
Digitalelektronik in der Geodätischen Messtechnik



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Gliederung der Vorlesung

- *Analog-digital (Begriffe)*
- *Gegenüberstellung der beiden Techniken*
- *AD- -AF- DA Wandlung*
- *Digitale Codes*
- *Digitale Grundoperationen*



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Optische Informationen: Analog

Digital



Audio: Analog

Digital



*Die Grenze zwischen Digital und Analog ist auch eine Grenze
zwischen scheinbarer Exaktheit und realer Ungenauigkeit.*



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Begriffe und Eigenschaften

- **Analog** = entsprechend, vergleichbar
 - Stufenlos, stetig kontinuierlich
 - Beliebiger Wert innerhalb des Wertebereichs über unendlich viel Zwischenstufen von einer Ziffer zu nächsten
- **Digital**
 - Nur diskrete Signale
 - Daten oder Messwerte in Ziffern d.h. in Schritten
 - Binäre Signale = nur zwei Zustände



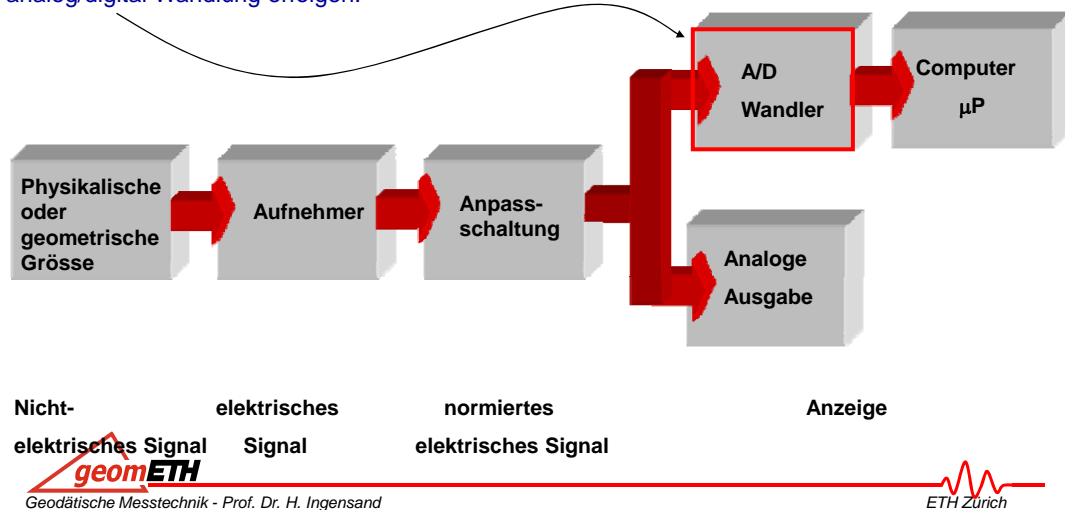
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Digitale Messtechnik

Viele Sensoren liefern Signale in Form von Strom oder Spannung in analoger Form, d.h. kontinuierlich in Zeit und Amplitude.

Irgendwo in der Messkette muss eine analog/digital Wandlung erfolgen.



Vor- und Nachteile der Digitaltechnik

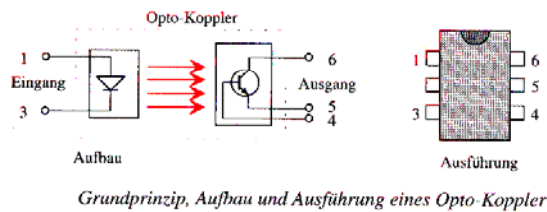
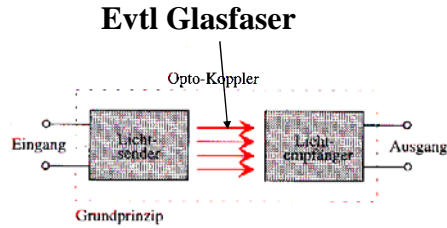
- + *Mikroprozessorgerecht (können im Computer verarbeitet werden)*
- + *Grössere Störsicherheit, die digitalisierten Messwerte erleiden keine weiteren Fehler*
- + *Erlaubt grössere Toleranzen bei Bauteilen*
- + *Kleine Schwankungen der Speissspannungen stören nicht*
- + *Fast unempfindlich gegen elektromagnetische Störfelder*
- + *Einfache galvanische Trennung (z.B. Optokoppler, Faserübertragung)*
- + *Einfache Speicherung*
- + *Direkt im Digitalrechner weiterverarbeitbar*
- + *Rechenoperationen (Linearisieren Quadrieren Multiplizieren Vergleichen Ist- Soll-Wert)*
- + *Ideal für digitalfreundliche Größen: Zeit, Frequenz*
- + *beliebig lange Anzeigendauer*
- + *der Messvorgang kann automatisiert sowie schnell und oftwiederholt werden.*
- + *grosse Mengen von Messdaten können verarbeitet werden*
- *Problematik der **Quantisierung** Sampling (Abtastung Shannon, Nyquist Theorem)*

Vorteile: Signalübertragung z.B. durch Optokoppler

Optokoppler ermöglichen eine galvanische Trennung zwischen Baugruppen

Vermeidung von Überspannungen (z.B. durch statische Aufladung, Blitz)

Kein elektrisches Übersprechen



Aus Schlemmer



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Beispiele



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

Anwendungen der digitalen Messtechnik in der GEODÄSIE

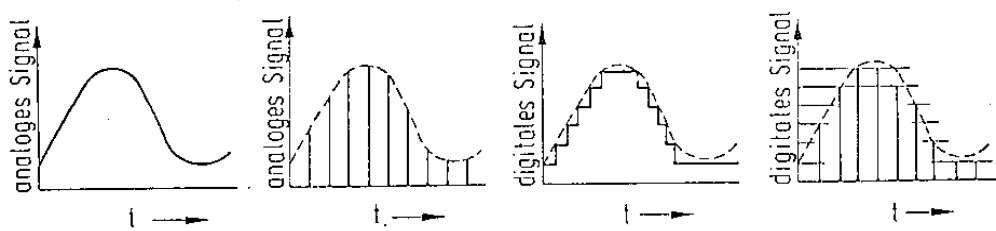
- Länge Winkel
 - Digitaler Längenmassstab
 - Encoder
- Zeit- und Frequenzmessung
 - Periodendauermessung
 - Phasenwinkelmessung
- Digitale Bilder:
 - CCD, Scanner,.....
 - Digitalnivelliere
- GPS Signalauswertung



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Vom Analog- zu Digitalsignal



Sampling
Abtastung

A/D Wandlung

Digitales Signal

Wert- und zeitkontinuierliches. Signal

Wertkontinuierliches, zeitdiskretes Signal

wertdiskretes, zeitkontinuierliches Signal

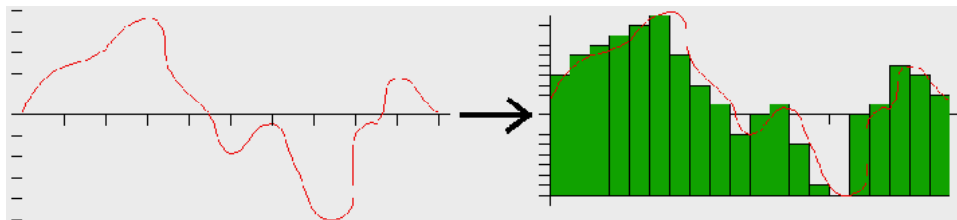
wert- und zeitdiskretes Signal



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Methoden der Analog-Digital-Wandlung



Die mathematische Grundlage lieferte Claude E. Shannon (Bell-Labs) im Jahr 1948/49 mit seinem **Abtasttheorem**:

Aus einem zeitkontinuierlichen Signal lässt sich eine Folge von zeitdiskreten Signalen ableiten, ohne dass dabei Information verloren geht.

Auch der umgekehrte Weg, die Rückgewinnung des ursprünglichen Signals lässt sich verlustfrei bewerkstelligen.



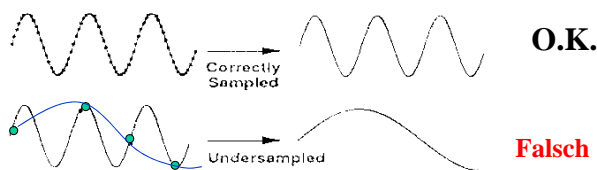
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Abtasten von zyklischen Signalen: Richtige Samplingrate

Sample Rate
(EISA-A2000 vs. PC-LPM-16)

Resolution
(NB-MIO-16 vs. NB-MIO-16X)



Eine zu geringe Abtastrate führt zur Verzerrung des Signales. **Die Abtastrate muss immer mindestens doppelt so gross sein, wie die höchste Frequenz, die im Signal vorkommt (Nyquist Bedingung) !**

Deshalb muss hochfrequentes Messrauschen, das über der halben Abtastrate liegt, vor der A/D Wandlung herausgefiltert werden.



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Abtastung (sampling) Überabtastung (Oversampling)

- Wenn man eine höhere Abtastfrequenz wählt, erhält man keine zusätzlichen Informationen. Der Aufwand für Verarbeitung, Speicherung und Übertragung steigt jedoch. Trotzdem wird Überabtastung (oversampling) häufig angewendet.
- Liegt nämlich die Nutzbandbreite B sehr nahe bei der halben Abtastfrequenz, so werden sehr hohe Anforderungen an die Flankensteilheit des Tiefpassfilters gestellt. Diese analogen Filter können häufig nur mit großem Aufwand abgeglichen werden.
- Überabtastung erlaubt es, die Anforderungen an das analoge Tiefpassfilter drastisch zu reduzieren, indem die steilflankige Bandbegrenzung auf ein präzises Digitalfilter hoher Ordnung verlagert wird.



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Datenkompression

- MPEG-1 Audio Layer 3 (MP3) ist ein Dateiformat zur verlustbehafteten Audiodatenkompression.
- MP3 bedient sich dabei der Psychoakustik mit dem Ziel, nur für den Menschen bewusst hörbare Audiosignale zu speichern. Dadurch wird eine Datenkompression möglich welche die Audioqualität nicht oder nur gering beeinträchtigt.



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Analog- Digital-Analogwandlung



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Der A/D Wandler. Ein Kompromiss

- Man kann Messdaten entweder **sehr genau oder sehr schnell** erfassen.
- Bei anspruchsvollen Messaufgaben ist man **gezwungen unter Umständen einen Kompromiss Genauigkeit vs. hohe Datenrate einzugehen**



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Digitalisierung und Datenmengen

Auflösung x Abtastrate = Datenrate

Datenrate x Messdauer = Datenmenge in Bit

**Beispiel: CCD-Kamera mit 641x480 Pixel und 50 schwarz-
weiss Bildern pro Sekunde aufnehmen.**

Grauwertauflösung 256 Stufen.

**Auflösung: 256 = dh. 8 Bit. Abtastrate: 640x480=310 000
Pixel und das 50 mal =15,4 MHz Datenrate: 15,4x8=123
Millionen Bit pro Sekunde= 123/8 Mbyte pro Sekunde
=15,4 MB/sec. Datenmenge: alle 30 sec. 500MB**



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Grundaufgabe des A/D Wandlers und Auflösung

Analog – Digital – Umsetzer

- Analog–Digital–Umsetzer (AD–Umsetzer) haben die Aufgabe, analoge Grössen in Binärwerte umzuwandeln, die der Computer oder eine digitale Schaltung verarbeiten kann.
- Es erfolgt eine zeitdiskrete Abtastung.
- Die Spannungsmessung erfordert immer einen Vergleich mit Bezugswerten.
- Quantisierung ist abhängig von Anpassung an den Arbeitsbereich des AD-Wandlers .

Anzahl der bit	Anzahl der Informationen	maximale Auflösung bei ± 5 Volt
4 bit	16	0,625 V
6 bit	64	0,156 V
8 bit	256	0,039 V
10 bit	1024	9,76 mV
12 bit	4096	2,44 mV
14 bit	16384	610 μ V
16 bit	65536	152 μ V

Tabelle 2.16 Auflösung von AD-Wandlern

Schlemmer



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Klassifizierung der AD Wandlerverfahren

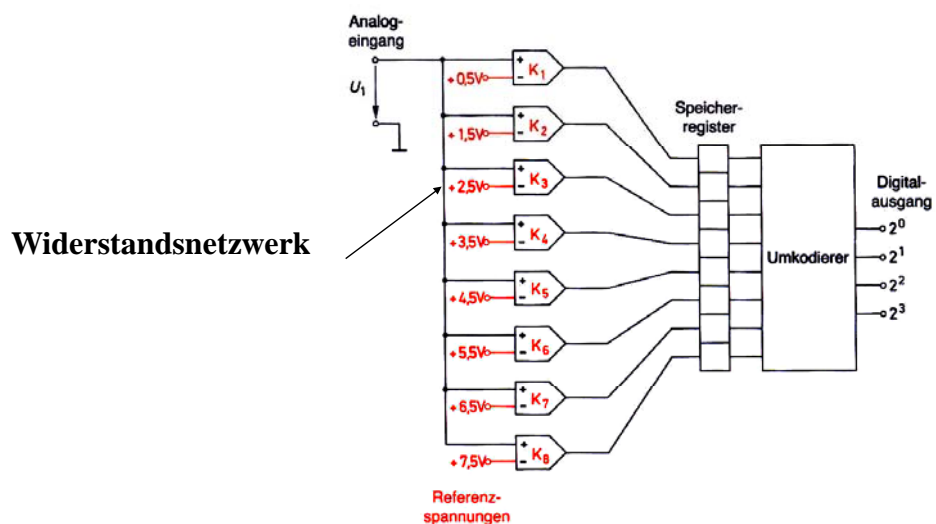
Direkte Verfahren

- Parallelverfahren
- Wägeverfahren
- Zählverfahren

Indirekte Verfahren:

- Spannungs-Frequenz-Wandler (VCO)
- Single-Slope-Verfahren
- Dual-Slope-Verfahren

AD Wandler: Direktverfahren



Schaltungsaufbau eines AD-Umsetzers nach dem Direktverfahren

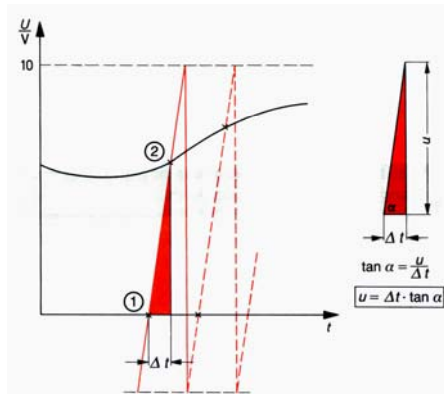
Sägezahnverfahren, Wägeverfahren, Single Slope

Das Single-Slope-Verfahren ist eine Art Zählverfahren. Der Vorteil gegenüber dem Zählverfahren ist, dass man keinen DA-Wandler benötigt. Das Prinzip beruht darauf, dass man nicht die Eingangsspannung misst, sondern eine dazu proportionale Zeit.

Der Ausgang des EXOR's ist so lange HIGH, wie sich die Sägezahnspannung zwischen den Schranken $0V$ (1) und U_e (2) befindet.

Als "Waage" dient ein Komparator, der schaltet, sobald die Sägezahnspannung grösser ist als die zu messende Spannung.

Das Zählverfahren ist sehr langsam, dafür ist auch die Schaltung relativ einfach. Der Hauptvorteil dieser Schaltung ist jedoch, dass sie gut abgeglichen werden kann. Dadurch erreicht man sehr hohe Auflösungen von über 20 Bit.



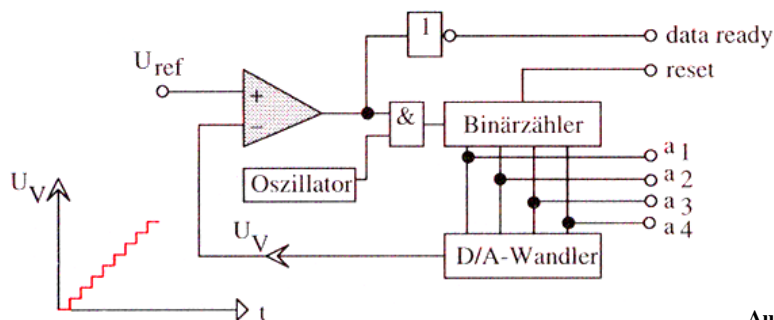
Aus Beuth



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Serieller A/D Wandler, Rampenverfahren, Single Slope



Aus Schlemmer

Zähler zählt solange bis Vergleichsspannung (DA) erreicht wird

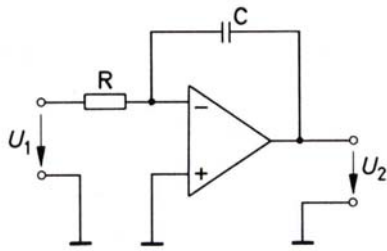


Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



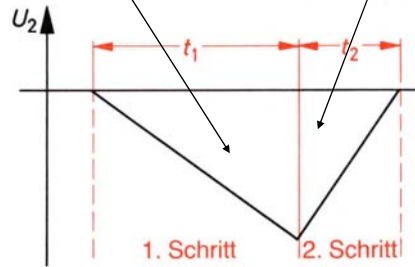
Indirekte Verfahren: Dual Slope Verfahren , Integrationsverfahren

Spannung ist proportional zur Entladungszeit



Integrator mit Angabe des Spannungsverlaufs während des 1. und 2. Schrittes

Ladungszyklus eines Kondensators Entladungszeit

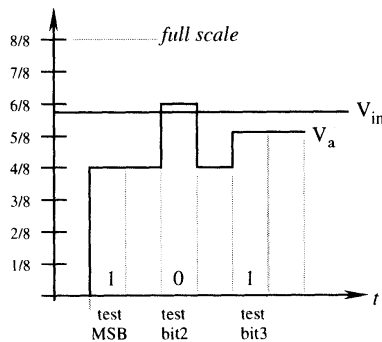


Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Analog-Digital-Wandler „sukzessive Approximation“

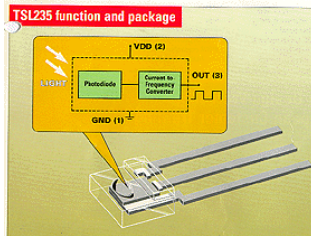
Die sukzessive Approximation stellt einen guten Kompromiss zwischen Geschwindigkeit (bis 1 MHz) und Genauigkeit dar. Hierbei wird ein Referenzspannungssignal (das dem Wert des Vollausschlags entspricht) sukzessive halbiert und mit dem Eingangssignal verglichen. Wenn das Eingangssignal kleiner ist als diese neue Referenzspannung, wird solange weiter halbiert, bis ein Vergleich eine kleinere Referenzspannung liefert: das zugehörige Bit wird gesetzt und mit schrittweise grösseren Referenzspannungen weiter verfahren



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Indirekte Verfahren: VCO Voltage Controlled Oscillator



Spannungsgesteuerter Oszillator

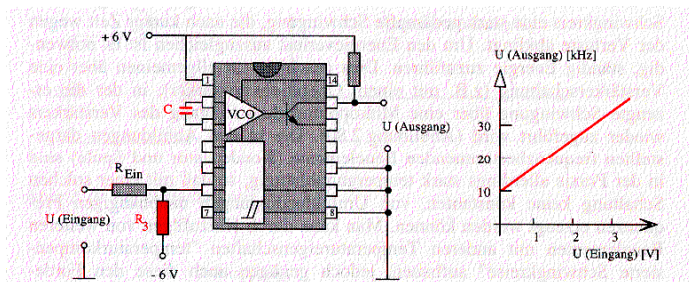


Abb. 2.82 Spannungs-Frequenz-Umsetzung mit VCO-Baustein Aus Schlemmer



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



A/D Wandlertypen

Verfahren	Zahl der Takte	Zahl der Komparatoren	Leistungsfähigkeit
Stufenkomp. Wandler	n	1	n=8...16; $T_c = 0,5 \dots 10\mu s$
Nachlaufender Wandler	2^n	1	n=8...16; $T_c > 1ms$
Integrierter W.	$>2n$	1	n=10...24; $T_c > 10ms$
Delta-Sigma-W.	$f_a \gg f_{max}$	1	n=10...24; $T_c > 100\mu s$
Parallel-W.	1	2^{n-1}	n=6...10; $T_c = 2ns \dots 20ns$
Kaskaden-W.	N	$2^n/N - 1$	n=8...10; $T_c = 10ns \dots 1\mu s$



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Digitale Zahlensysteme und Codes

Digitale Zahlensysteme

System	Basis	Beispiel	Ziffern
Dezimal	10	123	0-9
Dual	2	111011	0 und 1
Oktal	8	176	0-7
Hexadezimal	16	1F	0-9 A-F

Digitale Zahlensysteme

- Binäres System= Dualsystem

- Nur Ziffern 0 und 1
- Bit = kleinste Informationseinheit
Stelle mit binärem Wert

- Generell

Zahl wird als Summe von Potenzen zur Basis B dargestellt

$$Z = a_n B^n + a_{n-1} B^{n-1} + \dots + a_0 B^0$$

a_i = Zahlenwert der i-ten Stelle falls $B > 9$ wird Buchstabe zugeordnet



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Zahlensysteme und Codes

Dezimalsystem	Hexadezimal	Oktalsystem	Dualsystem
0	0	0	0000
1	1	1	0001
2	2	2	0010
3	3	3	0011
4	4	4	0100
5	5	5	0101
6	6	6	0110
7	7	7	0111
8	8	10	1000
9	9	11	1001
10	A	12	1010
11	B	13	1011
12	C	14	1100
13	D	15	1101
14	E	16	1110
15	F	17	1111
16	10	20	1000



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Dezimal-Dual Ganzzahlen

Dezimal- zahl	Dualzahl				
	· 16	· 8	· 4	· 2	· 1
0					0
1					1
2				1	0
3				1	1
4			1	0	0
5			1	0	1
6			1	1	0
7			1	1	1
8		1	0	0	0
9		1	0	0	1
10		1	0	1	0
11		1	0	1	1
12		1	1	0	0
13		1	1	0	1
14		1	1	1	0
15		1	1	1	1
16	1	0	0	0	0
17	1	0	0	0	1
18	1	0	0	1	0
19	1	0	0	1	1
20	1	0	1	0	0
21	1	0	1	0	1
22	1	0	1	1	0
23	1	0	1	1	1
24	1	1	0	0	0

Aus Beuth



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Dezimal-----> Dual

Dezimal- zahl	Dualzahl												
	2 ⁶ 64	2 ⁵ 32	2 ⁴ 16	2 ³ 8	2 ² 4	2 ¹ 2	2 ⁰ 1	2 ⁻¹ 0,5	2 ⁻² 0,25	2 ⁻³ 0,125	2 ⁻⁴ 0,0625	2 ⁻⁵ 0,03125	2 ⁻⁶ 0,015625
111,65625	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	

$$\begin{array}{r}
 64 \\
 + 32 \\
 + 8 \\
 + 4 \\
 + 2 \\
 + 1 \\
 + 0,5 \\
 + 0,125 \\
 + 0,03125 \\
 \hline
 111,65625_{(10)}
 \end{array}$$

Aus Beuth



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Dezimal-Hexadezimal Basis 16

Dezimalzahl	Hexadezimalziffer
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	A
11	B
12	C
13	D
14	E
15	F

Dezimalzahl	Hexadezimalzahl				
	16^4	16^3	16^2	16^1	16^0
	65536	4096	256	16	1
520 ←			2	0	8
			↓	↓	↓
			$2 \cdot 256$	$+ 0 \cdot 16$	$+ 8 \cdot 1$

Aufbau des Hexadezimalsystems

Hexadezimalziffer



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

Aus Beuth



Dezimal mit Nachkomma → Hexadezimal

Dezimalzahl	Hexadezimalzahl				
	16^2	16^1	16^0	16^{-1}	16^{-2}
	256	16	1	0,0625	0,00390625
111,65625		6	F	,	A
					8

$$\begin{array}{r}
 6 \cdot 16 = 96 \\
 15 \cdot 1 = 15 \\
 10 \cdot 0,0625 = 0,625 \\
 8 \cdot 0,00390625 = 0,03125 \\
 \hline
 111,65625_{(10)}
 \end{array}$$



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

Aus Beuth



4-Bit Codes für Dezimalziffern

Binärstellen				Zugehörige Dezimalstelle					
D	C	B	A	8421 Code	2421 Code	Aiken Code	3XS Code	White Code	Glixon Code
0	0	0	0	0	0	0		0	0
0	0	0	1	1	1	1		1	1
0	0	1	0	2	2	2			3
0	0	1	1	3	3	3	0	2	2
0	1	0	0	4	4	4	1		7
0	1	0	1	5	5		2	3	6
0	1	1	0	6	6		3		4
0	1	1	1	7	7		4	4	5
1	0	0	0	8			5	5	9
1	0	0	1	9			6	6	
1	0	1	0				7		
1	0	1	1			5	8	7	
1	1	0	0			6	9		8
1	1	0	1			7		8	
1	1	1	0		8	8			
1	1	1	1		9	9		9	

Tabelle 2.8 Einige 4-Bit-Codes für Dezimalziffern



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

Aus Schlemmer



Codes: Aiken Code

Zielsetzung:

Symmetrie

Nur eine Änderung pro Sprung

Aiken-Kode

Dezimalziffer	② D	④ C	② B	① A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
Pseudo-tetraden				
	0	1	0	1
	0	1	1	0
	0	1	1	1
	1	0	0	0
	1	0	0	1
	1	0	1	0
5	1	0	1	1
6	1	1	0	0
7	1	1	0	1
8	1	1	1	0
9	1	1	1	1

Symmetrie



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Code mit Kontrolle: BCD-Hamming

		Hamming-Kode						
Bit-Nr.		1	2	3	4	5	6	7
Wertigkeit		K_0	K_1	2^3	K_2	2^2	2^1	2^0
0								
1								
2								
3	Dezimal-							
4	ziffer							
5								
6								
7								
8								
9								

Bit-Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Wertigkeit	K_0	K_1	2^3	K_2	2^2	2^1	2^0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	0	0	1
2	0	1	0	1	0	1	0
3	1	0	0	0	0	1	1
4	1	0	0	1	1	0	0
5	0	1	0	0	1	0	1
6	1	1	0	0	1	1	0
7	0	0	0	1	1	1	1
8	1	1	1	0	0	0	0
9	0	0	1	1	0	0	1

Hamming-Kode



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



BCD Codes

Dezimalsystem/Hexadezimalsystem	BCD- System	Aiken- Code	Stibitz- Code
0	0	0000	0000
1	1	0001	0001
2	10	0010	0010
3	11	0011	0011
4	100	0100	0100
5	101	0101	0101
6	110	0110	0110
7	111	0111	0111
8	1000	1000	1000
9	1001	1001	1001
(A) 10	1010	1010	1010
(B) 11	1011	1011	1011
(C) 12	1100	1100	1100
(D) 13	1101	1101	1101
(E) 14	1110	1110	1110
(F) 15	1111	1111	1111



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Der ASCII Code

DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR
0	00		32	20	SP	64	40	@	96	60	`	128	80		160	A0	À
1	01	SOH	33	21	!	65	41	A	97	61	a	129	81		161	A1	Á
2	02	STX	34	22	"	66	42	B	98	62	b	130	82		162	A2	Â
3	03	ETX	35	23	#	67	43	C	99	63	c	131	83		163	A3	Ã
4	04	EOT	36	24	\$	68	44	D	100	64	d	132	84		164	A4	Ä
5	05	ENO	37	25	%	69	45	E	101	65	e	133	85		165	A5	Å
6	06	ACK	38	26	&	70	46	F	102	66	f	134	86		166	A6	Ä
7	07	DEL	39	27	'	71	47	G	103	67	g	135	87		167	A7	Ë
8	08	BS	40	28	(	72	48	H	104	68	h	136	88		168	A8	È
9	09	HT	41	29	)	73	49	I	105	69	i	137	89		169	A9	É
10	0A	LF	42	2A	*	74	4A	J	106	70	j	138	8A		170	AA	Ê
11	0B	VT	43	2B	+	75	4B	K	107	71	k	139	8B		171	AB	Ë
12	0C	FF	44	2C	,	76	4C	L	108	72	l	140	8C		172	AC	Ï
13	0D	CR	45	2D	-	77	4D	M	109	73	m	141	8D		173	AD	Ï
14	0E	SO	46	2E	.	78	4E	N	110	74	n	142	8E		174	AE	Ï
15	0F	SI	47	2F	/	79	4F	O	111	75	o	143	8F		175	AF	Ï
16	10	DLE	48	30	0	80	50	P	112	76	p	144	90		176	B0	Ï
17	11	DC1	49	31	1	81	51	Q	113	77	q	145	91		177	B1	Ï
18	12	DC2	50	32	2	82	52	R	114	78	r	146	92		178	B2	Ï
19	13	DC3	51	33	3	83	53	S	115	79	s	147	93		179	B3	Ï
20	14	DC4	52	34	4	84	54	T	116	7A	t	148	94		180	B4	Ï
21	15	NAK	53	35	5	85	55	U	117	7B	u	149	95		181	B5	Ï
22	16	SYN	54	36	6	86	56	V	118	7C	v	150	96		182	B6	Ï
23	17	ETB	55	37	7	87	57	W	119	7D	w	151	97		183	B7	Ï
24	18	CAH	56	38	8	88	58	X	120	7E	x	152	98		184	B8	Ï
25	19	EM	57	39	9	89	59	Y	121	7F	y	153	99		185	B9	Ï
26	1A	SUB	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z	154	9A		186	BA	Ï
27	1B	ESC	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{	155	9B		187	BB	Ï
28	1C	FS	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|	156	9C		188	BC	Ï
29	1D	GS	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}	157	9D		189	BD	Ï
30	1E	RS	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~	158	9E		190	BE	Ï
31	1F	US	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	DEL	159	9F		191	BF	Ï



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Optische Codes

Digitalnivelliere
Encoder
Neigungssensoren

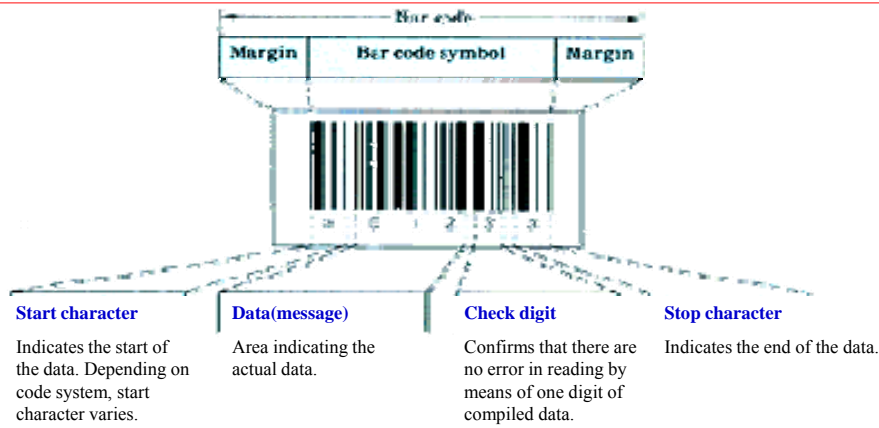


Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

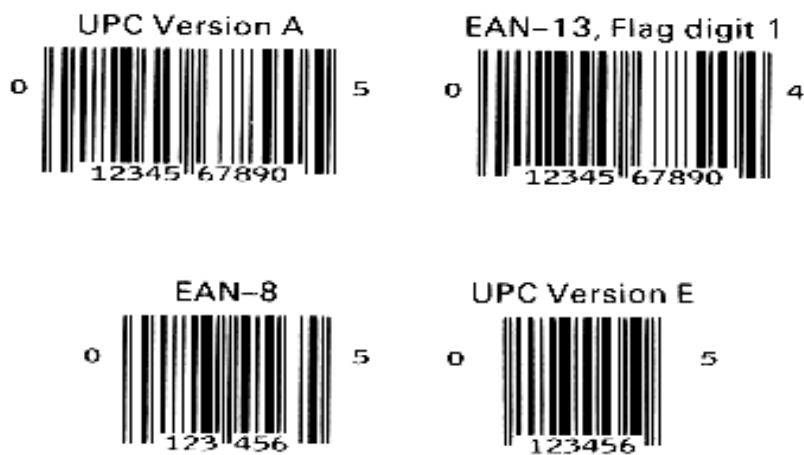


Optisch ablesbare Barcodes (vgl. Serielle Datenübertragung)

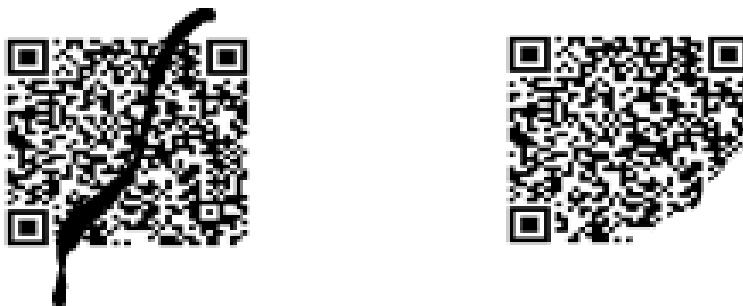
Bar code, composed of bars and spaces of varying width, provides a means of expression for human-readable characters in a form (bars and spaces) readable by machines.



Barcodes



2 Dimensionale Codes (QR Code Fa. Denso)



Readable up to dirt or damage of 30% of the symbol.



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Optische 2D Codes Quickread Code

QR Code is the two-dimensional (2D) symbology that represents a progression from the bar code. QR Code was developed with the aim of developing a code that is easily interpreted by scanner equipment.

QR Code (2D symbology) contains information in the vertical and horizontal direction, whereas a bar code contains data in one direction only. QR Code holds a considerably greater volume of information than a bar code.

```

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZABCD
EFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ012345678901
IJKLMNOPQRSTUVWXYZ012345678901
23456789ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTU
VWXYZABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ0123
456789012345678901234567890123
4567890123456789ABCDEFGHIJKLMN
OPQRSTUVWXYZABCDEFGHIJKLMNQR
    
```



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

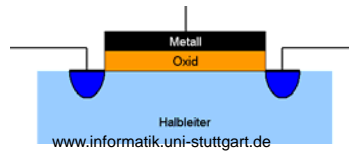


Optische Digitalnivelliercodes



Digitale Bauelemente und Logik

Feldeffekttransistoren als Schalter



NMOS - Transistor

PMOS - Transistor

Der Ladungstransport erfolgt durch negative Ladungsträger.

Der Transistor leitet durch Anlegen einer positiven Steuerspannung.

Der Transistor sperrt durch Anlegen einer negativen Steuerspannung.

Der Ladungstransport erfolgt durch positive Ladungsträger.

Der Transistor leitet durch Anlegen einer negativen Steuerspannung.

Der Transistor sperrt durch Anlegen einer positiven Steuerspannung.



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Schaltkreisfamilien

Die TTL (Transistor-Transistor-Logic) –

Familie arbeitet mit einer Betriebsspannung von 5 Volt.

Hauptanwendungsgebiete Computer Interfaces, etc., wo es auf kurze Schaltzeiten ankommt

Die CMOS (Complementary Symmetry-Metal Oxide Semiconductor) –

Schaltkreise haben im statischen Betrieb einen extrem niedrigen Stromverbrauch (bis 10 nW), der im dynamischen Betrieb proportional zur Umschalthäufigkeit steigt.

Wegen des weiten Betriebsspannungsbereiches von +3 V bis +15 V und ihrer grossen Integrationsdichte haben sie sich besonders im portablen Bereich durchgesetzt.

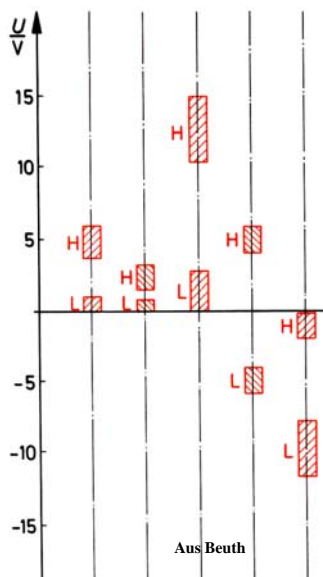


Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Spannungspegel für Schaltkreise

Zustand	Theor. Pegel	TTL	CMOS-Pegel 5V	CMOS - Pegel 15V
H	5V	2,4 - 5 Volt	3,5 - 5 Volt	10,5 - 15 Volt
L	0 V	0 - 0,8 Volt	0 - 1,5 Volt	0 - 4,5 Volt



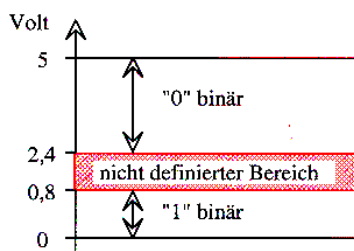
Wichtig beim Anschluss von Geräten!



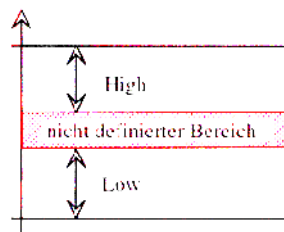
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Signalpegel: Low-High Pegel vgl: TTL CMOS



Logische Zustände beim TTL-Pegel



CMOS-Pegeldiagramm für $U_s = 5 V$

Aus Schlemmer



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Logikoperatoren

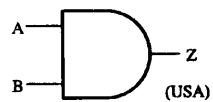
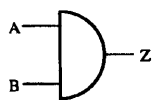
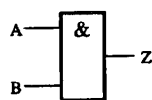


Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

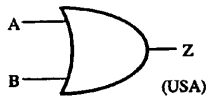
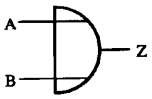
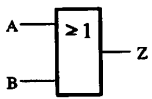


Logische Verknüpfungen

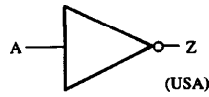
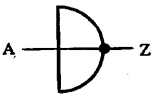
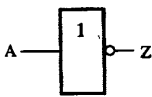
UND



ODER



NICHT



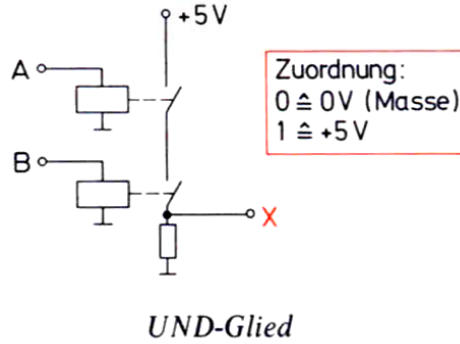
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



UND Verknüpfung

Fall	B	A	X
1	0	0	0
2	0	1	0
3	1	0	0
4	1	1	1

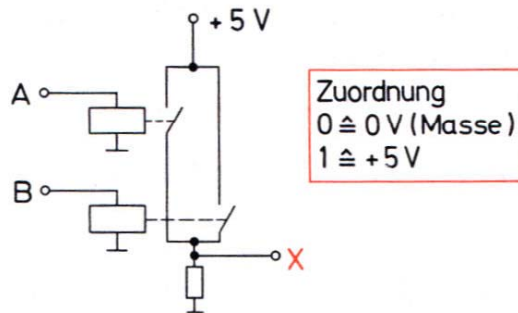
Bild 2.1 Wahrheitstabelle einer UND-Verknüpfung und eines UND-Glieds



Oder Verknüpfung

Fall	B	A	X
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	1

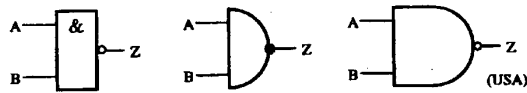
Wahrheitstabelle einer ODER-Verknüpfung und eines ODER-Gliedes



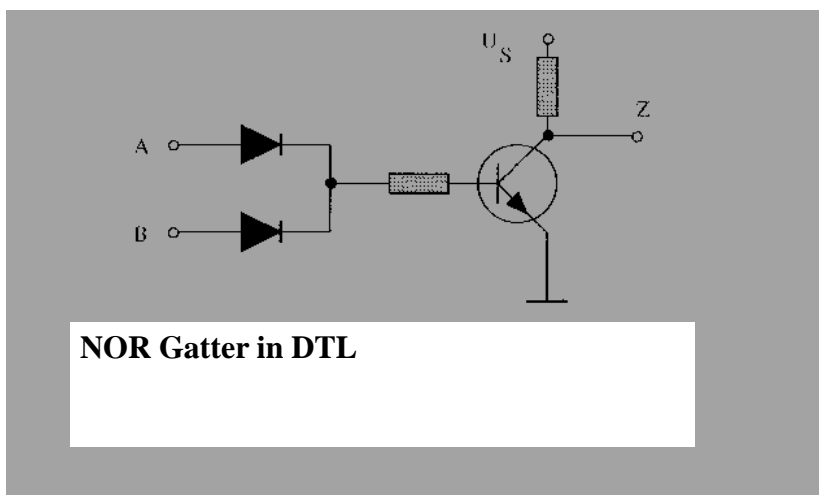
Erweiterte Grundoperationen

Digitale erweiterte Grundoperationen

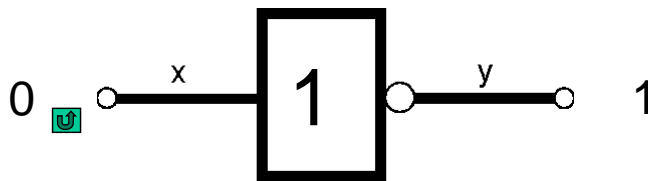
- aus Grundoperationen lassen sich alle denkbaren logischen Verknüpfungen aufbauen
- zur Vereinfachung: Kombinationen
- UND NICHT NAND
- ODER NICHT NOR
- EXKLUSIV ODER XOR



Diode Transistor Logik DTL



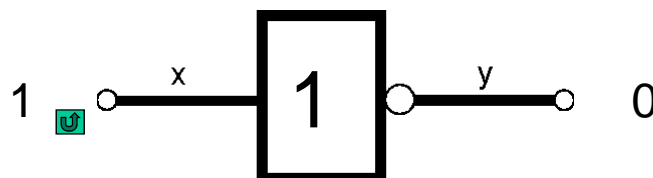
Gatter: INVERTIERER



$$y = \bar{x}$$

x	y
0	1
1	0

Gatter: INVERTIERER (NOT)

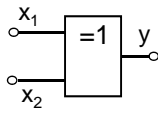


$$y = \bar{x}$$

x	y
0	1
1	0

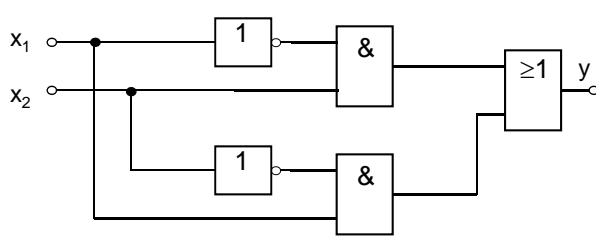
Antivalenz (EXOR) aus NOT, AND, OR

z.B. Grobkorrelation Digitalnivellier von Leica



$$y = \bar{x}_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2$$

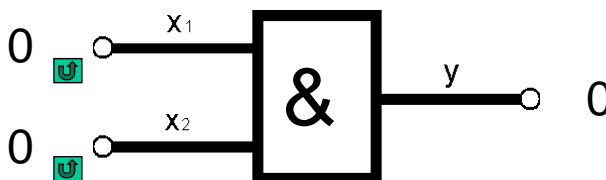
x ₁	x ₂	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Gatter: AND

$$y = x_1 \cdot x_2$$

x ₁	x ₂	y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Bistabile Kippstufe, FlipFlop, Latch

Bauelemente, die beim Auftreten eines Null-Eins-Übergangs(= positive Flanke) am Eingang den logischen Zustand des Ausgangs invertieren

oder so konfiguriert sind,

dass die Invertierung des Ausgangs beim Auftreten eines Eins-Null-Übergangs erfolgt.

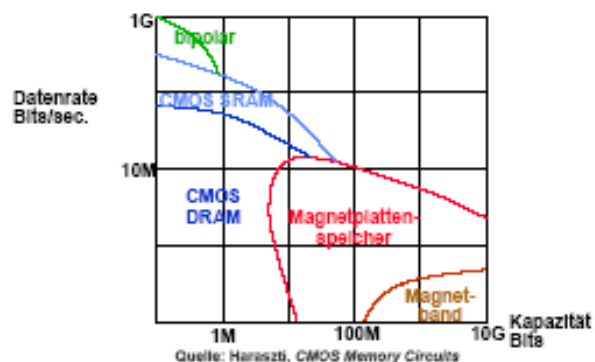


Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Speicher: Flip Flop , RAM,.....

- Stellt man solche Speicher aus logischen Gattern her spricht man vom FlipFlop □ □
- Alternativ kann man auch an physikalische Bauelemente heranzugehen zum Beispiel geladene Kondensatoren dynamische RAM
- Magnetblasenspeicher
- Optische Speicher (CD/DVD)
- Biochemische Speicher



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



Flip Flop

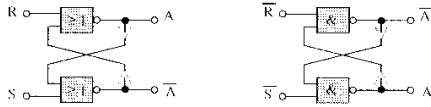


Abb. 2.103 RS-Flipflop aus zwei NOR-Gatter oder zwei NAND-Gatter

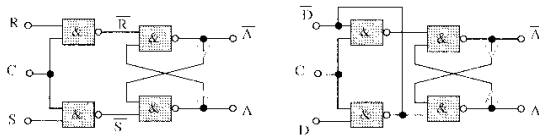


Abb. 2.104 Taktgesteuertes RS-Flipflop (links) und D-Flipflop (rechts)

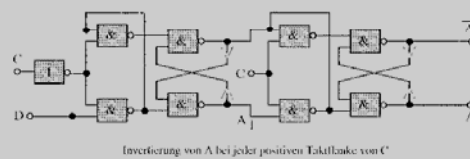
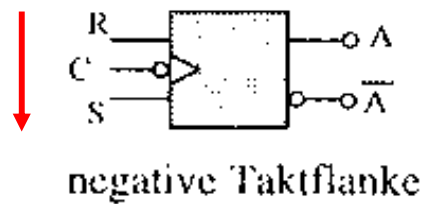
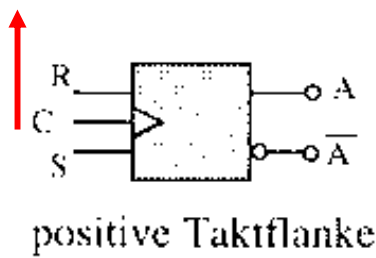


Abb. 2.105 Einfunktengesteuertes D-Flipflop

Flip-Flops reagieren auf positive oder negative Taktflanke

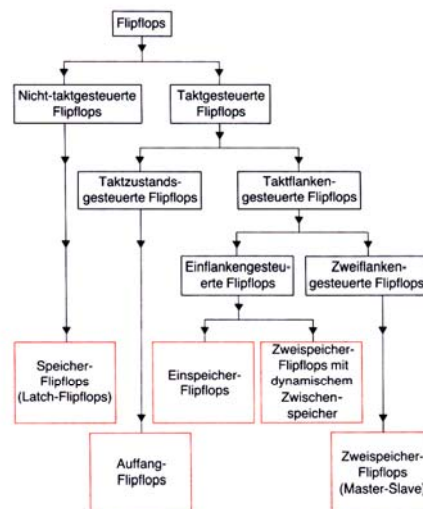


Flip-Flop als Speicher

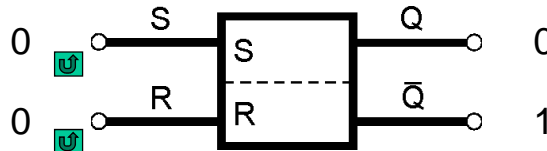
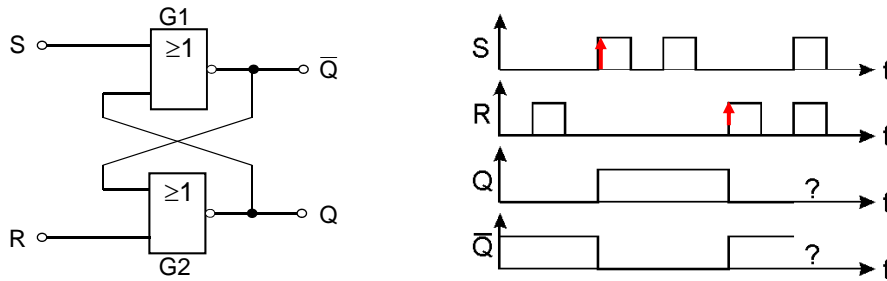
Die kleinste speicherbare Informationseinheit ist ein Bit, d.h. ein Signalpegel / Zustand H oder L am Ausgang eines elementaren Speicherelementes (Latch oder Flip-Flop).

Die gespeicherte Information in einem Flip-Flop bleibt so lange erhalten, bis sie entweder überschrieben wird oder die Spannungsversorgung für den Rechner oder die digitale Schaltung unterbrochen wird (flüchtiger Speicher).

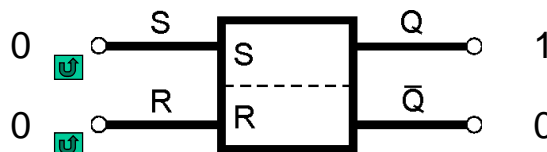
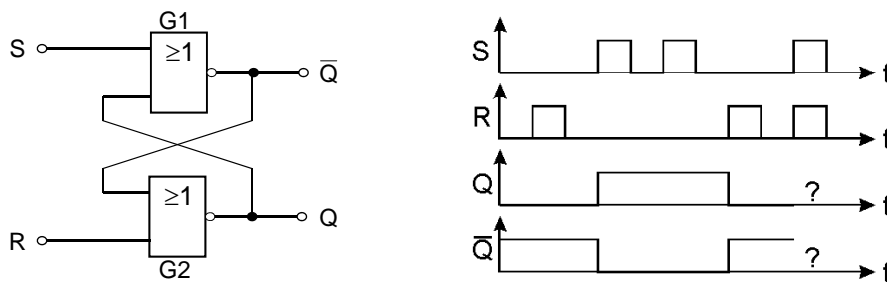
Flip-Floparten



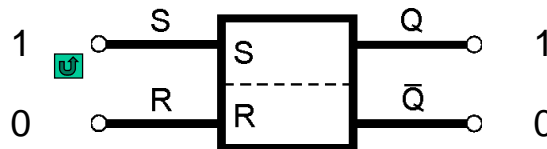
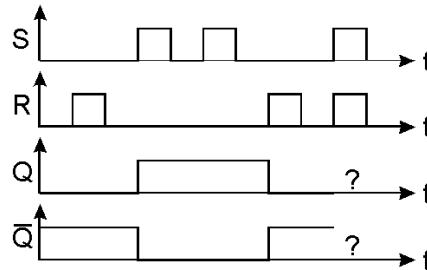
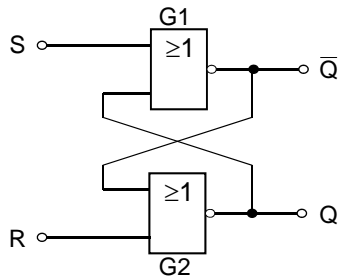
Flip-Flop: Bistabile Kippschaltung



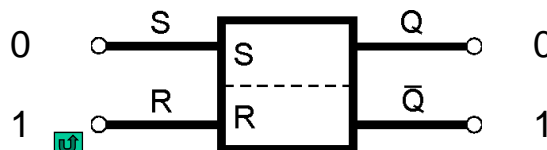
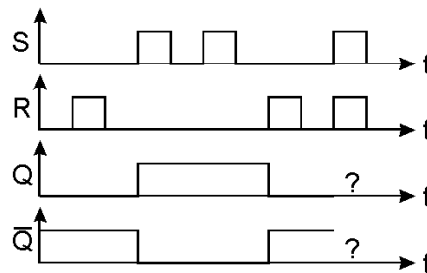
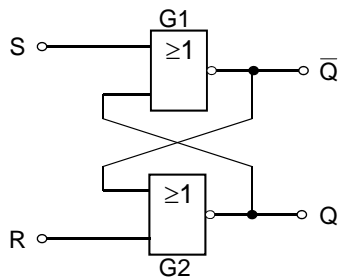
Flip Flop: Bistabile Kippschaltung



Flip Flop: Bistabile Kippschaltung



Bistabile Kippschaltung Flip Flop



Taktflankengesteuertes RS-Flipflop

(schaltet bei **steigender** Taktflanke)

ETH Zürich

Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

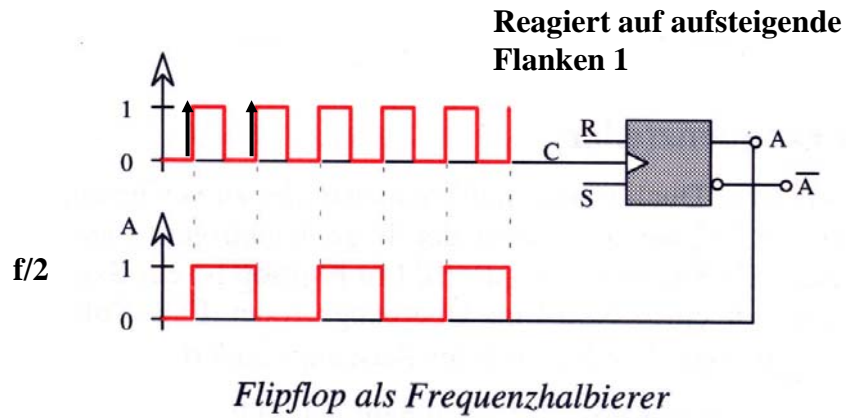
Taktflankengesteuertes RS-Flipflop

(schaltet bei **fallender** Taktflanke)

ETH Zürich

Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

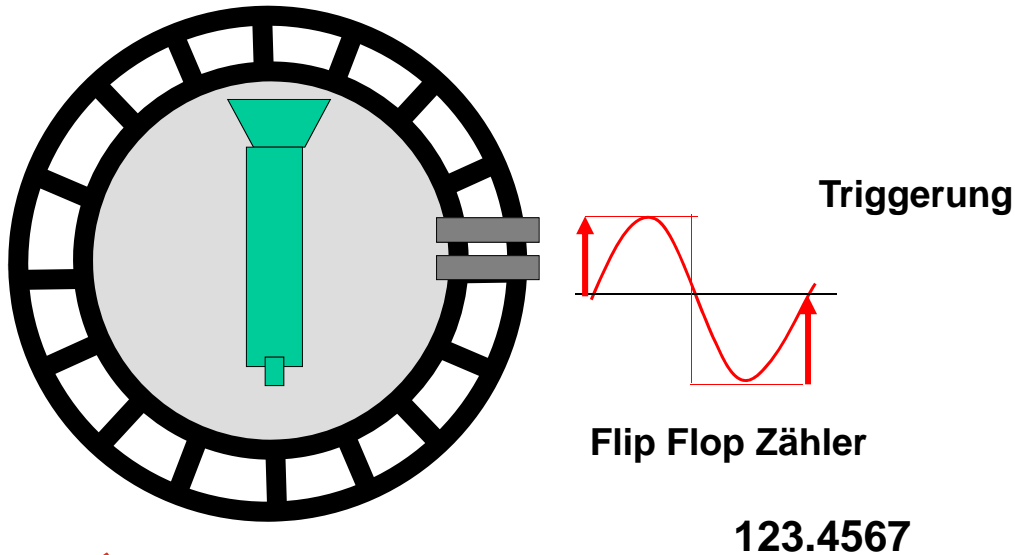
Flip-Flop als Frequenzhalbierer



Aus Schlemmer

Binäre Zähler

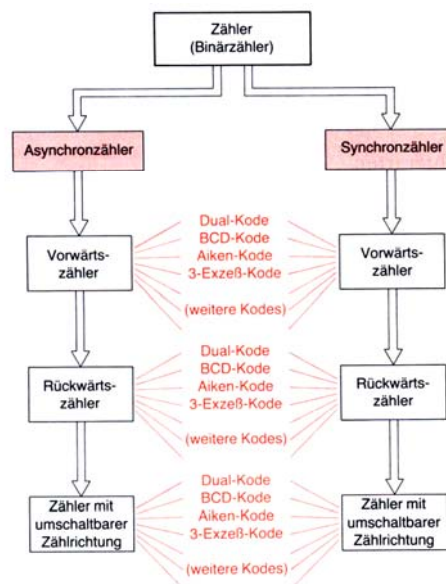
Grundprinzip eines Encoders



Binäre Zähler Übersicht

asynchroner Betrieb: Werden die Flip-Flops in einem Zähler nacheinander geschaltet, so spricht man von einem asynchronen Zähler.

synchroner Betrieb: Werden die Flip-Flops in einem Zähler zum gleichen Zeitpunkt geschaltet, so spricht man von einem synchronen Zähler.



Digitale Dual Zähler

basieren auf Kippstufen (Flipflops),

Das Zählergebnis wird binär dargestellt, wobei der Ausgang eines Flipflops jeweils die Information für ein Bit bildet.

Für die Darstellung eines 2^N -wertigen Zählergebnisses braucht man also N Flipflops.

Sie werden so hintereinander geschaltet, dass der negierte Ausgang des Flipflops für das niederwertigste Bit auf den Eingang des Flipflops für das nächsthöhere Bit gelegt wird.

Da jedes Flipflop den Zustand des Ausgangssignals invertiert, ist erst nach jedem 2. Zählereignis ein voller Schaltzyklus abgeschlossen: eine anliegende Frequenz wird dadurch halbiert bzw. jeder 2. Ereignis als positive Flanke dargestellt.

Auf diese Weise wird das vollständige binäre Datenwort für die Summe der Zählereignisse dargestellt

Zähler

Wird nun ein Taktsignal auf den Zähl Eingang gegeben, so entstehen nacheinander die Signalkombinationen Q_D bis Q_A nach Tabelle 9.

Takt	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
1	0	0	0	0
2	0	0	0	1
3	0	0	1	0
4	0	0	1	1
5	0	1	0	0
6	0	1	0	1
7	0	1	1	0
8	1	1	1	1
9	1	0	0	0
10	1	0	0	1
11	1	0	1	0
12	1	0	1	1
13	1	1	0	0
14	1	1	0	1
15	1	1	1	0
16	0	1	1	1
17	0	0	0	0

Aus Beuth

Dualzähler

Reagieren nur auf abfallende Flanken bzw. 0

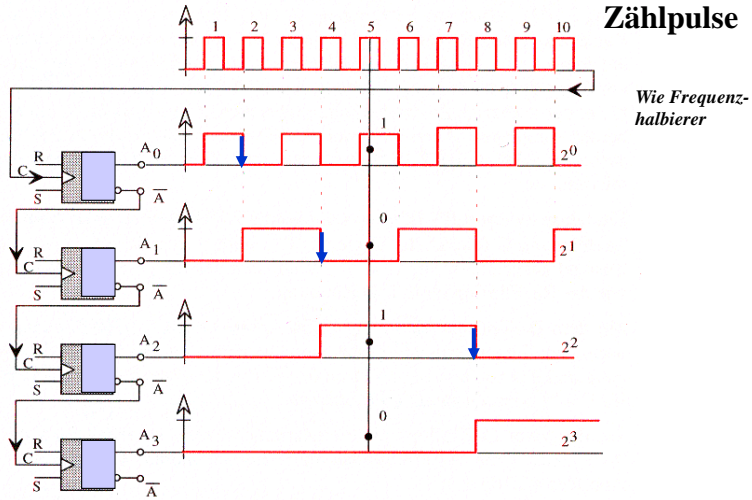
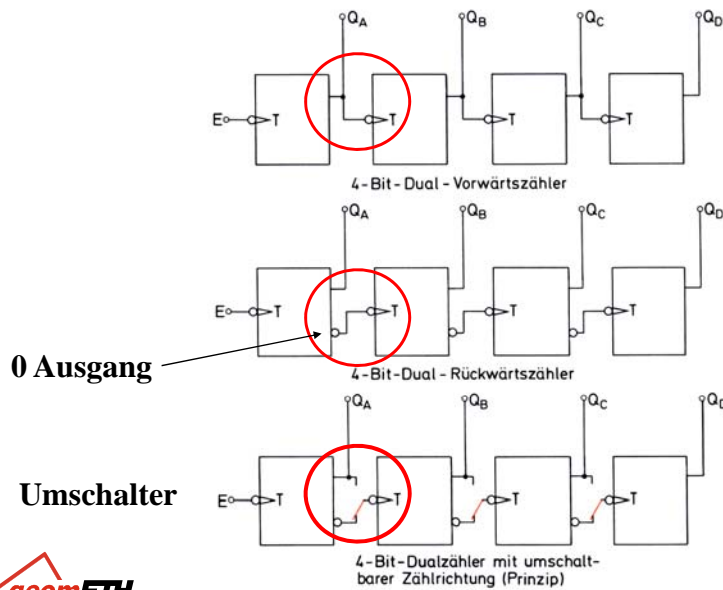


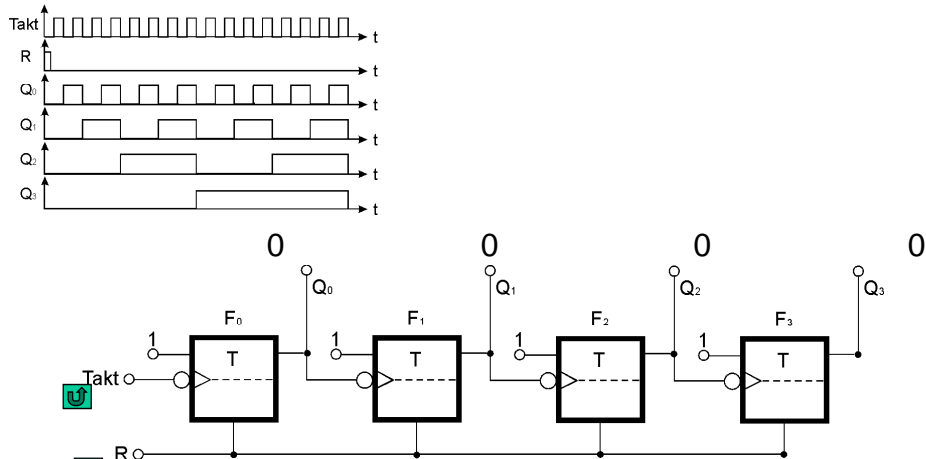
Abb. 2.108 Aufbau eines vierstelligen Dual-Zählers aus Flipflops

Aus Schlemmer

Vorwärts Rückwärts-Zähler Grundprinzip



Asynchroner Vorwärts-Dualzähler



Digitale Zeitmessung

Digitale Zeit- und Frequenzmessung

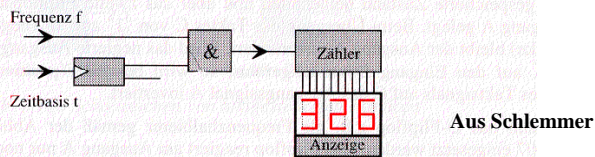


Abb. 2.109 Aufbau einer digitalen Zeit- und Frequenzmessung

Zeitmessung über Zählung der Impulse einer bekannten Frequenz f

$$t = N \frac{1}{f} + t_a - t_e$$

- Frequenzmessung über Zählung der Schwingungen/Impulse während einer
- bekannten Zeitspanne t

Digitale Frequenzmessung z.b. EDM

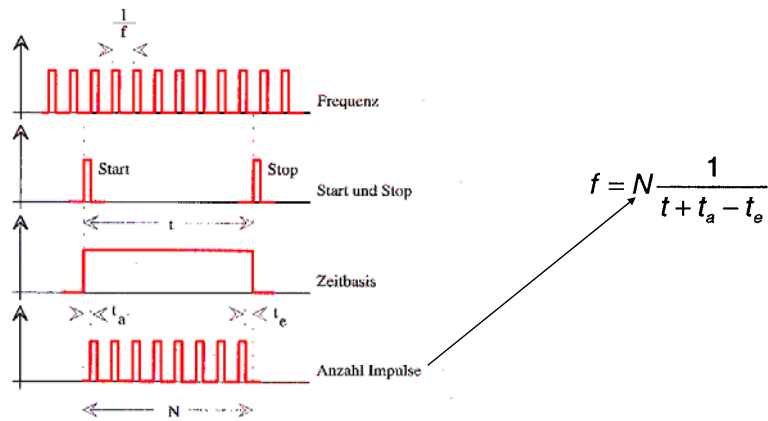


Abb. 2.110 Funktion einer digitalen Zeit- und Frequenzmessung

Aus Schlemmer

Ende Digitalelektronik