Digitaltechnik & Rechnersysteme

Einführung, Information & Kodierung

Martin Kumm

HOCHSCHULE FULDA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

WiSe 2025/2026

Wer bin ich?

AI | Angewandte Informatik

- Martin Kumm
- Prof. für *Embedded Systems*
- Sprechstunde: Nach Absprache per Mail
- Raum 124, Gebäude 46 (E)
- Mail: `martin.kumm@ai.hs-fulda.de`

Veranstaltungsübersicht

AI Angewandte Informatik

- 2 SWS Vorlesung
- 2 SWS Übung
- Angebot: Vorlesung jedes Wintersemester, Klausur jedes Semester
- Schriftliche Klausur am Ende des Semesters, 90 Minuten
- Hilfsmittel:
  - Nicht programmierbarer Taschenrechner
  - Handgeschriebene Formelsammlung:
    ein beidseitig beschriebenes DIN-A4 Blatt

Verwendete Tools

AI Angewandte Informatik

Zur Organisation der Veranstaltung wird Moodle und Discord verwendet:

- **Moodle**: Zentraler Anlaufpunkt für
  - Unterlagen (Vorlesungsfolien, Übungsblätter)
  - Vorlesungsaufzeichnungen
  - Abgabe von Hausübungen

  »Digitaltechnik und Rechnersysteme - AI1002 (WiSe25/26)«

  ➡ `https://elearning.hs-fulda.de/ai`
- **Rocket.chat**: Für alle asynchronen Fragen zu Übungen

Rocket.chat Channel

AI Angewandte Informatik

https://go.rocket.chat/invite?host=rocketchat.hs-fulda.de&path=invite%2FWipg9e

Übungen

AI Angewandte Informatik

Es drei Übungsgruppen:

1. Mo 17:15 – 18:45, Raum 46.107
2. Di 08:00 – 09:30, Raum 46.105
3. Di 09:50 – 11:20, Raum 46.107

Übungsleiter: Monika Schak:

Achtung: Die Übungen starten ab nächster Woche!

Jedes Übungsblatt ist aufgeteilt in

- Gruppenübung: Erlernen eines neuen Themengebietes
- Hausübung: Weitere Vertiefung mit Lernerfolgskontrolle

Gruppenübungen

AI Angewandte Informatik

- Während des Übungstermins werden die Übungen **von Ihnen** vorgestellt und ausführlich besprochen
- Kommen Sie nicht ohne Vorbereitung in die Übung (das bringt Ihnen sonst nichts!)
- Bilden Sie Lerngruppen!
- Versuchen Sie dabei Aufgaben selbstständig zu lösen!
- Nutzen Sie das Semester für die Vorbereitung!

Hausübungen

AI Angewandte Informatik

- Je Hausübung 10 Punkte erreichbar, 130 Punkte insgesamt
- 10 Zusatzpunkte bei Vorstellung einer Aufgabe
- **Bonussystem**: bei 100 Punkten oder mehr, Notenverbesserung um eine Stufe bei bestandener Klausur (0,3 oder 0,4 besser)
- Gesamtpunktzahl: Punkte in Hausübung + Punkte durch Vorstellung
- Wer die Aufgabe vorstellt wird am Anfang der Übung festgelegt, jeder kann sich freiwillig melden

Übungsablauf

Die Gruppenübungen werden von Ihnen **vor dem Übungstermin** vorbereitet

Gruppenübungen werden besprochen und es gibt Musterlösungen

Hausübungen werden online abgegeben und bewertet

Ablauf:

- Woche n, Vorlesung, **Bearbeitung Gruppenübung Thema** n
- Woche $n+1$, Besprechung Gruppenübung Thema n, Vorbesprechung Hausübung Thema n
- Woche $n+1$: **Bearbeitung Hausübung Thema** n
- Woche $n+1$: **So 23:59, Abgabe Hausübung Thema** n
- Woche $n+2$, Fr: Korrektur zu Hausübung Thema n abgeschlossen

blau: an der Hochschule grün: zu Hause/in Lerngruppe

Geplanter Ablauf

AI Angewandte Informatik

Termin*	Datum	Inhalt Vorlesung	Vorbereitung GÜ	Bearbeitung GÜ+HÜ	Abgabe HÜ
1	16.10.25	Orga + Motivation + Information & Kodierung	1		
2	23.10.25	Zahlenkodierung	2	1	26.10.25
3	30.10.25	Schaltfunktionen: Kombinatorische Schaltungen, Boolesche Algebra	3	2	02.11.25
4	06.11.25	Schaltfunktionen: Boolesche Algebra, Umformung	4	3	09.11.25
5	13.11.25	KV-Diagramme, Minimierung	5	4	16.11.25
6	20.11.25	Spezielle Schaltnetze, Arithmetik	6	5	23.11.25
7	27.11.25	Schaltwerke, Schaltwerksanalyse, Moore/Mealy	7	6	30.11.25
8	04.12.25	Latches, FFs, Synchrone Automaten	8	7	07.12.25
9	11.12.25	Automatenentwurf	9	8	14.12.25
10	18.12.25	Automatenentwurf / Zeitverhalten Gatter	10	9	21.12.25
	– Weihnachtspause (22.12.24-09.01.25) –				
11	15.01.26	Speicher / Minimal-Prozessor I	11	10	18.01.26
12	22.01.26	Minimal-Prozessor II, Rechner	12	11	25.01.26
13	29.01.26	MIPS-Prozessor, MIPS-Assembler	13	12	01.02.26
14	05.02.26	MIPS-Assembler, Ausblick / wrap-up		13	08.02.26
15	12.02.26	Exkursion Konrad-Zuse Museum?			

*Ablauf vorläufig, Inhalte können sich verschieben

Literatur zu Teil 1 - Digitaltechnik

AI Angewandte Informatik

- Lipp, H. M., Becker J.: *Grundlagen der Digitaltechnik*; Oldenbourg Verlag; 7. verb. Aufl.; 2011; ISBN 978-3-486-70693-2
  ➧ Online aus Compusnetz verfügbar
- Mano, M. Morris and Ciletti, Michael D.: *Digital Design*; Pearson International Edition; 4. Aufl.; 2007; ISBN 0132340437

Literatur zu Teil 2 - Rechnerarchitektur

- Hennessy, J. L. und Patterson, D. A.: *Computer architecture: a quantitative approach*, Morgan Kaufmann, 2012
  ➧ Online aus Compusnetz verfügbar

  bzw. die deutsche Übersetzung:

  Hennessy, J. L. und Patterson, D. A.: *Rechnerorganisation und Rechnerentwurf*, Oldenbourg Verlag München, 2011

- Tanenbaum, Andrew S.: *Rechnerarchitektur: von der digitalen Logik zum Parallelrechner*, 6., aktualisierte Aufl., Pearson, 2014

Makerspace

AI Angewandte Informatik

Makerspace am Fachbereich AI!

- Für alle die DIY-Projekte umsetzen wollen
- Bietet Zugang zu Werkzeugen (z.B. 3D-Drucker, Laser-Cutter), Entwicklungsboards (Arduino, Raspberry Pi, etc.) und Messgeräten (Oszilloskop, Multimeter, etc.)

Zentrale Frage

AI Angewandte Informatik

Wie funktioniert ein Computer?

Warum?

AI Angewandte Informatik

🤔 Warum interessiert mich das?

Als Informatiker benötigen Sie ein Grundverständnis über die Funktionsweise von Rechnern um ...

- Selbst Rechner zu konstruieren (ok, eher unwahrscheinlich)
- Effiziente Programme schreiben zu können
- Hardware-nahes Programmieren (Embedded Systems)

➡ **Um zu verstehen wie diese »Black Box« tickt**

Wie?

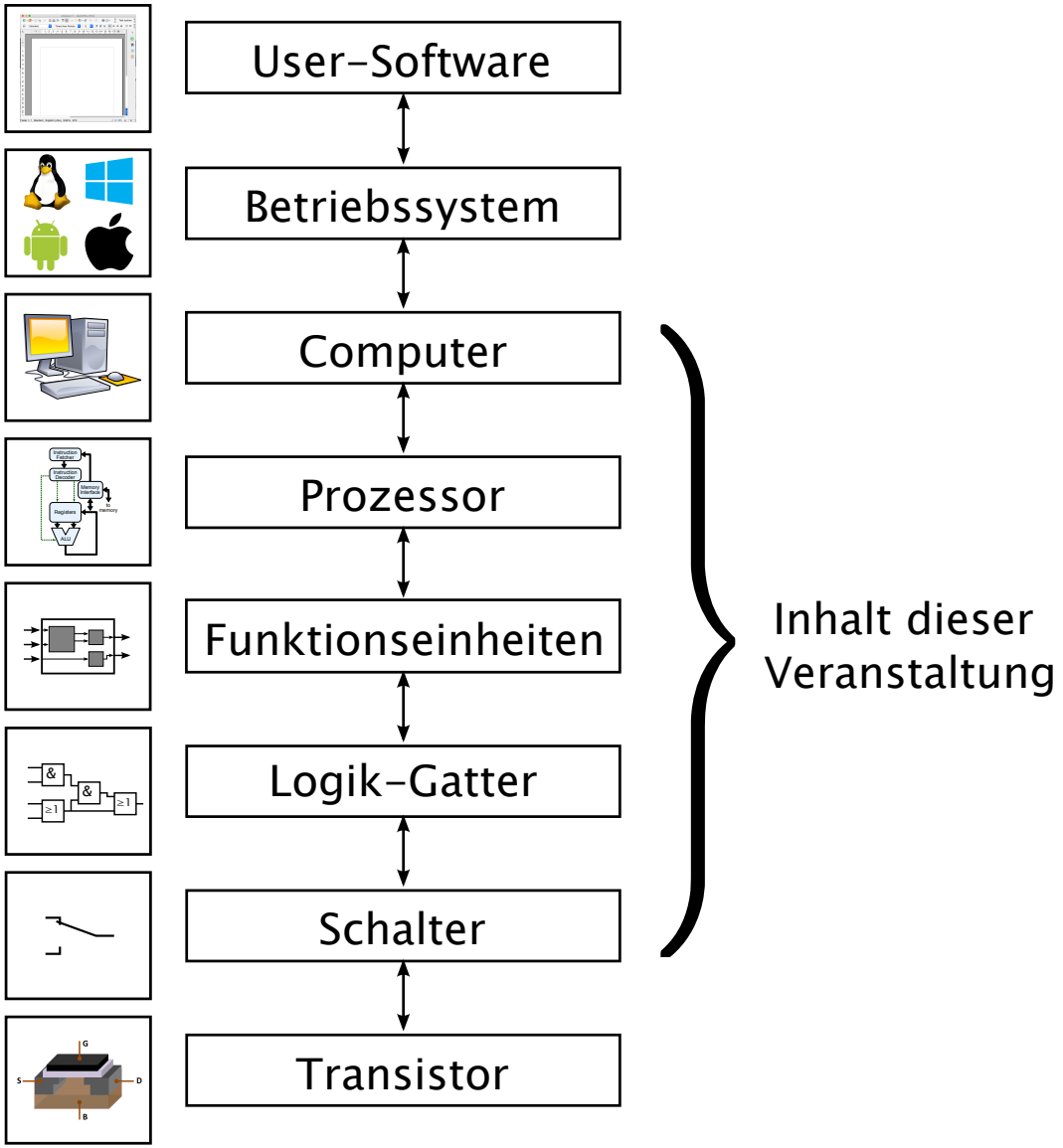
AI | Angewandte Informatik

🤔 Ok, aber ist das nicht sau-komplex?

🙂 Klar, aber zu bewältigen dank der **Macht der Abstraktion**!

Die Macht der Abstraktion

AI Angewandte Informatik



Ansatz der Veranstaltung: Bottom-Up!

Information

Bevor wir uns der Informations*verarbeitung* widmen, sollten wir klären was Information überhaupt bedeutet...

Was ist Information?

AI Angewandte Informatik

Information: Kommunizierte oder empfangene Daten, die Ungewissheit über ein bestimmtes Fakt oder einen Sachverhalt auflöst.

Informationsgehalt wird in Bit gemessen.

Ein Bit?

Das Bit

AI Angewandte Informatik

- Bit ist die Kurzform für *binary digit* (deutsch: binäre Stelle)
- Lateinisch *bina* bedeutet doppelt oder zwei
- Ein Bit kann zwei Werte annehmen: 0 und 1
- Das Bit ist die kleinste Informationseinheit
- Technisch realisiert als
  - Spannung vorhanden, z.B. 5V (1) oder nicht (0)
  - Schalter geschlossen (1) oder offen (0)
  - Material magnetisiert (1) oder nicht (0)
  - ...

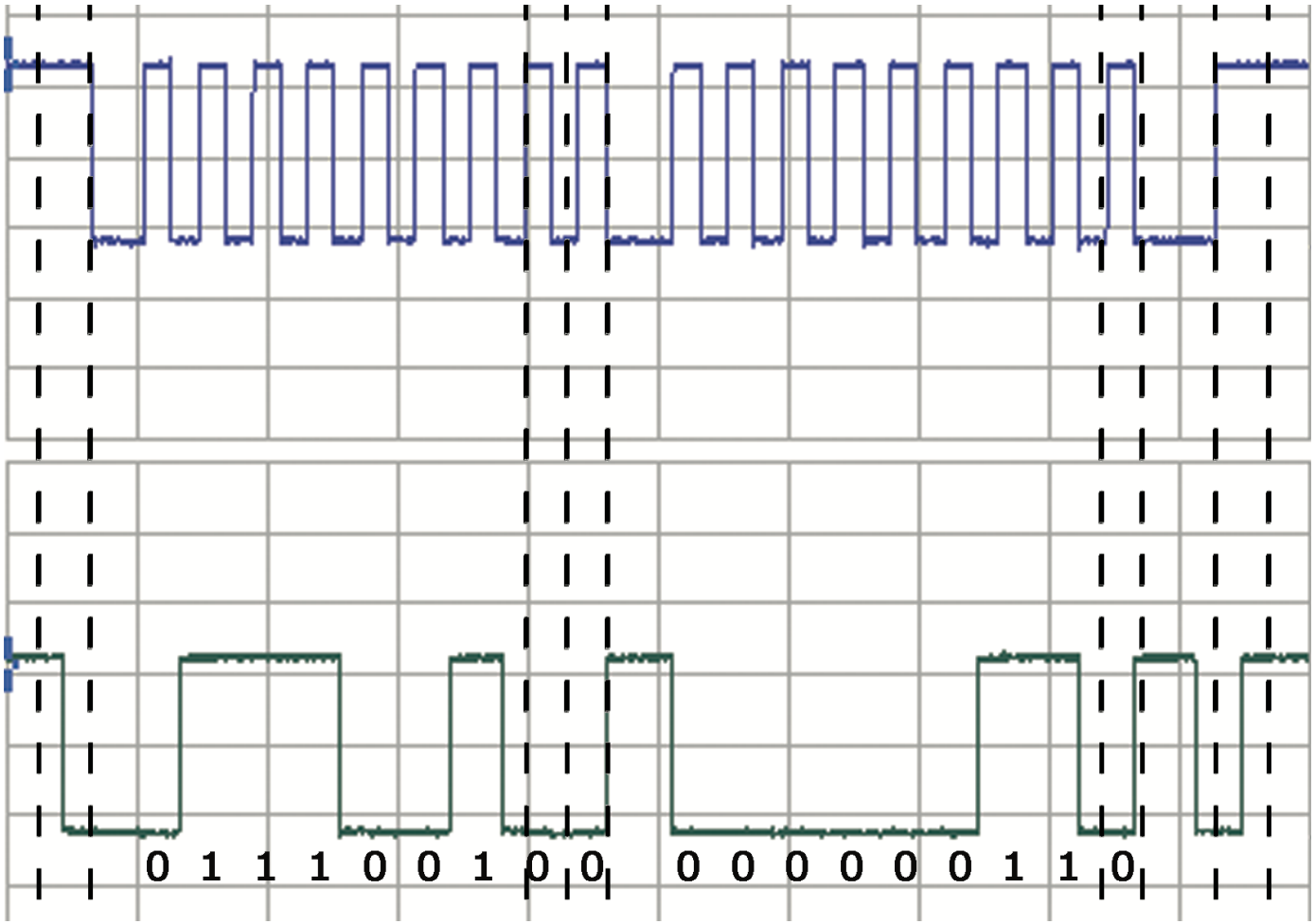
Darstellung von 0 und 1

Häufigste Darstellung in digitalen Schaltungen (Computer):
0 und 1 werden mit Spannungspegeln signalisiert

Beispiel, 5V CMOS Logik: 0: 0 V . . . 1,5 V
1: 3,5 V . . . 5 V

Bei modernen CPUs sind Pegel deutlich kleiner, z.B. 1,2 V (Core i7)

Beispiel: Serielle Datenübertragung



Und was bringt uns das?

AI Angewandte Informatik

🤔 Ok, mit einem Bit kann ich zwei verschiedene *Dinge* darstellen. Aber wie kann ich damit komplexere Informationen darstellen, z.B. Text?

🙂 Mit mehr Bits!

Die verschiedenen *Dinge* werden hierbei als **Symbole** bezeichnet.

Die mehreren Bits werden **Codewort** bezeichnet

Codes

- Ein Code ist eine Abbildungsvorschrift für eindeutige Zuordnung (Codierung) von
  - Symbolen einer Urmenge zu
  - Symbolen einer Bildmenge.
- Die Zuordnung muss nicht (eindeutig) umkehrbar sein

In der Digitaltechnik:

- Bildmenge ist i.d.R. Vektor aus 0 und 1, d.h. $X \in \{0,1\}^N$
- Vektor X wird als Codewort bezeichnet
- Mit N Bit lassen sich $K = 2^N$ unterschiedliche Symbole darstellen
- Umgekehrt werden für K Symbole $N = \log_2(K)$ bits benötigt

Binäre Codewörter

Codewortlänge	Mögliche Codewörter	Anzahl Codewörter
1 Bit	0, 1	2
2 Bit	00, 01, 10, 11	4
3 Bit	000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111	8
4 Bit	0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111, 1000, 1001, 1010, 1011, 1100, 1101, 1110, 1111	16
⋮		
N Bit	$\underbrace{00\ldots00}_{=N}, \ldots, \underbrace{11\ldots11}_{=N}$	2^N

Informationsdarstellung

AI Angewandte Informatik

Codierung von Information: gibt der Information günstige Eigenschaften bzgl. Merkmalen wie

- Verarbeitbarkeit
- Lesbarkeit (Mensch / Maschine)
- Übertragbarkeit
- Fehlersicherheit
- Speicherbarkeit

Je nach Ziel werden unterschiedliche **Codes** verwendet

Beispiel: Textcodierung

Angewandte Informatik

Codewort	Symbol	Codewort	Symbol	Codewort	Symbol	Codewort	Symbol
0000000	NUL	0100000	␣ (space)	1000000	@	1100000	‘
0000001	SOH	0100001	!	1000001	A	1100001	a
0000010	STX	0100010	“	1000010	B	1100010	b
0000011	ETX	0100011	#	1000011	C	1100011	c
0000100	EOT	0100100	$	1000100	D	1100100	d
0000101	ENQ	0100101	%	1000101	E	1100101	e
0000110	ACK	0100110	&	1000110	F	1100110	f
0000111	BEL	0100111	’	1000111	G	1100111	g
0001000	BS	0101000	(	1001000	H	1101000	h
0001001	TAB	0101001	)	1001001	I	1101001	i
0001010	LF	0101010	*	1001010	J	1101010	j
0001011	VT	0101011	+	1001011	K	1101011	k
0001100	FF	0101100	,	1001100	L	1101100	l
0001101	CR	0101101	-	1001101	M	1101101	m
0001110	SO	0101110	.	1001110	N	1101110	n
0001111	SI	0101111	/	1001111	O	1101111	o
0010000	DLE	0110000	0	1010000	P	1110000	p
0010001	DC1	0110001	1	1010001	Q	1110001	q
0010010	DC2	0110010	2	1010010	R	1110010	r
0010011	DC3	0110011	3	1010011	S	1110011	s
0010100	DC4	0110100	4	1010100	T	1110100	t
0010101	NAK	0110101	5	1010101	U	1110101	u
0010110	SYN	0110110	6	1010110	V	1110110	v
0010111	ETB	0110111	7	1010111	W	1110111	w
0011000	CAN	0111000	8	1011000	X	1111000	x
0011001	EM	0111001	9	1011001	Y	1111001	y
0011010	SUB	0111010	:	1011010	Z	1111010	z
0011011	ESC	0111011	;	1011011	[	1111011	{
0011100	FS	0111100	«	1011100	\	1111100	|
0011101	GS	0111101	=	1011101	]	1111101	}
0011110	RS	0111110	»	1011110	^	1111110	-
0011111	US	0111111	?	1011111	_	1111111	DEL

Für moderne Textkodierung: »UTF-8, Explained Simply«

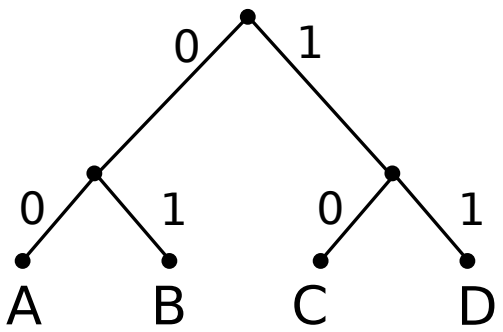
`https://www.youtube.com/watch?v=vpSkBV5vydg`

Codierung mit fester Länge

Wenn alle Möglichkeiten gleich wahrscheinlich sind (oder es keinen Grund zu einer anderen Annahme gibt), dann wird oft eine Codierung mit **fester Länge** gewählt. Ein solcher Code wird wenigstens genug Bit haben, um den Informationsinhalt zu repräsentieren.

Darstellung eines Code als Binärbaum:

Codewort	Symbol
00	A
01	B
10	C
11	D



⇒ Ein Beispiel ist der 7-Bit ASCII Code

Codierung mit variabler Länge

Wir hätten gerne, dass unsere Codierung die Bits effizient nutzt:

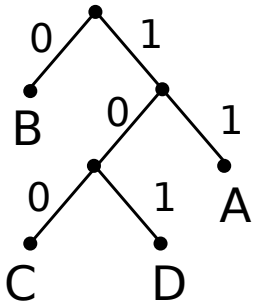
> **Ziel**: Beim Codieren von Daten würden wir gerne die Codelänge an den Informationsgehalt der Daten anpassen.

Im praktischen Gebrauch heißt das:

- Höhere Wahrscheinlichkeit → kürzere Codierung
- Niedrigere Wahrscheinlichkeit → längere Codierung

Beispiel mit variabler Länge

$Wahl_i$	p_i	Kodierung
"A"	1/3	11
"B"	1/2	0
"C"	1/12	100
"D"	1/12	101



B ↔ 0

A ↔ 11

C ↔ 100

D ↔ 101

Hohe Wahrscheinlichkeit
weniger Information

Geringe Wahrscheinlichkeit,
mehr Information

0100111011101

B C A B A D

Erwartete Länge dieser Codierung für ein Symbol:

$$(2)(1/3) + (1)(1/2) + (3)(1/12)(2) = 1{,}667 \text{ Bit}$$

Erwartete Länge für 1000 Symbole:

- mit fester Länge, 2 Bit/Symbol = 2000 Bit
- mit variabler Länge = 1667 Bit

Vorlesungsaufgabe

Sie Empfangen die folgende Nachricht:

0110100101011

Wie lautet deren Inhalt bei folgender Codierung?

Symbol	Kodierung
A	11
B	0
C	100
D	101

Huffman-Codierung

AI Angewandte Informatik

🤔 Wie erhält man die günstigste Codierung?

➡ Die günstigste Codierung bezügl. min. Informationsgehalt ist die Huffman-Codierung

Den Huffman-Code erhält man durch die Konstruktion des Kodierungsbaums von den Blättern bis zur Wurzel:

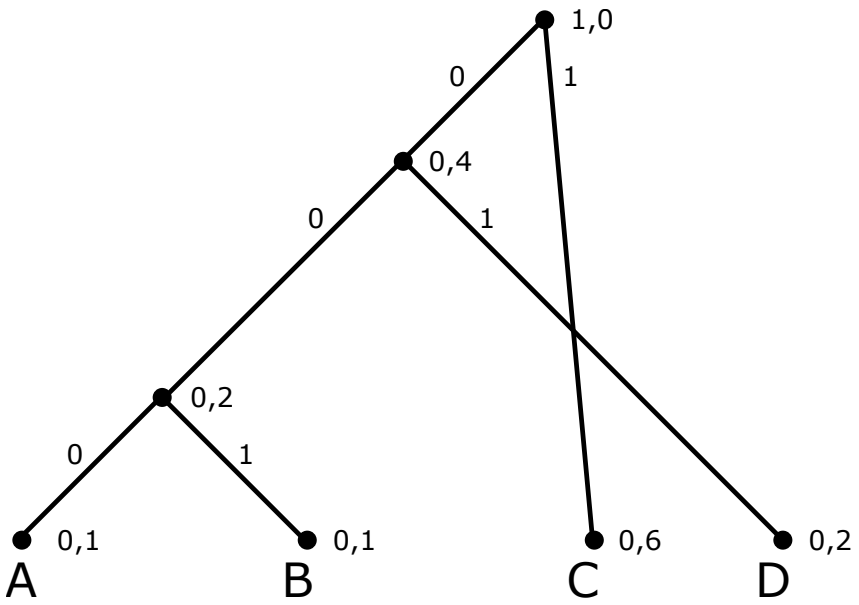
1. Jedes Symbol wird als Blatt-Knoten mit seiner Wahrscheindlichkeit dargestellt
2. Die zwei günstigsten noch nicht verbundenen Knoten werden zusammengefasst zu einem neuen Knoten
3. Die Wahrscheinlichkeiten werden addiert und ergeben die Wahrscheinlichkeit des neuen Knoten
4. Wiederhole ab Schritt 2 bis Wurzelknoten erreicht ist

Beispiel: Huffman-Codierung

Wir suchen die minimale Huffman-Codierung für folgende Symbole:

Symbol	Wahrscheinlichkeit	Kodierung
A	0,1	?
B	0,1	?
C	0,6	?
D	0,2	?

Lösung des Beispiels



Symbol	Wahrscheinlichkeit	Kodierung
A	0,1	000
B	0,1	001
C	0,6	1
D	0,2	01