

# Elektronik/ Elektrotechnik

## Formelsammlung

### Gewerbliche Berufsschule

### Sursee

## 1. Inhaltsverzeichnis

<b>1. Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Elektrotechnik</b> .....	<b>4</b>
2.1. Atomaufbau .....	4
2.2. Fehlerspannung/Fehlerstrom .....	4
2.3. Spannungserzeugung .....	4
2.4. Stromdichte .....	4
2.5. Widerstand/Leitwert .....	4
2.6. Temperaturabhängigkeit .....	5
2.7. Arbeit .....	5
2.8. Ideale Spannungsquelle .....	5
2.9. Spannungsfunktionen .....	5
2.10. Elektrisches Feld .....	6
2.11. Kondensator .....	6
2.11.1. Testfrage .....	6
2.11.2. Entladen .....	6
2.11.3. Laden .....	6
2.12. Magnetismus, magnetische Feldlinien .....	6
<b>3. Elektronik</b> .....	<b>7</b>
3.1. p-/n-Typ .....	7
3.2. Diode .....	7
3.3. Z-Diode .....	8
3.3.1. Aufgabe .....	8
3.4. Gleichrichter .....	8
3.5. Bipolarer NPN-Transistor .....	9
3.6. Unipolarer Sperrschicht FET .....	9
3.7. Operationsverstärker (OPV) .....	10
3.7.1. Idealer OPV .....	10
3.7.2. Invertierender OPV .....	10
3.7.3. Nichtinvertierender OPV .....	10
3.7.4. Schmitt Trigger .....	10
3.8. Grundfunktionen .....	11
3.9. Logische Grundverknüpfungen .....	11
3.9.1. AND .....	11
3.10. OR .....	11
3.11. NOT .....	11
3.12. NAND .....	12
3.13. NOR .....	12
3.14. EXOR .....	12
3.15. EXNOR .....	12
3.16. Minimieren mit dem KV-Diagramm .....	13
3.16.1. Arten von KV-Diagrammen .....	13
3.16.2. Beispiel .....	13
3.17. Volladdierer .....	14
3.18. Komperator .....	14
3.19. Codierer (Codewandler) .....	14

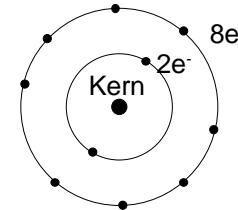
3.20. Multiplexer, Demultiplexer ..... 15  
 3.21. Flip-Flop..... 16  
     3.21.1. Nicht Taktgesteuert..... 16  
     3.21.2. Taktzustandsgesteuert ..... 16  
     3.21.3. Taktflankengesteuert ..... 16  
         3.21.3.1. JK-MS-FF ..... 16  
     3.21.4. T-FF ..... 16  
 3.22. Zähler ..... 17  
     3.22.1. Asynchroner Zähler ..... 17  
     3.22.2. Asynchroner Rückwärtszähler ..... 17  
     3.22.3. Synchroner Zähler ..... 17  
         3.22.3.1. Reset..... 17  
 3.23. AD- & DA-Wandler ..... 18  
 3.24. Modulationen ..... 18  
 3.25. Wellenausbreitung..... 18

**2. Elektrotechnik**

**Hinweise:**

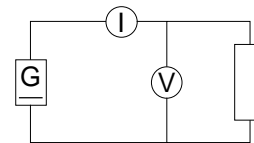
An LAP teilweise C statt As (Ampere-sekunden)

**2.1. Atomaufbau**



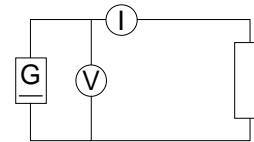
Der Kern besteht aus Neutronen und Protonen (+).  
 In der ersten Schale befinden sich 2 Elektronen (e<sup>-</sup>). Ein Atom ist bestrebt in der äussersten Schale 8 e<sup>-</sup> zu haben.

**2.2. Fehlerspannung/Fehlerstrom**



Fehlerstrommessung (Auch durch das Voltmeter fliesst ein geringer Strom).

Nach Amperemeter



Fehlerspannungsmessung (Auch am Amperemeter fällt eine geringe Spannung ab).

Vor Amperemeter

**2.3. Spannungserzeugung**

Reiz, Licht, Wärme, Induktion, chemisch, Kristall, Reibung.

**2.4. Stromdichte**

$$J = \frac{I}{A}$$

I Strom [A]  
 A Fläche [mm<sup>2</sup>]  
 J Stromdichte [A/mm<sup>2</sup>]

**2.5. Widerstand/Leitwert**

$$G = \frac{1}{R}$$

$$\rho = \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} = \Omega m$$

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} = \frac{1}{\Omega m}$$

G Leitwert [S]  
 R Widerstand [Ω]

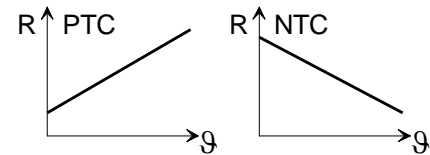
ρ spez. Widerstand  
 κ spez. Leitwert

**2.6. Temperaturabhängigkeit**

$$\Delta R = R_W - R_K = \alpha \cdot \Delta \vartheta \cdot R_K$$

$$\Delta \vartheta = \frac{\Delta R}{\alpha \cdot R_K}$$

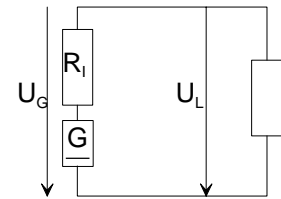
$$\vartheta_W = \vartheta_K + \frac{\Delta R}{\alpha \cdot R_K}$$



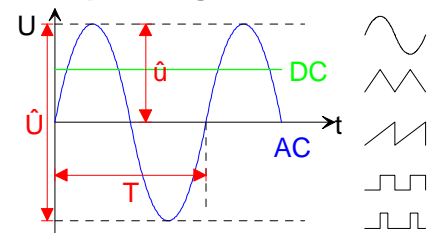
**2.7. Arbeit**

$$W = P \cdot t = F \cdot s$$

**2.8. Ideale Spannungsquelle**



**2.9. Spannungsfunktionen**



$\alpha$  Temperaturkoeffizient [1/K]  
 $\Delta R$  Widerstandsänderung [ $\Omega$ ]  
 $R_W$  Warmwiderstand [ $\Omega$ ]  
 $R_K$  Kaltwiderstand [ $\Omega$ ]  
 $\vartheta$  Temperatur [K]  
 $\Delta \vartheta$  Temperaturänderung [K]  
 $\vartheta_K$  Kalttemperatur [K]  
 $\vartheta_W$  Warmtemperatur [K]  
 NTC; Heissleiter;  $\alpha$  negativ  
 PTC; Kaltleiter;  $\alpha$  positiv

W Elektrische Arbeit [J]=[Ws]=[Nm]

$R_i$  Innenwiderstand der Spannungsquelle ( $0\Omega$ )  
 $U_G=U_L$  unabhängig von  $R_L$  (Kein Spannungsabfall in der Spannungsquelle)

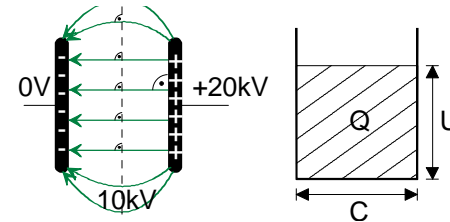
$$T = \frac{1}{f}; f = \frac{1}{T}$$

$\hat{u}$  Scheitelwert von U, Amplitude

$$U_{eff} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$$

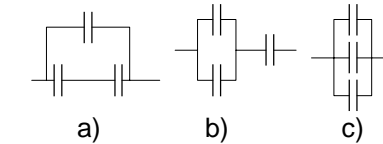
$$P = U_{eff} \cdot I = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}} \cdot I$$

**2.10. Elektrisches Feld**



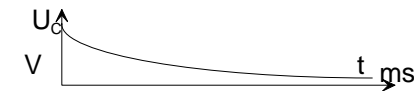
**2.11. Kondensator**

**2.11.1. Testfrage**



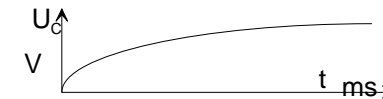
Welche Schaltung hat die Grösste Kapazität? Antwort: c) Kapazität=3C

**2.11.2. Entladen**



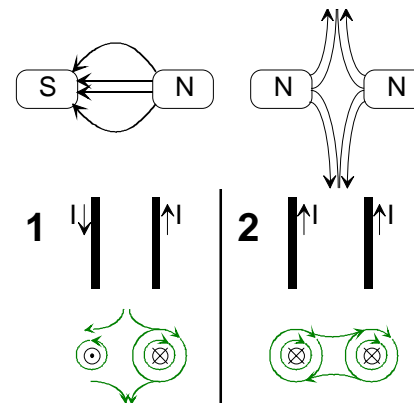
$$U_C = U_{C0} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

**2.11.3. Laden**



$$U_C = U_{C0} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

**2.12. Magnetismus, magnetische Feldlinien**

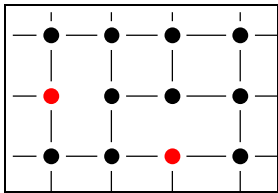
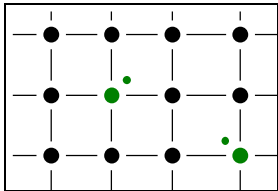
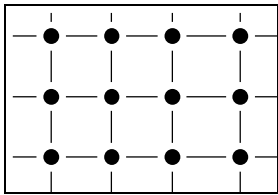


Ungleiche Pole ziehen sich an, gleiche Pole stossen sich ab.

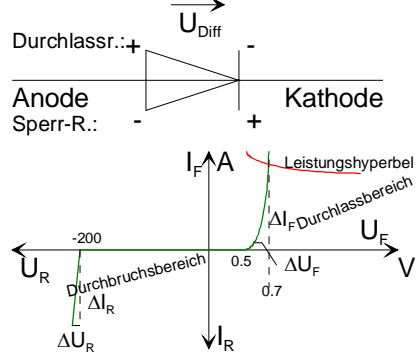
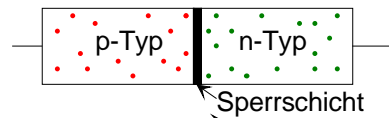
1. Feldlinien stossen sich ab  $\rightarrow$  die Leiter stossen sich ab.
2. Feldlinien verkürzen sich  $\rightarrow$  die Leiter ziehen sich an.

### 3. Elektronik

#### 3.1. p-/n-Typ



#### 3.2. Diode



Si 4 Valenzelektronen; Gitterstruktur: keine freien Ladungsträger.

n-Typ:  
 Einbringen eines Atoms mit 5 Valenzelektronen. 1 freies Elektron pro Atom (Phosphor, Arsen, Antimon). Fremdatom wirkt als Donator  
 Elektronen: Majoritätsträger  
 Positive Ladungsträger: Minoritätsträger  
 p-Typ:  
 Einbringen eines Atoms mit 3 Valenzelektronen. 1 Elektron zu wenig → zu viele Protonen → positive Ladung (Bor, Indium, Aluminium) → Löcher.  
 Fremdatom wirkt als Akzeptor.  
 Löcher: Majoritätsträger  
 negative Ladungsträger: Minoritätsträger

Bei Siliziumdiode:

$$U_{Diffusion} = 0.7V$$

Bei Germaniumdiode:

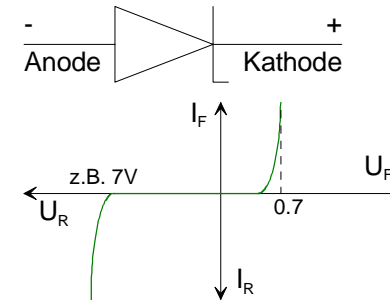
$$U_{Diffusion} = 0.3V$$

$$R_F = \frac{U_F}{I_F} \text{ Statischer Widerstand}$$

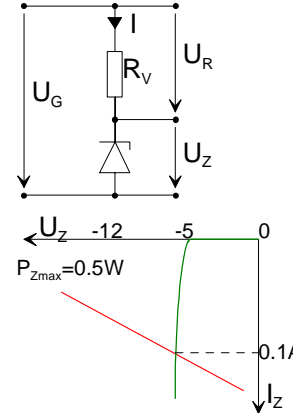
$$r_R = \frac{\Delta U_R}{\Delta I_R} \text{ Dynamischer Widerstand}$$

(v.a. für Wechselspannung)

#### 3.3. Z-Diode



##### 3.3.1. Aufgabe



Festgelegte Durchbruchsspannung in Sperrrichtung.

geg:

$$U_Z = 5V ; U_G = 12V ; P_{Zmax} = 0.5W$$

ges:

$$R_{Vmin}$$

Lösung:

1. Maximalstrom berechnen:

$$I_{Zmax} = \frac{P_{Zmax}}{U_Z} = \frac{0.5W}{5V} = 0.1A$$

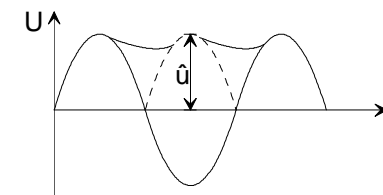
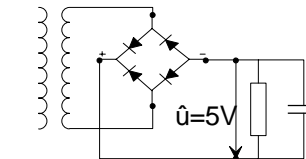
2. Widerstandsspannung berechnen

$$U_R = U_G - U_Z = 12V - 5V = 7V$$

3. Widerstand berechnen

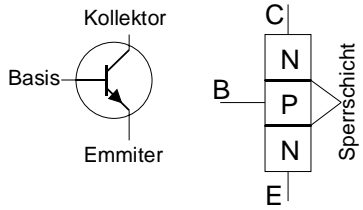
$$R_V = \frac{U_R}{I_{Zmax}} = \frac{7V}{0.1A} = 70\Omega$$

#### 3.4. Gleichrichter



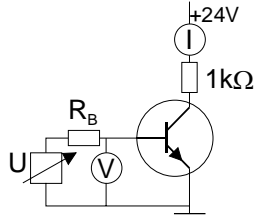
$$\hat{u} = 6.4V - 2 \cdot 0.7V = 5V$$

### 3.5. Bipolarer NPN-Transistor

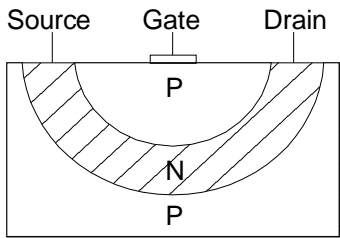


B Gleichstromverhältnis (Verstärkungsfaktor)

$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

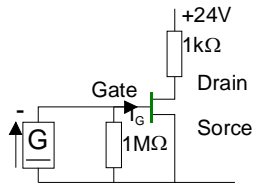


### 3.6. Unipolarer Sperrschicht FET



FET = Feldeffekt Transistor

N-Kanal FET



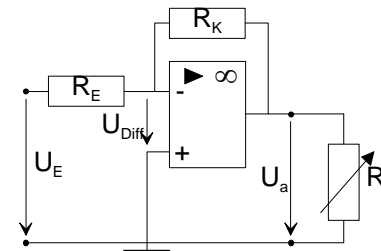
### 3.7. Operationsverstärker (OPV)

#### 3.7.1. Idealer OPV

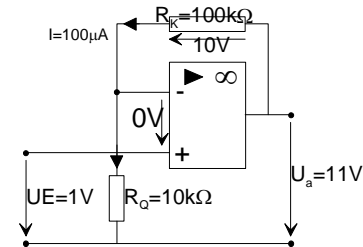
	ideal	real
Eingangswiderstand $r_e$	$\infty \Omega$	$10^5 \dots 10^{12} \Omega$
Ausgangswiderstand $r_a$	$0 \Omega$	$10 \dots 100 \Omega$
Verstärkungsfaktor $V_{u0}$	$\infty$	$10^4 \dots 10^6$
Eigenkapazität vom OPV	$0 F$	$4 \dots 10 pF$

$$V_U = \frac{U_a}{U_e} = \infty$$

#### 3.7.2. Invertierender OPV

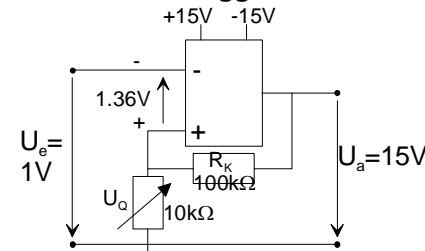


#### 3.7.3. Nichtinvertierender OPV



$$V_u = \frac{U_a}{U_e} = \frac{I(R_K + R_Q)}{I \cdot R_Q} = \frac{R_K + R_Q}{R_Q} = \frac{R_K}{R_Q} + 1$$

#### 3.7.4. Schmitt Trigger

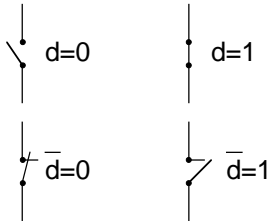


$$U_Q = \left( \frac{U_a}{R_K + R_Q} \right) \cdot R_Q$$

$R_Q$ [kΩ]	$U_Q$ [V]	$U_a$ [V]
10	1.36	15
9	1.24	15
8	1.11	15
7	0.98	-15

Sinkt  $U_Q$  unter  $U_e$  ( $R_Q < 7k\Omega$ ) wird die Ausgangsspannung negativ!

**3.8. Grundfunktionen**



Schliesser

Öffner

**3.9. Logische Grundverknüpfungen**

Symbol, (Logikschaltplan, Signalschaltplan)

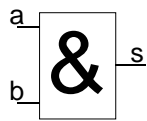
Wertetabelle (2<sup>n</sup> Fälle)

Schaltfunktion

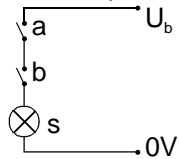
Stromlaufplan

**3.9.1. AND**

Logikschaltplan:



Stromlaufplan:



Wertetabelle:

b	a	s
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

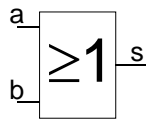
Schaltfunktion:

$$s = a \wedge b$$

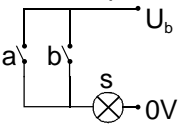
$$(s = a \cdot b)$$

**3.10. OR**

Logikschaltplan:



Stromlaufplan:



Wertetabelle:

b	a	s
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

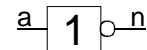
Schaltfunktion:

$$s = a \vee b$$

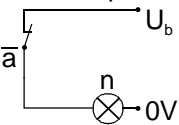
$$(s = a + b)$$

**3.11. NOT**

Logikschaltplan:



Stromlaufplan:



Wertetabelle:

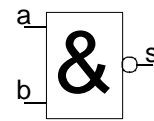
a	n
0	1
1	0

Schaltfunktion:

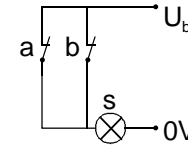
$$n = \bar{a}$$

**3.12. NAND**

Logikschaltplan:

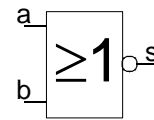


Stromlaufplan:

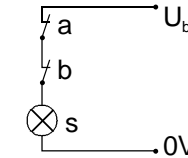


**3.13. NOR**

Logikschaltplan:

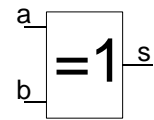


Stromlaufplan:

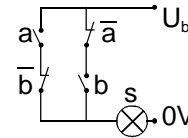


**3.14. EXOR**

Logikschaltplan:

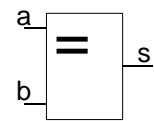


Stromlaufplan:

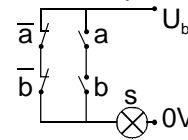


**3.15. EXNOR**

Logikschaltplan:



Stromlaufplan:



Wertetabelle:

b	a	s
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Schaltfunktion:

$$s = \overline{a \wedge b}$$

Wertetabelle:

b	a	s
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Schaltfunktion:

$$s = \overline{a \vee b}$$

Wertetabelle:

b	a	s
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Schaltfunktion:

$$s = \overline{a \bar{b} \vee \bar{a} b}$$

Wertetabelle:

b	a	s
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

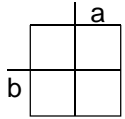
Schaltfunktion:

$$s = \overline{a \bar{b} \vee \bar{a} b}$$

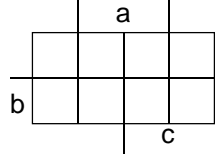
### 3.16. Minimieren mit dem KV-Diagramm

#### 3.16.1. Arten von KV-Diagrammen

2 Variablen:

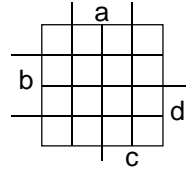


3 Variablen:

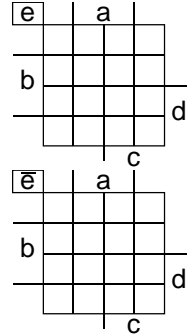


KV = Karnaugh und Veitch

4 Variablen:



5 Variablen:



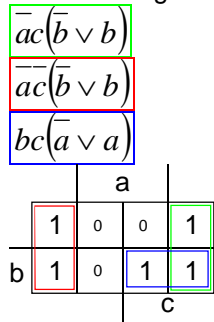
#### 3.16.2. Beispiel

geg: Schaltfunktion:

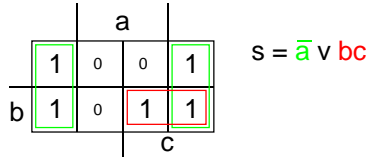
$$s = \overline{ac}(\overline{b} \vee b) \vee \overline{\overline{ac}}(\overline{b} \vee b) \vee bc(\overline{a} \vee a)$$

ges: Minimale Schaltfunktion

1. In KV-Diagramm eintragen



2. Minimale Funktion herauslesen



→ Minimale Schaltfunktion:

$$s = \overline{a} \vee bc$$

Berechnung:

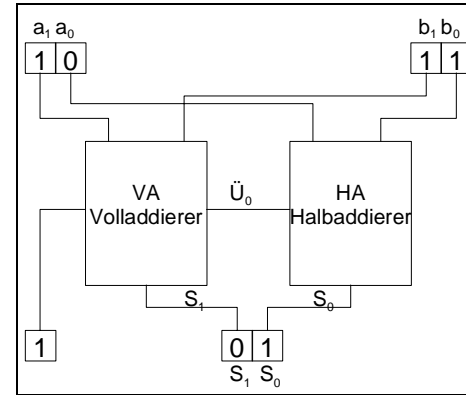
$$s = \overline{ac}(\overline{b} \vee b) \vee \overline{\overline{ac}}(\overline{b} \vee b) \vee bc(\overline{a} \vee a)$$

$$s = \overline{ac} \vee \overline{\overline{ac}} \vee bc$$

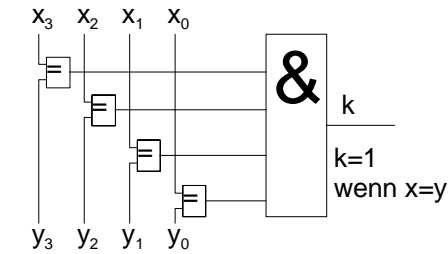
$$s = \overline{a}(c \vee \overline{c}) \vee bc$$

$$s = \overline{a} \vee bc$$

### 3.17. Volladdierer

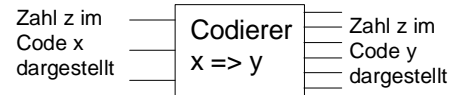


### 3.18. Komparator

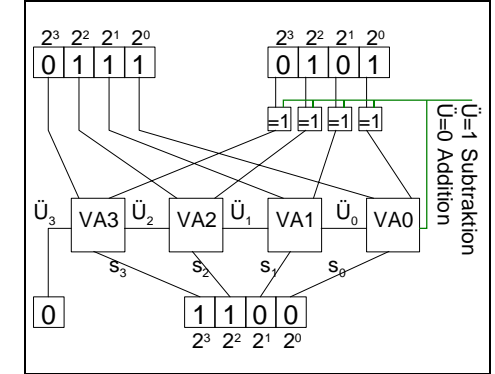


### 3.19. Codierer (Codewandler)

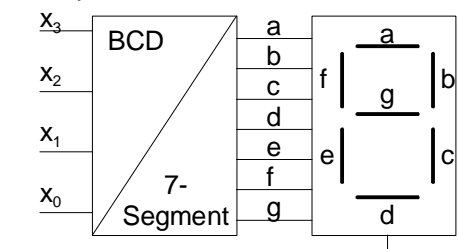
Blockschema



### Addition/Subtraktion

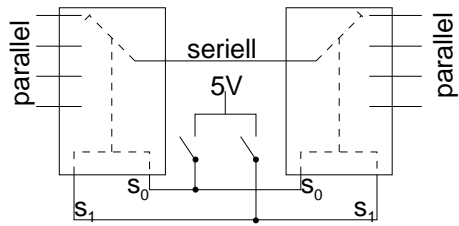


Beispiel

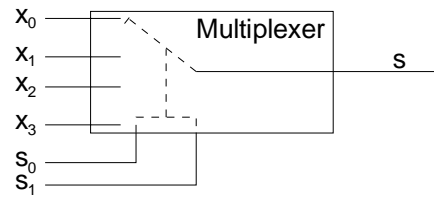


### 3.20. Multiplexer, Demultiplexer

Blockschema



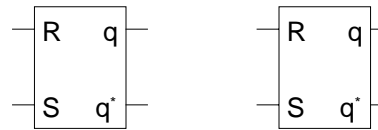
Beispiel



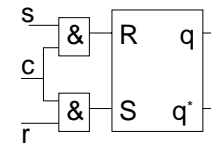
Über  $s_0$  und  $s_1$  wird bestimmt, welches Bit ( $x_0 - x_3$ ) auf  $s$  gelegt wird.

### 3.21. Flip-Flop

#### 3.21.1. Nicht Taktgesteuert RS-FF



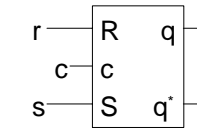
#### 3.21.2. Taktzustandsgesteuert



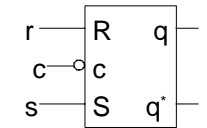
Arbeitstabelle

s	r	$q_{n+1}$	func.	$q_{n+1}^*$
0	0	$q_n$	store	$q_n$
0	1	0	reset	1
1	0	1	set	0
1	1	?	undef.	?

Symbol

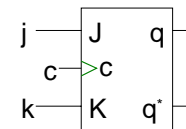


Symbol

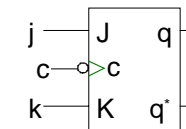


#### 3.21.3. Taktflankengeschteuert

Symbol

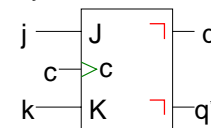


Symbol

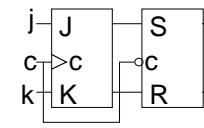


#### 3.21.3.1. JK-MS-FF

Symbol



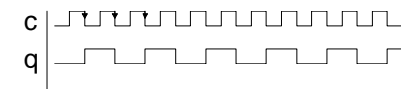
Aufbau



Arbeitstabelle

j	k	$q_{n+1}$	func.	$q_{n+1}^*$
0	0	$q_n$	store	$q_n$
0	1	0	reset	1
1	0	1	set	0
1	1	$\overline{q_n}$	change	$q_n$

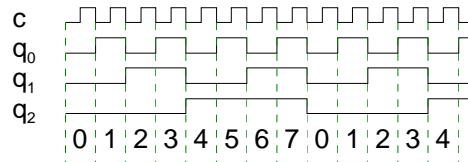
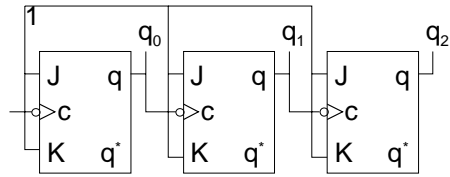
Einlesen bei steigender und ausgeben bei fallender Flanke!



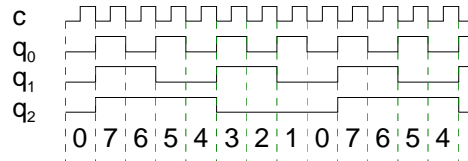
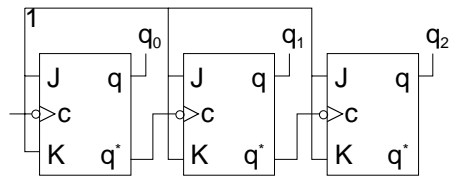


### 3.22. Zähler

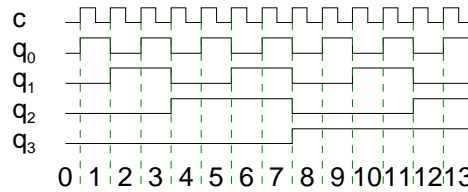
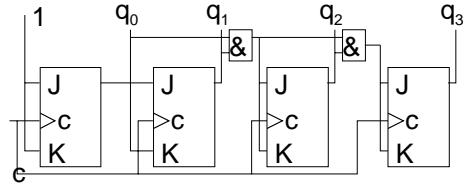
#### 3.22.1. Asynchroner Zähler



#### 3.22.2. Asynchroner Rückwärtszähler

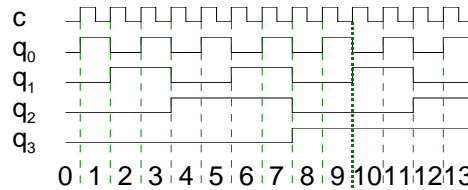
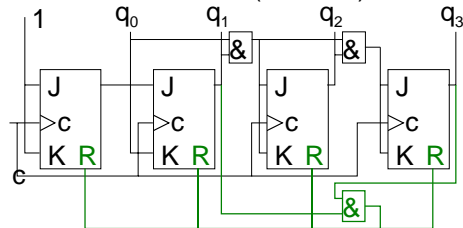


#### 3.22.3. Synchroner Zähler



##### 3.22.3.1. Reset

Zähler zählt von 0-9 (Dezimal):



### 3.23. AD- & DA-Wandler

Ein DA-Wandler wandelt digitale Signale in Analoge (z.B. Spannung) um.  
Ein AD-Wandler wandelt Analoge Signale in digitale um.

### 3.24. Modulationen

Träger:

Sinus (analog):

AM (Amplitudenmodulation)

WM (Winkelmodulation)

PhM (Phasen-M.)

FM (Frequenz-M.)

Clock (digital):

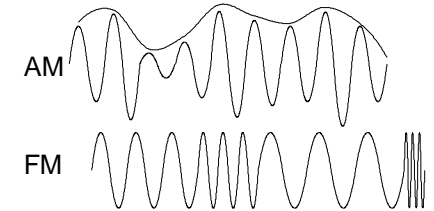
PM (Puls-M.)

PFM (Puls-Freq.-M.)

PWM (Pulsweiten-M.)

PPM (Puls-Phasen-M.)

PCM (Puls-Code-M.)



### 3.25. Wellenausbreitung

