

Kanäle, Codecs und Medien

Jörg Cassens

Institut für Mathematik und Angewandte Informatik

Medieninformatik
WS 2019/2020





 pingo.coactum.de/667234

1 Kanäle und Medien

2 Digitalisierung

3 Kompression

- Klares Verständnis der grundlegenden Gesetzmäßigkeiten bei der Digitalisierung
- Welche Probleme gibt es bei der
 - Codierung
 - Kompressionvon Mediendaten?
- Einführung universeller Kompressionsverfahren

1 Sehen

- Kulturell weit entwickelt bis zum Lesen von Texten
- Visuelle Erscheinung zentrales Element vieler Medienangebote

2 Hören

- Eng mit Umweltwahrnehmung verbunden, wenig bewußt

3 Riechen

- Sehr wenig bewußt, beeinflußt Stimmungen

4 Schmecken

- Hoch spezialisiert, wenig zur Übermittlung von Informationen geeignet

5 Tasten

- Verschiedene Untergruppen (Druck, Berührung, Temperatur)

Bei Computern in der Praxis derzeit zumeist 1 und 2, vereinzelt 5.

Definition

“**Multimedia** ist der Trend, die verschiedenen Kommunikationskanäle des Menschen mit den Mittel der Informationswissenschaft über alle Quellen [Modalitäten] zu integrieren und als Gesamtheit für die Kommunikation zu nutzen”
Peter Henning (2003)

Definition

“**Multimedia** ist der Trend, die verschiedenen **Kommunikationskanäle** des Menschen mit den Mittel der Informationswissenschaft über alle **Quellen** [**Modalitäten**] zu integrieren und als Gesamtheit für die Kommunikation zu nutzen”
Peter Henning (2003)

Wir können Medien auf verschiedenen Ebenen unterscheiden:

■ Präsentation & Aufnahme

- Die “technische Seite”
- Hilfsmittel zur Ein- und Ausgabe von Informationen
- Mögliche Fragen:
 - Welche Aufnahmegeräte werden gebraucht (Mikrofon)?
 - Welche Wiedergabegeräte werden benutzt (Monitor)?

■ Codierung

- Die Repräsentation
- Form, in der die Information beschrieben wird
- Mögliche Frage:
 - Werden Texte oder Graphiken benutzt?

■ Wahrnehmung & Produktion

- Die “menschliche Seite”
- Der genutzte/angesprochene Sinneskanal
- Mögliche Fragen:
 - Wie wird die Information wahrgenommen (Augen, Ohren)?
 - Wie wird die Information ausgedrückt (Sprache, Gestik)?

■ Präsentation & Aufnahme – Medial

- Radio: monomedial
- TV: multimedial
- Stummfilmkamera: multimedial

■ Codierung – Codal

- Nur Text, nur Graphik: monocodal
- Gemischt: multicodal

■ Wahrnehmung & Produktion – Modal

- Nur die Augen ansprechend: monomodal
- Augen und Ohren ansprechend: multimodal

Problem: Unterschiedliche Belegung in unterschiedlichen Kontexten und Fachgebieten

Video 5.1: Modality, Codality, Mediality

Kanäle und
Medien

Digitalisierung

Kompression



👉 Kiss machine – The Big Bang Theory (1:33)

1 Kanäle und Medien

2 Digitalisierung

- Analog und Digital
- Abtastung
- Codierung

3 Kompression

Analog und Digital

Definition

Analoges Signal: Deterministische und kontinuierliche Änderung einer physikalischen Größe entsprechend eines Meßwertes der zu übertragenden Größe.

Definition

Analoges Signal: Deterministische und kontinuierliche Änderung einer physikalischen Größe entsprechend eines Meßwertes der zu übertragenden Größe.

Definition

Digitales Signal: Annäherung an den Meßwert in einem festen Raster über die Zeit oder den Raum mittels eines endlichen Vorrats möglicher Repräsentationen.

Definition

Analoges Signal: Deterministische und **kontinuierliche** Änderung einer physikalischen Größe entsprechend eines Meßwertes der zu übertragenden Größe.

Definition

Digitales Signal: Annäherung an den Meßwert in einem **festen Raster** über die Zeit oder den Raum mittels eines **endlichen Vorrats** möglicher Repräsentationen.

Signalwert

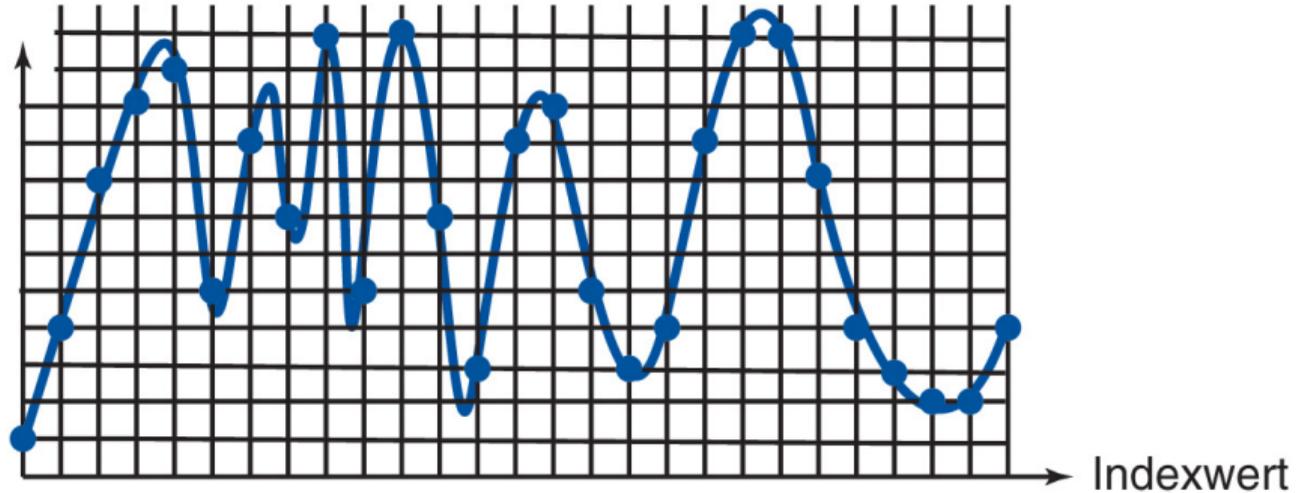


Abbildung 2.1: Grundprinzip der Digitalisierung

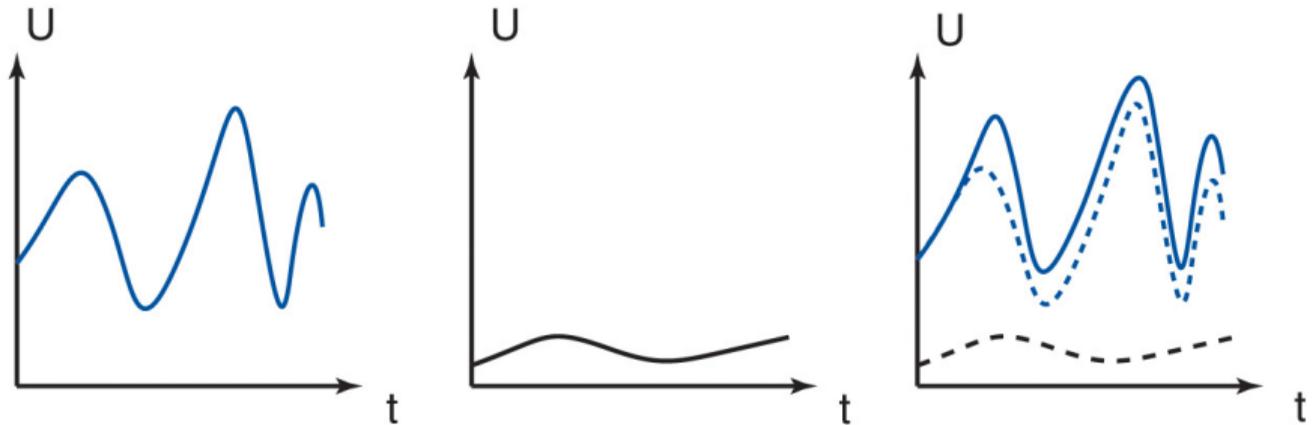


Abbildung 2.2: Analoges Signal und Störsignal: links Originalsignal, Mitte Störsignal, rechts resultierendes analoges Signal

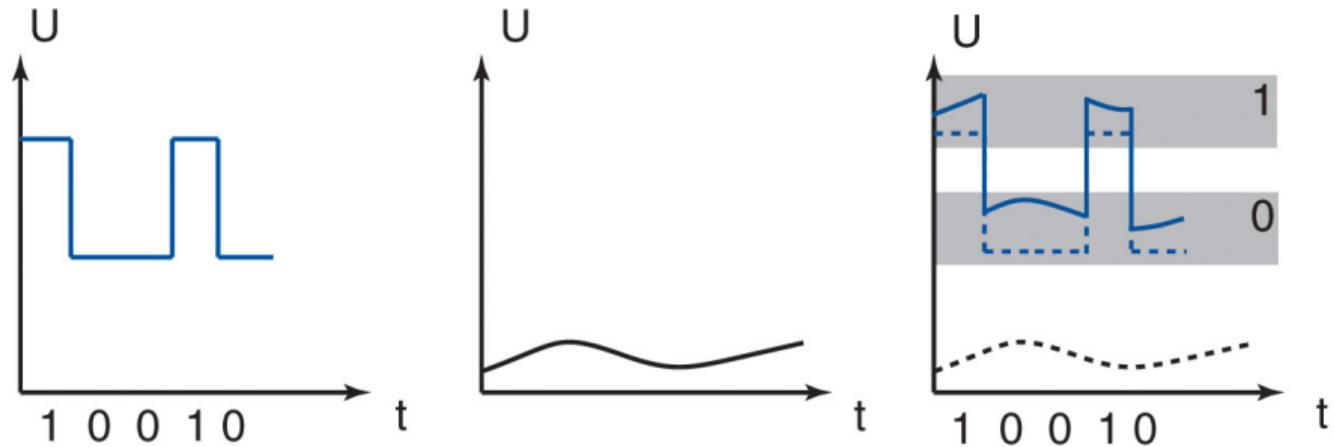


Abbildung 2.3: Digitales Signal und Störsignal: links Originalsignal, Mitte Störsignal, rechts resultierendes analoges Signal

Signale und Störungen

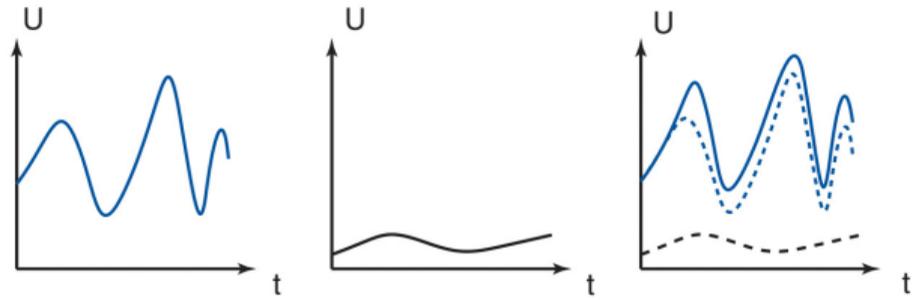


Abbildung 2.2: Analoges Signal und Störsignal: links Originalsignal, Mitte Störsignal, rechts resultierendes analoges Signal

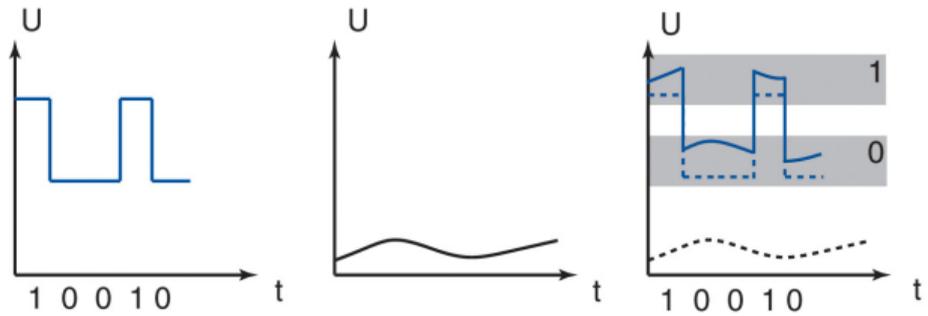


Abbildung 2.3: Digitales Signal und Störsignal: links Originalsignal, Mitte Störsignal, rechts resultierendes analoges Signal

Abtastung

- Jedes Signal, welches am Ende der Verarbeitungskette als mediales Angebot präsentiert wird, muß irgendwann in digitaler Form erscheinen
 - Synthese: das Ausgangsmaterial wird in digitaler Form hergestellt
 - Abtastung: ein analoges Signal wird in ein digitales umgewandelt
- Abtastung:
 - Wie *häufig*? → Sampling, Diskretisierung
 - Wie *genau*? → Quantisierung

Definition

Diskretisierung: Festes Raster von Meßpunkten gleichen Abstands auf der Achse oder den Achsen, auf der sich das analoge Signal verändert. Die Dichte wird als Abtastrate bezeichnet. Zu jedem Meßpunkt wird jeweils das Signal (Sample) bestimmt.

Definition

Diskretisierung: Festes Raster von Meßpunkten gleichen Abstands auf der Achse oder den Achsen, auf der sich das analoge Signal verändert. Die Dichte wird als Abtastrate bezeichnet. Zu jedem Meßpunkt wird jeweils das Signal (Sample) bestimmt.

Definition

Quantisierung: Darstellung der ermittelten Meßwerte in einem festen Wertester. Die Zahl der zur Verfügung stehenden Zahl der Bits wird auch als Auflösung der Digitalisierung bezeichnet.

Signalwert

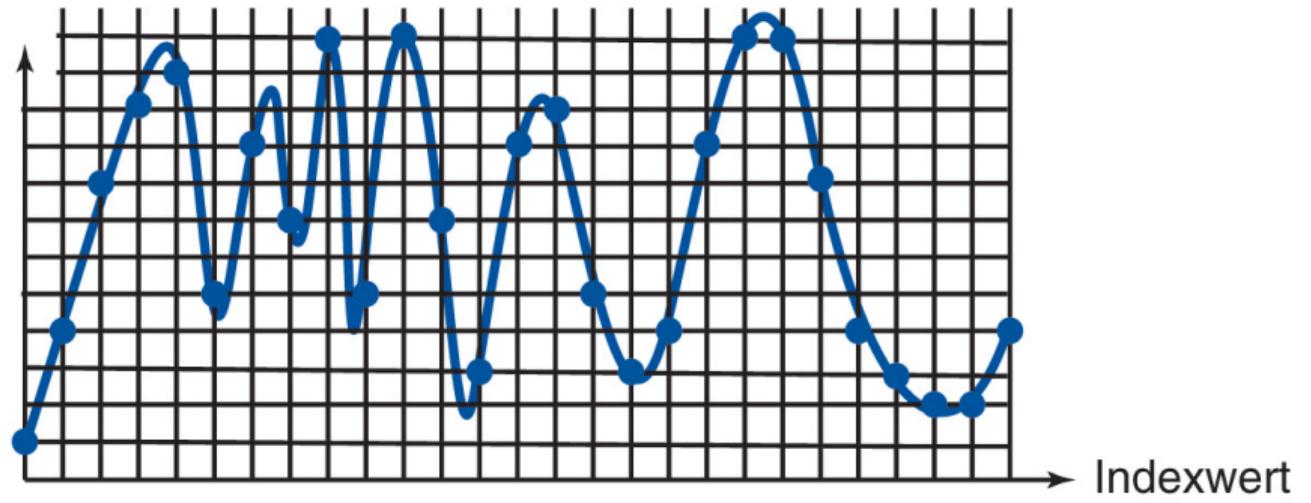


Abbildung 2.1: Grundprinzip der Digitalisierung

Man beachte die Abweichungen vom Originalsignal

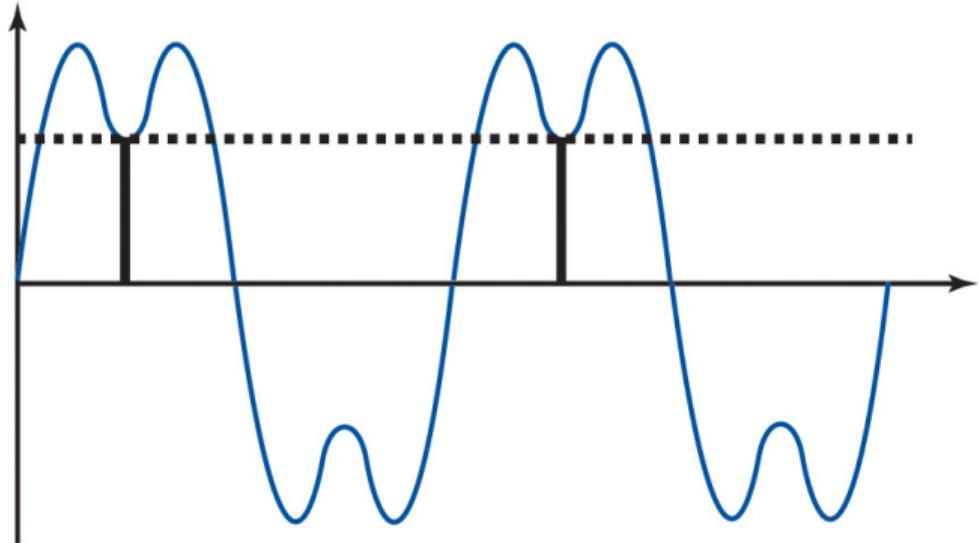


Abbildung 2.5: Abtastung mit zu niedriger Abtastrate I

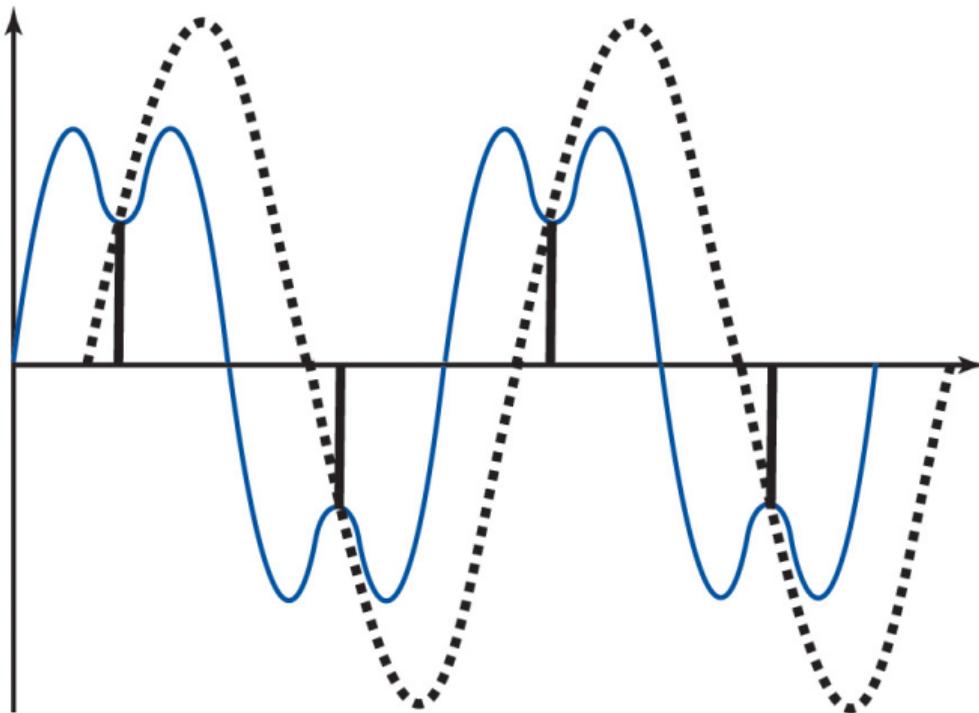


Abbildung 2.6: Abtastung mit zu niedriger Abtastrate II

Abtasttheorem IV

- 1 Ein reales Signal kann als Überlagerung verschiedener Grundsignale verschiedener Frequenzen aufgefaßt werden.
- 2 Für die Wahl der Abtastrate ist die Frequenz des im digitalen Signal enthaltenen Anteils mit der höchsten Frequenz entscheidend.

Definition

Abtasttheorem (Shannon, Nyquist, Whittaker, Kotelnikow): Wenn ein kontinuierliches Signal mit einer oberen Grenzfrequenz f_{max} mit einer Abtastrate von mehr als $2 * f_{max}$ abgetastet wird, kann man das Ursprungssignal ohne Informationsverlust aus dem abgetasteten Signal rekonstruieren.

- Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)
- Jede periodische Schwingung kann durch eine (unendliche) Summe von überlagerten Cosinus-Schwingungen angenähert werden
- Überlagerung harmonischer Schwingungen

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

Beispiel

Kanäle und
Medien

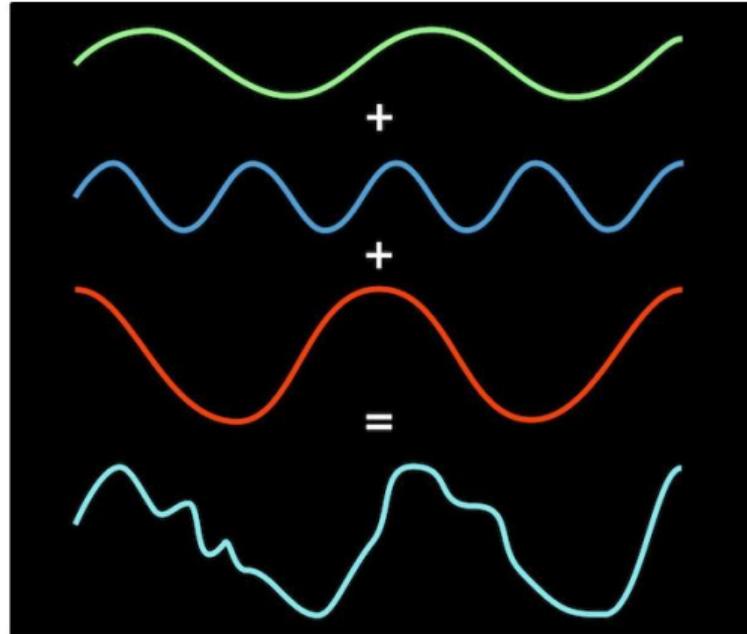
Digitalisierung

Analog und Digital

Abtastung

Codierung

Kompression

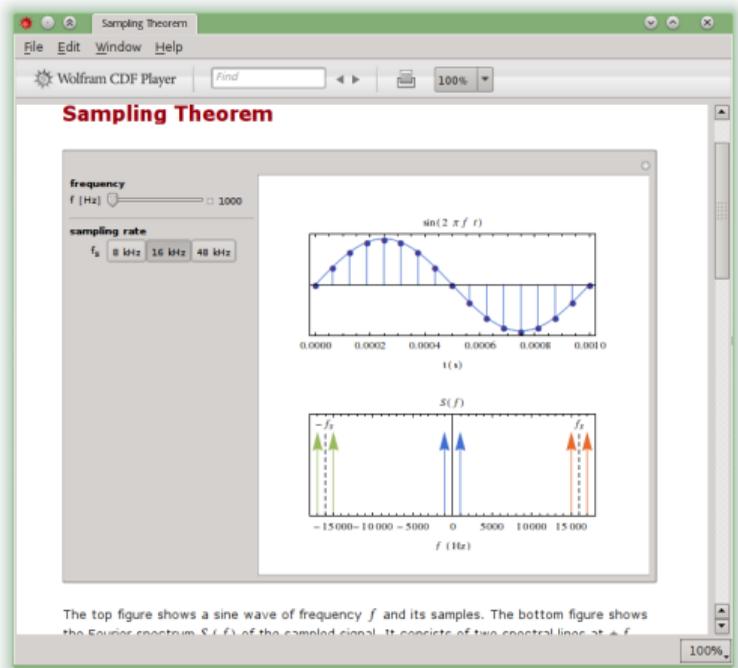


Christine Daniloff/MIT

f



🗨️ Lucas V. Barbosa



demonstrations.wolfram.com/SamplingTheorem/

- Hohe Frequenzanteile enthalten häufig nur geringe Energie (Oberschwingungen bei Musikinstrumenten)
- Noch wichtiger: Begrenzung der menschlichen Sinne
- Daher: Bandbreitenbeschränkung, danach Abtastung mit dem doppelten der höchsten verbleibenden Frequenz
 - z.B.: Bandbreitenbeschränkung auf 5 bis 22000 Hz bei Audiosignalen auf einer CD

- Bei der Rekonstruktion können Signalanteile entstehen, die im Originalsignal nicht vorhanden waren
- Entsteht z.B. durch eine zu kleine Abtastrate
- Eine theoretisch mögliche vollständige Rekonstruktion kann durch Eigenschaften des Ausgabegerätes zu Aliasing-Effekten führen (Moiré-Effekt bei Graphik auf kleiner Auflösung)
- Abhilfe: Ausfiltern zu hoher Frequenzanteile (“Weichzeichner”)

Codierung

- Information ist ein nichtstoffliches Phänomen, das durch die Interpretation bestimmter Zeichen oder Zeichenfolgen entsteht, die man die Repräsentation der betreffenden Information nennt.
- Beispiel Uhrzeit: Ziffernfolge eine Digitaluhr, analoge Uhr mit Zeigern, sprachliche Zeichen, Mengentheorie
- Informationstheorie nach Shannon analysiert Codierungen vor allem unter dem Aspekt des Auftretens eines bestimmten Zeichen eines Zeichenvorrats (stochastischer Ansatz)
- Grundlegend: Nachricht und Nachrichtenquelle.

- Wir nehmen Texte als Beispiel
- Ein Bild oder Musikstück liegt aber ebenfalls als lange Folge von synthetisch erzeugten oder abgetasteten Zeichen vor
- Daher sind die folgenden Überlegungen für alle Medientypen relevant
- In der Informatik ist besonders die Repräsentation im Binärformat relevant, also als Abfolge von 0 und 1

Ausgangspunkt

Wir haben eine Codierung von Informationen in einem beliebigen Ausgangsformat und suchen eine möglichst effiziente Codierung im Binärformat

Definition

Zeichenvorrat: Endliche Menge von Zeichen.

Definition

Zeichenvorrat: Endliche Menge von Zeichen.

Nachricht: Eine Nachricht im Zeichenvorrat A ist eine endliche Sequenz von Zeichen a aus A .

Definition

Zeichenvorrat: Endliche Menge von Zeichen.

Nachricht: Eine Nachricht im Zeichenvorrat A ist eine endliche Sequenz von Zeichen a aus A .

Codierung: Seien A und B Zeichenvorräte. Dann ist eine Codierung c von A in B eine Abbildung von Nachrichten aus A in Nachrichten aus B : $c(a) \rightarrow b, a \in A, b \in B$.

Definition

Zeichenvorrat: Endliche Menge von Zeichen.

Nachricht: Eine Nachricht im Zeichenvorrat A ist eine endliche Sequenz von Zeichen a aus A .

Codierung: Seien A und B Zeichenvorräte. Dann ist eine Codierung c von A in B eine Abbildung von Nachrichten aus A in Nachrichten aus B : $c(a) \rightarrow b, a \in A, b \in B$.
Im folgenden betrachten wir nur die Einzelzeichencodierung.

Definition

Zeichenvorrat: Endliche Menge von Zeichen.

Nachricht: Eine Nachricht im Zeichenvorrat A ist eine endliche Sequenz von Zeichen a aus A .

Codierung: Seien A und B Zeichenvorräte. Dann ist eine Codierung c von A in B eine Abbildung von Nachrichten aus A in Nachrichten aus B : $c(a) \rightarrow b, a \in A, b \in B$.

Im folgenden betrachten wir nur die Einzelzeichencodierung.

Nachrichtenquelle: Eine Nachrichtenquelle nach Shannon ist ein Zeichenvorrat A zusammen mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung, die für jedes Zeichen $a \in A$ die Wahrscheinlichkeit seines Auftretens angibt.

Wahrscheinlichkeit von $a \in A$ wird mit p_a bezeichnet, $0 \leq p_a \leq 1, \sum p_a = 1$

Beispiel Nachrichtenquelle I

Zeichen a	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

Tabelle 2.1: Drei Beispiele für Nachrichtenquellen

- Unterschiedlicher Informationsgehalt der einzelnen Zeichen
 - Quelle 1: Nur A, bringt keine weiteren Informationen
 - Quelle 2: Jedes Zeichen bringt gleichen Informationsgehalt entsprechend der Auswahl eines Elements aus einer vierelementigen Menge
 - Quelle 3: A bringt weniger Informationen, es ist “weniger überraschend”
- Informationsgehalt beruht ausschließlich auf der Wahrscheinlichkeit des Auftretens, keine andere Verständnisebene notwendig

Beispiel Nachrichtenquelle II

- Wie kann man den Informationsgehalt messen?
- 1 Bit ist die Informationsmenge, die notwendig ist, um aus zwei Elementen eines auszuwählen (Entscheidungsgehalt)
 - 2 Bit = vier Elemente, 3 Bit = acht Elemente, ...

Zeichen α	A	B	C	D
Entscheidungsgehalt in Quelle 1 [Bit]	0	undefiniert	undefiniert	undefiniert
Entscheidungsgehalt in Quelle 2 [Bit]	2	2	2	2
Entscheidungsgehalt in Quelle 3 [Bit]	1	2	3	3

Tabelle 2.2: Beispiele für den Informationsgehalt von Zeichen

Auftrittswahrscheinlichkeit und Bit

Kanäle und
Medien

Digitalisierung

Analog und Digital

Abtastung

Codierung

Kompression

- Gesucht: die Zahl, die zur Basis 2 angewendet die Zahl der Auswahlmöglichkeiten ergibt
- Zahl der Auswahlmöglichkeit Kehrwert der Wahrscheinlichkeit
- Umrechnung der Auftrittswahrscheinlichkeit in den Informationsgehalt in Bit:

$$x_a = \log_2 \left(\frac{1}{p_a} \right)$$

- Stochastische Betrachtung, also “krumme” Bitwerte möglich ($p = 0.3, 1.74$ Bit)

- Entropie ist das “Maß der Unordnung”
- Quelle 2 ist chaotisch, alle Zeichen treten gleich häufig auf
- Quelle 3 gibt hingegen das A bevorzugt aus

Definition

Die **Entropie** einer Nachrichtenquelle ist der durchschnittliche Entscheidungsgehalt eines Zeichens der Nachrichtenquelle:

$$H = \sum_{a \in A} p_a * x_a = \sum_{a \in A} p_a * \log_2 \left(\frac{1}{p_a} \right)$$

Beispiel revisited

Kanäle und Medien

Digitalisierung

Analog und Digital

Abtastung

Codierung

Kompression

Zeichen a	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

Tabelle 2.1: Drei Beispiele für Nachrichtenquellen

- Quelle 1: Entropie von 0
- Quelle 2: Entropie von 2
- Quelle 3: Entropie von 1,75

Definition

Wortlänge: Die Menge der Wörter aus einem Zeichenvorrat A wird mit A^* bezeichnet. Für ein Wort $w \in A^*$ ist die Länge des Wortes die darin enthaltene Anzahl von Zeichen, bezeichnet mit $|w|$. Wenn eine Codierung c einem Zeichen $a \in A$ ein Wort $c(a) \in B^*$ zuweist, dann ist $|c(a)|$ die Wortlänge der Codierung von a .

- In einem Wort können Zeichen auch mehrfach auftreten

- Wir sind in erster Linie an binären Codierungen interessiert
- Wenn wir wissen wollen, wieviel Platz die Codierung eines einzelnen Zeichens im Durchschnitt belegt, können alle möglichen Codierungen unter Einbeziehung der Auftrittswahrscheinlichkeit eines Zeichens betrachten

Definition

Die **durchschnittliche Wortlänge** L ist die nach Auftrittswahrscheinlichkeiten gewichtete Summe der Wortlängen aller Codierungen:

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

Beispiel

Kanäle und
Medien

Digitalisierung

Analog und Digital

Abtastung

Codierung

Kompression

Zeichen a	A	B	C	D
Codierung c_1	00	01	10	11
Codierung c_2	0	10	110	111

Tabelle 2.3: Zwei Beispiele für Codierungen

Beispiel: Codierung 1

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

Tabelle 2.4: Beispiel für eine redundante Codierung

- Die mittlere Wortlänge im Beispiel beträgt 2
- Die Entropie liegt wie vorher gesehen bei 1.75

Beispiel: Codierung 2

Zeichen α	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_α in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Codierung c_2	0	10	110	111
Wortlänge	1	2	3	3
Durchschnittliche Wortlänge $L = 0.5 \cdot 1 + 0.25 \cdot 2 + 0.125 \cdot 3 + 0.125 \cdot 3 = 1.75$				

Tabelle 2.5: Beispiel für eine optimale Codierung

- Die mittlere Wortlänge im Beispiel beträgt 1.75
- Die Entropie liegt wie vorher gesehen bei 1.75

Definition

Redundanz: Die Redundanz R einer binären Codierung für eine Informationsquelle ist die Differenz der mittleren Wortlänge und der Entropie:

$$R = L - H$$

- Warum können L und H in einer Formel auftauchen?

Definition

Redundanz: Die Redundanz R einer binären Codierung für eine Informationsquelle ist die Differenz der mittleren Wortlänge und der Entropie:

$$R = L - H$$

- Warum können L und H in einer Formel auftauchen?
- Wir können das machen, weil die Wortlänge bei Binärformaten die Größe in Bit angibt, dieser Wert also die gleiche Einheit hat wie die Entropie

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

Tabelle 2.5: Beispiel für eine optimale Codierung

Definition

Eine **Codierung** einer Nachrichtenquelle heißt **optimal**, wenn die Redundanz der Codierung gleich Null ist.

Outline

Kanäle und
Medien

Digitalisierung

Kompression

Stochastische
Codierung

Andere Verfahren

1 Kanäle und Medien

2 Digitalisierung

- 3 **Kompression**
- Stochastische Codierung
 - Andere Verfahren

Definition

Eine **Kompressionsverfahren**, das für alle Daten unabhängig von Ursprung und Bedeutung angewendet werden kann heißt **universell**. Verfahren, die nur auf Daten eines bestimmten Typs (Audio, Bild) anwendbar sind heißen **speziell**.

- Universell: zip, gzip, bzip2
- Speziell: z.B. Ausnutzen von Eigenschaften, wie die daß es in Photos häufig Flächen gleichen Farbtons gibt.

Definition

Eine **Kompressionsverfahren** heißt **verlustbehaftet**, wenn bei der Kompression Informationen aus dem Original verloren gehen. Im Gegensatz stehen **verlustfreie** Methoden, die die vollständige und genaue Rekonstruktion des Originals ermöglichen.

	Universelle Verfahren	Spezielle Verfahren
Verlustfreie Verfahren	Beispiele: Huffman, LZW	Beispiele: PNG, AIFF
Verlustbehaftete Verfahren	(nicht sinnvoll)	Beispiele: JPEG, MP3

Tabelle 2.6: Klassifikation von Kompressionsverfahren

Stochastische Codierung

- Universelle, verlustfreie Kompression
- Vertreter einer Gruppe von Verfahren, die auf Shannon's informationstheoretischen Überlegungen basiert
- Statistische oder stochastische Verfahren
- Ausgangspunkt: Shannonsche Informationsquelle mit einer Angabe von Auftrittswahrscheinlichkeiten
- Der Huffman Algorithmus konstruiert zu einer Nachrichtenquelle eine Codierung, die unter bestimmten Bedingungen optimal ist (wie beim Morse-Code: e=".", t="-", f="..-", q="--.-")

Huffman-Codierung II

- Problem: variable Codelänge
- Lösungsmöglichkeit
 - Trennzeichen
 - Aufbau (Morse Code: Pausen)

Huffman-Codierung II

Kanäle und
Medien

Digitalisierung

Kompression

Stochastische
Codierung

Andere Verfahren

- Problem: variable Codelänge
- Lösungsmöglichkeit
 - Trennzeichen
 - Aufbau (Morse Code: Pausen)
- Hier: Fano-Bedingung

Definition

Fano-Bedingung: Eine Codierung C eines Zeichenvorrats A in einen Zeichenvorrat B erfüllt die Fano-Bedingung, wenn für alle Zeichen x und y aus A gilt, daß das Wort $c(x)$ nicht Anfang des Wortes $c(y)$ ist, also keiner der verwendeten Codes Anfang eines anderen ist.

Zeichen a	A	B	C	D
Codierung c_1	00	01	10	11
Codierung c_2	0	10	110	111

Tabelle 2.3: Zwei Beispiele für Codierungen

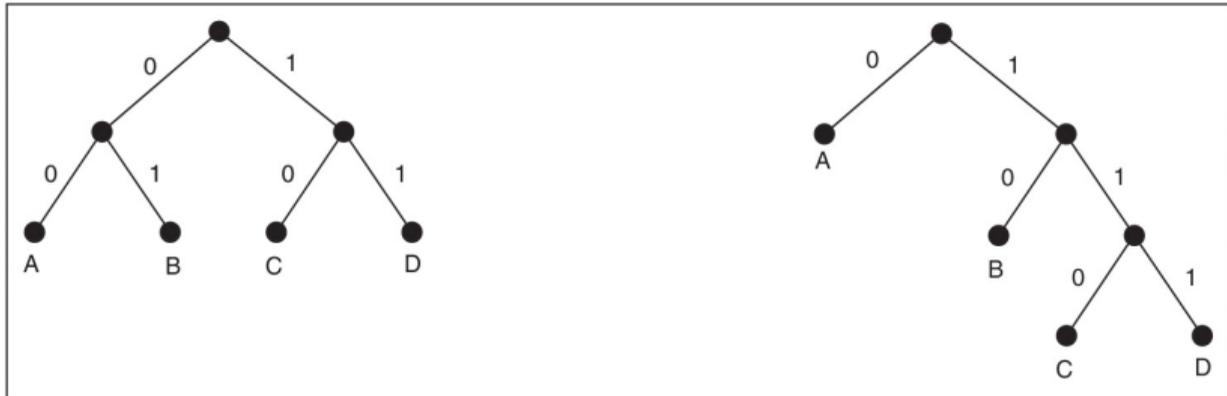


Abbildung 2.7: Codebäume für die Codierungen c_1 und c_2

Codebaum: Huffman

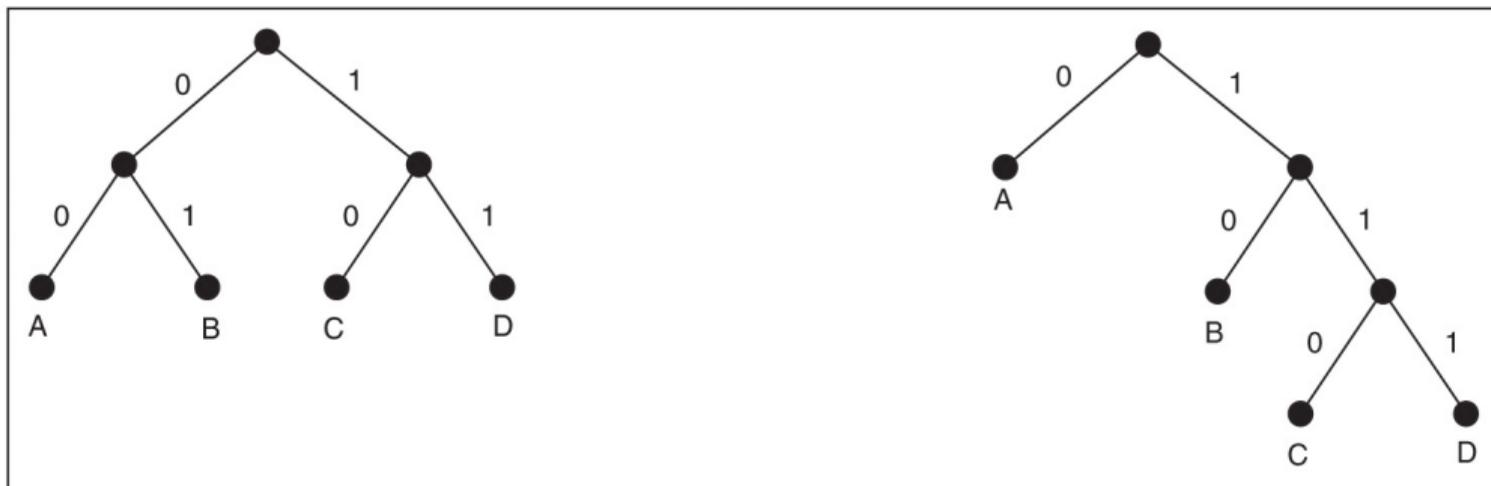


Abbildung 2.7: Codebäume für die Codierungen c_1 und c_2

- Grundidee Huffmans: bottom-up, Paare mit kleinsten Auftretswahrscheinlichkeiten als Startpunkt

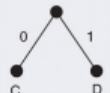
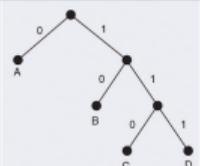
Erster Durchlauf				
Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit	0.5	0.25	0.125	0.125
Zweiter Durchlauf				
Zeichen/Baum	A	B		
Wahrscheinlichkeit	0.5	0.25	0.25	
Dritter Durchlauf				
Zeichen/Baum	A			
Wahrscheinlichkeit	0.5	0.5		
Vierter Durchlauf				
Zeichen/Baum				
Wahrscheinlichkeit	1.0			

Tabelle 2.7: Ablauf des Huffman-Algorithmus

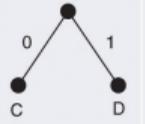
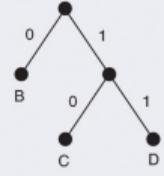
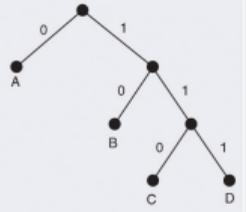
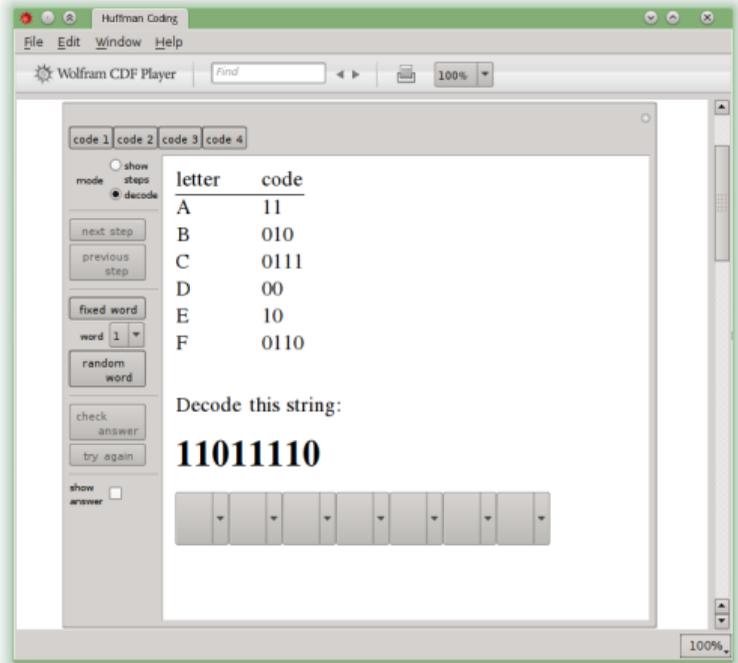
Erster Durchlauf				
Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit	0.5	0.25	0.125	0.125
Zweiter Durchlauf				
Zeichen/Baum	A	B		
Wahrscheinlichkeit	0.5	0.25	0.25	
Dritter Durchlauf				
Zeichen/Baum	A			
Wahrscheinlichkeit	0.5	0.5		
Vierter Durchlauf				
Zeichen/Baum				
Wahrscheinlichkeit	1.0			

Tabelle 2.7: Ablauf des Huffman-Algorithmus

Huffman: Beispiel



demonstrations.wolfram.com/HuffmanCoding/

- Huffman: Ideal wenn Wahrscheinlichkeiten Kehrwerte von Zweierpotenzen
- Entwicklung von Verfahren, die auf beliebigen Wahrscheinlichkeitsverteilungen gute Ergebnisse liefern
- Grundidee Arithmetische Codierung: Ordne einer Nachricht ein Teilintervall aus den reellen Zahlen zwischen 0 und 1 zu
- Länge des Intervalls eine Funktion der Wahrscheinlichkeit des Auftauchens
- bei fortschreitender codierung werden fortlaufend kleiner Intervalle gebildet
- Wahrscheinlichkeiten der Nachrichtenquelle ergeben erste Intervalleinteilung

Arithmetische Codierung

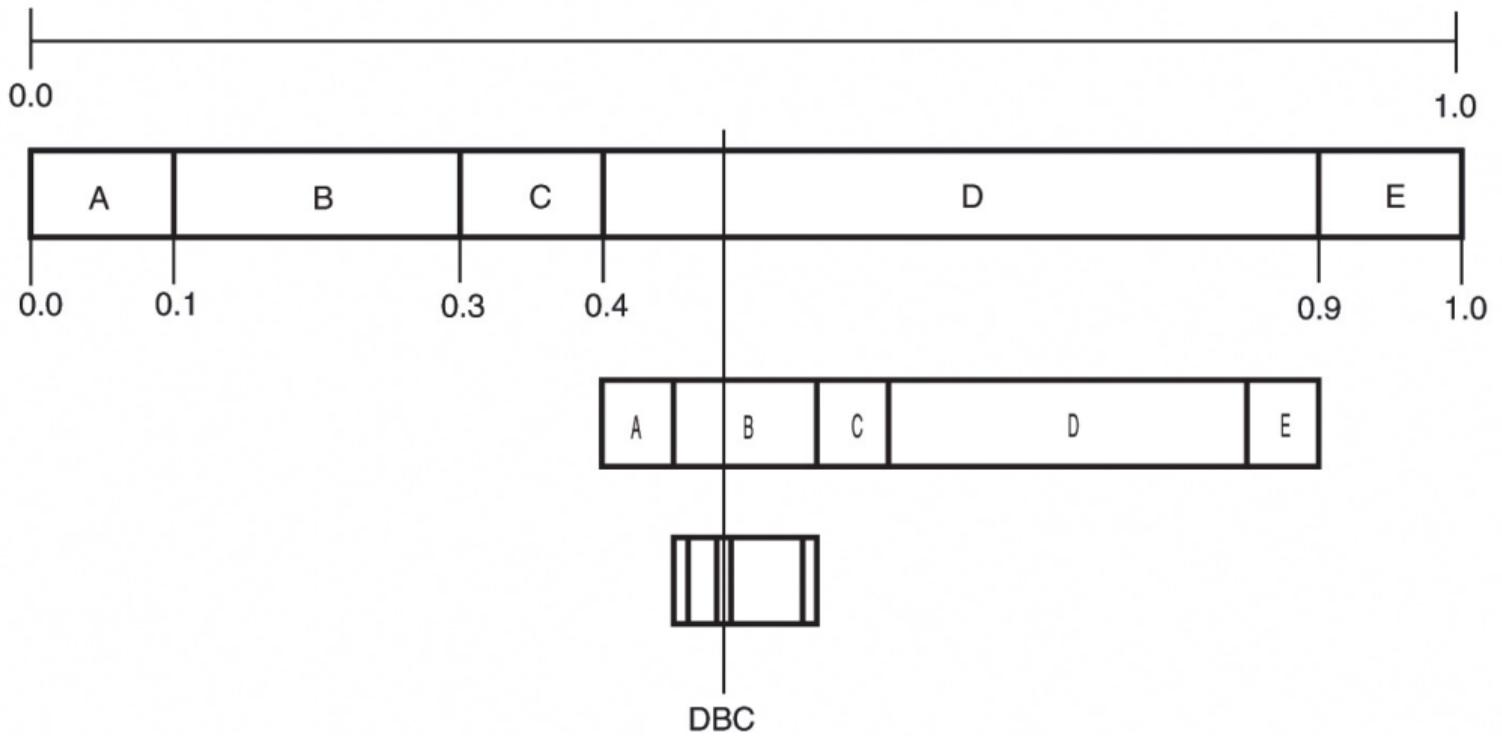


Abbildung 2.8: Codierung einer Nachricht, die mit „DBC“ beginnt, mit Arithmetischer Codierung

Andere Verfahren

- Beispiel für zeichenorientierte, universelle verlustfreie Kompression
- Unabhängig von informationstheoretischen Überlegungen
- Grundidee: Speicherung der Wiederholungen eines Zeichens
- AABBBBBBEEDDDDDDDDDDB \rightarrow $\langle A,2 \rangle \langle B,5 \rangle \langle E,2 \rangle \langle D,11 \rangle \langle B,1 \rangle$
- Verschiedene Möglichkeiten der Speicherung
 - Dedizierte Trennzeichen
 - Ausnutzen Byte-Struktur (1. Byte Zeichen, 2. Byte Anzahl)

- Lempel-Ziv-Welch-Codierung
- Adaptives Verfahren
 - Starte mit initialem Model
 - Lese die Nachricht
 - Codiere die Nachricht und aktualisiere das Model
- Hier: Wörterbuch für in einer Nachricht vorkommende Teilworte
 - Wörterbuch ist durchnummeriert
 - Nummer übertragen
- Algorithmus speichert nur Teilzeichenfolgen im Wörterbuch, die notwendig sind
- gleichzeitig passiert die Spaltung der Nachricht

- 1 Initialisiere das Wörterbuch mit allen Zeichenketten der Länge 1 und starte mit dem Eingabetext an Position 1

LZW: Ablauf

- 1 Initialisiere das Wörterbuch mit allen Zeichenketten der Länge 1 und starte mit dem Eingabetext an Position 1
- 2 Finde im Wörterbuch den längsten String W der ab der Startposition in der Eingabe auftaucht

LZW: Ablauf

- 1 Initialisiere das Wörterbuch mit allen Zeichenketten der Länge 1 und starte mit dem Eingabetext an Position 1
- 2 Finde im Wörterbuch den längsten String W der ab der Startposition in der Eingabe auftaucht
- 3 Gebe den Wörterbuch-Index für W aus und entferne W aus der Eingabe

- 1 Initialisiere das Wörterbuch mit allen Zeichenketten der Länge 1 und starte mit dem Eingabetext an Position 1
- 2 Finde im Wörterbuch den längsten String W der ab der Startposition in der Eingabe auftaucht
- 3 Gebe den Wörterbuch-Index für W aus und entferne W aus der Eingabe
- 4 Füge W plus dem nächsten Zeichen in der Eingabe dem Wörterbuch hinzu

- 1 Initialisiere das Wörterbuch mit allen Zeichenketten der Länge 1 und starte mit dem Eingabetext an Position 1
- 2 Finde im Wörterbuch den längsten String W der ab der Startposition in der Eingabe auftaucht
- 3 Gebe den Wörterbuch-Index für W aus und entferne W aus der Eingabe
- 4 Füge W plus dem nächsten Zeichen in der Eingabe dem Wörterbuch hinzu
- 5 Gehe zu Schritt 2

- 1 Initialisiere das Wörterbuch mit allen Zeichenketten der Länge 1 und starte mit dem Eingabetext an Position 1
 - 2 Finde im Wörterbuch den längsten String W der ab der Startposition in der Eingabe auftaucht
 - 3 Gebe den Wörterbuch-Index für W aus und entferne W aus der Eingabe
 - 4 Füge W plus dem nächsten Zeichen in der Eingabe dem Wörterbuch hinzu
 - 5 Gehe zu Schritt 2
- In der Regel maximale Länge des Wörterbuchs festgelegt
 - Codes länger als zu codierende Zeichen (Länge in Bits), Kompression durch Wiederholung von Substrings

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_,

Eingabe

b

mem ?

b

j

WB

Ausgabe

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_,

Eingabe

b
ba

mem

b
ba

?

j
n

WB

ba:5

Ausgabe

1

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba,

Eingabe

b

ba

ban

mem ?

b

ba

an

j

n

n

WB

ba:5

an:6

Ausgabe

1

1,0

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an,

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
bana	na	n	na:7	1,0,3

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:na,

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
bana	na	n	na:7	1,0,3
banan	an	j		1,0,3

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:na,

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
bana	na	n	na:7	1,0,3
banan	an	j		1,0,3
banana	ana	n	ana:8	1,0,3,6

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:na, 8:ana,

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
bana	na	n	na:7	1,0,3
banan	an	j		1,0,3
banana	ana	n	ana:8	1,0,3,6
banana_	a_	n	a_:9	1,0,3,6,0

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:na, 8:ana,9:a_,

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
bana	na	n	na:7	1,0,3
banan	an	j		1,0,3
banana	ana	n	ana:8	1,0,3,6
banana_	a_	n	a_:9	1,0,3,6,0
banana_b	_b	n	_b:10	1,0,3,6,0,4

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:na, 8:ana,9:a_,10:_b,

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
bana	na	n	na:7	1,0,3
banan	an	j		1,0,3
banana	ana	n	ana:8	1,0,3,6
banana_	a_	n	a_:9	1,0,3,6,0
banana_b	_b	n	_b:10	1,0,3,6,0,4
banana_ba	ba	j		1,0,3,6,0,4

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:na, 8:ana,9:a_,10:_b,

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
bana	na	n	na:7	1,0,3
banan	an	j		1,0,3
banana	ana	n	ana:8	1,0,3,6
banana_	a_	n	a_:9	1,0,3,6,0
banana_b	_b	n	_b:10	1,0,3,6,0,4
banana_ba	ba	j		1,0,3,6,0,4
banana_ban	ban	n	ban:11	1,0,3,6,0,4,5

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:na, 8:ana,9:a_,10:_b,11:ban,

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
bana	na	n	na:7	1,0,3
banan	an	j		1,0,3
banana	ana	n	ana:8	1,0,3,6
banana_	a_	n	a_:9	1,0,3,6,0
banana_b	_b	n	_b:10	1,0,3,6,0,4
banana_ba	ba	j		1,0,3,6,0,4
banana_ban	ban	n	ban:11	1,0,3,6,0,4,5
banana_band	nd	n	nd:12	1,0,3,6,0,4,5,3

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:na, 8:ana,9:a_,10:_b,11:ban, 12:nd,

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
bana	na	n	na:7	1,0,3
banan	an	j		1,0,3
banana	ana	n	ana:8	1,0,3,6
banana_	a_	n	a_:9	1,0,3,6,0
banana_b	_b	n	_b:10	1,0,3,6,0,4
banana_ba	ba	j		1,0,3,6,0,4
banana_ban	ban	n	ban:11	1,0,3,6,0,4,5
banana_band	nd	n	nd:12	1,0,3,6,0,4,5,3
banana_banda	da	n	da:13	1,0,3,6,0,4,5,3,2

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:na, 8:ana, 9:a_, 10:_b, 11:ban, 12:nd, 13:da

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
bana	na	n	na:7	1,0,3
banan	an	j		1,0,3
banana	ana	n	ana:8	1,0,3,6
banana_	a_	n	a_:9	1,0,3,6,0
banana_b	_b	n	_b:10	1,0,3,6,0,4
banana_ba	ba	j		1,0,3,6,0,4
banana_ban	ban	n	ban:11	1,0,3,6,0,4,5
banana_band	nd	n	nd:12	1,0,3,6,0,4,5,3
banana_banda	da	n	da:13	1,0,3,6,0,4,5,3,2
banana_bandan	an	j		1,0,3,6,0,4,5,3,2

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:na, 8:ana,9:a_,10:_b,11:ban, 12:nd, 13:da

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
bana	na	n	na:7	1,0,3
banan	an	j		1,0,3
banana	ana	n	ana:8	1,0,3,6
banana_	a_	n	a_:9	1,0,3,6,0
banana_b	_b	n	_b:10	1,0,3,6,0,4
banana_ba	ba	j		1,0,3,6,0,4
banana_ban	ban	n	ban:11	1,0,3,6,0,4,5
banana_band	nd	n	nd:12	1,0,3,6,0,4,5,3
banana_banda	da	n	da:13	1,0,3,6,0,4,5,3,2
banana_bandan	an	j		1,0,3,6,0,4,5,3,2
banana_bandana	ana	j		1,0,3,6,0,4,5,3,2,8

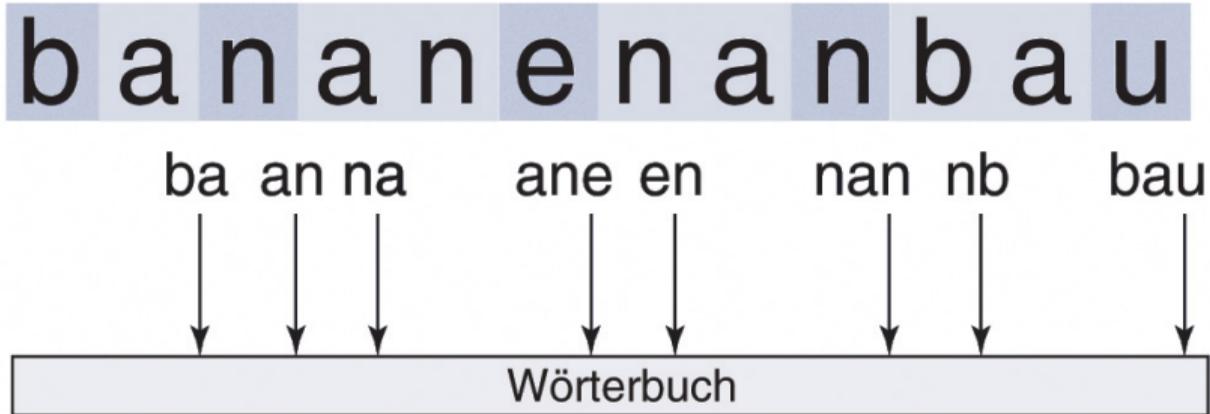


Abbildung 2.9: Ablauf des LZW-Algorithmus an einem Beispiel

Übung 5.2: LZW Kompression

Kanäle und
Medien

Digitalisierung

Kompression

Stochastische
Codierung

Andere Verfahren

- Initiales Wörterbuch:
 - 0:a, 1:b
- Kodiere:
 - abababab

LZW: Dekompression

- Nur das Ausgangs-Wörterbuch muß bekannt sein
 - Texte: ASCII?
- Der Rest des Wörterbuches wird bei der Dekompression mit erstellt

LZW: Dekompression

- Nur das Ausgangs-Wörterbuch muß bekannt sein
 - Texte: ASCII?
 - Der Rest des Wörterbuches wird bei der Dekompression mit erstellt
-
- 1 Lese das nächste Zeichen

LZW: Dekompression

- Nur das Ausgangs-Wörterbuch muß bekannt sein
 - Texte: ASCII?
 - Der Rest des Wörterbuches wird bei der Dekompression mit erstellt
-
- 1 Lese das nächste Zeichen
 - 2 Sehe im Wörterbuch nach und gebe das Zeichen aus

LZW: Dekompression

Kanäle und
Medien

Digitalisierung

Kompression

Stochastische
Codierung

Andere Verfahren

- Nur das Ausgangs-Wörterbuch muß bekannt sein
 - Texte: ASCII?
 - Der Rest des Wörterbuches wird bei der Dekompression mit erstellt
-
- 1 Lese das nächste Zeichen
 - 2 Sehe im Wörterbuch nach und gebe das Zeichen aus
 - 3 Erster Buchstabe des gelesenen Teilwortes wird mit gemerktem Teilwort zu einem neuen Eintrag

- Nur das Ausgangs-Wörterbuch muß bekannt sein
 - Texte: ASCII?
 - Der Rest des Wörterbuches wird bei der Dekompression mit erstellt
- 1 Lese das nächste Zeichen
 - 2 Sehe im Wörterbuch nach und gebe das Zeichen aus
 - 3 Erster Buchstabe des gelesenen Teilwortes wird mit gemerktem Teilwort zu einem neuen Eintrag
 - 4 Dekodiertes Teilwort wird gemerkt

LZW: Dekompression

- Nur das Ausgangs-Wörterbuch muß bekannt sein
 - Texte: ASCII?
 - Der Rest des Wörterbuches wird bei der Dekompression mit erstellt
-
- 1 Lese das nächste Zeichen
 - 2 Sehe im Wörterbuch nach und gebe das Zeichen aus
 - 3 Erster Buchstabe des gelesenen Teilwortes wird mit gemerktem Teilwort zu einem neuen Eintrag
 - 4 Dekodiertes Teilwort wird gemerkt
 - 5 Gehe zu Schritt 1

LZW: Dekompression Beispiel I

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_,

Eingabe

?

mem

WB

Ausgabe

1

1=b

b

LZW: Dekompression Beispiel I

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
1	1=b			b
1,0	0=a	b	5:ba	ba

LZW: Dekompression Beispiel I

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
1	1=b			b
1,0	0=a	b	5:ba	ba
10,3	3=n	a	6:an	ban

LZW: Dekompression Beispiel I

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
1	1=b			b
1,0	0=a	b	5:ba	ba
10,3	3=n	a	6:an	ban
103,2	2=d	n	7:nd	band

LZW: Dekompression Beispiel I

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:nd,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
1	1=b			b
1,0	0=a	b	5:ba	ba
10,3	3=n	a	6:an	ban
103,2	2=d	n	7:nd	band
1032,6	6=an	d	8:da	bandan

LZW: Dekompression Beispiel I

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:nd, 8:da,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
1	1=b			b
1,0	0=a	b	5:ba	ba
10,3	3=n	a	6:an	ban
103,2	2=d	n	7:nd	band
1032,6	6=an	d	8:da	bandan
10326,0	0=a	an	9:ana	bandana

LZW: Dekompression Beispiel I

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:nd, 8:da, 9:ana,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
1	1=b			b
1,0	0=a	b	5:ba	ba
10,3	3=n	a	6:an	ban
103,2	2=d	n	7:nd	band
1032,6	6=an	d	8:da	bandan
10326,0	0=a	an	9:ana	bandana
103260,4	4=_	a	10:a_	bandana_

LZW: Dekompression Beispiel I

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:nd, 8:da, 9:ana, 10:a_,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
1	1=b			b
1,0	0=a	b	5:ba	ba
10,3	3=n	a	6:an	ban
103,2	2=d	n	7:nd	band
1032,6	6=an	d	8:da	bandan
10326,0	0=a	an	9:ana	bandana
103260,4	4=_	a	10:a_	bandana_
1032604,5	5=ba	_	11:_b	bandana_ ba

LZW: Dekompression Beispiel I

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:nd, 8:da, 9:ana, 10:a_, 11:_b,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
1	1=b			b
1,0	0=a	b	5:ba	ba
10,3	3=n	a	6:an	ban
103,2	2=d	n	7:nd	band
1032,6	6=an	d	8:da	bandan
10326,0	0=a	an	9:ana	bandana
103260,4	4=_	a	10:a_	bandana_
1032604,5	5=ba	_	11:_b	bandana_ba
10326045,3	3=n	ba	12:ban	bandana_ban

LZW: Dekompression Beispiel I

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:nd, 8:da, 9:ana, 10:a_, 11:_b, 12:ban

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
1	1=b			b
1,0	0=a	b	5:ba	ba
10,3	3=n	a	6:an	ban
103,2	2=d	n	7:nd	band
1032,6	6=an	d	8:da	bandan
10326,0	0=a	an	9:ana	bandana
103260,4	4=_	a	10:a_	bandana_
1032604,5	5=ba	_	11:_b	bandana_ba
10326045,3	3=n	ba	12:ban	bandana_ban
103260453,9	9=ana	n	13:na	bandana_banana

LZW: Dekompression Beispiel II

Wörterbuch: 0:a, 1:b,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
0	0=a			a

LZW: Dekompression Beispiel II

Wörterbuch: 0:a, 1:b,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
0	0=a			a
0,1	1=b	a	2:ab	ab

LZW: Dekompression Beispiel II

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:ab,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
0	0=a			a
0,1	1=b	a	2:ab	ab
01,2	2=ab	b	3:ba	ab ab

LZW: Dekompression Beispiel II

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:ab, 3:ba,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
0	0=a			a
0,1	1=b	a	2:ab	ab
01,2	2=ab	b	3:ba	abab
012, 4	4=???	ab	???	abab???

LZW: Dekompression Beispiel II

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:ab, 3:ba,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
0	0=a			a
0,1	1=b	a	2:ab	ab
01,2	2=ab	b	3:ba	abab
012, 4	4=???	ab	???	abab???

- Die Situation, daß ein Eintrag noch nicht im Wörterbuch vorhanden ist, kann nur in einem Fall auftreten: Eingabestring der Form abababa (Wiederholung)

LZW: Dekompression Beispiel II

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:ab, 3:ba, 4:aba,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
0	0=a			a
0,1	1=b	a	2:ab	ab
01,2	2=ab	b	3:ba	abab
012, 4	4=???	ab	???	abab???

- Die Situation, daß ein Eintrag noch nicht im Wörterbuch vorhanden ist, kann nur in einem Fall auftreten: Eingabestring der Form ab**ab**aba (Wiederholung)
- Das zuletzt eingetragene Teilwort (**aba**) wurde gleich nach Erstellung des Eintrags im Wörterbuch benutzt

LZW: Dekompression Beispiel II

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:ab, 3:ba, 4:aba,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
0	0=a			a
0,1	1=b	a	2:ab	ab
01,2	2=ab	b	3:ba	abab
012, 4	4=???	ab	???	abab???

- Die Situation, daß ein Eintrag noch nicht im Wörterbuch vorhanden ist, kann nur in einem Fall auftreten: Eingabestring der Form abab**aba** (Wiederholung)
- Das zuletzt eingetragene Teilwort (**aba**) wurde gleich nach Erstellung des Eintrags im Wörterbuch benutzt

LZW: Dekompression Beispiel II

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:ab, 3:ba, 4:aba,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
0	0=a			a
0,1	1=b	a	2:ab	ab
01,2	2=ab	b	3:ba	abab
012,4	4= a ba	ab	4:aba	abab a

- Die Situation, daß ein Eintrag noch nicht im Wörterbuch vorhanden ist, kann nur in einem Fall auftreten: Eingabestring der Form abababa (Wiederholung)
- Das zuletzt eingetragene Teilwort (aba) wurde gleich nach Erstellung des Eintrags im Wörterbuch benutzt
- Wir nehmen unseren gemerkten Teilstring (ab) und fügen das erste Zeichen an das Ende an (aba), geben den Teilstring aus und fügen ihn im Wörterbuch hinzu

Video 5.3: LZW-Dekodierung

Codewort: 114-97-98-97-114-258-260-259-261-97

Letztes Wort	Aktuelles Zeichen	Merke	Codeausgabe
	114		r
r	97	a	a
a	98	b	

Wörterbuch (ASCII)			
a = 97	b = 98	r = 114	ra = 256


```

    graph TD
      Start([Start: LetztesWort bleibt leer, Erste Eingabezahl einlesen und in AktuellesZeichen speichern]) --> W1[Wörterbucheintrag von AktuellesZeichen auf Codeausgabe]
      W1 --> W2[LetztesWort = Wörterbucheintrag von AktuellesZeichen]
      W2 --> W3[Nächste Eingabezahl einlesen und in AktuellesZeichen speichern]
      W3 --> W4[Wörterbucheintrag von AktuellesZeichen auf Merke]
      W4 --> W5[Merke auf Codeausgabe]
      W5 --> W6[Erzeuge neuen Wörterbucheintrag für LetztesWort & 1. Zeichen von Merke]
      W6 --> W7[LetztesWort = Merke]
      W7 --> D{Weitere Zahlen einzulesen?}
      D -- Ja --> W3
      D -- Nein --> End([Ende])
    
```

ngocngo tran: LZW Dekodierung (10:57)

Kanäle, Codecs und Medien

Jörg Cassens

Institut für Mathematik und Angewandte Informatik

Medieninformatik
WS 2019/2020

