



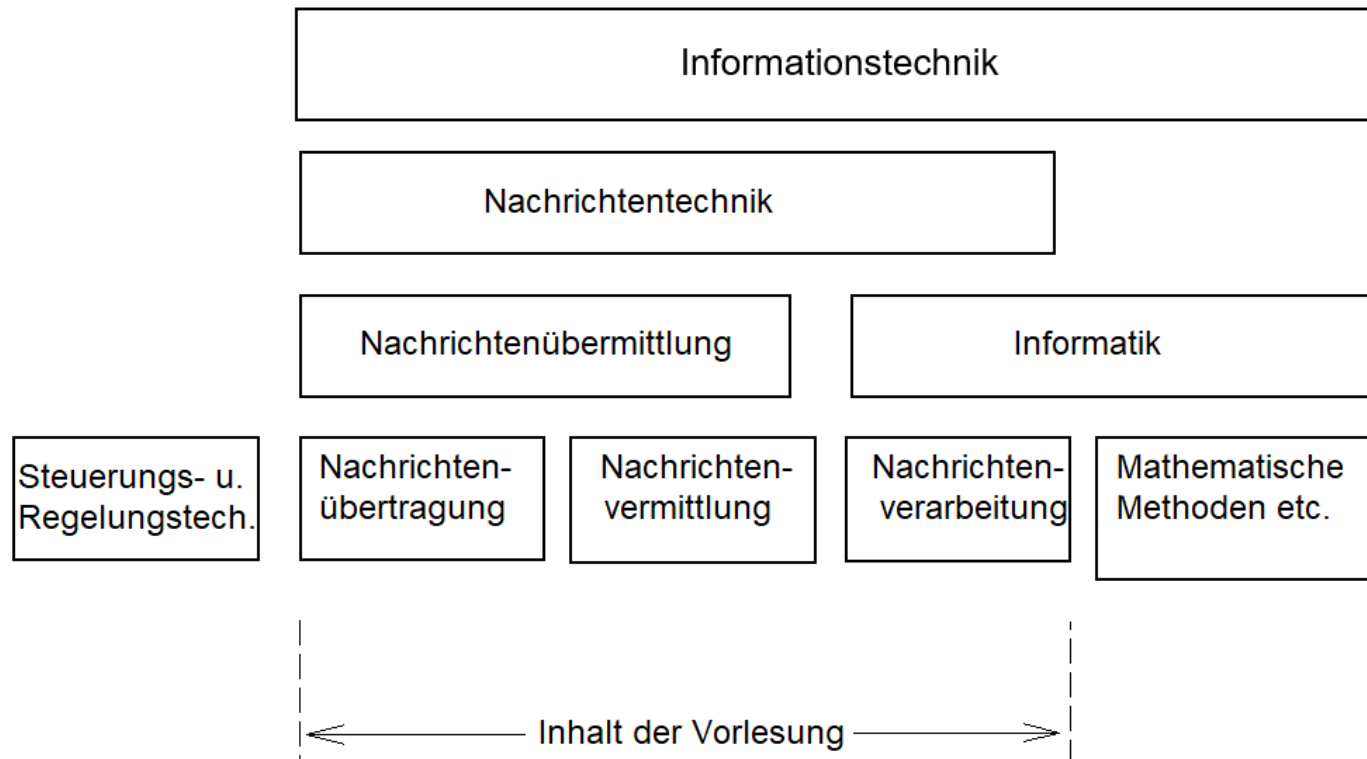
Technische Grundlagen der Informatik

WS 2023/24

Teil 2: Nachrichtentechnik

Einführung
und Grundbegriffe der Informationstechnik

Dr. Solveig Schüßler



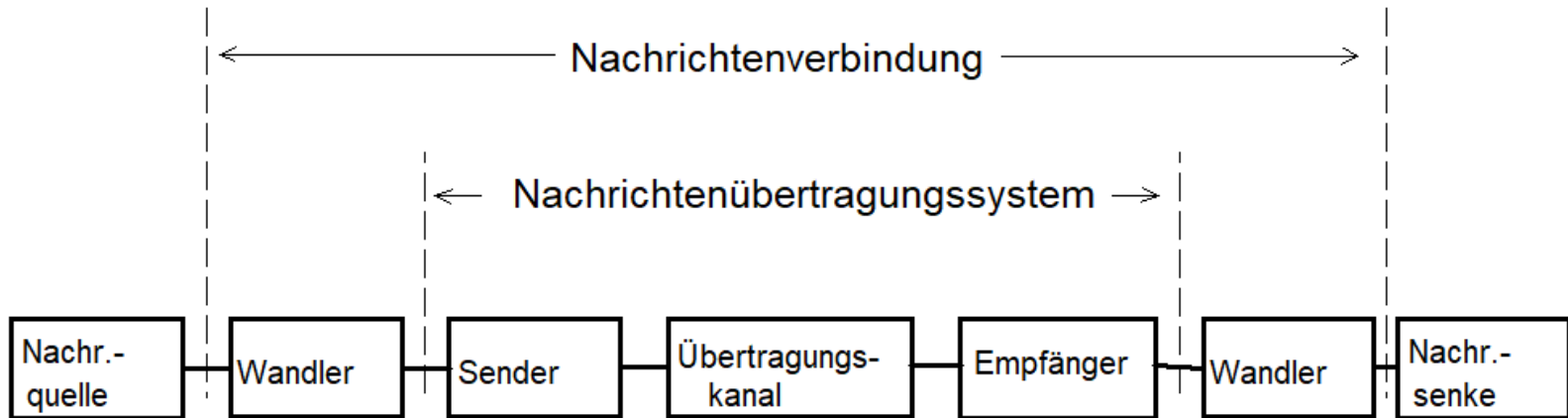


Inhalte der LV

- Grundlagen der Informationstheorie
- Signale im Zeit und Frequenzbereich
 - Signalarten (periodische und einmalige Signale)
 - Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich
 - Abtasttheorem
- Nachrichtenübertragung
 - Übertragungsfunktion
 - Übertragungsqualität
 - Übertragungsmedien

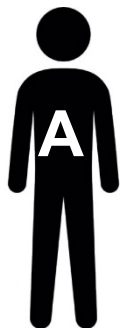


Allgemeingültiges Blockschaltbild der Nachrichtenübertragung

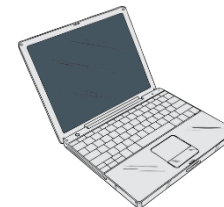
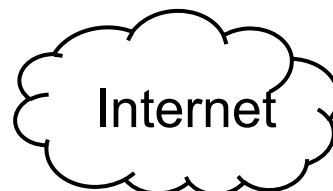


Erklärungen zu den einzelnen Komponenten finden sich auch im Skript S. 2 und 3

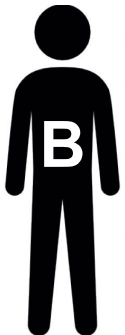
Additive Störsignale



Kamera
Mikrofon

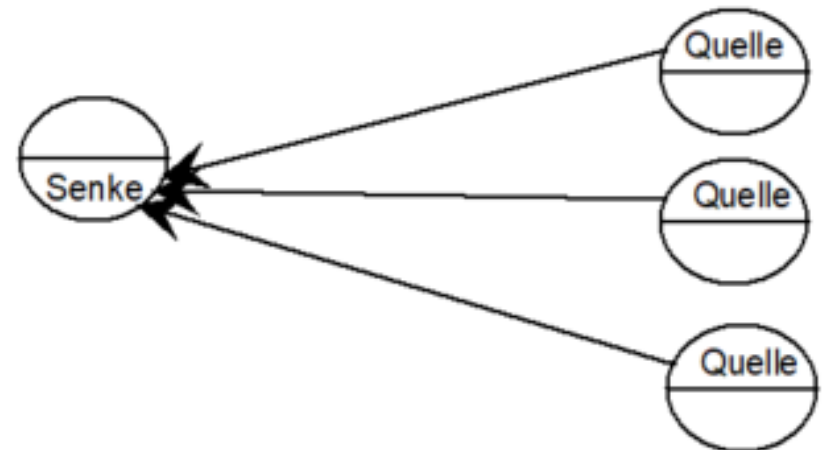
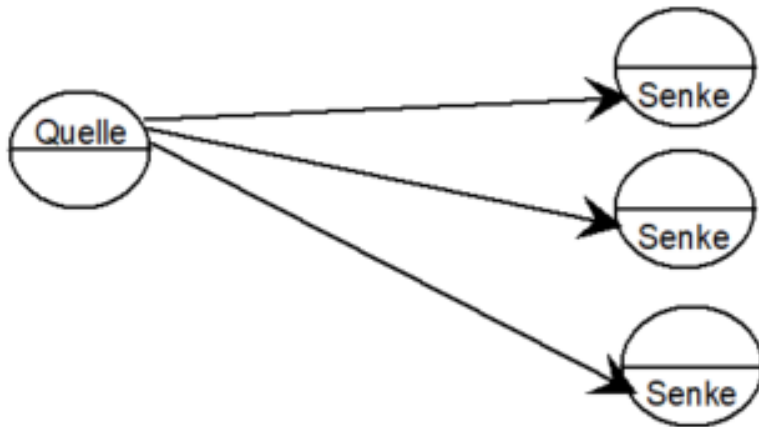


Lautsprecher
Display





Kommunikationsformen





Information(en): Mitteilung / Auskunft

- Wissen, das ein Absender einem oder mehreren Empfängern vermittelt
- Strukturiert, haben Nutzen für Betrachter („Neuigkeitswert“)
- werden aufgenommen, gespeichert, verarbeitet, weitergegeben, **müssen hierfür aber an einen Träger gebunden sein**

Nachricht: = Grundelement der Kommunikation

- „Träger der Informationen“ im Übertragungsprozess
- Lässt sich qualitativ als Signal und quantitativ als bedeutungstragendes Zeichen beschreiben
- Während Kommunikation auf Basis eines (beidseitig bekannten) Codes von Sender zu Empfänger übertragen
- Entschlüsselung der Information durch Dekodierung der Nachricht zusammen mit bekanntem Kontext



Signal:

- physikalische Erscheinungsform einer Nachricht zum Zwecke der Übertragung (die Information einer physikalischen Größe aufgeprägt)
- zeitabhängige Größe

Daten:

- sind Rohinformationen in Form von Zahlen, Buchstaben, Symbolen, Töne...
- unstrukturiert, Bedeutung/ Kontext ersteinmal nicht erkennbar
- werden zwischen Systemen übertragen oder sind gespeichert

Code: ist eine Vorschrift, wie Nachrichten zur Übertragung oder Weiterverarbeitung für ein Zielsystem umgewandelt werden (z.B. Morsecode, Blindenschrift, Dualcode)



- ➔ Wir übermitteln also ganz allgemein über physikalische Übertragungskanäle Informationen bzw. tauschen Informationen aus.
- ➔ Übertragen werden Nachrichten in Form von (physikalischen) Signalen. Zugrundeliegendes Kodierungen müssen bekannt sein.
- ➔ Über konkrete Formen hierzu machen wir uns später Gedanken.

Informationstheorie

- Mathematische Theorie aus Bereich Wahrscheinlichkeitsrechnung
- Begriffe: Information, Entropie, Codewort, (Datenkompression, Kodierung), max. Kanalkapazität/Datenübertragungsrate, ...
- qualitative und quantitative Beschreibung von Information
- Theorie u.a. nach: Shannon (USA) , Kotelnikov (UdSSR) ca. 1948



Einführendes Beispiel



Zusammenfassung Information / Informationsgehalt

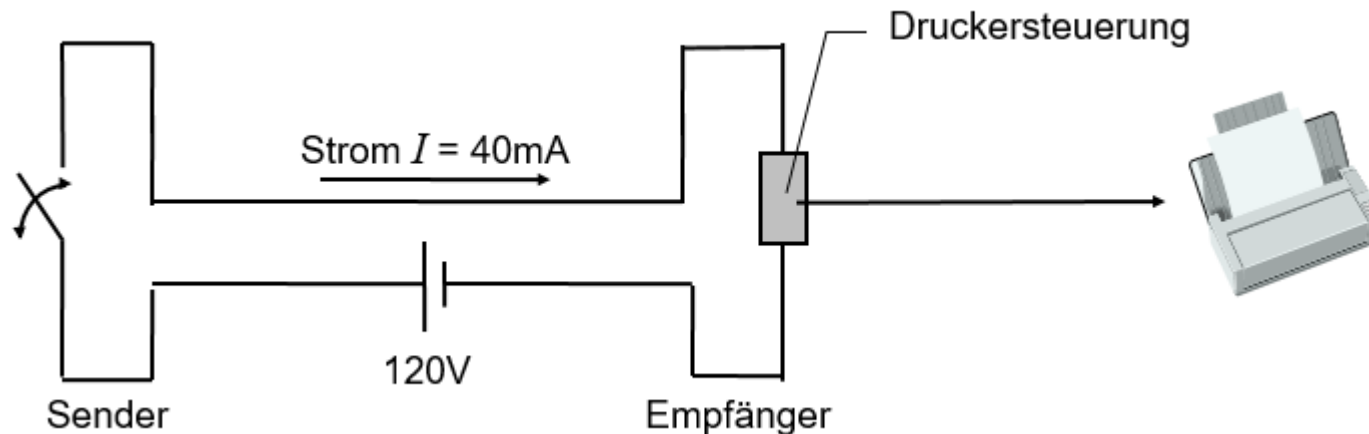
- Informationen werden vom Sender zum Empfänger über ein Medium übertragen
- Information ist eine räumliche oder zeitliche Folge physikalischer Signale, die mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten auftreten
- Ein Zeichen kann mit mehreren JA/NEIN-Fragen aus einem Zeichenvorrat gewählt werden. (Kodiert man die Zeichen mithilfe von Bitstellen, entspricht ein Bit dabei einer Antwort auf so eine Ja/Nein-Frage)
- Informationsgehalt ist abhängig von der Auftrittswahrscheinlichkeit (Ist die Antwort bekannt/ keine Frage nötig: Information 0 \leftarrow unveränderliches Signal)

➔ Der Informationsgehalt ist messbar.



Einfaches Bsp. zur „Technikseite“ der Datenübertragung: Telex (ca. 1930 – 1980; 2007 durch Telekom beendet)

- Zweidrahtleitung, 2 „Zustände“ – kein Strom oder 40mA
- Asynchrone Übertragung mit Start- und Stoppbit
- Ein übertragenes Zeichen: 5 Bit (+ ein Startbit und ein Stoppbit)
- Startbit, Datenbit: 20ms, Stoppbit: mind. 30ms



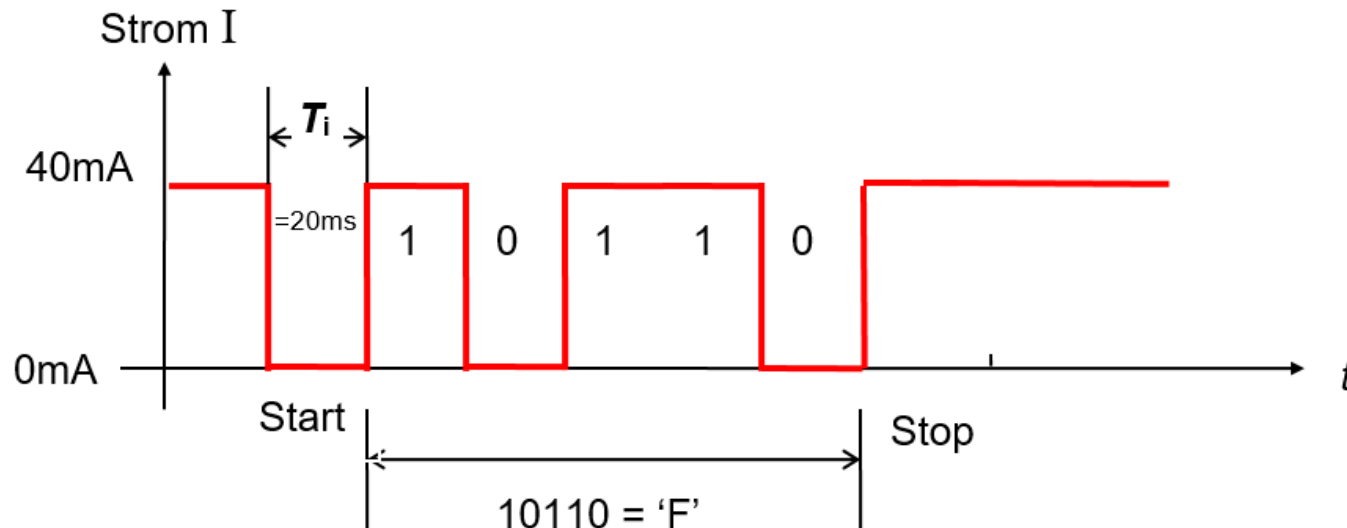
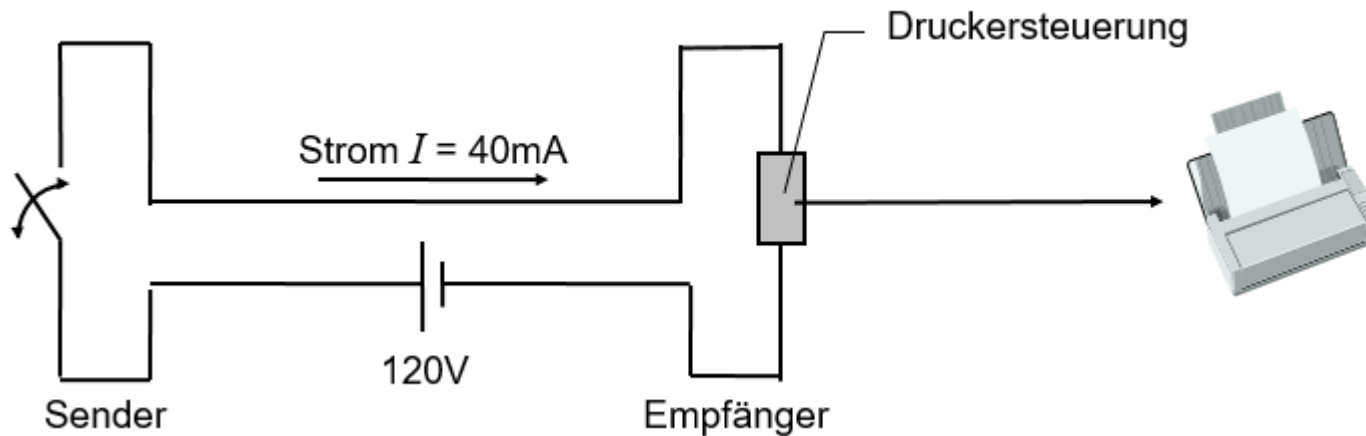


Ein Zeichen: 5Bit, z.B. „F“ \rightarrow 10110

Wieviele unterschiedliche Zeichen lassen
sich darstellen?

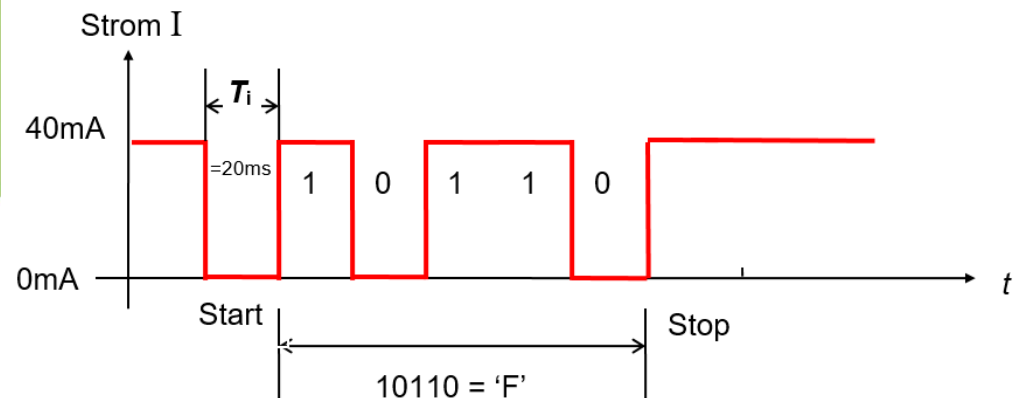
Wieviele ja/nein-Fragen muss ich mind.
stellen, um das Zeichen zu ermitteln?

Informationstheorie – Grundbegriffe



Nr.	Bu	Zi	1	2	3	4	5
1	A	—	•	•			
2	B	?	•			•	•
3	C	:		•	•	•	
4	D	+	•			•	
5	E	3	•				
6	F		•		•	•	
7	G			•		•	•
8	H				•		•
9	I	8		•	•		
10	J	9	•	•		•	
11	K	(•	•	•	•	
12	L)		•			•
13	M	.			•	•	•
14	N	,			•	•	
15	O	9				•	•
16	P	0		•	•	•	•
17	Q	1	•	•	•		•
18	R	4		•		•	
19	S	'	•		•		
20	T	5					•
21	U	7	•	•	•		
22	V	=		•	•	•	•
23	W	2	•	•			•
24	X	/	•		•	•	•
25	Y	6	•		•		•
26	Z	+	•				•
27	<(Wagenr.)					•	
28	≡(Zeile)		•				
29	A... (Bu)		•	•	•	•	•
30	1... (Zi)		•	•		•	•
31	Zwischenr.			•			
32							

Informationstheorie – allg. Grundbegriffe



Codeelement

einfachstes Element zur Darstellung von Information
(1 Codeelement entspricht 1 Schritt)

Beispiel:

Telex: ein Codeelement entspricht Strom bzw. kein Strom (für eine Dauer von 20ms)

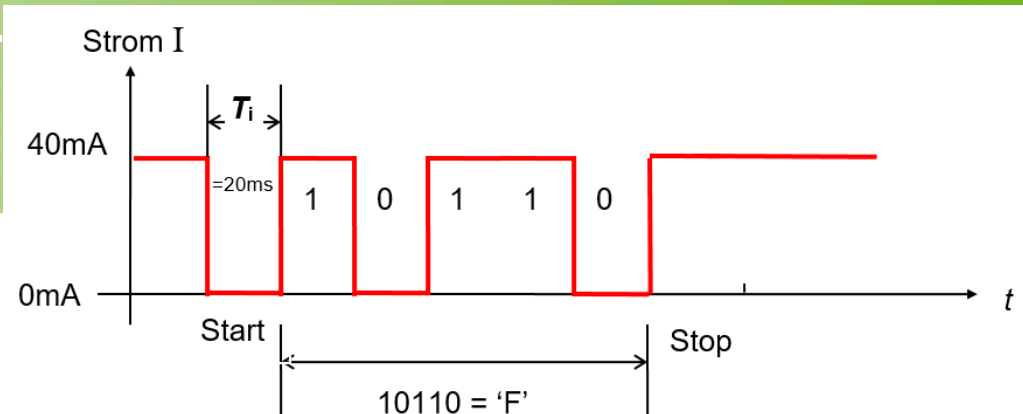
Codezeichen oder Codewort

zusammengehörige Gruppe von Codeelementen. Insgesamt existiert eine endliche Menge von unterschiedlichen Codezeichen.

Beispiel:

Telex: 5 Codeelemente bilden hier ein Codewort

Informationstheorie – allg. Grundbegriffe



Stufenzahl n

Anzahl verfügbarer, unterschiedlicher Codeelemente (pro Schritt)

Telex: $n =$

Stellenzahl m

Anzahl der Codeelemente pro Codezeichen/Codewort

Telex: $m =$



Beispiele wir legen fest: Stellenzahl $m = 5$

$n = 2$

(Bsp. Telex – binäre Codierung)

$I=0A \rightarrow „0“$ $I=40mA \rightarrow „1“$

$n = 4$

$n = 8$



**Wieviele verschiedene Codeworte könnten jeweils dargestellt werden?
(dies entspricht dem Zeichenvorrat N_0)**

Allg. Berechnungsvorschrift:

$n=2$

$n=4$

$n=8$

wir hatten festgelegt: Stellenzahl $m = 5$



Codezeichenvorrat N_0

endliche Menge von Codezeichen, die mit n Stufen und m Stellen prinzipiell dargestellt werden können. Es gilt: $N_0 = n^m$

Beispiel:

Telex: $N_0 = 2^5 = 32$ Codezeichen

Informationstheorie – allg. Grundbegriffe

Alphabet geordneter Zeichenvorrat

Code

Vorschrift für die eindeutige Zuordnung der Zeichen eines Zeichenvorrats zu denjenigen eines anderen Zeichenvorrats.

Deutschland						
Nr.	Bu	Zi	1	2	3	4 5
1	A	—	•	•		
2	B	?	•		•	•
3	C	:		•	•	•
4	D	⊕	•			•
5	E	3	•			
6	F		•		•	•
7	G			•		•
8	H				•	•
9	I	8		•	•	
10	J	⊙	•	•		•
11	K	(•	•	•	•
12	L)		•		•
13	M	.			•	•
14	N	,			•	•
15	O	9				•
16	P	0		•	•	•
17	Q	1	•	•	•	•
18	R	4		•		•
19	S	'	•		•	
20	T	5				•
21	U	7	•	•	•	
22	V	=		•	•	•
23	W	2	•	•		•
24	X	/	•		•	•
25	Y	6	•		•	•
26	Z	+	•			•
27	<(Wacerr.)					•
28	≡(Zeile)		•			
29	A... (Bu)		•	•	•	•
30	1... (Zi)		•	•		•
31	Zwischenr.			•		
32						



Übungsaufgabe

Annahme: wir übertragen ASCII-Code, jedes Codezeichen wird in $8\mu\text{s}$ übertragen (Protokolle, Handshakes ... werden nicht beachtet)

→ ein ASCII-Zeichen ____ Bit

Bestimmen Sie

Stellenzahl $m =$

Stufenzahl $n =$

Codezeichenvorrat: $N_0 =$



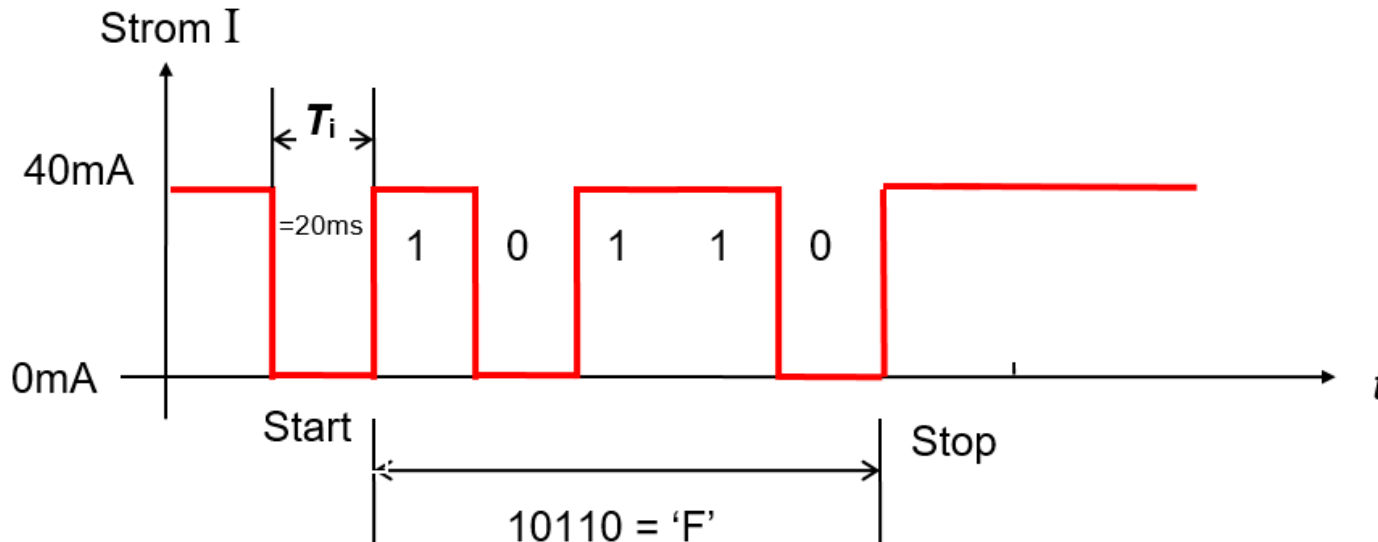
ASCII-Tabelle

Dec	Hex	Oct	Chr	Dec	Hex	Oct	HTML	Chr	Dec	Hex	Oct	HTML	Chr	Dec	Hex	Oct	HTML	Chr
0	0	000	NULL	32	20	040	 	Space	64	40	100	@	@	96	60	140	`	`
1	1	001	SoH	33	21	041	!	!	65	41	101	A	A	97	61	141	a	a
2	2	002	SoTxt	34	22	042	"	"	66	42	102	B	B	98	62	142	b	b
3	3	003	EoTxt	35	23	043	#	#	67	43	103	C	C	99	63	143	c	c
4	4	004	EoT	36	24	044	$	\$	68	44	104	D	D	100	64	144	d	d
5	5	005	Enq	37	25	045	%	%	69	45	105	E	E	101	65	145	e	e
6	6	006	Ack	38	26	046	&	&	70	46	106	F	F	102	66	146	f	f
7	7	007	Bell	39	27	047	'	'	71	47	107	G	G	103	67	147	g	g
8	8	010	Bsp	40	28	050	((72	48	110	H	H	104	68	150	h	h
9	9	011	HTab	41	29	051))	73	49	111	I	I	105	69	151	i	i
10	A	012	LFeed	42	2A	052	*	*	74	4A	112	J	J	106	6A	152	j	j
11	B	013	VTab	43	2B	053	+	+	75	4B	113	K	K	107	6B	153	k	k
12	C	014	FFeed	44	2C	054	,	,	76	4C	114	L	L	108	6C	154	l	l
13	D	015	CR	45	2D	055	-	-	77	4D	115	M	M	109	6D	155	m	m
14	E	016	SOut	46	2E	056	.	.	78	4E	116	N	N	110	6E	156	n	n
15	F	017	SIn	47	2F	057	/	/	79	4F	117	O	O	111	6F	157	o	o
16	10	020	DLE	48	30	060	0	0	80	50	120	P	P	112	70	160	p	p
17	11	021	DC1	49	31	061	1	1	81	51	121	Q	Q	113	71	161	q	q
18	12	022	DC2	50	32	062	2	2	82	52	122	R	R	114	72	162	r	r
19	13	023	DC3	51	33	063	3	3	83	53	123	S	S	115	73	163	s	s
20	14	024	DC4	52	34	064	4	4	84	54	124	T	T	116	74	164	t	t
21	15	025	NACK	53	35	065	5	5	85	55	125	U	U	117	75	165	u	u
22	16	026	Syn	54	36	066	6	6	86	56	126	V	V	118	76	166	v	v
23	17	027	EoTB	55	37	067	7	7	87	57	127	W	W	119	77	167	w	w
24	18	030	Can	56	38	070	8	8	88	58	130	X	X	120	78	170	x	x
25	19	031	EoM	57	39	071	9	9	89	59	131	Y	Y	121	79	171	y	y
26	1A	032	Sub	58	3A	072	:	:	90	5A	132	Z	Z	122	7A	172	z	z
27	1B	033	Esc	59	3B	073	;	;	91	5B	133	[[123	7B	173	{	{
28	1C	034	FSep	60	3C	074	<	<	92	5C	134	\	\	124	7C	174	|	
29	1D	035	GSep	61	3D	075	=	=	93	5D	135]]	125	7D	175	}	}
30	1E	036	RSep	62	3E	076	>	>	94	5E	136	^	^	126	7E	176	~	~
31	1F	037	USep	63	3F	077	?	?	95	5F	137	_	_	127	7F	177		Delete

charstable.com



→ bisher keine Aussagen zur Übertragungsgeschwindigkeit



Schrittdauer T_i

Dauer für die Übertragung
eines Codeelements

Schrittgeschwindigkeit v_s

$$v_s = \frac{1}{T_i}$$

$$[v_s] = \frac{\text{Schritte}}{s} = Bd$$



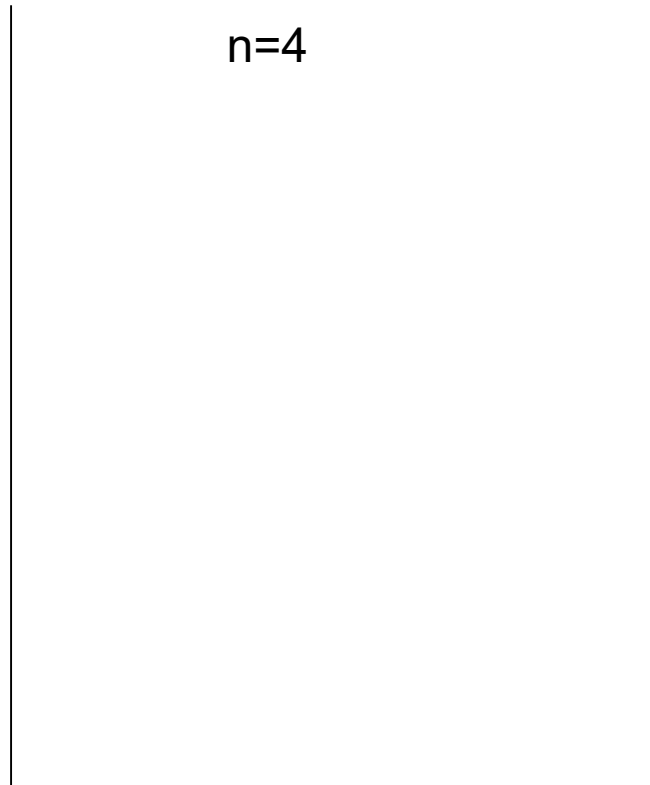
Übertragungsgeschwindigkeit $v_{\ddot{u}}$ / Bitrate $[v_{\ddot{u}}] = \text{Bit} / \text{s}$

Wieviele Bits n_b können in 1 Schritt übertragen werden?

$n=2$

$n=4$

$n=8$





Übertragungsgeschwindigkeit $v_{\ddot{u}}$ / Bitrate $[v_{\ddot{u}}] = \text{Bit} / \text{s}$

Wieviele Bits n_b können in 1 Schritt übertragen werden?

$$n_b = ld(n) = \frac{\lg(n)}{\lg 2}$$

Wieviele Bits können in 1 Sekunde übertragen werden?

$$v_{\ddot{u}} = v_s \cdot ld(n)$$

$$[v_{\ddot{u}}] = \text{bit/s}$$



Übungsaufgabe - weiter

Annahme: wir übertragen ASCII-Code, jedes Codezeichen wird in $8\mu\text{s}$ übertragen (Protokolle, Handshakes ... werden nicht beachtet)

Bereits bekannt: Stellenzahl $m = 8$, Stufenzahl $n = 2$, Codezeichenvorrat: $N_0 = 256$

Berechnen Sie: V_s , $V_{\ddot{u}}$

Wie ändern sich die Angaben, wenn wir eine 16-stufige Übertragung verwenden würden?



Informationsgehalt I_{xi} eines Zeichens - *Überraschungswert*

Errate eine Zahl aus einem Vorrat von 32 Zahlen

Wahrscheinlichkeit jeder Zahl:

Anzahl der notwendigen Ja/Nein-Fragen:



Informationsgehalt I_{xi} eines Zeichens - *Überraschungswert*

Errate ein Wort mit 4 Buchstaben

Wahrscheinlichkeit eines Zeichens:

Anzahl der notwendigen Ja/Nein-Fragen:



Informationsgehalt I_{x_i} eines Zeichens - **Überraschungswert**

Mit Auftrittswahrscheinlichkeit eines Zeichens x_i : $p(x_i)$

Es gilt: $p(x_1) > p(x_2) \rightarrow I(x_1) < I(x_2)$

Informationsgehalt eines Zeichens x_i :
$$I_{x_i} = \lg \left(\frac{1}{p(x_i)} \right)$$

... ist unabhängig von der konkreten Codierung
... ist nur abhängig von
der Auftrittswahrscheinlichkeit



Entscheidungsgehalt H_0

Anzahl der Binärentscheidungen zur Auswahl eines Zeichens aus dem Zeichenvorrat N_0

- ... gilt, wenn alle **Zeichen gleich wahrscheinlich** sind
- ... ist unabhängig von der konkreten Codierung
- ... ist nur abhängig von der **Anzahl** der Codezeichen

$$H_0 = \lg(N_0)$$



- Beispiele



Mittlerer Informationsgehalt oder Entropie H

- Durchschnittliche Anzahl von Binärentscheidungen, die benötigt werden, um ein Zeichen aus einer Zeichenmenge zu identifizieren oder zu isolieren
- Maß, das für eine Nachrichtenquelle den mittleren Informationsgehalt ausgegebener Nachrichten
- Maß für die „Unordnung“

$$H = \sum_i p(x_i) \cdot I_i = \sum_i p(x_i) \cdot \lg \frac{1}{p(x_i)} \quad [H] = \text{bit} / \text{Zeichen}$$

Die Formel für H gilt, wenn die einzelnen Zeichen stochastisch unabhängig sind



Redundanz R

Differenz zwischen Entscheidungsgehalt H_0 und Entropie H

$$R = H_0 - H \geq 0 \quad [\text{bit/Zeichen}]$$

Oder: maximal möglicher Entscheidungsgehalt (bei Gleichverteilung) – tatsächlich mittlerer Entscheidungsgehalt

Relative Redundanz r :

$$r = \frac{H_0 - H}{H_0} \geq 0$$



Beispiel zu Redundanz: Deutsche (Schrift-)Sprache



Informationsfluss F

$$F = \frac{H}{T_m} \quad [\text{bit/s}] \quad T_m = \text{mittlere Dauer für die Übertragung eines Zeichens}$$

$$T_m = \sum_i p(x_i) \cdot T_{x_i}$$

Übertragungsdauer von x_i

häufiger Spezialfall: alle Zeichen sind gleichlang $\rightarrow T_{x_i} = \text{const} = T$

$$\Rightarrow F = \frac{H}{T} \quad [\text{bit/s}]$$



Reale Übertragung von Signalen

Kanalkapazität

maximaler Informationsfluss, der auf einem Kanal fehlerfrei übertragen werden kann

$$C = F_{\max} = \left(\frac{H}{T_m}\right)_{\max} \quad [\text{bit/s}]$$

Technische Begrenzung der Kanalkapazität

- Maximale Schrittgeschwindigkeit des Kanals , z.B. Anzahl Änderung der Spannung in gegebener Zeitspanne
- Signal-Rausch-Verhältnis: entstehende oder „eingefangene“ Störungen begrenzen Anzahl der sicher empfangbaren /sicher unterscheidbaren Symbole
- Genaueres findet sich im Shannon-Hartley-Gesetz



Übertragungsraten digitaler Kanäle

ISDN	2x 64kbit/s Daten und 16 kbit/s Steuerinformationen
ADSL2+	25Mbit/s im Download
Serial ATA	bis 1,5Gbit/s
USB 3.1	bis 10Gbit/s
Fast Ethernet	bis 100Mbit/s
3G Mobilfunk	bis 42Mbit/s
4G Mobilfunk (LTE)	500Mbit/s bis Gigabit-Bereich
5G Mobilfunk	bis mehrere Gbit/s
Lichtwellenleiter	bis Tbit/s