Abtasttheorem

- Vor Digitalisierung stellt sich Frage nach konkreten Werten für Diskretisierung und Quantisierung
- offensichtlicher Zusammenhang zwischen gewählter Quantisierung und Genauigkeit
- Aber: Wie muss diskretisiert werden, damit abgetastetes digitales Signal ein analoges Signal verfälschungsfrei wiedergibt?

Abtasttheorem

Beispiel: Periodisches Signal



Fouriertransformation

Fourier-Reihe

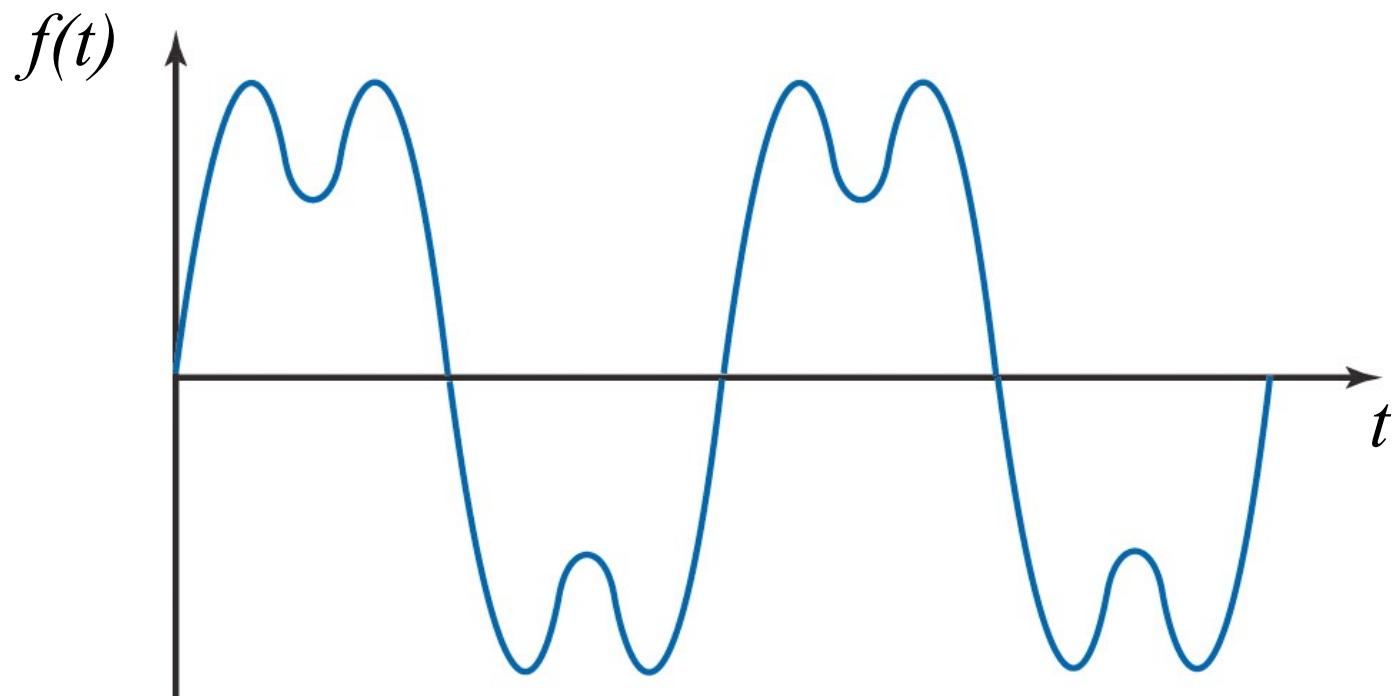
- Jede periodische Schwingung lässt sich durch unendliche Summe von sich überlagerten Cosinus-Schwingungen annähern

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \cdot \cos(k \cdot \omega_0 \cdot t + \theta_k)$$

- Grundfrequenz ω_0
- Anteil k -ten harmonische Schwingung a_k
- Phasenverschiebung der k -ten harmonischen Schwingung θ_k

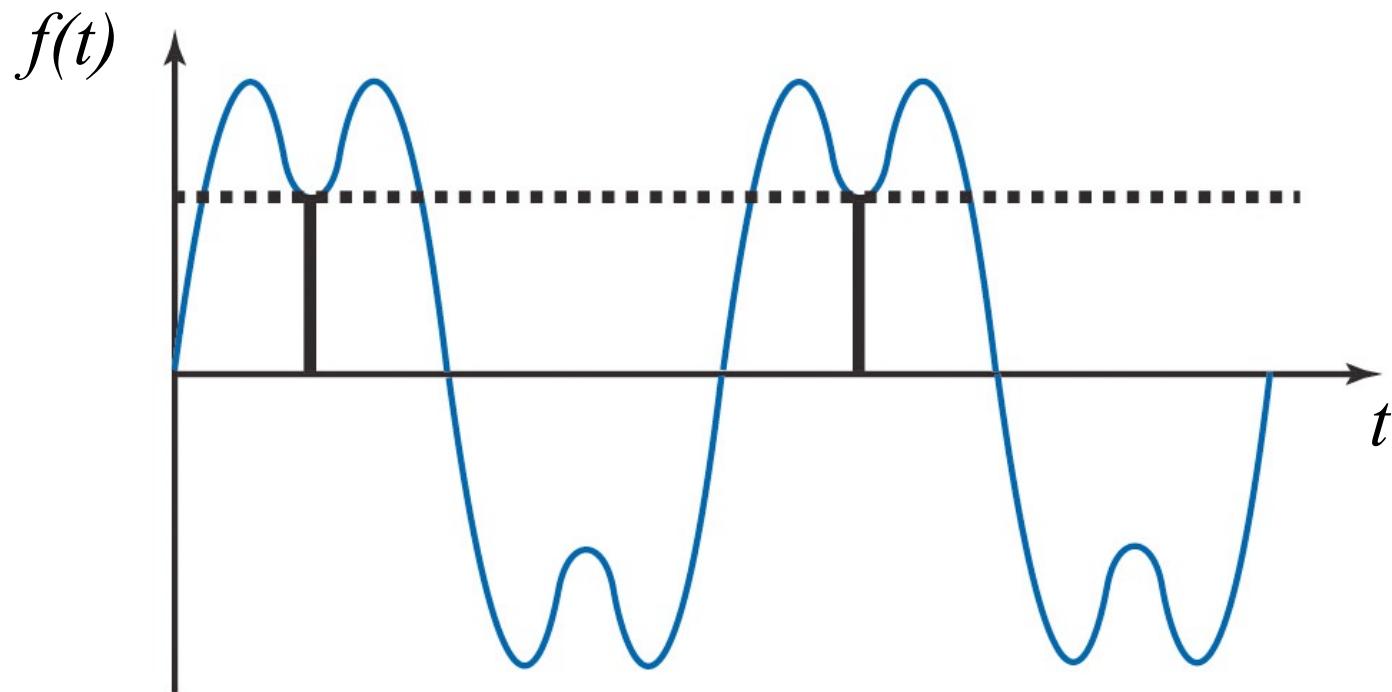
Abtasttheorem

Beispiel: Periodisches Signal



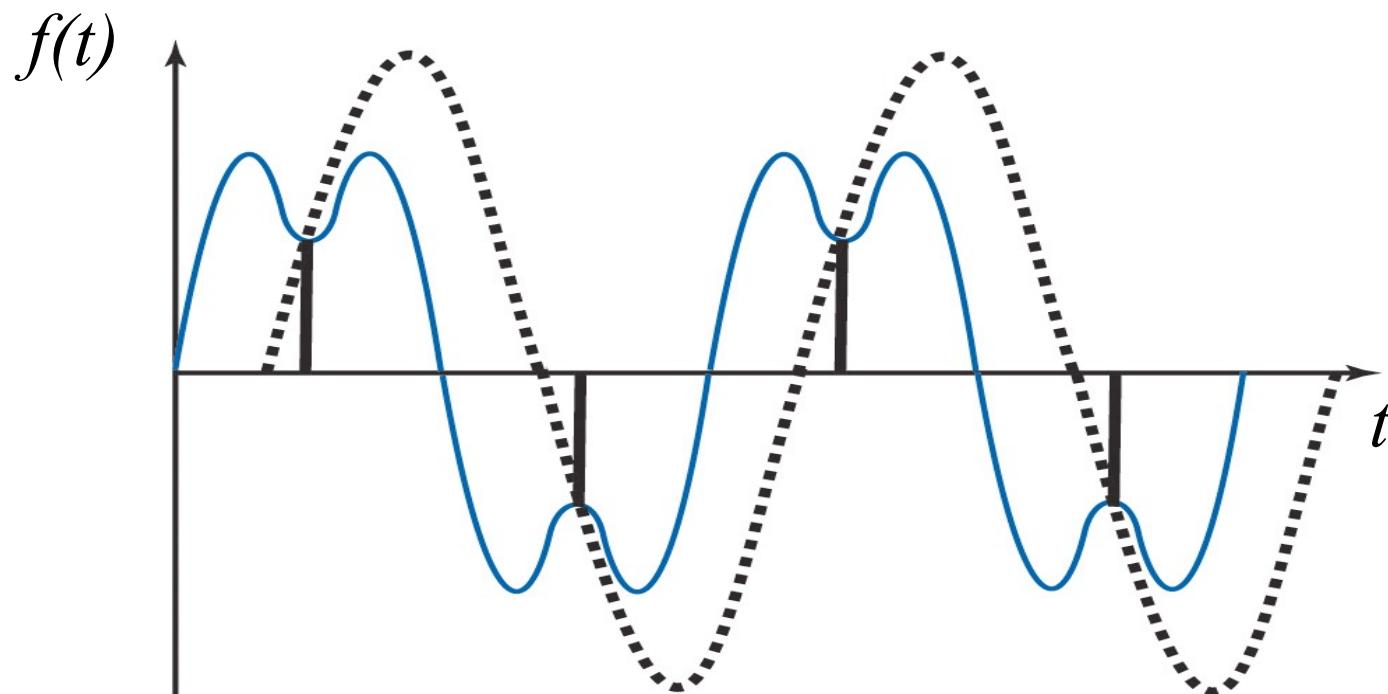
Abtasttheorem

Beispiel: Periodisches Signal



Abtasttheorem

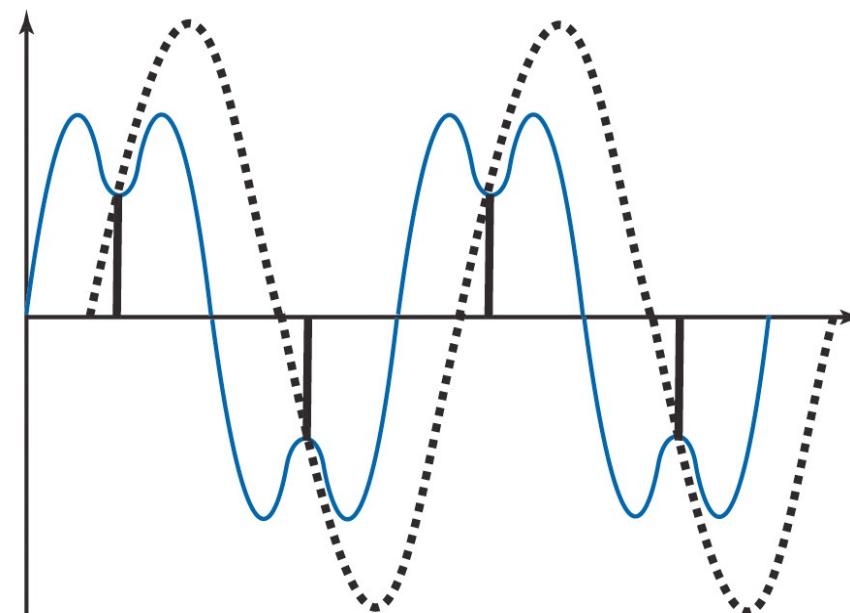
Beispiel: Periodisches Signal



Abtasttheorem

Beispiel: Aliasing

- zu geringe Abtastfrequenz kann dazu führen, dass Details nicht rekonstruiert werden
- Bsp: zwei überlagerte Sinuskurven



Abtasttheorem

Überlegung

- Erhöhung der Abtastrate erlaubt originalgetreue Rekonstruktion
 - Aber: Erhöhung der Abtastrate führt zu höherem Speicherbedarf
- Frage: Welche Abtastrate sollte gewählt werden?

Abtasttheorem

Überlegung

- korrekte Wahl der Abtastrate beruht auf zwei Grundideen
 1. Reales (periodisches) Signal kann als Überlagerung von Grundsignalen verschiedener Frequenzen aufgefasst werden
 2. Für Wahl der Abtastrate ist höchste Frequenz im Signal entscheidend

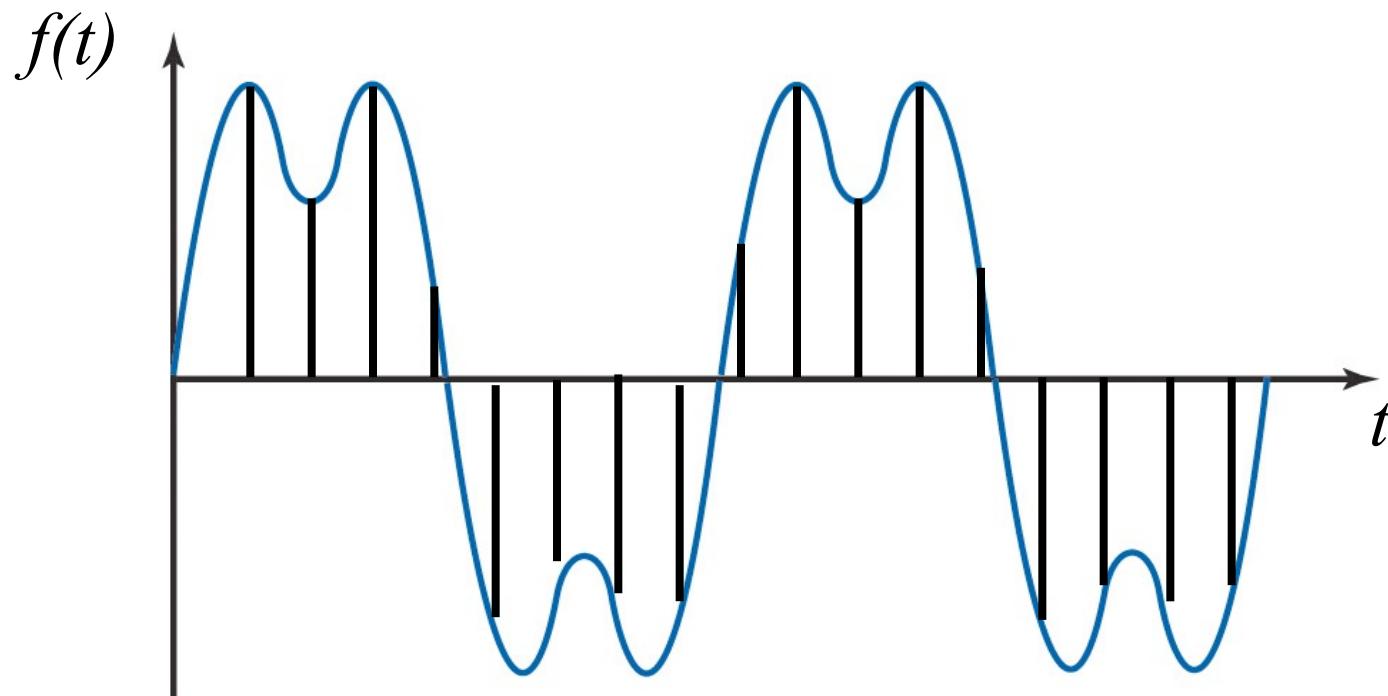
Abtasttheorem

Überlegung

- Erhöhung der Abtastrate bis schnellster Wechsel des Signals von Abtastung **relevant** erfasst werden
- **relevant** bedeutet insbesondere vom Menschen noch wahrnehmbar (vgl. Audio, Bilder, Video, etc.)

Abtasttheorem

Beispiel: Periodisches Signal



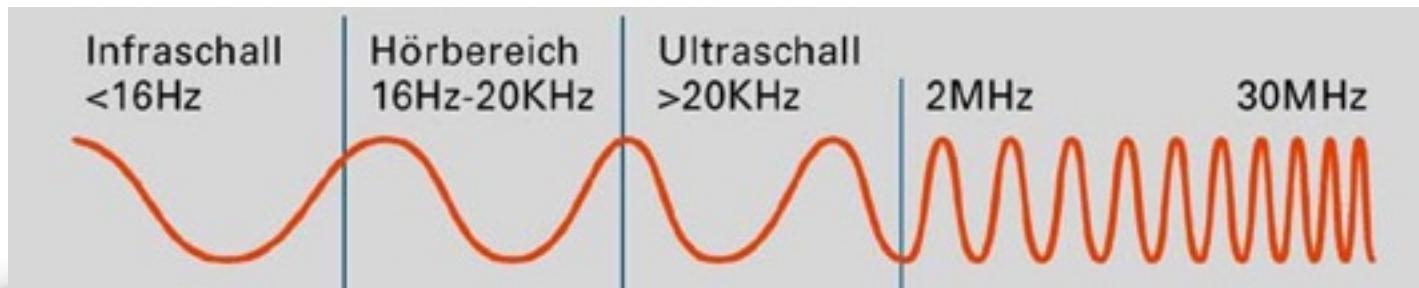
Abtasttheorem

- Wenn kontinuierliches periodisches Signal mit **oberer Grenzfrequenz** f_{max} mit Abtastrate von **mehr** als $2 \cdot f_{max}$ abgetastet wird, lässt sich Ursprungssignal ohne Informationsverlust aus abgetastetem Signal rekonstruieren

Abtasttheorem

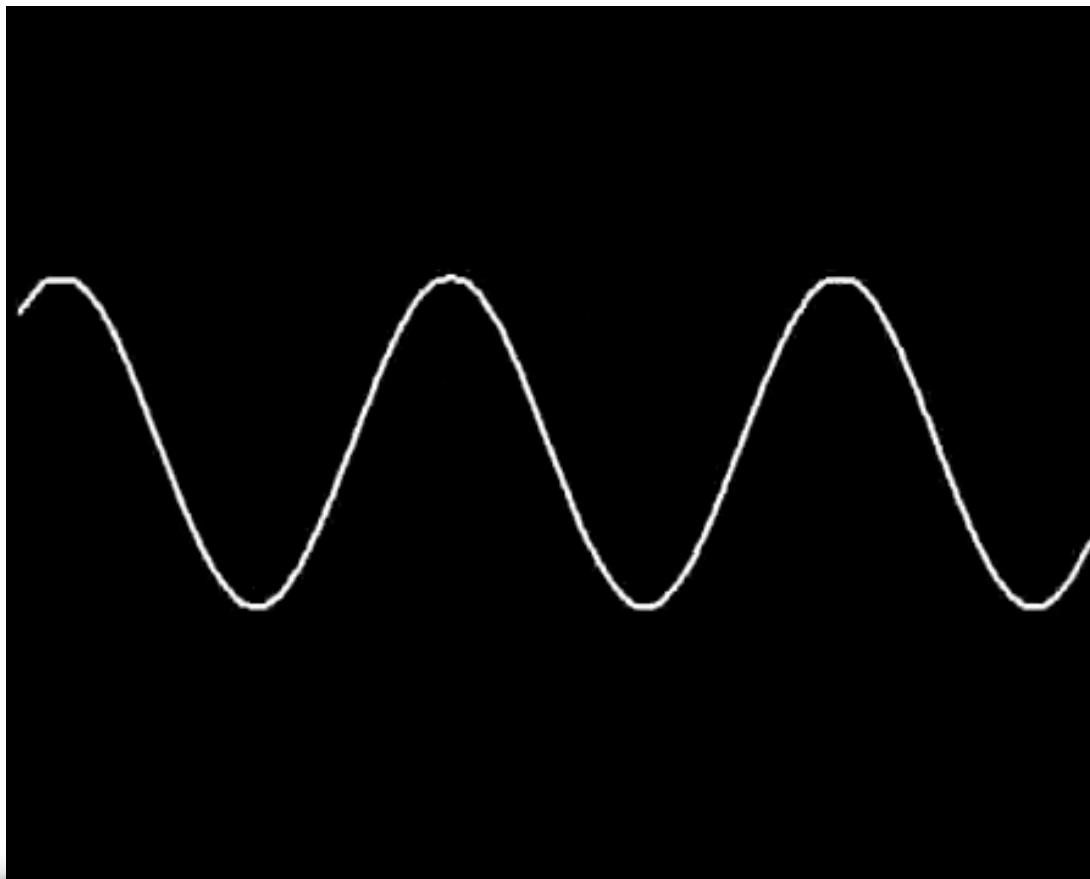
Beispiel: Audio-Frequenz

- Audio-Frequenz ist gegeben durch Anzahl sich wiederholender Phasen pro Sekunde
- Menschen können Frequenzen im Bereich von ca. 16Hz bis 20kHz hören
- menschliche Sprache: 150Hz bis 3.500Hz

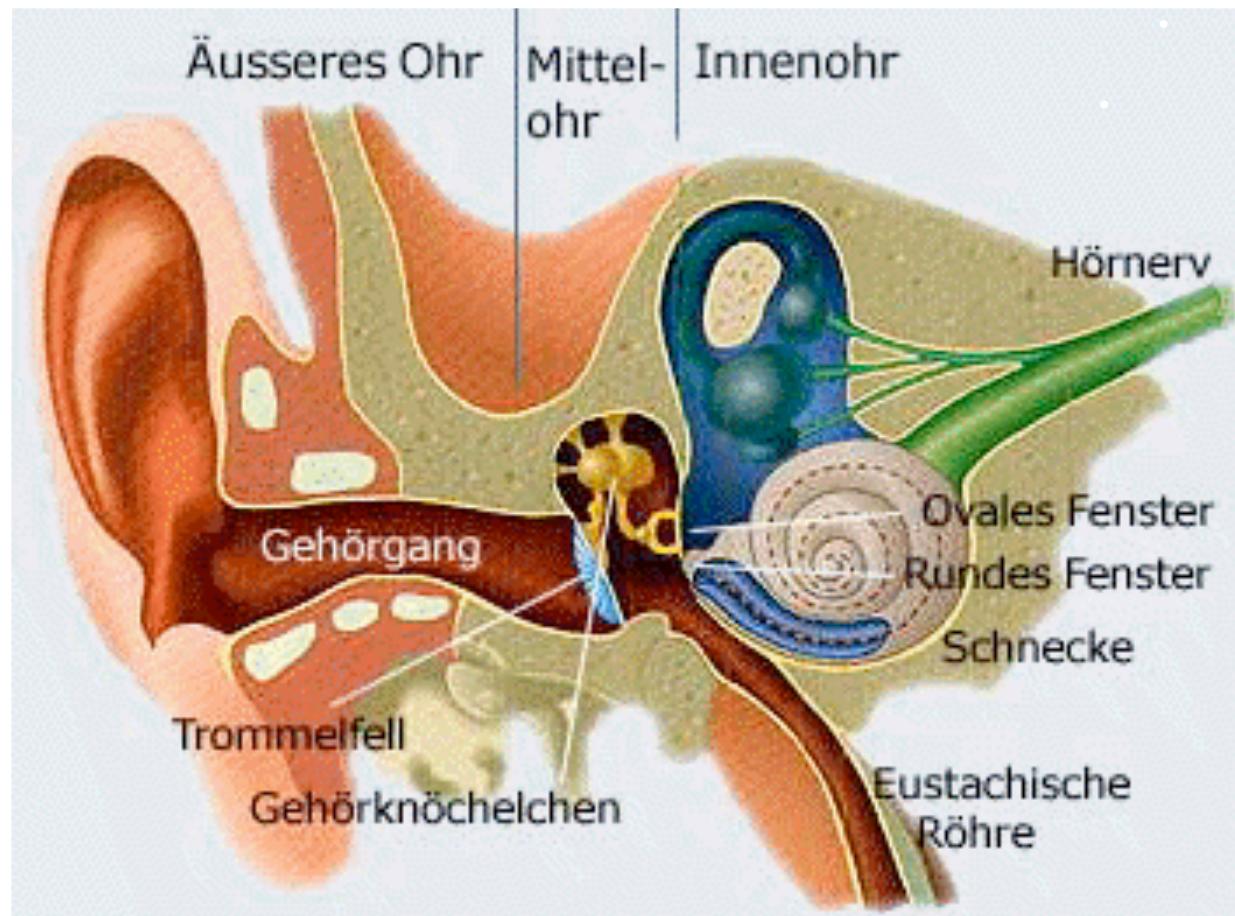


Hörbarer Bereich

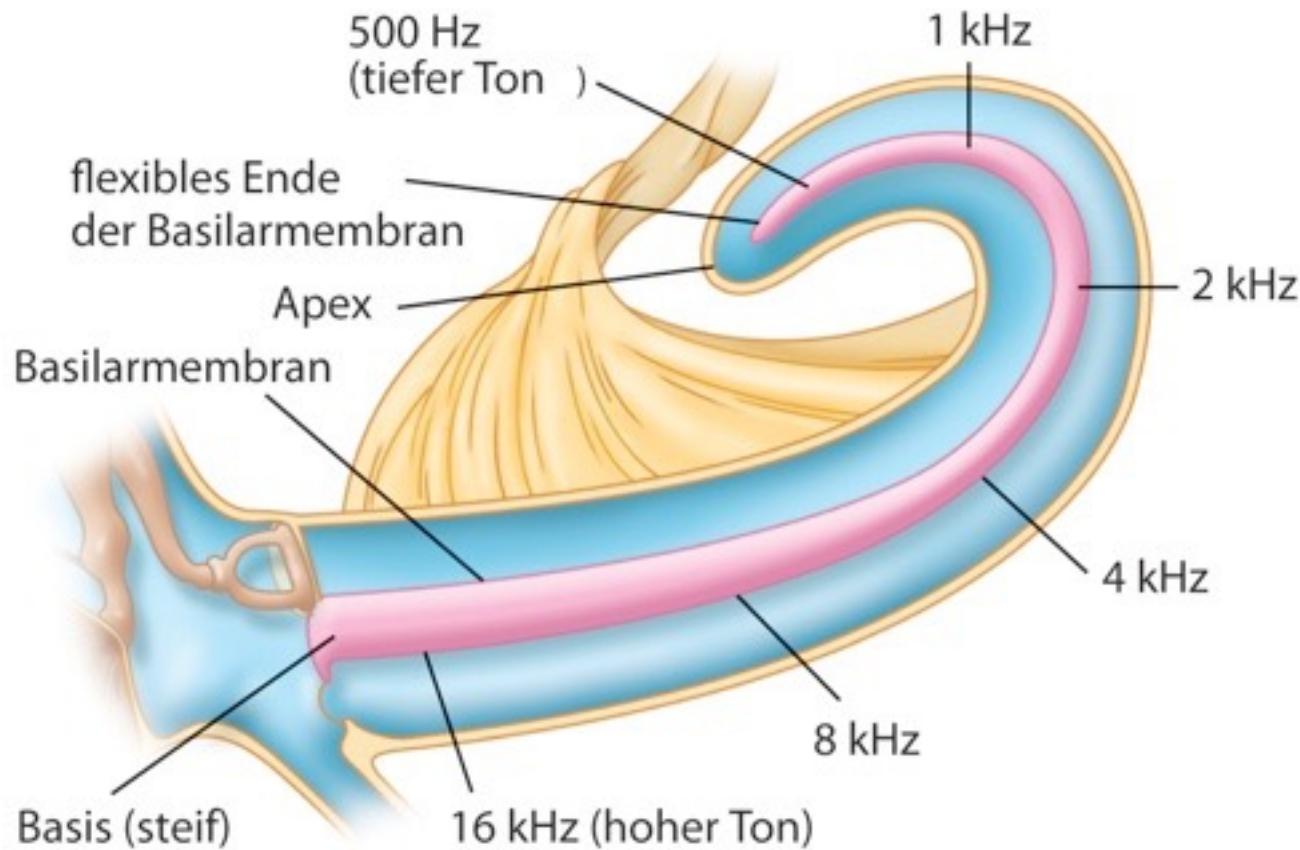
Beispiel



Ohr



Gehörschnecke



Diskussion



Wie häufig muss ein Audiosignal bei der Digitalisierung abgetastet werden?

Abtasttheorem

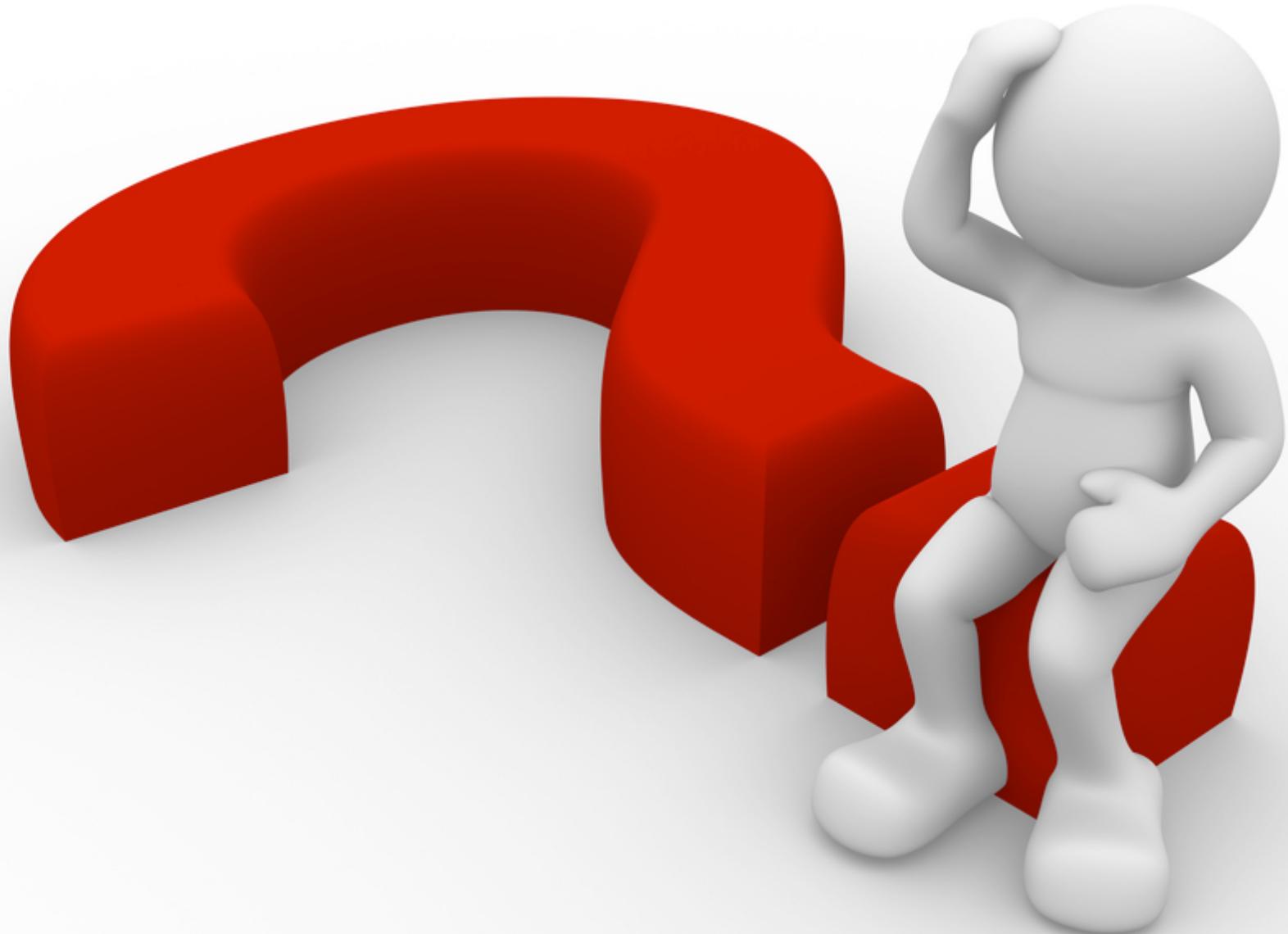
Beispiel: Audio-Frequenz

- Audio-CD-Standard
 - Abtastung mit 44.100Hz basiert auf maximal hörbarem Bereich des Menschen mit 20.000Hz
- Digitalisierung bei ISDN-Telefonverbindungen
 - 8.000Hz basiert auf für menschliche Sprache ausreichendem Bereich des Menschen (3.500Hz)

Diskussion



Wieviel Speicherbedarf wird für eine Stunde Musik in Stereo (mit je 16 Bit) benötigt?





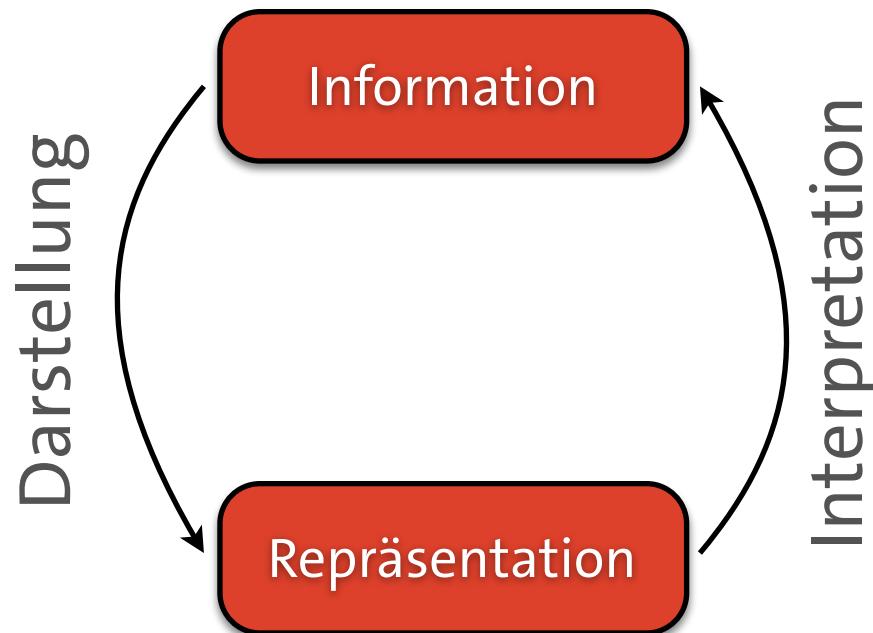
Interaktive Medien

Medien, Digitalisierung, Kodierung

Quellencodierung

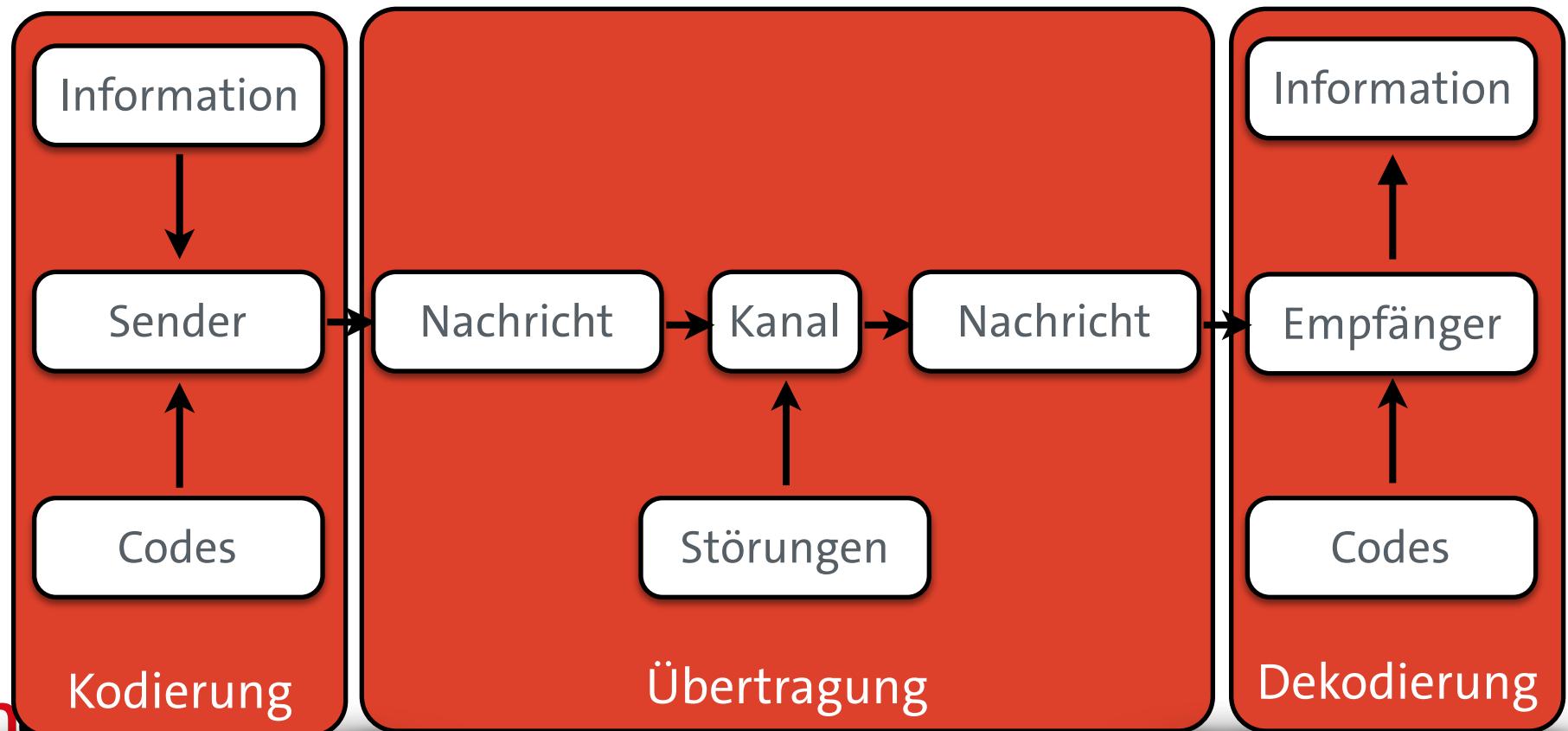
Informationen

- Information wird nicht direkt verarbeitet, sondern aus deren Repräsentation interpretiert



Kommunikationsmodell

Shannon and Weaver



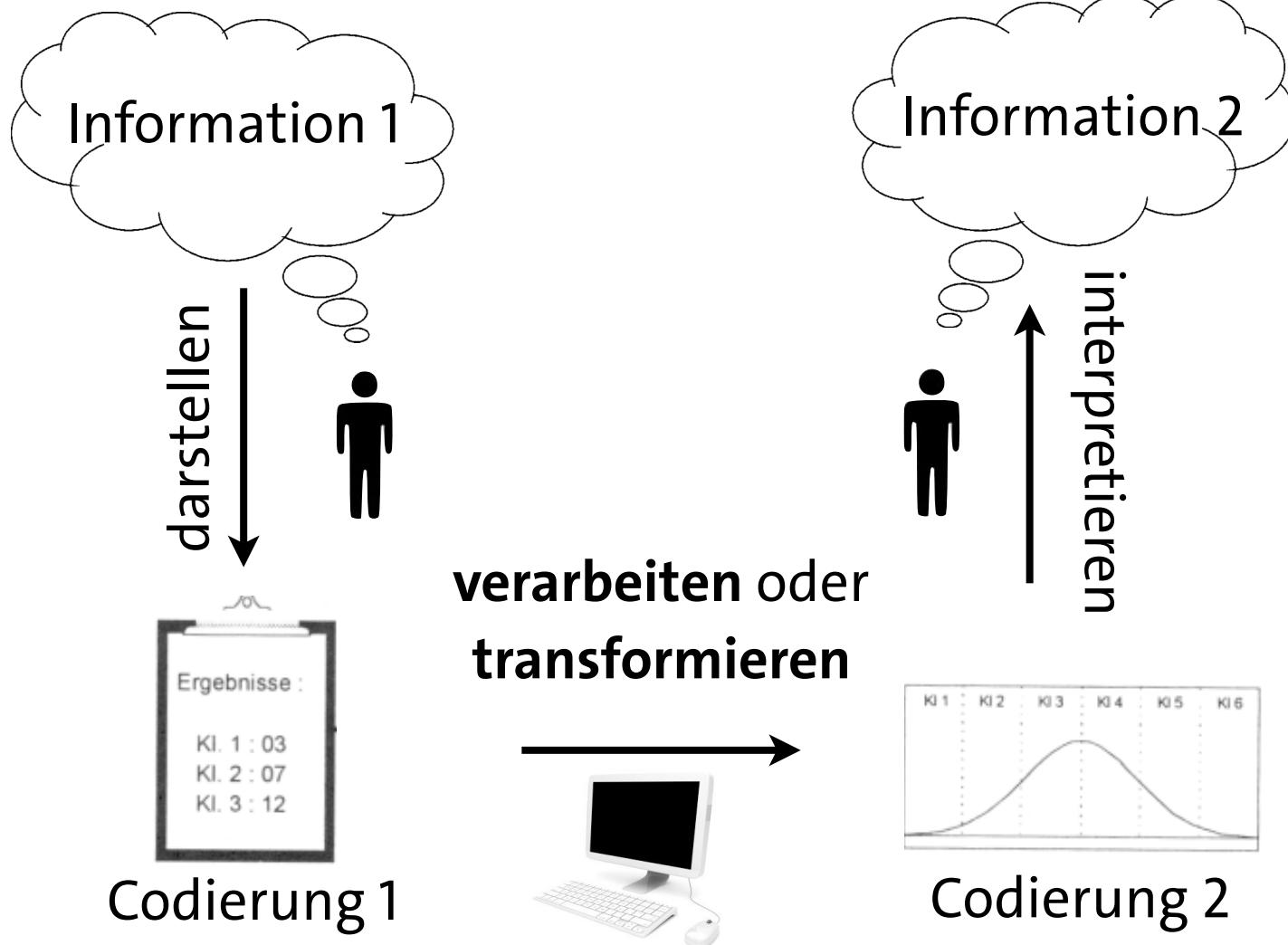
Repräsentation

Kodierung

- Wenn Information gespeichert, übertragen oder bearbeitet werden soll, muss diese in bestimmter Repräsentation bzw. Kodierung vorliegen
- Ziel bei **Kodierung** (engl. **Code**):
 - Nachrichten möglichst schnell zu übertragen, aufgrund begrenzter Kapazität des Übertragungskanals

Informationsverarbeitung

Beispiel



Codierung

Beispiel



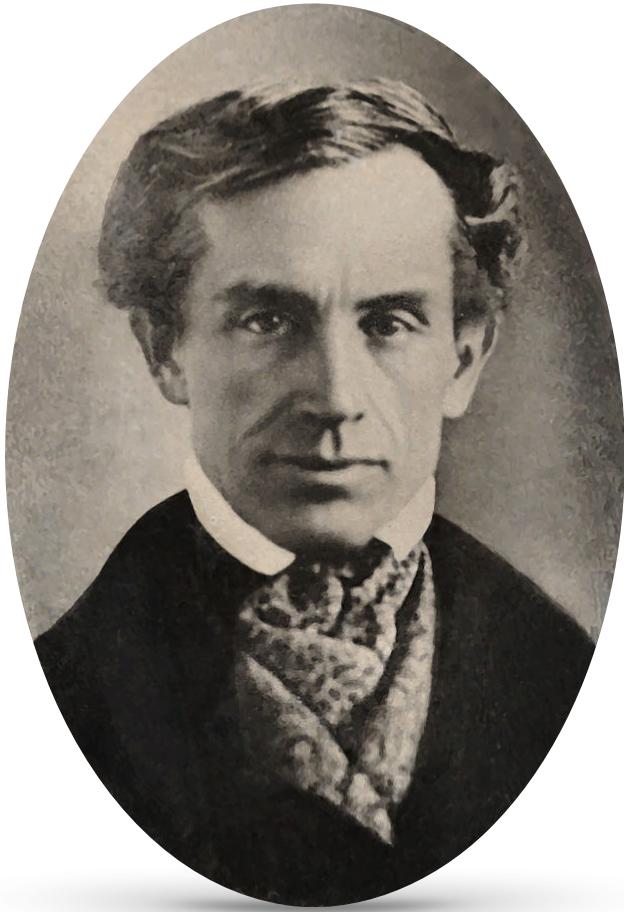
Bitmap
File

Codierung
→
(Zip)

Zip Archiv

Entropiekodierung

- **Entropiekodierung** ist Methode zur verlustfreien Datenkompression, die jedem Zeichen eines Textes unterschiedlich lange Folge von Bits zuordnet
- **Stringersatzverfahren** ersetzen Folge von Zeichen des Originaltextes durch Folge von Zeichen eines anderen Alphabets



A	• -	J	• ----	S	• • •
B	- • • •	K	- • -	T	-
C	- • - •	L	• - • •	U	• • -
D	- • •	M	--	V	• • • -
E	•	N	- •	W	• ---
F	• • - •	O	---	X	- • • -
G	- - •	P	• - - •	Y	- • - -
H	• • • •	Q	--- • -	Z	- - • •
I	• •	R	• - - •		

Samuel F. B. Morse: Schreibtelegraf bzw. Morseapparat, 1837

Informationstheorie

Shannon

- **Zeichenvorrat** A ist endliche Menge von Zeichen
- **Menge der Wörter aus Zeichenvorrat** A wird mit A^* bezeichnet
- **Nachricht** ist endliche Sequenz von Wörtern aus Zeichenvorrat A

Informationstheorie

Shannon

- Seien A und B Zeichenvorräte
- **Kodierung (engl. *Code*)** c von A^* in B^* ist Abbildung von Wörtern in A^* auf Wörter in B^*
$$c : A^* \rightarrow B^*$$
- stochastischer Ansatz: Kodierung in Abhängigkeit der Auftrittswahrscheinlichkeit eines Zeichens

Informationstheorie

Nachrichtenquelle

- **Nachrichtenquelle** ist Zeichenvorrat A zusammen mit Wahrscheinlichkeitsverteilung, die für jedes Zeichen aus A dessen Auftrittswahrscheinlichkeit angibt
- Es gilt für Wahrscheinlichkeit p_a eines Zeichens $a \in A$: $p_a \in [0, 1]$
- Für Summe aller Wahrscheinlichkeiten gilt

$$\sum_{a \in A} p_a = 1$$

Nachrichtenquelle

Beispiele

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 1	1.0	0.0	0.0	0.0
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 2	0.25	0.25	0.25	0.25
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125

- Quelle 1 sendet nur A
- Quelle 2 sendet A, B, C, D mit gleicher Wahrscheinlichkeit
- Quelle 3 sendet A, B, C und D mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten

Entscheidungsgehalt

- **Informationsgehalt** eines Zeichens gibt an, wie viel Information übertragen wird
- **Entscheidungsgehalt** gibt Anzahl an Bits an, die notwendig sind, um aus Informationsmenge auszuwählen
 - Auswahl aus 2-elementigen Menge entspricht 1 Bit, aus 4-elementigen Menge 2 Bit ...

Entscheidungsgehalt

Beispiel

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 1	1.0	0.0	0.0	0.0
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 2	0.25	0.25	0.25	0.25
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125

- Umrechnung der Wahrscheinlichkeit in Entscheidungsgehalt in Bits $x_a = \log_2(1/p_a)$

Zeichen	A	B	C	D
Entscheidungsgehalt von Quelle 1 in Bits	0	NULL	NULL	NULL
Entscheidungsgehalt von Quelle 2 in Bits	2	2	2	2
Entscheidungsgehalt von Quelle 3 in Bits	1	2	3	3

Entropie

Zeichen	A	B	C	D
Entscheidungsgehalt von Quelle 1 in Bits	0	NULL	NULL	NULL
Entscheidungsgehalt von Quelle 2 in Bits	2	2	2	2
Entscheidungsgehalt von Quelle 3 in Bits	1	2	3	3

- **Entropie ist durchschnittlicher Entscheidungsgehalt der Zeichen einer Nachrichtenquelle:**

$$H = \sum_{a \in A} p_a \cdot x_a = \sum_{a \in A} p_a \cdot \log_2(1/p_a)$$

- **Entropie gibt Informationsdichte der Nachrichtenquelle an**

Diskussion



Welche Entropien haben Nachrichtenquellen
1, 2 und 3?

Entropie

Beispiel

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 1	1.0	0.0	0.0	0.0
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 2	0.25	0.25	0.25	0.25
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Entscheidungsgehalt von Quelle 1 in Bits	0	NULL	NULL	NULL
Entscheidungsgehalt von Quelle 2 in Bits	2	2	2	2
Entscheidungsgehalt von Quelle 3 in Bits	1	2	3	3

$$H = \sum_{a \in A} p_a \cdot x_a$$

Entropie

Beispiel

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 1	1.0	0.0	0.0	0.0
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 2	0.25	0.25	0.25	0.25
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Entscheidungsgehalt von Quelle 1 in Bits	0	NULL	NULL	NULL
Entscheidungsgehalt von Quelle 2 in Bits	2	2	2	2
Entscheidungsgehalt von Quelle 3 in Bits	1	2	3	3

- Nachrichtenquelle 1 hat Entropie von 0
- Nachrichtenquelle 2 hat Entropie von 2
- Nachrichtenquelle 3 hat Entropie von 1.75

Wortlänge

- Menge der Wörter aus einem Zeichenvorrat A wird mit A^* bezeichnet
- Für Wort $w \in A^*$ ist Länge des Worts $|w|$ Anzahl der enthaltenden Zeichen
- Wenn Kodierung c Zeichen $a \in A$ Wort $w \in B^*$ zuweist, dann ist $|c(a)| = |w|$ **Wortlänge** der Kodierung von a

Wortlänge

Durchschnittliche Wortlänge

- Für Kodierung c einer Nachrichtenquelle ist **durchschnittliche Wortlänge** L die nach Auftrittswahrscheinlichkeit gewichtete Summe der Wortlängen aller Kodierungen der Zeichen

$$L = \sum_{a \in A} p_a \cdot |c(a)|$$

Kodierung

Beispiel

- Kodierungen c_1 des Zeichenvorrats $\{A, B, C, D\}$ mit **Binärcodierung**

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Kodierung c_1	00	01	10	11
Wortlänge $ c_1(a) $	2	2	2	2
Durchschnittliche Wortlänge $L = 0.5 \cdot 2 + 0.25 \cdot 2 + 0.125 \cdot 2 + 0.125 \cdot 2 = 2$				

- Entropie ist 1.75
- Durchschnittliche Wortlänge ist 2

Kodierung

Beispiel

- Kodierungen c_2 des Zeichenvorrats $\{A, B, C, D\}$ mit **Binärcodierung**

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Kodierung c_2	0	10	110	111
Wortlänge $ c_2(a) $	1	2	3	3
Durchschnittliche Wortlänge $L = 0.5 \cdot 1 + 0.25 \cdot 2 + 0.125 \cdot 3 + 0.125 \cdot 3 = 1.75$				

- Entropie ist 1.75
- Durchschnittliche Wortlänge ist 1.75

Redundanz

- **Redundanz** R einer binären Kodierung für Informationsquelle ist Differenz mittlerer Wortlänge und Entropie:

$$R = L - H$$

Redundanz

Beispiele

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Kodierung c_1	00	01	10	11
Wortlänge $ c_1(a) $	2	2	2	2
Durchschnittliche Wortlänge $L = 0.5 \cdot 2 + 0.25 \cdot 2 + 0.125 \cdot 2 + 0.125 \cdot 2 = 2$				

- c_1 hat durchschnittliche Wortlänge von 2
- Quelle 3 hat Entropie von 1.75
- c_1 hat Redundanz von 0.25

Redundanz

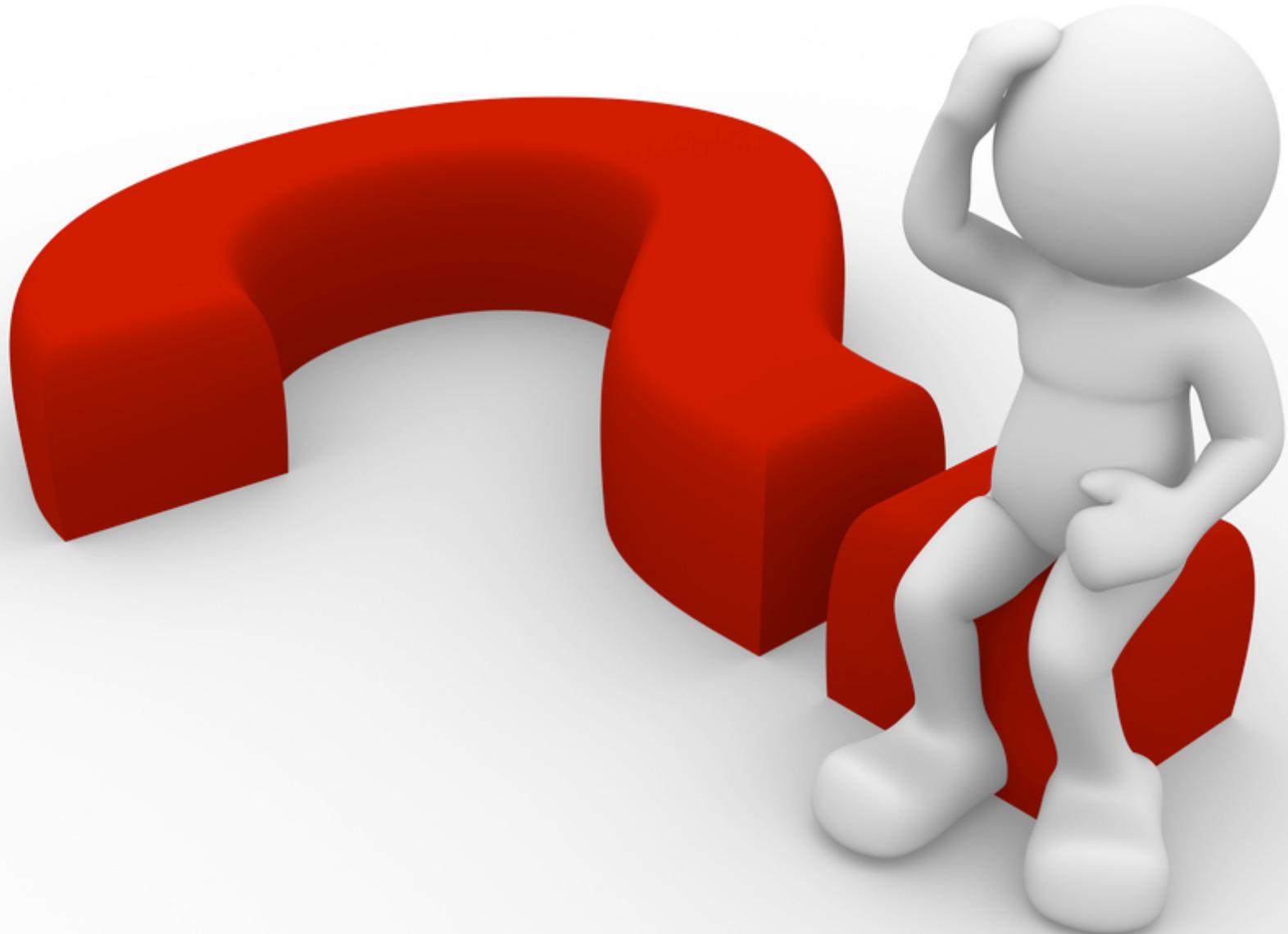
Beispiele

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Kodierung c_2	0	10	110	111
Wortlänge $ c_2(a) $	1	2	3	3
Durchschnittliche Wortlänge $L = 0.5 \cdot 1 + 0.25 \cdot 2 + 0.125 \cdot 3 + 0.125 \cdot 3 = 1.75$				

- c_2 hat durchschnittliche Wortlänge von 1.75
- Quelle 3 hat Entropie von 1.75
- c_2 hat Redundanz von 0

Optimale Kodierung

- Kodierung einer Nachrichtenquelle heißt **optimal**, falls Redundanz der Kodierung gleich Null ist, d.h. falls Differenz zwischen mittlerer Wortlänge und Entropie gleich 0 ist





Interaktive Medien

Medien, Digitalisierung, Kodierung

Das Finden optimaler Codes: Kompressionsverfahren

Kompression

- Datenmengen aus Digitalisierung medialer Informationen können sehr groß werden
- Ziel von Kompressionsverfahren ist Reduktion des Datenumfangs
- Kompressionsverfahren haben unterschiedliche Ziele und Eigenschaften

Kompressionsverfahren

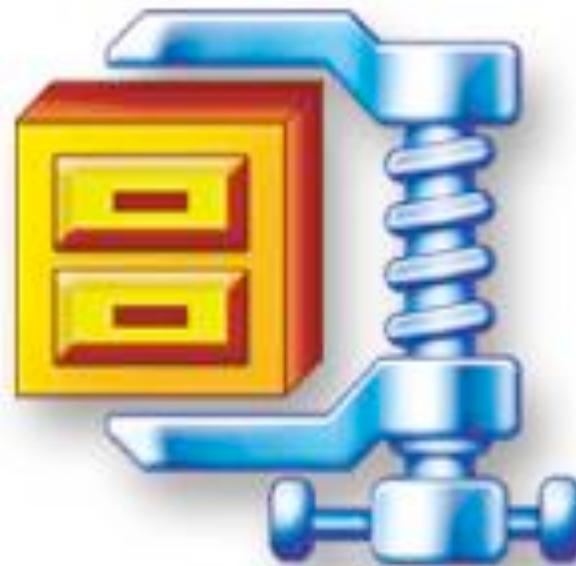
Klassifikation

- Kompressionsverfahren für alle Daten (unabhängig vom Ursprung und Bedeutung) heißen **universelle Kompressionsverfahren**
- Kompressionsverfahren, die auf Daten eines bestimmten Medientyps abgestimmt sind, heißen **spezielle Kompressionsverfahren**

Kompressionsverfahren

Universelles

- Beispiel: ZIP



Kompressionsverfahren

Spezielles

- Beispiel: JPG



Kompressionsverfahren

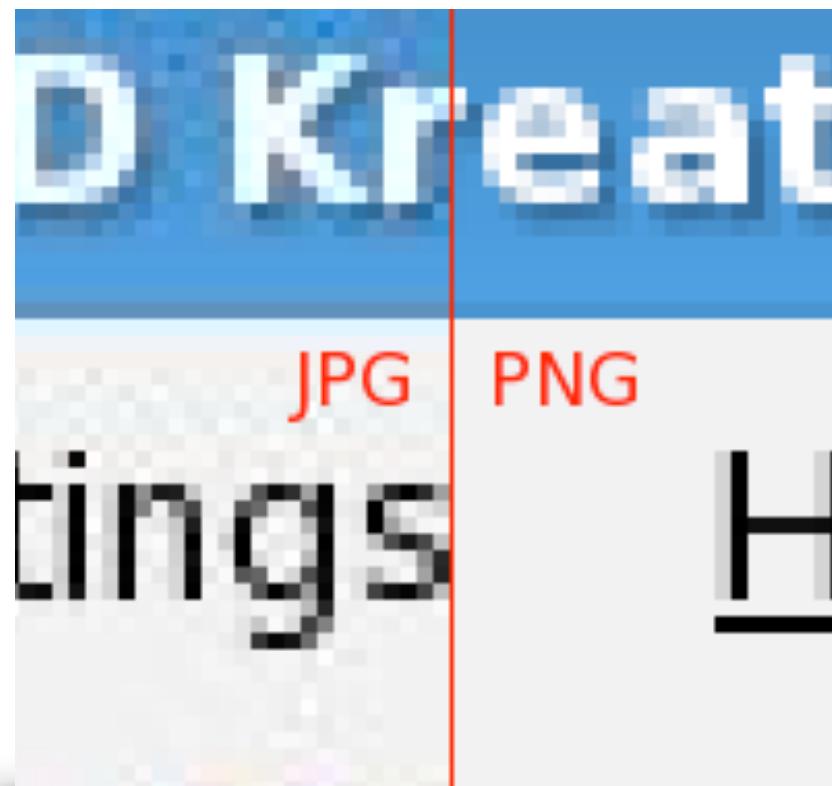
Klassifikation

- Kompressionsverfahren heißt **verlustbehaftet**, wenn bei Kompression Informationen verloren gehen
- Kompressionsverfahren heißt **verlustfrei**, wenn bei Dekompression Originaldaten vollständig und genau rekonstruiert werden können

Kompressionsverfahren

verlustbehaftet vs. verlustfrei

- Beispiel: JPEG vs. PNG



Klassifikation

Kompressionsverfahren

	Universell	Speziell
Verlustfrei	Bsp.: Huffman, LZW	Bsp.: PNG, AIFF
Verlustbehaftet	(nicht sinnvoll)	Bsp.: JPEG, MP3

Diskussion



Warum sind universelle Verfahren, die verlustbehaftet sind, nicht sinnvoll?

Einteilung Einzelzeichen

- Unterscheidung der Einzelzeichen (mit gleicher Länge) in Kodierung durch Gruppierung

Zeichen	A	B	C	D
Kodierung c_1	00	01	10	11

Kodierung: 0010110001

Gruppierung: 00|10|11|00|01

Interpretation: ACDAB

Einteilung Einzelzeichen

- Problem bei variabler Länge: Wann beginnt nächstes Zeichen?

Zeichen	A	B	C	D
Kodierung c_1	0	01	001	0001

Kodierung: 0010110001

Gruppierung: 0 01 ... vs. 001 ...

Interpretation: ???

Morsecode

Beispiel

- häufigste Buchstaben in englischer Sprache sind “e” und “t”
- “q” ist seltener Buchstabe

A • -	J • ---	S • • •
B - • • •	K - • -	T -
C - • - •	L • - • •	U • • -
D - • •	M --	V • • • -
E •	N - •	W • - -
F • • - •	O ---	X - • • -
G - - •	P • - - •	Y - • - -
H • • • •	Q - - • -	Z - - • •
I • •	R • - •	

Fano-Bedingung

- Kodierung c von Zeichen $a \in A$ auf Wort $c(a) \in B^*$ erfüllt die **Fano-Bedingung** genau dann, wenn für alle Zeichen $b \in A$ gilt, dass das Wort $c(a)$ nicht Anfang des Wortes $c(b)$ ist
- -> die den Zeichen zugewiesenen Bitfolgen müssen *präfixfrei* sein

Fano-Bedingung

Beispiel

Zeichen	A	B	C	D
Kodierung	0	10	110	111

Kodierung: 0110111010

Gruppierung: 0 110 111 0 10

Interpretation: ACDAB

Fano-Bedingung

Gegen-Beispiel

Zeichen	A	B	C	D
Kodierung	0	01	001	0001

Kodierung: 0110111010

Gruppierung: 0 01 ... vs. 001 ...

Interpretation: ???

Huffman-Kodierung

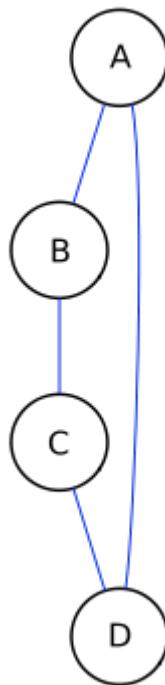
- **Huffman-Kodierung** verwendet unterschiedliche Auftrittswahrscheinlichkeiten von Zeichen, d.h. stochastische Verfahren
- Grundidee: Seltener vorkommende Zeichen bekommen längere Codes als häufiger vorkommende Zeichen
- Code-Konstruktion über Binärbaum

Graphentheorie

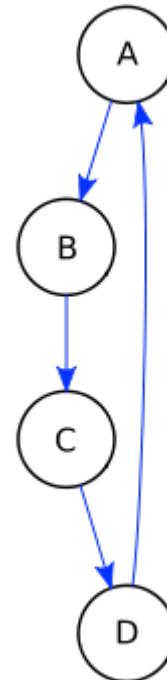
- **Graph** ist abstrakte Struktur, die Menge von Objekten zusammen mit den zwischen diesen Objekten bestehenden Verbindungen repräsentiert
- **Graph** G ist Tupel (V,E) wobei V Menge von Knoten (engl. **Vertex/Vertices**) und E Menge von Kanten (engl. **Edge/Edges**) repräsentiert

Graphentheorie

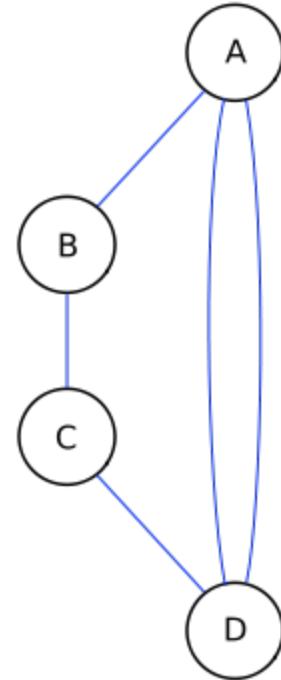
Beispiele



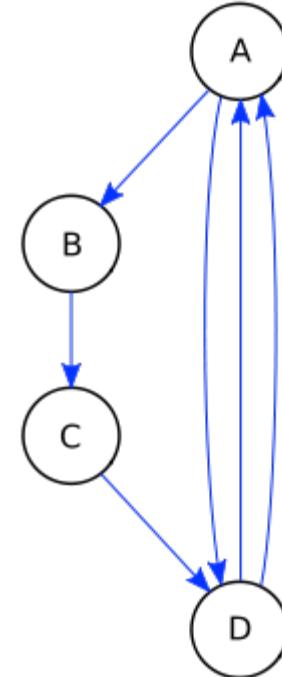
ungerichteter
Graph ohne
Mehrfachkanten



gerichteter
Graph ohne
Mehrfachkanten



ungerichteter
Graph mit
Mehrfachkanten



gerichteter
Graph mit
Mehrfachkanten

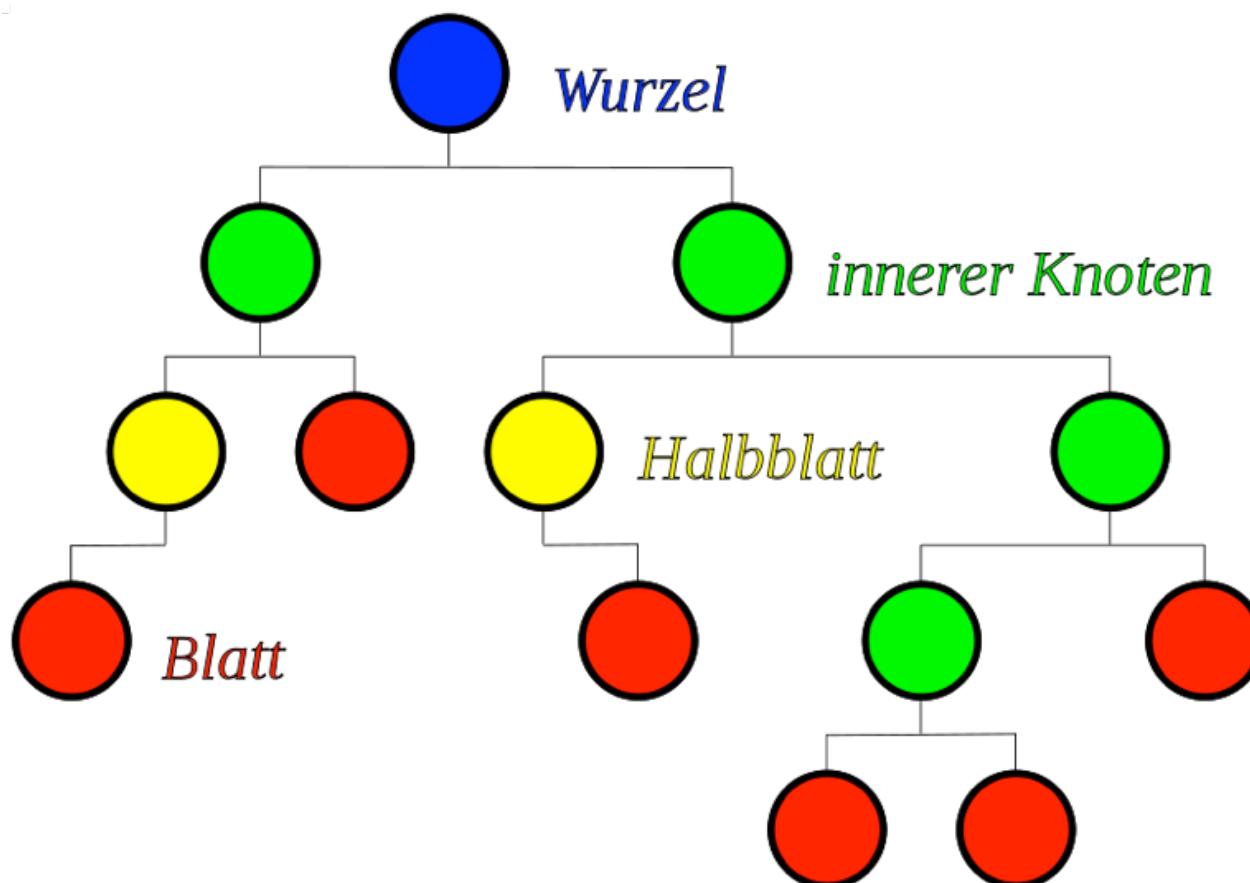
Graphentheorie

Beispiel: Binärbaum

- **ungerichteter Binärbaum** ist zusammenhängender kreisfreier ungerichteter Graph, wobei jeder Knoten maximal zwei Kinderknoten (**Grad**) hat
 - **Wurzelknoten** ist der Knoten, der keinen Vorgänger hat
 - Knoten mit max. Grad 1 heißen **Blätter** bzw. **Halbblatt**; übrigen Knoten heißen **innere Knoten**

Graphentheorie

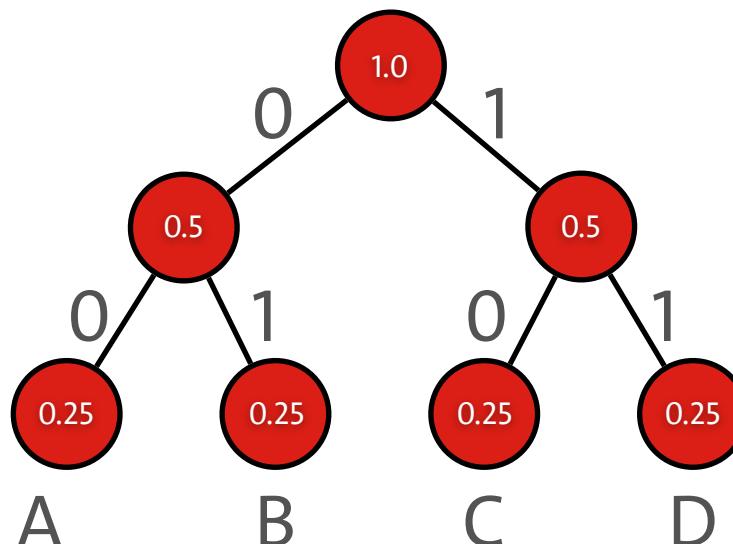
Beispiel: Binärbaum



Huffman-Code-Baum

Beispiel

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 2	0.25	0.25	0.25	0.25
Kodierung	00	01	10	11



Huffman-Algorithmus

- Eingabe:
 - Text $t \in A^*$
- Ausgabe:
 - Binärbaum mit Knotenmarkierung p und Kantenmarkierung h

Huffman-Algorithmus

1. Für jedes Zeichen $a \in A$ erzeuge Knoten; markiere Knoten mit Häufigkeit, mit der a im Text $t \in A^*$ vorkommt
2. Suche Knoten u und v mit kleinster Auftrittshäufigkeit $p(u)$ bzw. $p(v)$, zu denen noch keine Kante hinführt
3. Erzeuge neuen Knoten w und verbinde w mit u und v ; markiere Kanten mit 0 bzw. 1
4. Markiere Knoten w mit $p(u) + p(v)$
5. Gehe zu 2.

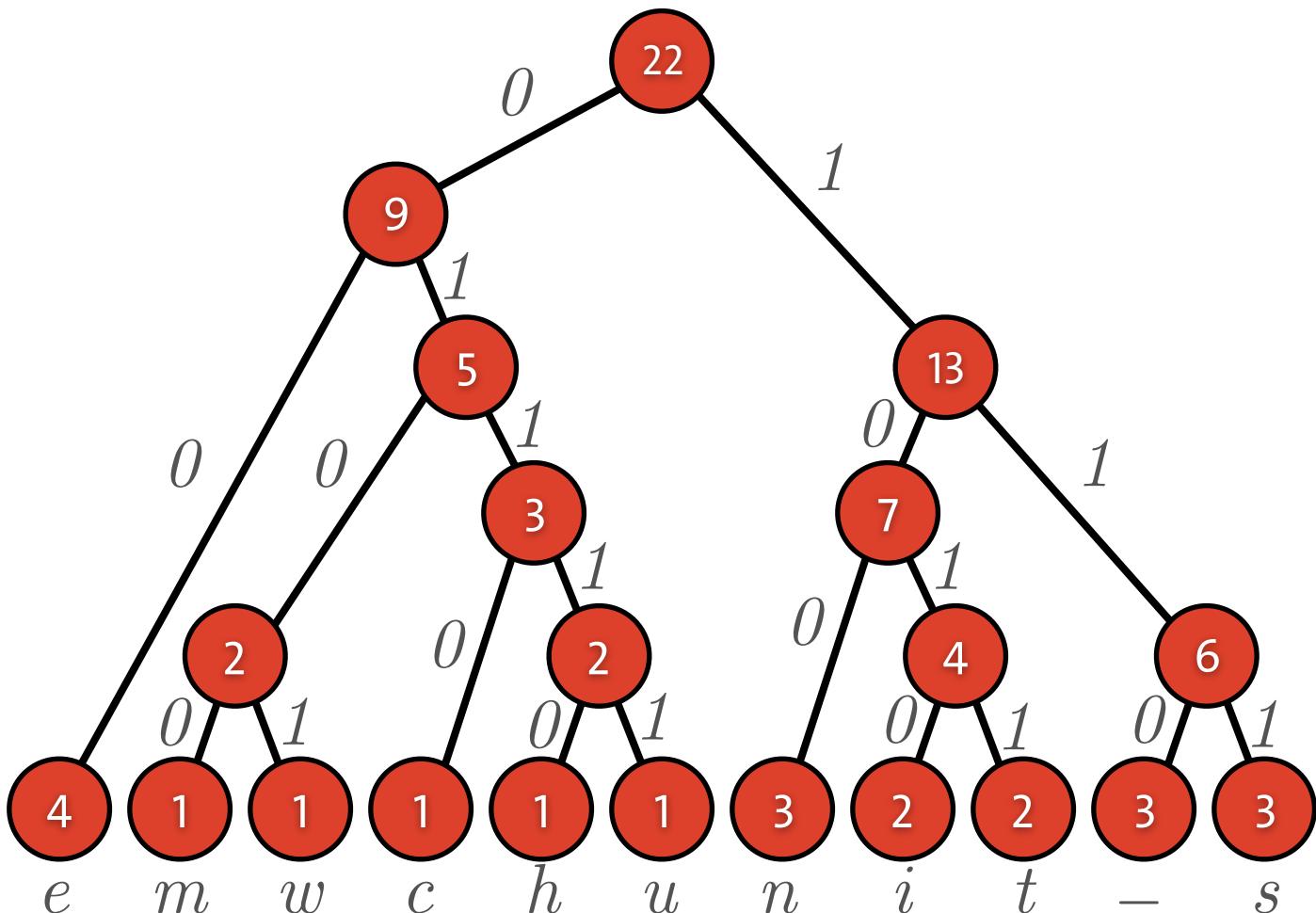
Diskussion



Codieren Sie nun den Text: “im westen nichts neues” nach Huffman!

Huffman-Algorithmus

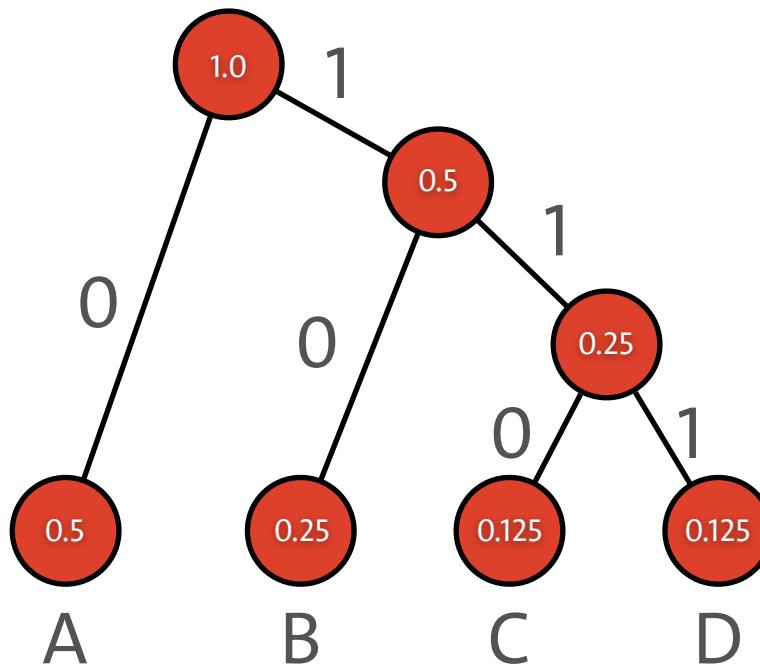
Beispiel: im westen nichts neues



Huffman-Code-Baum

Beispiel

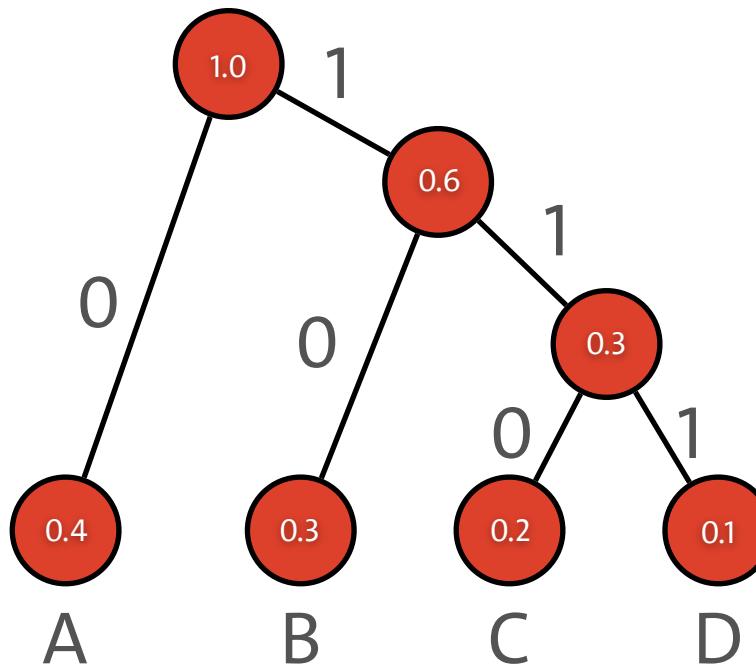
Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Kodierung	0	10	110	111



Huffman-Code-Baum

Beispiel

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.4	0.3	0.2	0.1
Kodierung	0	10	110	111



Huffman-Kodierung

Beispiele

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Kodierung 1	0	10	110	111

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.4	0.3	0.2	0.1
Kodierung 2	0	10	110	111

$$H = \sum_{a \in A} p_a \cdot x_a \quad x_a = \log_2(1/p_a)$$

$$L = \sum_{a \in A} p_a \cdot |c(a)| \quad R = L - H$$

Diskussion



Berechnen Sie die Redundanz der beiden Kodierungen!

Huffman-Codierung

Optimalität

- Huffman-Codierung ist genau dann optimal, falls Wahrscheinlichkeiten der Zeichen Kehrwerte von Zweierpotenzen sind
- Beispiel:

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125

- Gegen-Beispiel:

Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 4	0.4	0.3	0.2	0.1

Arithmetische Kodierung

- **Arithmetische Kodierung** ist Entropiekodierung, bei der Nachricht reelle Zahl zugewiesen wird
- $c:A^* \mapsto [0,1)$ mit $c(a)=x$, $a \in A^*$ und $x \in [0,1)$
 - Eingabe: Menge von Wörter aus A^*
 - Ausgabe: Reelle Zahl $x \in [0,1)$, wobei $x \in [0,1) = \{x \in \mathfrak{R} \mid 0 \leq x < 1\}$

Arithmetische Kodierung

1. Unterteile Startintervall $[0,1)$ in Subintervalle; Größe der Subintervalle ist relativ zur Auftrittswahrscheinlichkeit des Zeichens; Reihenfolge der Zeichen wird durch Konvention festgelegt
2. Subintervall, das dem nächsten Zeichen der Eingabe entspricht, wird zum aktuellen Intervall (Unterteilung wie in Punkt 1.)
3. Sind weitere Zeichen zu kodieren, dann weiter bei Punkt 2; ansonsten weiter zu Punkt 4.
4. Kodierung ist beliebige Zahl aus aktuellem Intervall und Anzahl der kodierten Zeichen

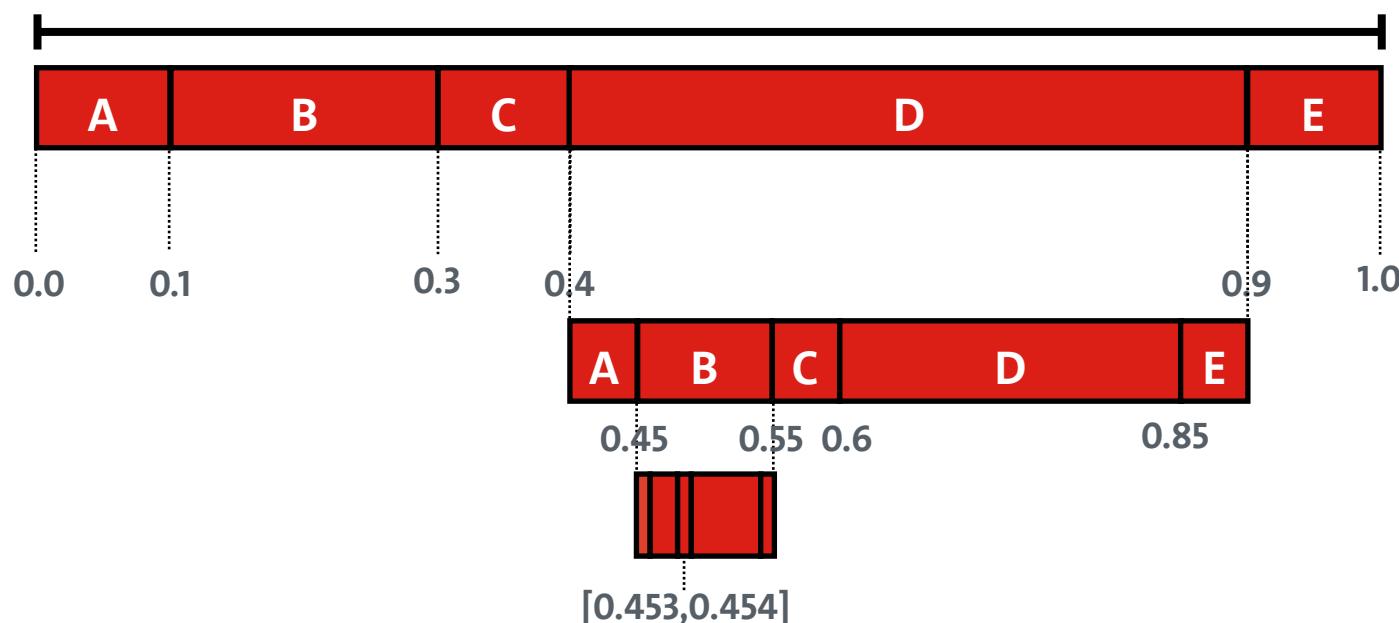
Arithmetische Kodierung

- Zahl wird so gewählt, dass möglichst wenig Nachkommastellen berücksichtigt werden müssen, d.h. weniger Bits

Arithmetische Kodierung

Beispiele: DBC

Zeichen	A	B	C	D	E
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.1	0.2	0.1	0.5	0.1
Linker Rand	0.0	0.1	0.3	0.4	0.9
Rechter Rand	0.1	0.3	0.4	0.9	1.0



Lauflängenkodierung

- Lauflängenkodierung (engl. *Run Length Encoding, RLE*) ist verlustfreier Entropiekodierer
- Grundidee ist jede Sequenz von identischen Symbolen durch deren Anzahl und Symbol zu ersetzen

Lauflängenkodierung

Beispiel: Paare

- Ausgangssequenz lautet

AAAAA ABBB BBBB CDDD EE

- wird kodiert zu:

{A,5}, {B,7}, {C,1}, {D,3}, {E,2}

- oder

{AA,2}, {AB,1}, {BB,3}, {CD,1}, {DD,1}, {EE,1}

- ...

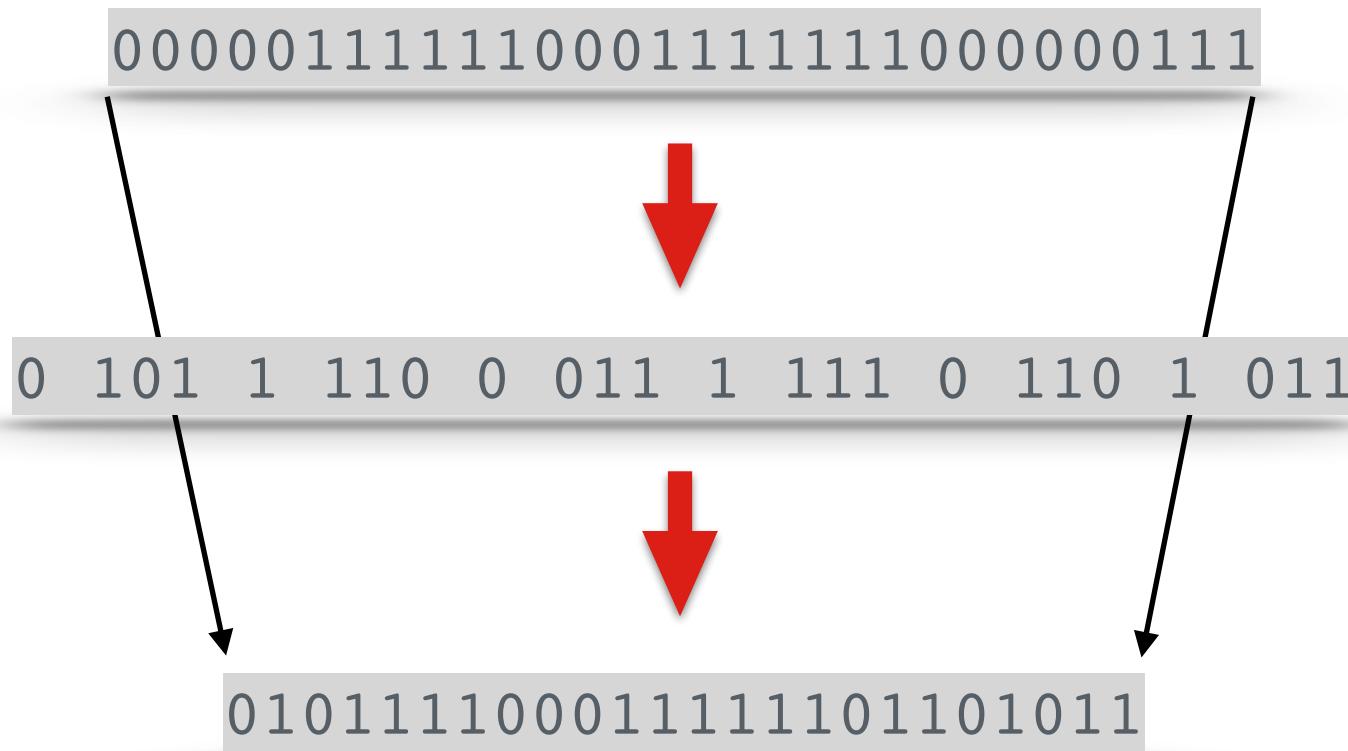
Diskussion



Codieren Sie folgende Zeichenkette, wobei Sie
(1,3)-Bit Paare bilden!

Lauflängenkodierung

Beispiel



Lauflängenkodierung

Beispiel

- Nehmen wir Konvention an, dass immer mit einer 1 bei der Kodierung begonnen wird

```
11100010000011
```

- wird kodiert zu:

```
3, 3, 1, 5, 2
```

Lauflängenkodierung

Beispiel

- Statt 1111 1000 wird 5 3 gespeichert
- Je länger einzelne Folge wird, umso größer ist Einsparung
 - für 10 Wiederholungen werden 2 Dezimalstellen benötigt
 - für 100 Wiederholungen werden 3 Dezimalstellen benötigt
 - ...

Lauflängenkodierung

Modifikation

- Falls in Nachricht nur wenige Wiederholungssequenzen sind, werden nur Folgen ab bestimmter Länge (z. B. drei) kodiert
- **Maskierungszeichen** (engl. *escape character*) zeigt an, dass komprimiertes Tupel folgt

Lauflängenkodierung

Beispiele



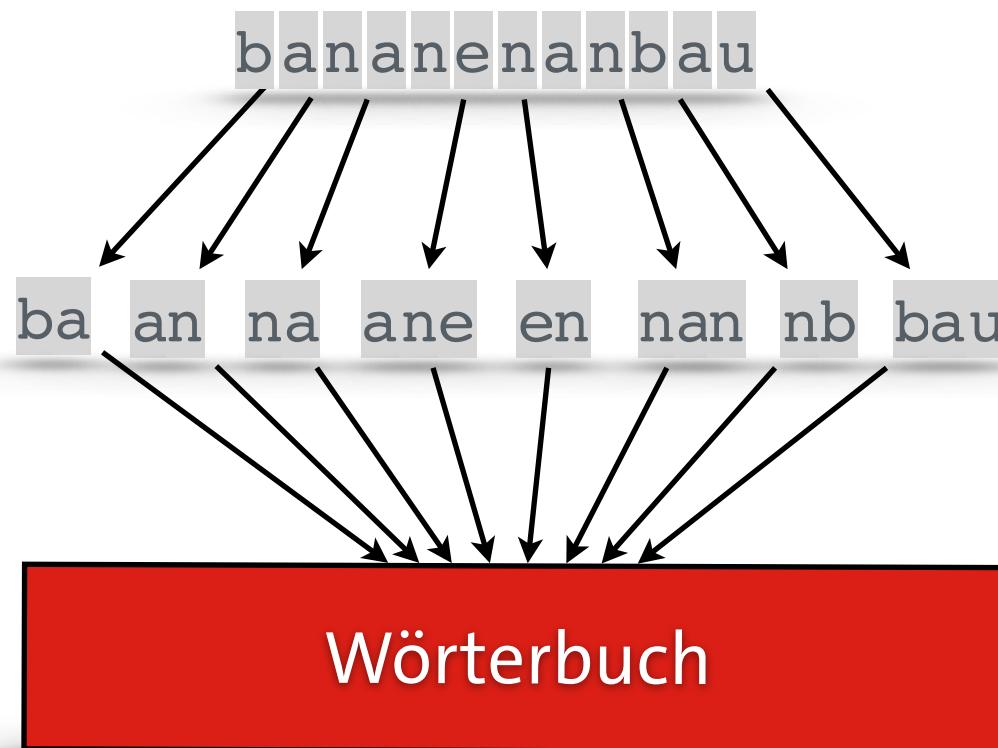
Lempel-Ziv-Welch

Algorithmus

- **Lempel-Ziv-Welch (LZW)**-Kodierung ist verlustfreies Komprimierungsverfahren, welches Wörterbuch für in Nachricht vorkommenden Teilwörter anlegt
- zunächst Konventionen für in Wörter vorkommende Zeichen (z.B. ASCII) sowie Zahlenbereich für Tabelle (ungleich Wörter, d.h., z.B. >256)

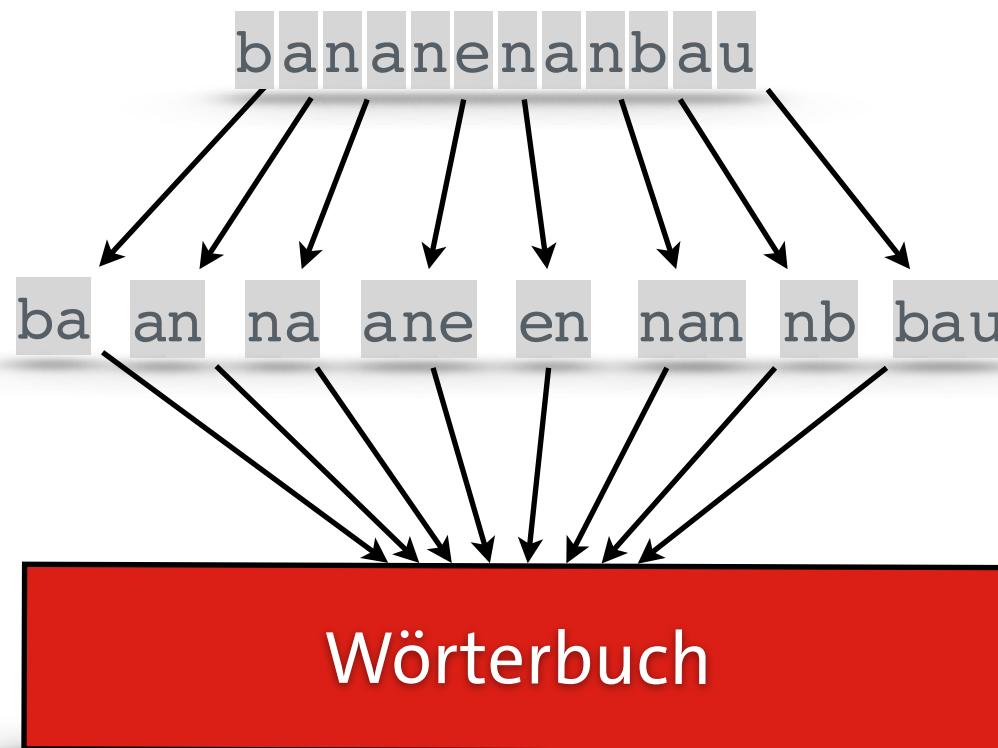
Lempel-Ziv-Welch

Beispiel: bananenanbau



Lempel-Ziv-Welch

Beispiel: bananenanbau



Lempel-Ziv-Welch

Bsp: LZWLZ78LZ77LZCLZMWLZAP

Zeichenkette	gefundener Eintrag	Ausgabe	neuer Eintrag
LZWLZ78LZ77LZCLZMWLZAP	L	L	LZ (wird zu <256>)
ZWLZ78LZ77LZCLZMWLZAP	Z	Z	ZW (wird zu <257>)
WLZ78LZ77LZCLZMWLZAP	W	W	WL (wird zu <258>)
LZ78LZ77LZCLZMWLZAP	LZ(<256>)	<256>	LZ7 (wird zu <259>)
78LZ77LZCLZMWLZAP	7	7	78 (wird zu <260>)
8LZ77LZCLZMWLZAP	8	8	8L (wird zu <261>)
LZ77LZCLZMWLZAP	LZ7(<259>)	<259>	LZ77 (wird zu <262>)
7LZCLZMWLZAP	7	7	7L (wird zu <263>)
LZCLZMWLZAP	LZ(<256>)	<256>	LZC (wird zu <264>)
CLZMWLZAP	C	C	CL (wird zu <265>)
LZMWLZAP	LZ(<256>)	<256>	LZM (wird zu <266>)
MWLZAP	M	M	MW (wird zu <267>)
WLZAP	WL(<258>)	<258>	WLZ (wird zu <268>)
ZAP	Z	Z	ZA (wird zu <269>)
AP	A	A	AP (wird zu <270>)
P	P	P	-

LZW<256>78<259>7<256>C<256>M<258>ZAP

Lempel-Ziv-Welch

Variante LZ78

- Bsp: TOBEORNOTTOBEORTOBEORNOT#
- Wörterbuch sieht am Anfang so aus:

#	00000	0
A	00001	1
B	00010	2
C	00011	3
...		...
Z	11010	26

- ohne LZ78-Algorithmus wäre Nachricht 125 Bits lang (25 Zeichen × 5 Bits pro Zeichen)

Lempel-Ziv-Welch

Variante LZ78

#	00000
A	00001
B	00010
C	00011
..	
Z	11010

Zeichenkette	gefundener Eintrag	Ausgabe	neuer Eintrag
TOBEORNOTTOBEORTOBEORNOT#	T	20 = 10100	TO (wird zu <27>)
OBEORNOTTOBEORTOBEORNOT#	O	15 = 01111	OB (wird zu <28>)
BEORNOTTOBEORTOBEORNOT#	B	2 = 00010	BE (wird zu <29>)
EORNOTTOBEORTOBEORNOT#	E	5 = 00101	EO (wird zu <30>)
ORNOTTOBEORTOBEORNOT#	O	15 = 01111	OR (wird zu <31>)
RNOTTOBEORTOBEORNOT#	R	18 = 010010	RN (wird zu <32>), ab hier: 6 Bits
NOTTOBEORTOBEORNOT#	N	14 = 001110	NO (wird zu <33>)
...
TOBEORTOBEORNOT#	TO	27 = 011011	TOB (wird zu <36>)
...
#	#	0 = 000000	

Lempel-Ziv-Welch

Variante LZ78

#	00000
A	00001
B	00010
C	00011
...	
Z	11010

Bits	Ausgabe	Neuer Eintrag (Ganz):
10100 = 20	T	
01111 = 15	O	27: TO
00010 = 2	B	28: OB
00101 = 5	E	29: BE
01111 = 15	O	30: EO
010010 = 18	R	31: OR ab hier: 6 Bits lesen
001110 = 14	N	32: RN
...
011011 = 27	TO	36: TOB
...
000000 = 0	#	

Kodierung

Beispiel: ZIP

