

## 7.8 Lastfaktoren

Für den Ausgang einer Binärschaltung stellt der Eingang der angesteuerten Schaltung eine Belastung dar (**Bild 1**). Die Eingangsströme  $I_I$  und die Ausgangsströme  $I_Q$  hängen vom Signalzustand und von der Schaltkreisfamilie ab (**Tabelle 1**).

Zum sicheren Schalten bei den Zuständen L und H dürfen die Eingangslastfaktoren (Fan In = Eingangsfächer)  $F_{IH}$  und  $F_{IL}$  sowie die Ausgangslastfaktoren (Fan Out = Ausgangsfächer)  $F_{OH}$  und  $F_{OL}$  nicht überschritten werden.

### Beispiel 1: Anzahl zulässiger Eingänge berechnen

Eine UND-Schaltung 7408 hat im Zustand L ein Fan Out von 10. Wie viele Kippstufen können von dem L-Signal der UND-Schaltung am Reset-Eingang angesteuert werden, wenn deren Fan In 3 beträgt?

*Lösung:*

$$n_I = F_{OL}/F_{IL} = 10/3 = 3,33$$

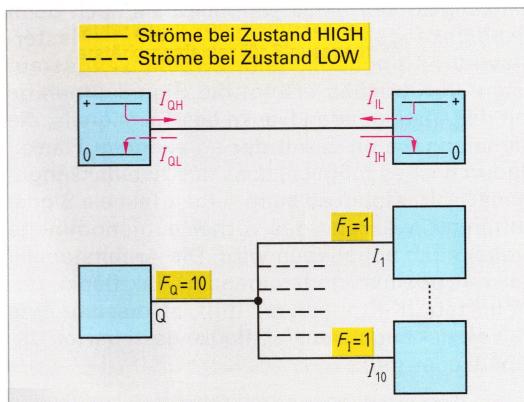
⇒ 3 Reset-Eingänge

### Aufgaben zu 7.8

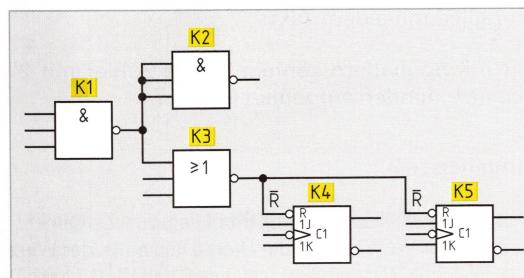
Die folgenden Aufgaben sind mit **Tabelle 1** zu lösen.

- Wie groß ist der Ausgangslastfaktor einer Standard-TTL-Schaltung beim Zustand H?
- Wie groß ist der theoretische Ausgangslastfaktor einer CMOS-Schaltung bei 5 V Betriebsspannung bei a) Zustand H, b) Zustand L?
- Für einen CMOS-Inverter wird  $F_{OL} = 50$  garantiert. Hierfür ist bei  $I_I = 1 \mu\text{A}$  das Fan In 1. a) Wie viele CMOS-Schaltungen mit  $F_{IL} = 2$  dürfen an den Inverter angeschlossen werden? b) Wie groß ist  $I_{OL}$  des Inverters bei nur 8 angeschlossenen CMOS-Schaltungen?
- Ein TTL-Inverter 7404 steuert je einen Eingang von drei TTL-NAND mit  $F_I = 1$  an. Wie groß sind  $I_{OL}$  und  $I_{OH}$  des Inverters?
- In der Schaltung **Bild 2** haben die Eingänge  $\bar{R}$  ein  $F_I = 3$ . a) Wie groß ist  $I_{OL}$  des TTL-NOR K3? b) Wie viele Inverter mit  $F_I = 1$  dürfen an das NOR zusätzlich angeschlossen werden?
- An den Ausgang eines CMOS-Inverters werden drei Standard-TTL-Inverter angeschlossen. Alle werden mit 5 V Betriebsspannung gespeist. Berechnen Sie die Belastung des CMOS-Inverters und prüfen Sie, ob er dabei überlastet wird.

$n_I = \frac{F_Q}{F_I}$	$F_I = \frac{I'_I}{I_I}$	$F_Q = \frac{I_Q}{I_I}$
$n_I$ Zahl der Eingänge mit $F_I = 1$ , die den Ausgang belasten dürfen		
$F_Q$ Ausgangslastfaktor Fan Out		
$F_I$ Eingangslastfaktor Fan In		
$I_Q$ höchstzulässiger Ausgangsstrom		
$I'_I$ höchstzulässiger Eingangsstrom		
$I_I$ Eingangsstrom eines Einganges mit $F_I = 1$		



**Bild 1:** Belastung binärer Schaltungen



**Bild 2:** Schaltungsauszug

**Tabelle 1:** Ströme der Standard-TTL- und CMOS-Schaltkreisfamilien bei  $U_b = 5 \text{ V}$

Ströme	Standard-TTL	CMOS
$I_{IL}$	$\leq 1,6 \text{ mA}$	$\leq 1 \mu\text{A}$
$I_{IH}$	$\leq 40 \mu\text{A}$	$\leq 1 \mu\text{A}$
$I_{OL}$	$\leq 16 \text{ mA}$	$\leq 6,4 \text{ mA}$
$I_{OH}$	$\leq 0,4 \text{ mA}$	$\leq 1,6 \text{ mA}$



## 8 Sequenzielle Digitaltechnik (Schaltwerke)

### 8.1 JK-Kippschaltungen

Schaltwerke werden meist aus JK-Gliedern (JK-Flipflops) aufgebaut, die teilweise über binäre Elemente miteinander verbunden sind. An Q\* (sprich: Q Stern) ist das Signal entgegengesetzt zum Signal an Q (**Bild 1**). Das Umschalten erfolgt bei diesen Kipplgliedern jeweils durch das Taktsignal an C, und zwar sowohl beim einflankengesteuerten JK-Kipplglied als auch beim zweiflankengesteuerten JK-Kipplglied (Master-Slave-JK-Kipplglied). Beim zweiflankengesteuerten JK-Kipplglied erfolgt die Signalaufnahme mit der ansteigenden Flanke des Taktsignals, die Signalabgabe an Q mit der abfallenden Flanke. Dadurch ist es möglich, dass das zweiflankengesteuerte JK-Kipplglied beim selben Takt ein Signal aufnimmt, während das vorher aufgenommene Signal noch abgegeben wird. Die Arbeitstabelle der mit positiver (ansteigender) Taktflanke gesteuerten JK-Kipplglieder (pfl) ist dieselbe wie bei mit der negativen Taktflanke gesteuerten JK-Kipplgliedern (nfl).

T-Kipplglieder entstehen aus JK-Kipplgliedern, wenn als T-Anschluss die Anschlüsse 1J und 1K miteinander verbunden werden. Liegt am T-Anschluss ein Signal mit dem Wert 1 an, so kippt das Kipplglied mit jedem Takt.

Mit n Kipplgliedern können binäre Zähler mit  $2^n$  Schaltzuständen aufgebaut werden.

#### Aufgaben zu 8.1

- Bei einer JK-Kippschaltung **Bild 1** liegt zum Zeitpunkt  $t_n$  an Q\* der Wert 1, an 1J der Wert 0 und an 1K der Wert 1. Welchen Wert erhält Q, solange C den Wert 1 hat?
- Bei der JK-Kippschaltung **Bild 1** liegen zum Zeitpunkt  $t_n$  an 1J, 1K und Q die Werte 1. Welcher Wert liegt zum Zeitpunkt  $t_{n+1}$  an Q\*?
- Die JK-Kippschaltung **Bild 1** hat zum Zeitpunkt  $t_{n+1}$  am Ausgang Q einen L-Pegel, zum Zeitpunkt  $t_n$  am Ausgang Q\* einen L-Pegel. Welche Pegel waren an 1J und 1K im Zeitpunkt  $t_n$  vorhanden?
- Bei einer JK-Kippschaltung **Bild 1** lagen zu den Zeitpunkten  $t_n$  und  $t_{n+1}$  am Ausgang Q jeweils H-Pegel. Welche Pegel können an 1J und 1K zum Zeitpunkt  $t_n$  gelegen haben?

$z = 2^n - 1$	$n \geq \lg z$
$n \geq \frac{\lg z}{\lg 2}$	$n \geq 3,3219 \cdot \lg z$

$z$  Wert der größten Dualzahl des Zählers  
 $n$  Anzahl der Kipplglieder

#### Beispiel 1: Pegel ermitteln

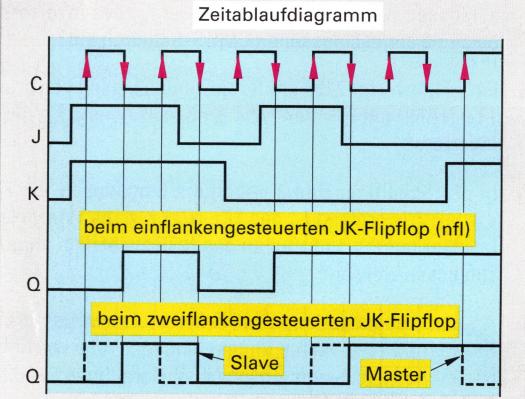
Eine einflankengesteuerte JK-Kippschaltung nach **Bild 1** hat zum Zeitpunkt  $t_n$  an J den Pegel L und an K den Pegel H, an C fällt die Flanke des Taktsignals ab. Welcher Pegel stellt sich an Q\* ein?

Lösung:

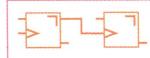
Nach der Arbeitstabelle oder dem Zeitablaufdiagramm von **Bild 1** stellt sich an Q der L-Pegel ein, an Q\* also der H-Pegel.

Schaltzeichen		Arbeitstabelle			
einflankengesteuert		$t_n$		$t_{n+1}$	
C	J	K	Q	Q*	
L	beliebig		$q_n$	$\bar{q}_n$	
H	beliebig		$q_n$	$\bar{q}_n$	
			L	L	$q_n$
			L	H	L
			H	L	H
			H	H	$\bar{q}_n$
					$q_n$

↗ beim einflankengesteuerten JK-Flipflop (nfl)  
 ↘ beim zweiflankengesteuerten JK-Flipflop



**Bild 1:** Eigenschaften der JK-Kipplglieder



## 8.2 Wertetabelle und Zeitablaufdiagramm aus der Schaltung

Außer den schon beschriebenen Schaltwerken mit T-Kippgliedern kommen auch Schaltwerke mit JK-Kippgliedern vor. Bei letzteren sind meist weniger Verknüpfungselemente erforderlich. Die Aufstellung der Wertetabelle erfolgt für den Zeitpunkt  $n$  und den Zeitpunkt  $n + 1$  wie bei den Schaltwerken mit T-Kippgliedern (**Bild 1**). Aus der Wertetabelle kann das Zeitablaufdiagramm gezeichnet werden.

### ■ Beispiel 1: Wertetabelle aufstellen

Für den Zähler **Bild 2** ist die Wertetabelle beginnend mit  $q_{1n} = q_{2n} = 0$  aufzustellen.

*Lösung:*

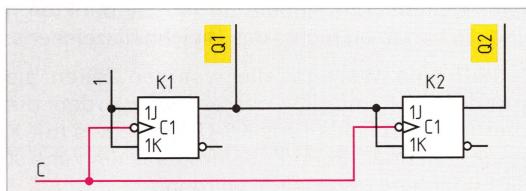
Die Schaltung hat  $2^n = 2^2 = 4$  Zustände, deshalb hat die Wertetabelle 4 Zeilen. Zum Zeitpunkt  $n + 1$  ist  $q_{1n+1} = 1$ . Also erhöht sich der Wert der rechten Spalte auf 1. Dieser Wert entspricht für den nächsten Takt dem Zeitpunkt  $n$ , kommt also in die Spalte  $q_{1n}$ . Entsprechend wird die Wertetabelle vervollständigt (**Bild 1**).

### Aufgaben zu 8.2

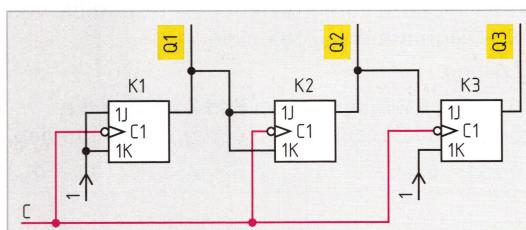
1. Ein synchroner Zähler hat die Schaltung **Bild 3**. Es ist die Wertetabelle aufzustellen (Anfangsstellung 000).
2. Bei einem synchronen Zähler **Bild 3** haben die Ausgänge Q vor dem ersten Taktimpuls die Werte 010. Von diesen Ausgangswerten beginnend ist die Wertetabelle aufzustellen.
3. Bei einem Zähler liegt das Zeitablaufdiagramm **Bild 4** vor. Es ist die Wertetabelle aufzustellen, und zwar beginnend mit 000.
4. Bei einem Zähler mit dem Zeitablaufdiagramm **Bild 4** ist die Wertetabelle aufzustellen, und zwar beginnend mit 011.
5. Ein synchroner Zähler hat die Schaltung **Bild 5**. Es ist die Wertetabelle aufzustellen, beginnend mit 000.
6. Vom synchronen Zähler **Bild 5** ist die Wertetabelle beginnend mit 100 aufzustellen.
7. Der synchrone Zähler **Bild 1**, folgende Seite, soll untersucht werden. Dazu ist die Wertetabelle beginnend mit 0000 aufzustellen.
8. Gesucht ist das Zeitablaufdiagramm des Zählers **Bild 1**, folgende Seite, für die ersten zehn Taktimpulse, wenn zum Ende des 2. Taktimpulses der Wert 0010 ist.

Zeitpunkt $n$		Zeitpunkt $n + 1$	
$q_{2n}$	$q_{1n}$	$q_{2n+1}$	$q_{1n+1}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	1
1	1	0	0

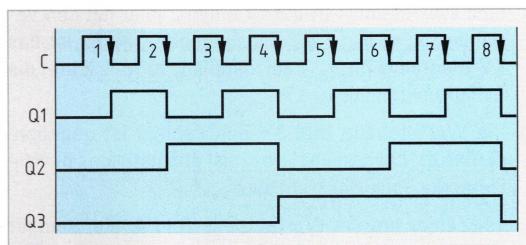
**Bild 1:** Wertetabelle für Dualzähler mit zwei JK-Kippgliedern



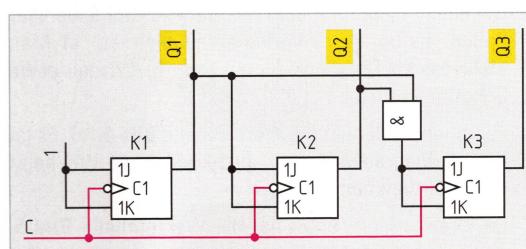
**Bild 2:** Synchroner Dualzähler für 0 bis 3



**Bild 3:** Dreistufiger synchroner Zähler



**Bild 4:** Zeitablaufdiagramm (Impulsdiagramm) für Dualzähler mit drei Kippgliedern



**Bild 5:** Dreistufiger synchroner Zähler

## 8.3 Schaltfunktion aus Wertetabelle

Aus der Wertetabelle kann die Schaltfunktion aufgestellt werden. Die Schaltfunktion besteht aus so vielen schaltalgebraischen Gleichungen, wie Kippglieder vorhanden sind. Man stellt deshalb aus der Wertetabelle ebenso viele KV-Diagramme auf. Die Signale zu den Zeitpunkten  $n+1$  sind die abhängigen Variablen, also die links des Gleichheitszeichens. Die Signale zu den Zeitpunkten  $n$  sind die Variablen rechts des Gleichheitszeichens.

Enthält eine Wertetabelle weniger Zeilen als grundsätzlich möglich wären, so werden die überflüssigen Felder des KV-Diagrammes mit X gekennzeichnet. Beim Zusammenfassen kann X als 1 oder als 0 angesehen werden.

### Beispiel 1: Schaltfunktion aufstellen

Es ist die minimierte Schaltfunktion zur Wertetabelle **Bild 1**, vorhergehende Seite, mithilfe von KV-Diagrammen aufzustellen.

*Lösung:*

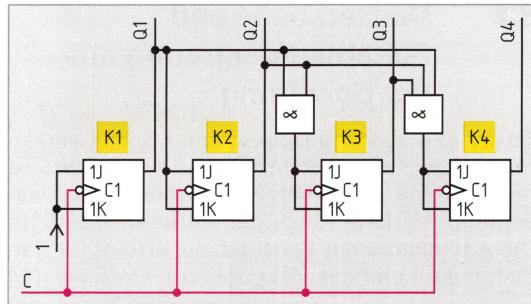
Aus den KV-Diagrammen **Bild 2** werden die Schaltfunktionen für  $q_{1n+1}$  und  $q_{2n+1}$  entnommen.

$$q_{1n+1} = \bar{q}_{1n}; \quad q_{2n+1} = (\bar{q}_{2n} \wedge q_{1n}) \vee (q_{2n} \wedge \bar{q}_{1n})$$

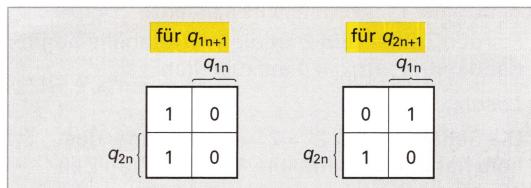
### Aufgaben zu 8.3

Die meisten Aufgaben lassen mehrere Lösungen zu.

- Eine Wertetabelle **Bild 3** für einen Zähler mit den Variablen  $q_{3n+1}, q_{2n+1}, q_{1n+1}$  ist gegeben. a) Es ist das KV-Diagramm für  $q_{2n+1}$  aufzustellen. b) Wie lautet die Schaltfunktion für  $q_{2n+1}$ ?
- Die Wertetabelle **Bild 3** eines Zählers ist gegeben. a) Das KV-Diagramm für  $q_{3n+1}$  ist aufzustellen. b) Wie lautet die Schaltfunktion für  $q_{3n+1}$ ?
- Ein Zähler hat die Wertetabelle **Bild 4**, die weniger Zeilen hat, als bei 3 Variablen möglich sind. a) Das KV-Diagramm für  $q_{2n+1}$  ist aufzustellen, und zwar mit Kennzeichnung der nicht benötigten Kästchen durch X. b) Wie lautet die Schaltfunktion für  $q_{2n+1}$ ?
- Bei einem Zähler hat die Wertetabelle **Bild 5** weniger Zeilen, als bei den 3 Variablen möglich ist. a) Man stelle das KV-Diagramm für  $q_{3n+1}$  auf. b) Wie lautet die Schaltfunktion für  $q_{3n+1}$ ?
- Für einen Zähler gilt die Wertetabelle **Bild 4**. a) Es ist das KV-Diagramm für  $q_{3n+1}$  aufzustellen. b) Wie heißt die Schaltfunktion für  $q_{3n+1}$ ?
- Ein dreistufiger Zähler hat die Wertetabelle **Bild 5**. a) Stellen Sie das KV-Diagramm für  $q_{2n+1}$  auf. b) Wie lautet die Schaltfunktion für  $q_{2n+1}$ ?



**Bild 1:** Vierstufiger synchroner Zähler



**Bild 2:** KV-Diagramme zu Bild 1, vorhergehende Seite

$q_{3n}$	$q_{2n}$	$q_{1n}$	$q_{3n+1}$	$q_{2n+1}$	$q_{1n+1}$
0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	0	0

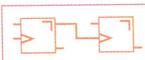
**Bild 3:** Wertetabelle für Zähler 0 bis 7

$q_{3n}$	$q_{2n}$	$q_{1n}$	$q_{3n+1}$	$q_{2n+1}$	$q_{1n+1}$
1	1	1	1	1	0
1	1	0	1	0	1
1	0	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1

**Bild 4:** Wertetabelle für Zähler 7 bis 4 und 0

$q_{3n}$	$q_{2n}$	$q_{1n}$	$q_{3n+1}$	$q_{2n+1}$	$q_{1n+1}$
0	0	0	1	1	1
1	1	1	1	1	0
1	1	0	1	0	1
1	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0

**Bild 5:** Wertetabelle für Zähler 7 bis 5 und 0



## 8.4 Schaltung aus Schaltfunktion

Ist die Schaltfunktion einer sequenziellen Schaltung bekannt, so lässt sich daraus die Schaltung realisieren. Nachfolgend wird das Berechnungsverfahren für synchrone Zähler mit JK-Kippgliedern angewendet. Die Berechnung von asynchronen Zählern ist dagegen meist kompliziert.

Die Schaltfunktion des synchronen Zählers muss für das Ausgangssignal zum Zeitpunkt nach dem Takt als **Problemfunktion** (charakteristische Gleichung) in der ODER-Normalform dargestellt werden.

Die Terme  $k_{in}$  sowie  $j_{in}$  ergeben die Eingangsfunktionen (Verknüpfungen) für die K-Eingänge und die J-Eingänge der JK-Kippglieder.

Treten in der Schaltfunktion Bestandteile der Problemfunktion nicht auf, so sind in der Schaltfunktion die Werte 0 einzusetzen.

### Beispiel 1: Schaltfunktion untersuchen

Eine Schaltfunktion lautet  $q_{3n+1} = q_{2n} \wedge \overline{q_{3n}}$ .

- Wie lautet die Problemfunktion?
- Berechnen Sie  $j_{3n}$  und  $k_{3n}$ .
- Woher kommen die Anschlüsse zu 1J und 1K der Kippschaltung K3?

*Lösung:*

- $q_{3n+1} = q_{2n} \wedge \overline{q_{3n}} = (0 \wedge q_{3n}) \vee (q_{2n} \wedge \overline{q_{3n}})$
- $j_{3n} = q_{2n}$  und  $k_{3n} = \overline{0} = 1$
- 1J von K3 ist mit Q2 zu verbinden, 1K von K3 mit 1.

Die Schaltfunktion muss dem KV-Diagramm so entnommen werden, dass sie je einen Ausdruck mit  $q_n$  und mit  $\overline{q_n}$  enthält.

### Beispiel 2: Zähler untersuchen

Bei einem synchronen Zähler tritt das KV-Diagramm **Bild 1** auf. a) Wie lautet eine geeignete Schaltfunktion? b) Welches sind die Eingangsfunktionen für  $j_{3n}$  und  $k_{3n}$ ? c) Wo sind 1J und 1K der 3. Stufe anzuschließen?

*Lösung:*

- Die nahe liegende Schaltfunktion  $q_{3n+1} = \overline{q_{2n}}$  ist ungeeignet, weil weder eine Verknüpfung mit  $q_{3n}$  noch mit  $\overline{q_{3n}}$  gegeben ist. Man kann aber Zweierblöcke mit  $q_{3n}$  und  $\overline{q_{3n}}$  bilden und erhält  $q_{3n+1} = (\overline{q_{2n}} \wedge q_{3n}) \vee (q_{2n} \wedge \overline{q_{3n}})$ .
- $j_{3n} = \overline{q_{2n}}$  und  $k_{3n} = \overline{\overline{q_{2n}}} = q_{2n}$
- 1J wird mit Q2\* verbunden und 1K mit Q2.

Problemfunktion eines JK-Kippgliedes:

$$q_{in+1} + 1 = (\overline{k_{in}} \wedge q_{in}) \vee (j_{in} \wedge \overline{q_{in}})$$

$q_{in+1}$	Ausgangswert nach dem Takt
$q_{in}$	Ausgangswert vor dem Takt
$k_{in}$	Eingangsvariable (Eingangsfunktion) für den Eingang K vor dem Takt
$j_{in}$	Eingangsvariable (Eingangsfunktion) für den Eingang J vor dem Takt
i	Index, Zahl der Zählerstufen (1, 2, 3, ...)

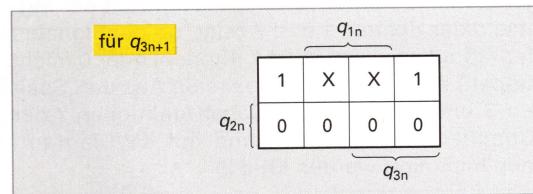
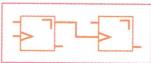


Bild 1: KV-Diagramm für  $q_{3n+1}$  eines synchronen Zählers

### Aufgaben zu 8.4

- Die Schaltfunktion eines dreistufigen, synchronen Zählers lautet für Q3:  $q_{3n+1} = (q_{3n} \wedge \overline{q_{2n}}) \vee (\overline{q_{1n}} \wedge q_{3n}) \vee (q_{2n} \wedge \overline{q_{3n}} \wedge q_{1n})$ . a) Wie lautet die Problemfunktion? b) Berechnen Sie  $j_{3n}$  und  $k_{3n}$ . c) Wie ist die Kippschaltung K3 angeschlossen?
- Bei einem dreistufigen, synchronen Zähler lautet die Schaltfunktion für Q2:  $q_{2n+1} = (q_{1n} \wedge \overline{q_{2n}}) \vee (q_{2n} \wedge \overline{q_{1n}})$ . a) Die Problemfunktion ist anzugeben. b) Wie sind  $j_{2n}$  und  $k_{2n}$  beschaffen? c) Wie ist die Kippschaltung K2 anzuschließen?
- Ein synchroner Zähler soll beginnend mit 5 rückwärts zählen, also 5-4-3-2-1-0-5-... . Gesucht sind a) Wertetabelle, b) KV-Diagramme für alle Kippschaltungen, c) alle Schaltfunktionen, d) alle Problemfunktionen, e) Schaltung des Rückwärtszählers.
- Ein synchroner Zähler soll beginnend mit 15 rückwärts zählen, aber nur bis 9, also 15-14-13-12-11-10-9-15-... . Es sind anzugeben a) die Wertetabelle, b) KV-Diagramm für die Kippschaltungen, c) alle Schaltfunktionen, d) alle Problemfunktionen, e) Schaltung des Rückwärtszählers.
- Ein synchroner Zähler soll beginnend mit 0 in 6 Schritten zählen 0-1-2-3-2-1-0-1-... . Gesucht sind a) Wertetabelle, b) KV-Diagramme aller Kippschaltungen, c) alle Schaltfunktionen, d) alle Problemfunktionen, e) alle  $j_{in}$  und  $k_{in}$ , sodass die Schaltung realisiert werden kann.



## 8.5 Sychrone Zähler mit T-Kipplgliedern

Synchronzähler takten alle Kipplglieder gleichzeitig über einen Takteleiter. Der Entwurf eines synchronen Zählers aus T-Kipplgliedern erfolgt anhand der Wertetabelle (Bild 1). Man trägt zuerst die möglichen Zählerzustände zu den Zeitpunkten  $t_n$  ein (Spalte 1). In einer Spalte 2 trägt man die Zählerzustände ein, die nach dem Takt im Zeitpunkt  $t_n + 1$  vorhanden sein müssen. Nicht vorkommende Zustände der Spalte 1 kennzeichnet man in Spalte 2 mit X. Der Vergleich der Signale  $q$  der Spalten 1 und 2 zeigt, ob die Signale  $t$  der Kipplglieder den Wert 1 (Kippen) oder 0 (nicht Kippen) haben müssen (Spalte 3). Aus den Spalten 3 und 1 können die Schaltfunktionen  $t$  der Kipplglieder entnommen und mit KV-Diagrammen minimiert werden (Bild 2).

Synchrone Zähler takten alle Kipplglieder mit einer gemeinsamen Takteleitung.

### Beispiel 1: Zähler entwickeln

Mit einem Zähler aus mit negativer Flanke gesteuerten T-Kipplgliedern soll von 1 bis 5 gezählt werden. a) Wie viele T-Kipplglieder sind erforderlich? b) Die Wertetabelle ist zu erstellen. c) Wie lauten die minimierten Schaltfunktionen für die T-Eingänge der Kipplglieder? d) Die Schaltung ist zu entwerfen.

**Lösung:**

a)  $n \geq 3,3219 \cdot \lg z = 3,3219 \cdot \lg 7 = 2,8$   
 $\Rightarrow n = 3$

b) **Bild 1**

c)  $t_{3n} = q_{1n} \wedge (q_{2n} \vee q_{3n})$   
 $t_{2n} = q_{1n} \wedge \overline{q_{3n}}$   
 $t_{1n} = \overline{q_{1n}} \vee \overline{q_{3n}}$

d) **Bild 3**

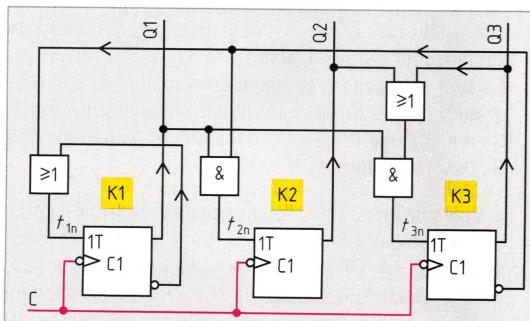


Bild 3: Synchroner Zähler 1 bis 5

Dezimal	Spalte 1			Spalte 2			Spalte 3		
	Zeitpunkt $t_n$			Zeitpunkt $t_{n+1}$			Zeitpunkt $t_n$		
	$q_{3n}$	$q_{2n}$	$q_{1n}$	$q_{3n+1}$	$q_{2n+1}$	$q_{1n+1}$	$t_{3n}$	$t_{2n}$	$t_{1n}$
0	0	0	0	X	X	X	X	X	X
1	0	0	1	0	1	0	0	1	1
2	0	1	0	0	1	1	0	0	1
3	0	1	1	1	0	0	1	1	1
4	1	0	0	1	0	1	0	0	1
5	1	0	1	0	0	1	1	0	0
6	1	1	0	X	X	X	X	X	X
7	1	1	1	X	X	X	X	X	X

Bild 1: Wertetabelle des Zählers 1 bis 5

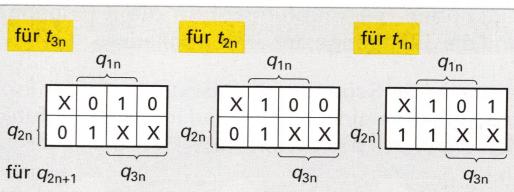


Bild 2: KV-Diagramme zu Bild 1

### Aufgaben zu 8.5

1. Es soll mit T-Kipplgliedern, die mit abfallender Flanke gesteuert werden, ein synchroner Zähler 0 bis 3 aufgebaut werden. Stellen Sie die Wertetabelle auf und geben Sie die Schaltung an.
2. Mit T-Kipplgliedern, die mit positiver Flanke gesteuert werden, soll ein synchroner Rückwärtszähler 3 bis 0 aufgebaut werden. Die Wertetabelle und die Schaltung sind anzugeben.
3. Mit T-Kipplgliedern, die mit abfallender Flanke gesteuert werden, ist ein synchroner Modulo-5-Teiler (Teilerschaltung, die durch 4 teilt, also Zähler 0 bis 4) zu entwerfen.
  - Stellen Sie die Wertetabelle auf.
  - Geben Sie die Schaltung an.
4. Aus T-Kipplgliedern, die mit positiver Flanke gesteuert werden, ist ein synchroner Modulo-6-Teiler (Teilerschaltung, die durch 6 teilt, also Zähler 0 bis 5) zu entwerfen. Geben Sie anhand der Wertetabelle die Schaltfunktionen und die Schaltung an.
5. Ein synchroner Rückwärtszähler 12 bis 0 ist aus T-Kipplgliedern, die mit abfallender Flanke gesteuert werden, zu entwerfen.
  - Wie lauten die minimierten Schaltfunktionen?
  - Skizzieren Sie die Schaltung.



## 8.6 Frequenzteiler

Zähler können bei Rechteckspannungen als Frequenzteiler verwendet werden. Bei anderer Kurvenform ist ein Schmitt-Trigger vorzuschalten (**Bild 1**). Die Frequenz kann durch jedes Teilverhältnis geteilt werden, wenn der Zähler aus genügend vielen Kippgliedern besteht. Entsprechend spricht man z.B. beim Teilen durch 3 vom Modulo-3-Teiler bzw. vom Modulo-3-Zähler.

Die Beschaltung der Kippglieder wird wie bei den synchronen Zählern aus Wertetabelle, minimierten Schaltfunktionen und Problemfunktionen berechnet.

### Beispiel 1: Frequenzteiler entwerfen

Die Beschaltung eines Modulo-3-Teilers ist aus der Wertetabelle **Bild 2** zu entwickeln.

*Lösung:*

$$\text{Schaltfunktionen: } q_{1n+1} = \overline{q_{1n}} \wedge \overline{q_{2n}} \\ q_{2n+1} = q_{1n} \wedge \overline{q_{2n}}$$

$$\text{Problemfunktionen: } q_{1n+1} = (0 \wedge q_{1n}) \vee (\overline{q_{2n}} \wedge \overline{q_{1n}}) \\ q_{2n+1} = (0 \wedge q_{2n}) \vee (q_{1n} \wedge \overline{q_{2n}})$$

$$\text{Signale: } k_{1n} = k_{2n} = \bar{0} = 1 \\ j_{1n} = \overline{q_{2n}}; j_{2n} = q_{1n}$$

Schaltung **Bild 3**

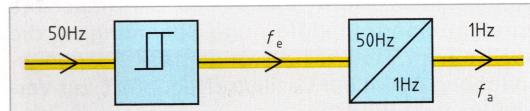
### Aufgaben zu 8.6

1. Die Schaltung des Modulo-5-Teilers ist aus der Wertetabelle **Bild 4** zu entwickeln. a) Wie viele Kippglieder sind erforderlich? b) Wie lauten die minimierten Schaltfunktionen? c) Geben Sie die Problemfunktionen an. d) Wie sind die J-Eingänge und die K-Eingänge zu beschalten?
2. Es soll ein Modulo-6-Teiler entwickelt werden. a) Wie viele Kippglieder sind erforderlich? b) Stellen Sie die Wertetabelle auf. c) Geben Sie die minimierten Schaltfunktionen an. d) Wie lauten die Problemfunktionen zur Entnahme der Signale für  $j_{in}$  und  $k_{in}$ ? e) Wie sind die K-Eingänge und die J-Eingänge zu beschalten?
3. a) Zeichnen Sie das Zeitablaufdiagramm für den Johnson-Teiler<sup>1</sup> **Bild 5** für so viele Takte, dass die Wiederholung des Bitmusters erkennbar ist. b) Welches Teilverhältnis gilt für die Teilerschaltung?
4. a) Von der Teilerschaltung **Bild 6** ist das Zeitablaufdiagramm für so viele Takte zu zeichnen, dass die Wiederholung des Bitmusters erkennbar ist. b) Wie groß ist das Teilverhältnis der Schaltung?

$$f_a = \frac{f_e}{k_f}$$

$$k_f \leq 2^n$$

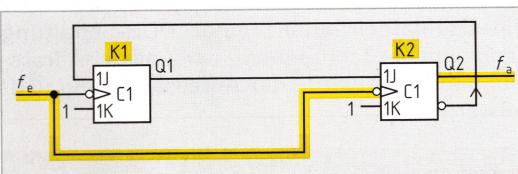
$f_a$  Ausgangsfrequenz  
 $f_e$  Eingangsfrequenz  
 $k_f$  Teilverhältnis  
 $n$  Anzahl der Kippglieder



**Bild 1:** Frequenzteiler mit Modulo-50-Teiler

$q_{2n}$	$q_{1n}$	$q_{2n+1}$	$q_{1n+1}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0

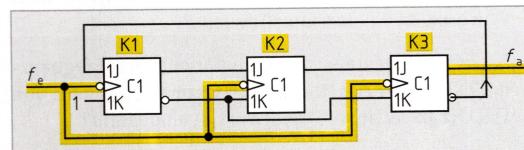
**Bild 2:** Wertetabelle für Modulo-3-Teiler



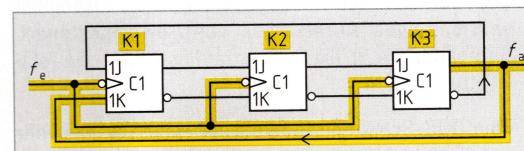
**Bild 3:** Frequenzteiler mit Modulo-3-Teiler

$q_{3n}$	$q_{2n}$	$q_{1n}$	$q_{3n+1}$	$q_{2n+1}$	$q_{1n+1}$
0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0

**Bild 4:** Wertetabelle für Modulo-5-Teiler

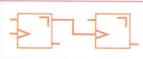


**Bild 5:** Teilerschaltung (Johnson-Teiler)



**Bild 6:** Teilerschaltung (Johnson-Teiler)

<sup>1</sup> Johnson, amerikanischer Ingenieur



## 8.7 Direkte digitale Synthese DDS

Eine DDS-Schaltung (**Bild 1**) speichert in einem ROM als Kurvenspeicher für eine Schwingung die Augenblickswerte als Digitalsignal ab. Das Rechenwerk ALU wird mit einer Taktfrequenz  $f_c$  des Referenzoszillators angesteuert und berechnet die Adressen zum zyklischen Abrufen dieser Digitalsignale. Am Ausgang eines DA-Umsetzers entsteht eine treppenförmige Spannung  $u_1$ , die nach einem Tiefpass als geglättete Ausgangsspannung  $u_2$  mit der Oszillatorkreisfrequenz  $f_o$  zur Verfügung steht (**Bild 2**).

Die Kurvenauflösung ist umso besser, je mehr Werte im Kurvenspeicher abgelegt sind.

Wird bei gleich bleibender Taktfrequenz nicht jede Adresse ausgelesen, so wird die Oszillatorkreisfrequenz größer. Die dezimale Schrittweite  $n$  (Offsetwert) wird als Dualzahl  $n_d$  im Offsetregister des Rechenwerks eingestellt (**Bild 1**).

Die Oszillatorkreisfrequenz einer DDS-Schaltung hängt von der Taktfrequenz, der Zahl der Adressbits und Schrittweite der Adressänderung (Offsetwert) ab.

### Aufgaben zu 8.7

- Wie viele Speicherplätze muss das Kurvenspeicher-ROM der DDS-Schaltung **Bild 1** haben, wenn es mit 8 Adressbits angesteuert wird?
- Eine DDS-Schaltung hat ein 8-stelliges Adressregister und eine Taktfrequenz von 1 MHz. Wie groß ist die Frequenzauflösung?
- Der Kurvenspeicher der DDS-Schaltung **Bild 1** hat 1024 Speicherplätze für eine Periode. Im Offsetregister ist 0101 eingestellt. Die Taktfrequenz beträgt 10 MHz. Wie groß ist die Oszillatorkreisfrequenz?
- Ein mit DDS gesteuerter Oszillator mit einer Frequenzauflösung von 20 kHz gibt eine Oszillatorkreisfrequenz von 160 kHz ab. Welcher Offsetwert ist eingestellt?
- Eine DDS-Schaltung **Bild 1** soll bei einer Schrittweite der Adressänderung von binär 01011 eine Oszillatorkreisfrequenz von 134,8 kHz abgeben. Der Kurvenspeicher wird mit einem Adresssignal von 7 bit angesteuert. Berechnen Sie a) die Frequenzauflösung, b) die Taktfrequenz.
- Eine DDS-Schaltung arbeitet mit einer Taktfrequenz von 10 MHz. Mit 8 Stufen während einer Halbperiode erzeugt er eine treppenförmige Spannung  $u_1$  (**Bild 2**),

$$\Delta f = \frac{f_c}{2^m}$$

$$f_o = d \cdot \Delta f$$

$\Delta f$  Frequenzauflösung (Frequenzänderung)

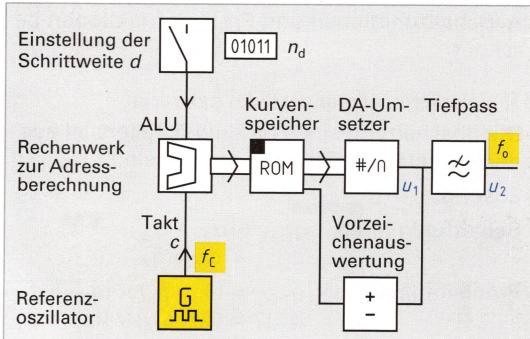
$f_c$  Taktfrequenz

$m$  Zahl der Adressbits

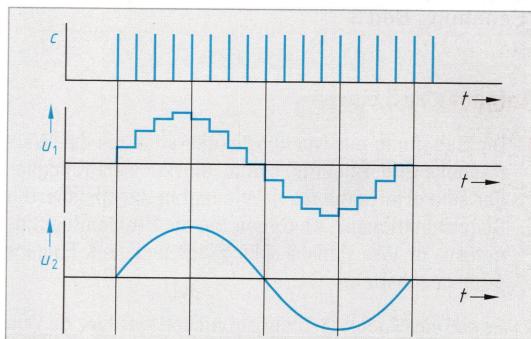
$2^m$  Zahl der Speicherplätze für eine Periode in bit

$f_o$  Oszillatorkreisfrequenz

$d$  dezimale Schrittweite für Adressänderung (Offsetwert)



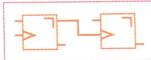
**Bild 1:** Übersichtsschaltplan einer DDS-Schaltung



**Bild 2:** Spannungen der DDS-Schaltung von Bild 1

die im anschließenden Tiefpass geglättet wird. Wie groß sind a) die Oszillatorkreisfrequenz, b) die Zahl der Adressbits?

- Der Kurvenspeicher der DDS-Schaltung **Bild 1** hat 512 Speicherplätze zum Abspeichern der Augenblickswerte einer Periodendauer. Mit einer Taktfrequenz von 800 kHz wird nur jede dritte Speicherstelle des Kurvenspeichers angesteuert. Berechnen Sie a) die Frequenzauflösung, b) die Oszillatorkreisfrequenz, c) die binäre Schrittweite.



## 8.8 PAL-Schaltkreise anwenden

Ein PAL (von Programmable Array Logic = programmierbare Feldlogik) ist ein spezielles programmierbares Logikelement PLD (von Programmable Logic Device = programmierbare Logikschaltung, Bild 1). Es enthält digitale integrierte Schaltkreise, deren Funktion erst vom Anwender durch Eingriffe in die Hardware verwirklicht wird. Einen PAL programmiert man durch *Herausbrennen* von leitenden Verbindungen.

Das Programmieren (Brennen) eines PAL führt zu einer Hardwareänderung des Bauelementes.

Die Darstellung einer programmierbaren, intakten Verbindung erfolgt mit einem X (Bild 2). Nach dem Brennvorgang werden nicht mehr vorhandene Verbindungen mit einem gestrichelten Kreis oder gar nicht gekennzeichnet. Verbleibende, intakte Verbindungen erkennt man am X.

Der Aufbau eines PAL, beschränkt auf zwei Eingänge und einen Ausgang, zeigt, dass die Eingangssignale Leistungstreibern zugeführt werden (Bild 3). Jedes Eingangssignal und dessen Invertierung werden über programmierbare Schmelzbrücken UND-Elementen zugeführt. Durch Wegbrennen einer Schmelzbrücke wird der entsprechende UND-Eingang über einen Pull-up-Widerstand (von to pull up = hochziehen) auf den logischen Wert 1 gelegt. Die an den Ausgängen der UND-Elemente entstehenden Verknüpfungen werden Produktterme genannt und meist mit dem Buchstaben P bezeichnet. Die logische Funktion, die ein Produktterm besitzt, wird von den intakten Schmelzbrücken bestimmt. Mehrere der

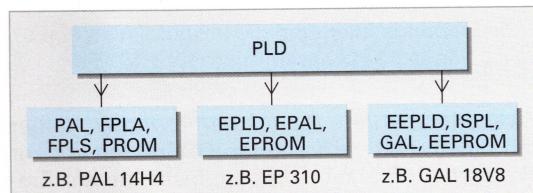


Bild 1: Unterscheidung von PLD nach Art der programmierbaren Verbindungen



Bild 2: Verbindungsarten in PALs

Produktterme werden zur Produktsumme ODER verknüpft. Diese Produktsumme bildet eines der Ausgangssignale des Bauelementes.

Die Schaltung aus Bild 3 vereinfacht sich unter Benutzung der Verbindungsarten für PLD (Bild 1, folgende Seite). PLD besitzen jedoch mehrere Eingänge. Hat ein PLD z. B. 64 Eingänge und 64 UND-Elemente, so führen insgesamt 8192 Signalleiter zu diesen UND-Elementen. Da diese vielen Leiter nicht mehr darstellbar sind, fasst man alle Eingangsleiter eines UND-Elementes zu einem Leiter zusammen, der Produktlinie genannt wird (Bild 2, folgende Seite). Die senkrechten Signalleiter, denen die Eingangssignale zugeführt werden, heißen Eingangslinien.

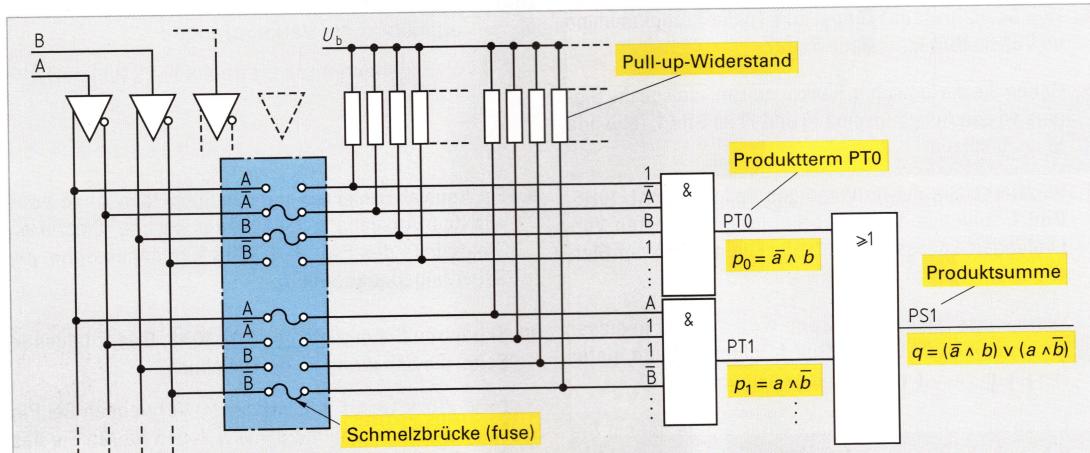
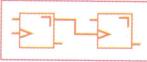


Bild 3: Prinzipieller Schaltungsaufbau eines PAL-Schaltkreises



Die Eingangslinien und die Produktlinien eines PAL bilden das programmierbare UND-Feld.

Zwei oder mehrere *Produktterme* werden immer mit einem fest verdrahteten ODER-Element zur *Produktsumme* zusammengefasst. Jedes Eingangssignal, das einem PAL zugeführt wird, besitzt zwei Eingangslinien. Die erste führt das Signal selbst, die zweite das invertierte Signal (**Bild 1**, folgende Seite). Alle Produktlinien schneiden alle Eingangslinien.

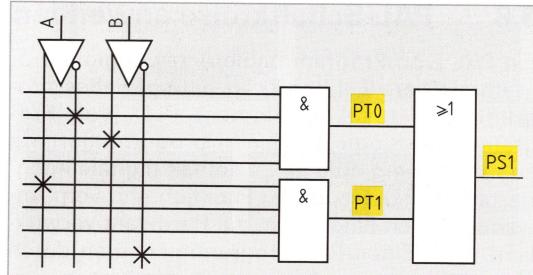
Werden alle Verbindungen einer Produktlinie programmiert (herausgebrannt), hat der Produktterm aufgrund der Pull-up-Widerstände PT0 den Signalwert 1. Produktlinien ohne ausgebrannte Verknüpfungen können auf zwei Arten dargestellt werden (**Bild 3**).

### Schaltkreis PAL 10H8

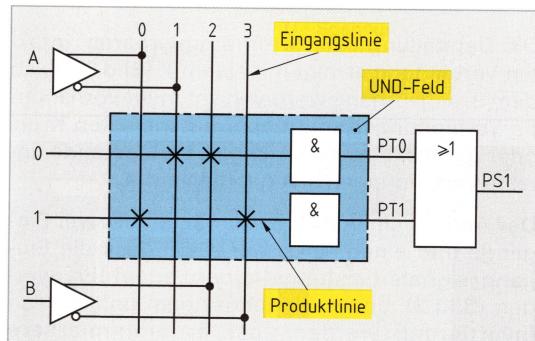
Der PAL 10H8 hat 20 Anschlüsse, davon sind 10 Eingänge, 8 Ausgänge und 2 Anschlüsse zur Spannungsversorgung (**Bild 1**, folgende Seite).

### Aufgaben zu 8.8

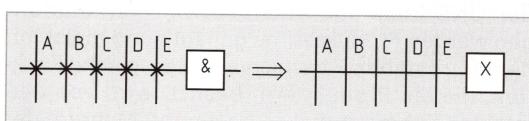
- Wie viele Eingangslinien und wie viele Produktlinien besitzt das PAL 10H8 im **Bild 1**, folgende Seite?
- Wie viele Signallinien stellen die Produktlinien im UND-Feld im **Bild 1**, folgende Seite, tatsächlich dar?
- Welchen Signalwert hat der Produktterm an PT1 und die Produktsumme an PS1 im **Bild 1**, folgende Seite?
- Wie beeinflusst das Signal an PT3 die Produktsumme an PS3 im **Bild 1**, folgende Seite?
- Geben Sie die logischen Funktionen an, welche die Signale an den Ausgangspins 18 und 17 im **Bild 1**, folgende Seite, besitzen.
- Skizzieren Sie die notwendigen Teile des PAL 10H8, **Bild 1**, folgende Seite, mit den programmierten Verbindungen, sodass am Pin 16 die Funktion mit der Gleichung  $w = (a \wedge b) \vee (\bar{a} \wedge c)$  entsteht.
- Warum lässt sich die Funktion  $v = \overline{a \vee b \vee c}$  in dieser Form nicht im PAL 10H8, **Bild 1**, folgende Seite, unter Benutzung nur eines Ausgangs eingeben?
- Lösen Sie Aufgabe 7 mithilfe einer Skizze, indem Sie die Funktion für  $v$  zuerst nach den Regeln von de Morgan umformen, **Bild 1**, folgende Seite.



**Bild 1:** Darstellung einer XOR-Verknüpfung

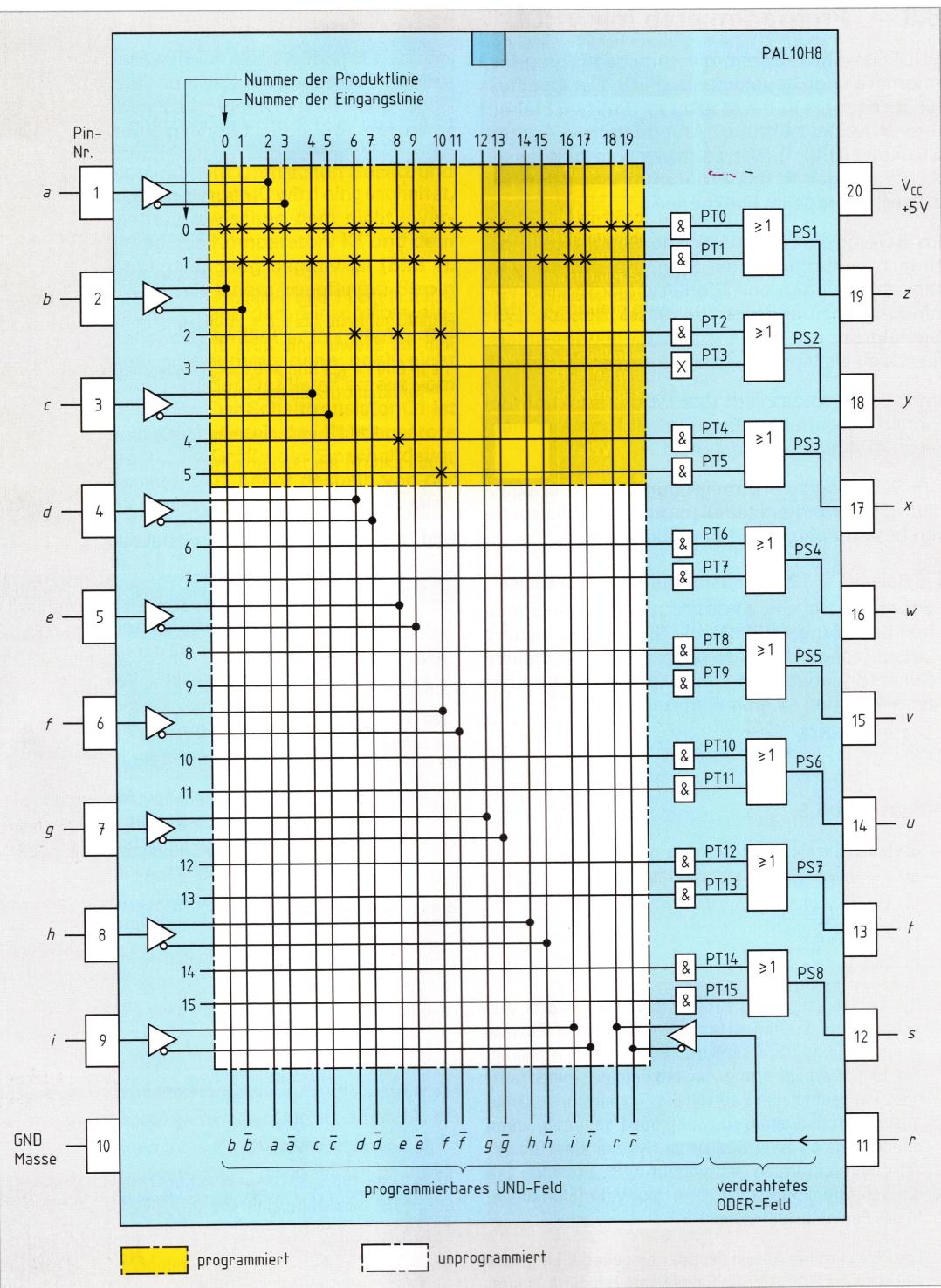
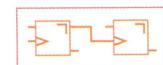


**Bild 2:** Darstellung einer XOR-Verknüpfung mit Produktlinien

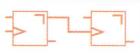


**Bild 3:** Darstellung einer Produktlinie ohne ausgebrannte Verknüpfungen

- Ein Äquivalenzelement mit den Eingängen  $a$  und  $b$  sowie dem Ausgang  $u$  soll erzeugt werden. Skizzieren Sie mithilfe des PAL 10H8, **Bild 1**, folgende Seite, die Schaltung für das Signal  $u$ .
- Skizzieren Sie mithilfe des PAL 10H8, **Bild 1**, folgende Seite, die Schaltung für die Gleichung  $t = a \vee b \vee (e \wedge \bar{f} \wedge g)$ . Hinweis: Verwenden Sie Pin 12 als Hilfsausgang mit  $s = a \vee b$  und führen Sie das Signal  $s$  über den freien Eingang an Pin 11 dem UND-Feld wieder zu.



**Bild 1:** Architektur eines teilweise programmierten PAL 10H8. (Im unprogrammierten Teil sind die Verbindungselemente nicht gezeichnet, obwohl alle Verbindungen intakt, d.h. nicht gebrannt sind.)



## 8.9 Programmieren mit VHDL

VHDL<sup>1</sup> ist eine Programmiersprache für programmierbare Logikbauelemente (PLD). Der Quelltext ist strukturiert in die ① ENTITY (Entity = Einheit) und ② ARCHITECTURE (Architecture = Aufbau, Struktur) (Bild 1). Mit LIBRARY und USE lassen sich Packages in das Programm einbinden, die z.B. oft gebrauchte Funktionen enthalten.

Im Bereich ENTITY wird eine Schnittstelle definiert bestehend aus Signalbezeichnungen, Signalrichtungen und Signaltypen. So sind Verbindungen zu anderen Einheiten möglich. Eine Signalgruppe, z.B. die Ausgänge eines Zählers, lässt sich als Vector zusammenfassen (Tabelle 1).

Im Bereich ARCHITECTURE ist die Funktion der Einheit beschrieben. Eine Einheit kann aus mehreren Architekturen bestehen.

Die Schaltlogik wird meist durch Funktionsgleichungen, Wahrheitstabellen und Kontrollstrukturen beschrieben (Bild 1 und Bild 2).

### Beispiel 1: Wahrheitstabelle in VHDL erstellen

Schreiben Sie eine ARCHITECTURE für die Einheit Schaltung 1 (Bild 1), die Signale des Vectors „eing“ sollen UND-verknüpft werden. Erstellen Sie unter Verwendung der CASE-Struktur und dem Ausgang a2 eine Wahrheitstabelle.

Lösung: Bild 2

### Aufgaben zu 8.9

1. Erstellen Sie die Schaltfunktion in VHDL.

$$\begin{aligned} a) \quad & x = a \wedge \bar{b} \vee \bar{a} \wedge b \\ b) \quad & x = (\bar{a} \vee b) \wedge c \vee d \\ c) \quad & x = \overline{a \wedge b \vee c} \\ d) \quad & x = a \wedge b \wedge c \wedge d \end{aligned}$$

2. Die Temperatur eines Prüfsystems soll an drei verschiedenen Stellen erfasst werden. Zum Einsatz kommen Temperatursensoren mit binärem Ausgang, die bei Überschreitung der maximalen Temperatur eine 1 ausgeben. Ein PLD soll die Temperaturzustände auswerten und einen Ausgang auf 1 schalten, wenn mindestens an zwei Stellen im System eine Temperaturüberschreitung festgestellt wird. Erstellen Sie die Schaltfunktion in VHDL a) als Wahrheitstabelle, b) als Funktionsgleichung.

3. Ein PLD wird als Adressdecoder eingesetzt. Liegt das Adresswort 1100 1100 am Eingang an, soll der Ausgang auf 1 geschaltet werden. Entwerfen Sie ENTITY und ARCHITECTURE für das VHDL-Programm.

```
LIBRARY IEEE;
USE IEEE.std_logic_1164.all;
-----
ENTITY Schaltung1 IS ①
PORT (
    e1, e2 : IN STD_LOGIC;
    eing : IN STD_LOGIC_VECTOR(1 downto 0);
    a1, a2 : OUT STD_LOGIC;
);
END Schaltung1;
-----
ARCHITECTURE behaviour OF Schaltung1 IS ②
BEGIN
    a1 <= NOT(e1 AND e2) OR (e1 AND e2);
END behaviour;
```

Bild 1: Logikprogramm in VHDL

```
ARCHITECTURE behaviour OF Schaltung1 IS
BEGIN
    CASE eing IS
        WHEN "00" => a2 <= '0';
        WHEN "01" => a2 <= '0';
        WHEN "10" => a2 <= '0';
        WHEN "11" => a2 <= '1';
        WHEN others => null;
    END CASE;
END behaviour;
```

Bild 2: Schaltlogik als Wahrheitstabelle

Tabelle 1: Programmelemente in VHDL

Binäre Operatoren		
AND	UND	a1 = (e1 AND e2)
OR	ODER	a2 = e3 OR e4
NOT	NICHT	a3 = NOT e2

Vergleichsoperatoren		
>	größer	k1 = (e7 /= e2);
<	kleiner	Ergebnis: k1 = 1, wenn e7 ungleich e2, sonst k1 = 0)
=	gleich	
/=	ungleich	

Signaltypen nach STD _ LOGIC _ 1164		
IN	Eingang	e1: IN STD _ LOGIC;
OUT	Ausgang	a1: OUT STD _ LOGIC;
VECTOR	Zusammenfassung von Signalen	eing: IN STD _ LOGIC _ VECTOR (1 downto 0);

if-else-Struktur		
if <Bedingung1>; then <Anweisung>; else <Anweisung>; end if;	Bedingte Verzweigung	if e1='0' then a1<=0; else a1<=1; end if;

<sup>1</sup> VHDL = Very High Speed Integrated Hardware Description Language

# 9 Computertechnik

## 9.1 Berechnung der Speicherkapazität

Der im Zentralspeicher und auf Datenträgern, z.B. USB-Sticks, zur Verfügung stehende Speicherplatz wird als Speicherkapazität bezeichnet und in Bytes (Zeichen) angegeben. Für 1 Byte (B) werden 8 bits benötigt (**Tabelle 1**).

USB-Sticks und Festplatten werden durch Formatisieren in Spuren und Sektoren eingeteilt (**Bild 1**). Dabei wird auch festgelegt, wie viele Bytes je Sektor gespeichert werden können und wie viele Sektoren ein Cluster (cluster = Haufen, Gruppe) umfasst. Eine Datei wird bündelweise in Clustern abgespeichert. Der nicht vollgeschriebene Rest eines Clusters bleibt unbeschrieben.

### Beispiel 1: Festplattenkapazität berechnen

Eine Festplatte besteht aus 4 Scheiben mit je 39 Sektoren und 761 Zylindern mit der Clustergröße 512 B. Berechnen Sie die Speicherkapazität a) in Byte, b) in KiB, c) in MiB.

*Lösung:*

$$M = n_z \cdot n_s \cdot M_s \cdot n_p$$

a)  $M = 761 \cdot 39 \cdot 8 \cdot 512 \text{ B} = 121\,565\,184 \text{ B}$

b)  $M = 121\,565\,184 \text{ KiB} \approx 122\,565 \text{ KiB}$

c)  $M = 121\,565\,184 \text{ B} = 122 \text{ MiB}$

Speicherkapazität für Festplatten:

$$M = n_z \cdot n_s \cdot M_s \cdot n_p$$

$M$  Speicherkapazität (Memory = Speicher)

$n_z$  Zahl der Spuren (Track = Spur) je Seite

$n_s$  Zahl der Sektoren je Spur

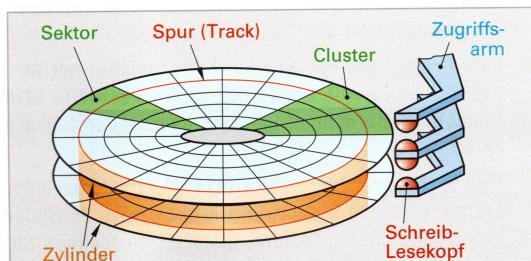
$M_s$  Speicherkapazität je Sektor

$n_p$  Zahl der nutzbaren Plattenseiten

**Tabelle 1: Einheiten von binären Signalen**

Einheit	IEC-Norm <sup>1</sup>	Umformungen
1 bit	1 bit	$2^0 \text{ bit} = 1 \text{ bit}$
1 Kbit	1 Kibit	$2^{10} \text{ bit} = 1024 \text{ bit}$
1 Mbit	1 Mibit	$1 \text{ Kibit} \cdot 1 \text{ Kibit} = 2^{20} \text{ bit} = 1048576 \text{ bit}$
1 Gbit	1 Gibit	$1 \text{ Kibit} \cdot 1 \text{ Mibit} = 2^{30} \text{ bit} = 1073741824 \text{ bit}$
1 kbit		$10^3 \text{ bit} = 1000 \text{ bit}$
1 B	1 B	$2^3 \text{ bit} = 8 \text{ bit}$
1 KB	1 KiB	$2^{10} \text{ B} = 1024 \text{ B} = 1024 \cdot 2^3 \text{ bit} = 1024 \cdot 8 \text{ bit} = 8192 \text{ bit}$
1 MB	1 MiB	$1 \text{ KiB} \cdot 1 \text{ KiB} = 2^{20} \text{ B} = 1048576 \text{ B} = 2^{20} \cdot 2^3 \text{ bit} = 2^{23} \text{ bit} = 8388608 \text{ bit}$
1 GB	1 GiB	$1 \text{ Ki} \cdot 1 \text{ MiB} = 2^{30} \text{ B} = 1073741824 \text{ B} = 2^{30} \cdot 2^3 \text{ bit} = 2^{33} \text{ bit} = 8589934592 \text{ bit}$
1 TB	1 TiB	$1 \text{ Ki} \cdot 1 \text{ GiB} = 2^{40} \text{ B} = 1099511627776 \text{ B} = 2^{40} \cdot 2^3 \text{ bit} = 2^{43} \text{ bit} = 8796093022208 \text{ bit} = 8,8 \text{ Bio. bit}$
1 PB	1 PiB	$1125899906842624 = 2^{50}$
1 EB	1 EiB	$1152921504606846976 = 2^{60}$
1 ZB	1 ZiB	$1180591620717411303424 = 2^{70}$
1 YB	1 YiB	$1208925819614629174706176 = 2^{80}$

<sup>1</sup> IEC 60027-2



**Bild 1: Festplatteneinteilung**



## 9.2 Bildschirmauflösung und Speicherkapazität

Bildschirme (Monitore) unterscheiden sich nach Größe, Auflösung und Seitenverhältnis (**Bild 1**).

Bei Scannern (**Bild 2**) wird eine Vorlage abgetastet, im PC gespeichert und weiterverarbeitet.

### Beispiel 1: Diagonale in Breite und Höhe umrechnen

Berechnen Sie die Breite  $w$  und die Höhe  $h$  in cm bei einem Seitenverhältnis  $a : b = 4 : 3$  für ein Gerät mit  $d = 15''$ .

*Lösung:*

$$w = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \cdot d = \frac{4}{\sqrt{4^2 + 3^2}} \cdot 15'' \cdot 2,54 \text{ cm} \\ = 30,48 \text{ cm}$$

$$h = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \cdot d = \frac{3}{\sqrt{4^2 + 3^2}} \cdot 15'' \cdot 2,54 \text{ cm} \\ = 22,9 \text{ cm}$$

### Beispiel 2: Bildschirmspeicher berechnen

Welche Speicherkapazität wird für einen Bildschirm mit 1024 Zeilen, 768 Spalten und einer Farbtiefe von 16 bit benötigt?

*Lösung:*

$$M = n_z \cdot n_s \cdot k_F = 1024 \cdot 768 \cdot 16 \text{ bit} \\ = 12582912 \text{ bit} \\ = 12582912/8 \text{ B} = 1572\,684 \text{ B} \\ = 1572\,684/(1024 \cdot 1024) \text{ MiB} = 1,5 \text{ MiB}$$

### Aufgaben zu 9.2

1. Berechnen Sie die Breite  $w$  und die Höhe  $h$  in cm bei einem Seitenverhältnis  $a : b = 16 : 9$  für ein Gerät mit  $d = 58,4$  cm.
2. Berechnen Sie für die Breite  $w = 39$  cm und das Seitenverhältnis  $a : b = 5 : 4$  die Diagonale  $d$ .
3. Ein LC-Bildschirm hat  $1280 \times 1024$  Bildpunkte und eine Farbtiefe von 24 bit. Berechnen Sie die nötige Speicherkapazität der Grafikkarte.
4. Eine Grafikkarte hat einen Arbeitsspeicher mit  $M = 64$  MiB. Der verwendete LC-Bildschirm hat  $1280 \times 1024$  Bildpunkte. Berechnen Sie die mögliche darstellbare Farbtiefe.
5. Eine Grafikkarte kann  $1280 \times 1024$  Bildpunkte bei einer Farbtiefe von 24 bit darstellen. Es werden 76 Bilder je Sekunde an den Monitor geliefert. Berechnen Sie a) die Horizontalfrequenz, b) die Vollbildfrequenz, c) die Speicherkapazität.

$w = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \cdot d$	$h = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \cdot d$
$f_Z = f_B \cdot n_Z$	$n = n_Z \cdot n_S$
$f_P = f_Z \cdot n_S$	
$M = n_Z \cdot n_S \cdot k_F$	
$d$ Diagonale	$M$ Speicherkapazität
$f_B$ Vollbildfrequenz	$n_S$ Spaltenzahl
$f_Z$ Horizontalfrequenz	$n_Z$ Zeilenzahl
$h$ Höhe	$w$ Breite (width)
$k_F$ Farbtiefe in bit	
1 inch = 25,4 mm	

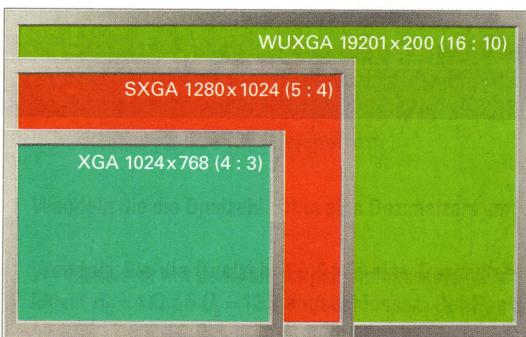


Bild 1: Display-Größen

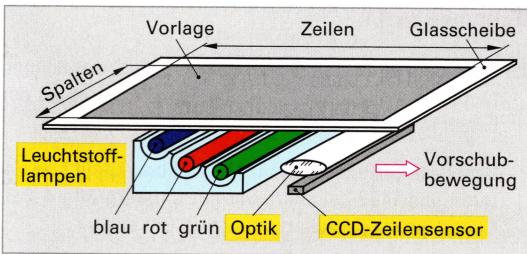


Bild 2: Scannerprinzip

6. Berechnen Sie für ein Bild der Größe  $140 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$  bei einer optischen Auflösung des Scanners von  $600 \text{ dpi} \times 1200 \text{ dpi}$  und einer Farbtiefe von 48 bit a) die Bildpunktezahl und b) die nötige Speicherkapazität.
7. Berechnen Sie für ein Bild der Größe  $270 \text{ mm} \times 210 \text{ mm}$  bei einer optischen Auflösung des Scanners von  $1200 \text{ dpi} \times 2400 \text{ dpi}$  und einer Farbtiefe von 48 bit a) die Bildpunktezahl und b) die nötige Speicherkapazität.



## 9.3 PC-Firmware

### 9.3.1 PC-BIOS einstellen

Das BIOS (Basic-Input-Output-System = grundlegendes Eingabe-Ausgabe-System) ist meist in einem Flash-EPROM (EPROM von erasable programmable read-only memory) auf der Hauptplatine gespeichert und auf den Chipsatz, die seriellen und parallelen Schnittstellen sowie auf die Laufwerks-Controller des PCs abgestimmt. BIOS-Hersteller sind z.B. AMI, AWARD, Phoenix (**Bild 1**).

Bei jedem Einschalten des PCs wird das BIOS gestartet. Es führt zuerst einen Selbsttest (POST von Power-On Self-Test) des PCs durch (**Bild 2**).

Tritt beim POST ein Fehler auf, so wird dies durch Fehlersignale (Beep-Codes) aus dem Lautsprecher und einer entsprechenden Fehlermeldung auf dem Monitor angezeigt (**Tabelle 1**).

Hält man, während der PC hochfährt, eine entsprechende Taste gedrückt, z.B. [Entf.], [F2] oder [F1], gelangt man in das Hauptmenü (Main-Menü) des BIOS-Einstellungsprogrammes (Bild 1).

#### Beispiel 1: POST-Baugruppen bestimmen

Welche Baugruppen werden beim POST auf Fehler überprüft?

**Lösung:** Tabelle 1

RAM, Netzteil, Chipsatz, Controller, Grafikkarte, Motherboard.

#### Beispiel 2: PC booten

Entfernen Sie an Ihrem PC den USB-Stecker der Tastatur und booten Sie den PC. Welche Auswirkung ist feststellbar?

**Lösung:**

Fehlersignal, z.B. bei AWARD-BIOS 3 × lang.

### Aufgaben zu 9.3.1

1. Schalten Sie Ihren PC ein und starten Sie durch Drücken einer entsprechenden Taste das BIOS-Einstellungsprogramm.
2. Welche Navigationsmöglichkeiten gibt es im Hauptmenü des BIOS?
3. Ändern Sie die Systemzeit Ihres PCs im BIOS und speichern Sie die Änderungen. Booten Sie anschließend neu und überprüfen Sie die Systemzeit.
4. a) Ändern Sie im Boot-Menü die Boot-Reihenfolge, sodass von einem USB-Laufwerk zuerst gebootet wird, beim Beenden abspeichern.

ThinkPad	
Setup	MAIN
MAIN	UEFI BIOS Version R19ET26W (1.10)
Config	UEFI BIOS Date (Year-Month-Day) 2020-06-22
Date/Time	Embedded Controller Version R19HT24W (1.08)
Security	Machine Type Model 20U7S01/G00
Startup	System-unit serial number PF24Q3T0
Restart	System board serial number L1HF09K02E0
Lenovo	AssetTag No Asset Information
	CPU Type AMD Ryzen 5 4500U with Radeon Graphics
	CPU Speed 2.375 GHz
	Installed memory 32768 MB
	UUID 7d4f93cc-3277-11b2-a85c-c0b38c9d21f6
	MAC Adress (Internal LAN) 54 06 DB 6E 5E AC
	UEFI Secure Boot Off
F1 General Help	F9 Setup Defaults
Esc Back	F10 Save

Bild 1: Hauptmenü BIOS

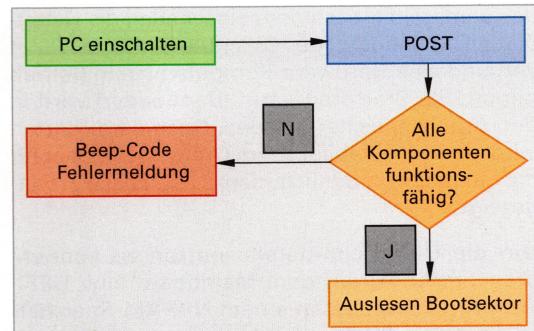


Bild 2: Ablauf BIOS Selbsttest

Tabelle 1: BIOS Fehlermeldungen (Beispiele)

Signal	AMI BIOS	AWARD BIOS
1x kurz	DRAM-Refresh aus-fallen	POST erfolgreich beendet
1x lang	POST erfolgreich beendet	Fehler des Arbeitsspeichers, Modulbefestigung nicht korrekt
1x Dauer	Netzteilfehler	Arbeitsspeicher oder Grafikkarte nicht gefunden
1x lang, 1x kurz	Fehler auf dem Motherboard	
1x lang, 2x kurz	Grafikkartenfehler: Video-ROM-BIOS-Checksumme falsch; Monitoransteuerung defekt; keine Grafikkarte gefunden	Grafikkarte fehlerhaft oder defekt

- b) Stecken Sie anschließend einen bootfähigen USB-Stick ein und starten Sie den PC neu.

### 9.3.2 UEFI

Das UEFI (von: Unified Extensible Firmware Interface = einheitliche erweiterbare Firmware-Schnittstelle) ist eine Firmware welche die zentrale Schnittstelle zwischen PC-Komponenten und 64-Bit-Betriebssystem bildet (**Bild 1**).

Die Firmware ist eine fest (engl. firm) mit der Hardware verbundene Software, ohne diese kann die Hardware nicht genutzt werden.

Jeder PC erhält eine 128 Bit GUID (von: Globally Unique Identifier = weltweit eindeutige Kennzahl). UEFI ist eine Art Miniatur-Betriebssystem, das unmittelbar nach dem Einschalten die Hauptplatine (Mainboard) des Computers und die damit verbundenen Hardware-Komponenten in Betrieb nimmt. Ein Startprogramm (Bootloader) wird in den Arbeitsspeicher geladen. Nach dem Starten wird ein Anmeldebildschirm (Anmeldescreen) für die Eingabe von Benutzername und Passwort angezeigt.

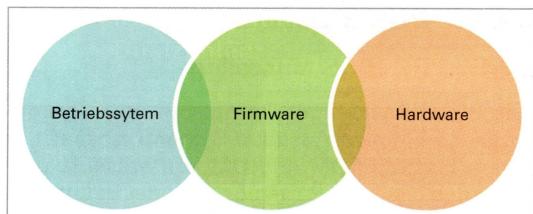
Um die UEFI-Schnittstelle nutzen zu können, braucht der PC auf dem Mainboard eine UEFI-Firmware. Diese ist in einem NVRAM-Speicherchip auf dem Motherboard implementiert.

Um von Festplatten mit mehr als 2 TB Speicherkapazität booten zu können, verwendet UEFI eine GPT (von: GUID-Partitionstabellle). Windows kann nur von GPT-Partitionen gebootet werden. Den Ablauf des UEFI Systemstartes zeigt **Bild 2**.

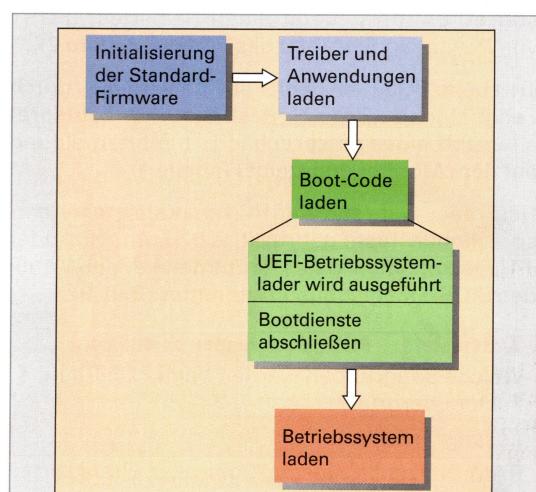
Durch paralleles Laden von Treibern startet UEFI das Betriebssystem schneller als das BIOS. Die UEFI-Oberfläche ist meist grafisch aufwendig gestaltet und lässt sich mit der Maus bedienen (**Bild 3**).

#### Aufgaben zu 9.3.2

1. Schalten Sie Ihren PC ein und starten Sie durch Drücken einer entsprechenden Taste die UEFI-Oberfläche.
2. Welche Navigationsmöglichkeiten bietet das Hauptmenü?
3. Ändern Sie die Systemzeit und speichern Sie die Änderung ab. Booten Sie anschließend neu und überprüfen Sie die Systemzeit.
4. Ändern Sie im Boot-Menü die Boot-Reihenfolge. Legen Sie Booten von USB als erste Boot-Option fest. Speichern Sie die Änderung ab. Booten Sie anschließend neu und überprüfen Sie ob der PC mit einem bootfähigen USB-Stick gebootet werden kann.



**Bild 1:** Firmware



**Bild 2:** Ablauf UEFI Systemstart



**Bild 3:** UEFI eines ASUS-Mainboards

## 9.4 C/C++ und ARDUINO

### 9.4.1 Lineare Programme

Programme bestehen aus einzelnen Anweisungen, die nacheinander von einem Computer bearbeitet werden. Meist setzt man Hochsprachen ein, z.B. C, C++ oder C#.

#### Vorgehensweise bei der Programmierung:

1. Analysieren der Aufgabenstellung: Ein- und Ausgabeschnittstellen festlegen, Formeln für Berechnungsvorgänge erstellen.
2. Programmablauf beschreiben, z.B. mit Struktogramm.
3. Quelltext mit Editor erstellen.
4. Compilieren und Testen des Programms.
5. Programme für Mikrocontroller (**Bild 1**) müssen in dessen Programmspeicher übertragen werden.

#### ARDUINO

Dieses System besteht aus Mikrocontroller-Hardware (**Bild 1**) und einer Entwicklungsumgebung (**Bild 2**). Ein Programm wird in C geschrieben und als „Sketch“ bezeichnet. Die Grundstruktur eines ARDUINO-Programms besteht aus zwei Funktionen:

`setup()` wird zum Programmstart einmal ausgeführt und dient zur Konfiguration der Hardware,

`loop()` wird zyklisch aufgerufen und enthält den Programmteil, der endlos wiederholt wird.

#### Beispiel 1: Lineares Programm

Ein High-Signal am Anschluss D13 der Mikrocontroller-Hardware ARDUINO UNO schaltet eine LED ein. Erstellen Sie das Struktogramm und den Quelltext, um die LED einzuschalten.

#### Lösung: Bild 2 und Bild 3

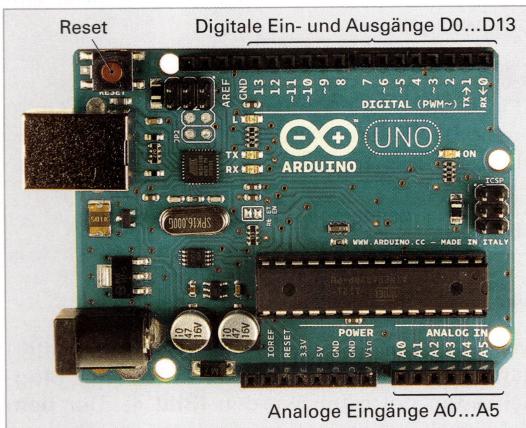
Mit `pinMode()` (**Tabelle 1**) den Anschluss D13 als Ausgang konfigurieren und mit `digitalWrite()` D13 auf HIGH schalten.

#### Aufgaben zu 9.4.1

1. Die LED an D13 (**Bild 1**) soll mit 1 Hz blinken.
2. Die DIGITAL-Anschlüsse des ARDUINO UNO (**Bild 1**) steuern eine Verkehrsampel: D11 steuert Signal rot, D12 gelb und D13 grün. Dabei soll folgender Zyklus ständig wiederholt werden: Ampelphasen: rot (50 s), rot-gelb (2 s), grün (50 s) und gelb (2 s).

**Tabelle 1: Beispiele von ARDUINO Funktionen**

Name	Erklärung
<code>pinMode()</code>	Konfiguriert einen digitalen Anschluss als Ein- und Ausgang
<code>digitalWrite()</code>	Setzt einen digitalen Anschluss auf den Zustand High oder Low
<code>delay()</code>	Verzögert den Programmablauf um eine bestimmte Zeit



**Bild 1:** Mikrocontroller-Hardware ARDUINO UNO

```
LED_ON\$

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, HIGH);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Hochladen abgeschlossen.

Der Sketch verwendet 846 Bytes (2%) des Programmspeicherplatzes.  
Das Maximum sind 32.256 Bytes.

**Bild 2:** Entwicklungsumgebung für ARDUINO

LED einschalten

DIGITAL-Anschluss D13 als Ausgang konfigurieren  
DIGITAL-Anschluss D13 auf HIGH schalten

**Bild 3:** Struktogramm für Beispiel 1

Informationen zum Programmieren mit ARDUINO unter [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc), [www.arduino.org](http://www.arduino.org) und [www.fritzing.org](http://www.fritzing.org).



## 9.4.2 Programmverzweigungen

### Einfache Verzweigung

Mit der if-else-Anweisung kann in Abhängigkeit von einer Bedingung zwischen zwei Programmzweigen (**Bild 1**) gewählt werden. Nach dem Schlüsselwort `if` steht in Klammern ein logischer Ausdruck. Ist der Ausdruck wahr, wird der folgende Anweisungsteil ausgeführt, sonst der Anweisungsteil hinter dem Schlüsselwort `else`. Wird der `else`-Zweig nicht benötigt, dann wird er einfach weggelassen.

#### ■ Beispiel 1: if-else-Anweisung

Ein Taster schaltet mit einem H-Signal am Eingang D0 über den Ausgang D13 eine LED ein. Erstellen Sie den Quelltext.

*Lösung:*

**Bild 2**

```
if_else_Bsp_01 $  
int signal; //Für Tasterzustand  
  
void setup() {  
    // put your setup code here, to run once:  
    pinMode(13,OUTPUT); //LED  
    pinMode(0,INPUT); //Taster  
}  
  
void loop() {  
    // put your main code here, to run repeatedly:  
  
    signal = digitalRead(8);  
  
    if(signal == 1)  
    {  
        digitalWrite(13,HIGH);  
    }  
    else  
    {  
        digitalWrite(13,LOW);  
    }  
}
```

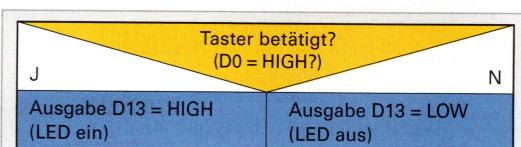
**Bild 2:** Quelltext für Beispiel 1

### Mehrfachverzweigung

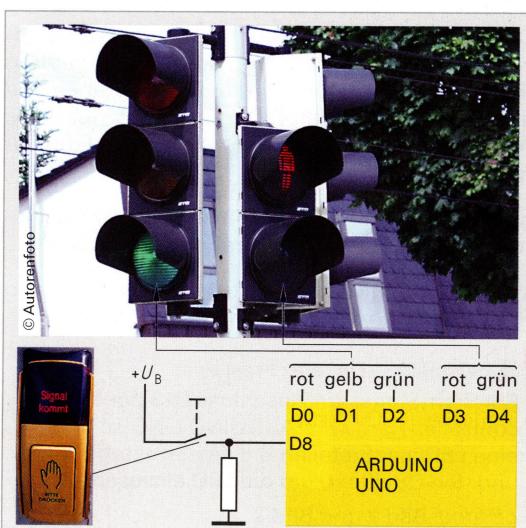
Mit der switch-Anweisung (`switch` = Schalter) kann eine Auswahl zwischen mehreren Möglichkeiten getroffen werden (**Bild 4**). Der dem Schlüsselwort `switch` folgende Ausdruck muss ein ganzzahliger Datentyp sein. Auswahlbare Programmzweige beginnen mit dem Schlüsselwort `case`, gefolgt von einer Sprungmarke. Jeder `case`-Zweig wird mit der `break`-Anweisung (`break` = abbrechen) beendet. Ist kein Sprungziel vorhanden, können die Anweisungen nach der `default`-Marke ausgeführt werden.

### Aufgaben zu 9.4.2

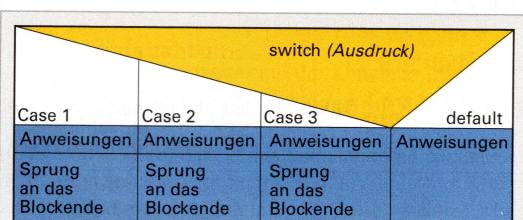
- Erweitern Sie das Beispiel 1 so, dass die LED mit 1 Hz blinkt, wenn der Taster betätigt wird.
- Die Ampel (**Bild 3**) soll durch Betätigung der gelben Signalanforderungstaste umschalten, sodass Fußgänger die Straße überqueren können. Nach 20 s soll die Ampel wieder zurückschalten.
- Schreiben Sie ein Programm, das nach Eingabe der Schulnoten von 1 bis 6 diese als Text ausgibt.



**Bild 1:** Struktogramm mit einfacher Verzweigung



**Bild 3:** Steuerung für Ampel



**Bild 4:** Struktogramm für die switch-Anweisung



### 9.4.3 Programmschleifen

Schleifen wiederholen einzelne Anweisungen oder Anweisungsblöcke in Abhängigkeit von einer Bedingung. Es gibt drei Typen von Schleifen.

Bei der **while-Anweisung** wird zuerst die Wiederholbedingung geprüft (**Bild 1**). Ist sie erfüllt, wird der zur Schleifenanweisung gehörende Programmteil ausgeführt, bis die Bedingung nicht mehr erfüllt ist.

Bei der **do-while-Anweisung** wird der Anweisungsblock zuerst ausgeführt und dann geprüft, ob die Wiederholbedingung noch erfüllt ist (**Bild 2**). Ist sie erfüllt, wird der zur Schleifenanweisung gehörende Programmteil ausgeführt, bis die Bedingung nicht mehr erfüllt ist.

Mit der **for-Anweisung** wird eine Schleife von einem Anfangswert mit bestimmter Schrittweite bis zu einem Endwert durchlaufen (**Bild 3**).

#### Beispiel 1: Schleifenvergleich

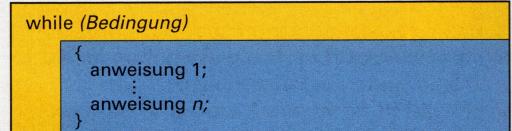
Schreiben Sie ein Programm, das für jeden Schleifentyp von 0 bis 10 zählt.

*Lösung:*

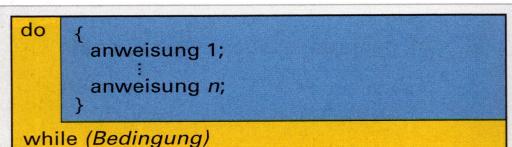
**Bild 4 und Bild 5**

#### Aufgaben zu 9.4.3

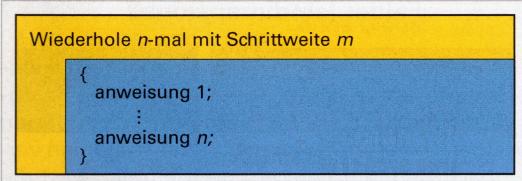
- Zeichnen Sie ein Struktogramm für einen ARDUINO UNO, das mithilfe einer while-Schleife so lange wartet, bis der Zustand HIGH an D11 anliegt.
- Lösen Sie Aufgabe 1 mit einer do-while-Schleife.
- Zeichnen Sie ein Struktogramm für einen ARDUINO UNO, das nacheinander zehn Messwerte am analogen Eingang A0 einliest und anschließend den arithmetischen Mittelwert daraus bildet und am PC ausgibt.



**Bild 1:** Struktogramm für die while-Anweisung



**Bild 2:** Struktogramm für die do-while-Anweisung



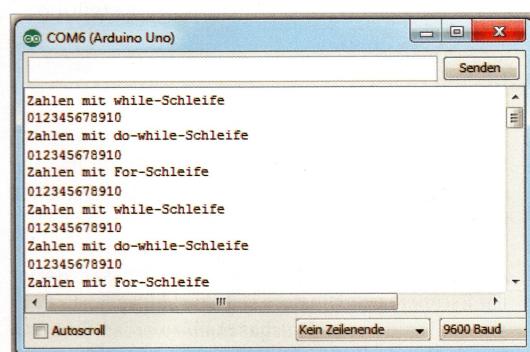
**Bild 3:** Struktogramm für die for-Anweisung

```

Bsp_Schleifen01 §
int zahl = 0;
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
}
void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    zahl = 0;
    Serial.println(" ");
    Serial.println("Zahlen mit while-Schleife");
    while (zahl<=10) {
        Serial.print(zahl);
        zahl=zahl+1;
    }
    Serial.println();
    Serial.println("Zahlen mit do-while-Schleife");
    zahl=0;
    do {
        Serial.print(zahl);
        zahl=zahl+1;
    } while (zahl<=10);
    Serial.println();
    Serial.println("Zahlen mit For-Schleife");
    for (zahl=0; zahl<=10; zahl=zahl+1) {
        Serial.print(zahl);
    }
}

```

**Bild 4:** Quelltext für Beispiel 1



**Bild 5:** Ausgabe zu Quelltext Beispiel 1



## 9.4.4 Felder (eindimensional)

Bei Feldern (= arrays) werden mehrere Feldelemente unter einem Namen als Variable zusammengefasst. Felder werden durch Anfügen eckiger Klammern [] an den Variablenamen ver einbart (**Bild 1**). In die eckige Klammer wird die Anzahl der Feldelemente geschrieben. Zur Unterscheidung erhält jedes Feldelement eine Zählnummer, den Feldindex. Einem Feldelement kann z.B. ein Zahlenwert oder Buchstabe zugewiesen werden. Zulässige Datentypen sind z.B. char, int, float.

### ■ Beispiel 1: Feldinhalte ausgeben

Schreiben Sie ein Programm, das die Buchstaben „EUROPA“ dem Feld `wort` vom Datentyp char den Feldnamen `wort[0]` bis `wort[5]` zuordnet und zeichenweise auf dem Bildschirm ausgibt.

*Lösung:*

### Bild 2

## Aufgaben zu 9.4.4

- Am analogen Eingang A0 eines ARDUINO UNO sollen zehn Messwerte in einem eindimensionalen Feld gespeichert und auf dem Bildschirm ausgegeben werden.
- Die Messwerte aus Aufgabe 1 sollen vor der Ausgabe in aufsteigender Reihenfolge sortiert werden.

## 9.4.5 Programmieren mit Vorgaben

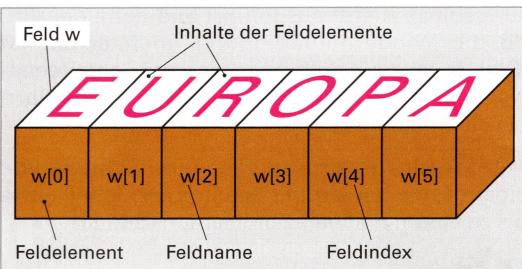
Für Unterricht und Prüfung gibt es Vorgaben. Die Vorgaben beschreiben z.B. einen einheitlichen Mikrocontroller (**Bild 3**) und eine Bibliothek `controller.h` (**Tabelle 1**) für die Programmerstellung.

## Aufgaben zu 9.4.5

- Eine LED an Port x, Pin 5 soll mit einer Frequenz von 5 Hz blinken. Erstellen Sie ein Programm für den Mikrocontroller (**Bild 3**) mit den vorgegebenen Funktionen (**Tabelle 1**).
- An Port x, Pin 0 ist ein Taster S1 angeschlossen. Bei jeder Betätigung des Tasters soll eine LED an Port y Pin 7 abwechselnd ein- und ausgeschaltet werden. Erstellen Sie ein Programm für den Mikrocontroller (**Bild 3**) mit den vorgegebenen Funktionen (**Tabelle 1**).

**Tabelle 1: Funktionen aus Vorgaben**

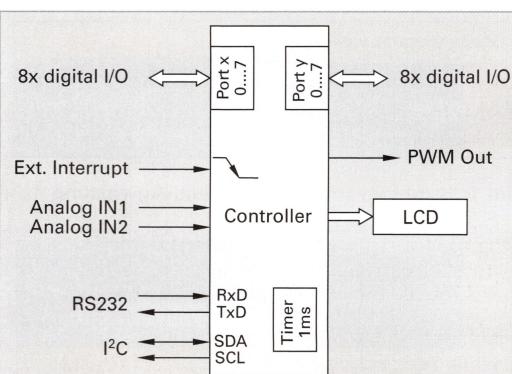
Funktionsaufruf	Erklärung
<code>delay_ms(5000);</code>	Verzögert den Programmablauf um 5000 ms.
<code>bit_init(PORTy, 0, OUT);</code>	Pin 0 am Port y wird als Ausgang konfiguriert.
<code>bit_write(PORTy, 0, 1);</code>	Pin 0 am Port y wird auf HIGH gesetzt.



**Bild 1:** Feldmodell für ein eindimensionales Feld

```
Bsp_array02
char wort[6] = {'E', 'U', 'R', 'O', 'P', 'A'};
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
}
void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    int i;
    for (i=0; i<6; i++) {
        Serial.print(wort[i]);
        Serial.print(' ');
    }
    Serial.println("");
}
```

**Bild 2:** Quelltext und Ausgebildschirm zu Beispiel 1



**Bild 3:** Mikrocontroller nach Vorgaben



## 9.5 Datenbank anlegen

### 9.5.1 Datenbanken mit Access erstellen

Ein Datenbanksystem, z. B. Access, verwaltet Daten in Form von Tabellen. Jede Zeile einer Tabelle, die einen Datensatz enthält, beschreibt ein Objekt.

Access verwaltet Daten in Tabellen, die miteinander in Beziehung stehen.

Die Felder einer Spalte sind in einem Felddatentyp abzuspeichern (**Bild 1**). Datenbanksysteme verfügen über verschiedene Datentypen (**Tabelle 1**).

#### Beispiel 1:

Erstellen Sie mit Access eine Tabelle `tbl_kunden` mit den Spaltenüberschriften `kundennummer`, `kundenname`, `kundenvorname`, `kundenstraße`, `kundenplz`, `kundentelefon`, `kundengeburtstag`, wählen Sie sinnvolle Datentypen nach **Tabelle 1**.

Lösung: **Bild 2**

Die einzelnen Zeilen einer Tabelle enthalten z. B. die Daten einer Person, eines Gegenstandes oder eines Ereignisses, diese nennt man Objekte. Für jeden Datensatz werden eindeutige Felder festgelegt. Diese Felder werden als Primärschlüssel (PS, Primary Key) bezeichnet.

#### Beispiel 2:

Erstellen Sie mit Access in der Tabelle `tbl_kunden` für die `kundennummer` einen Primärschlüssel.

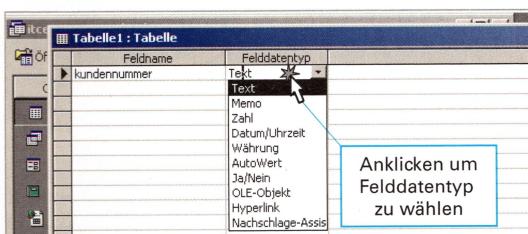
Lösung: **Bild 3**

### Aufgaben zu 9.5.1

1. Erstellen Sie eine Tabelle `tbl_artikel` mit den Spalten: `artikelnummer` (PS), `artikelbezeichnung`, `artikeleinstandspreis`, `mindestlagerbestand` und vergeben Sie die Felddatentypen `AutoWert`, `Text`, `Währung` und `Zahl`.
2. Erstellen Sie eine Tabelle `tbl_auftragsposition` mit den Spalten: `auftragspositionsnummer` (PS), `artikelnummer`, `auftragsnummer`, `menge` und vergeben Sie die Felddatentypen `AutoWert` und 3 mal `Zahl`.
3. Erstellen Sie eine Tabelle `tbl_auftrage` mit den Spalten: `auftragsnummer` (PS), `kundennummer`, `auftragsdatum` und vergeben Sie die Felddatentypen `AutoWert`, `Zahl` und `Datum/Uhrzeit`.

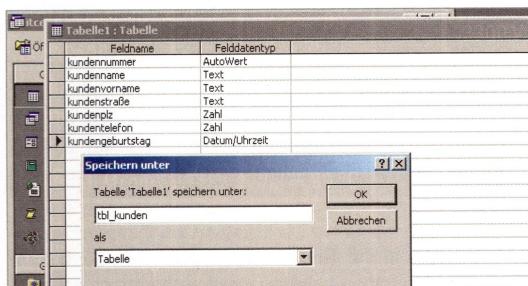
**Tabelle 1: Datentypen von Datenbanksystemen (in Access)**

Datentyp	Beschreibung	Felddatentyp
integer	Ganzzahl	Zahl
numeric (x, y)	Dezimalzahl mit x Stellen und y Nachkommastellen	Zahl
decimal (x, y)	Dezimalzahl mit mindestens x Stellen und y Nachkommastellen	Zahl
float	Gleitkommazahl	Zahl
character	Zeichenkette	Text
date	Datum	Datum/Uhrzeit
time	Uhrzeit	Datum/Uhrzeit

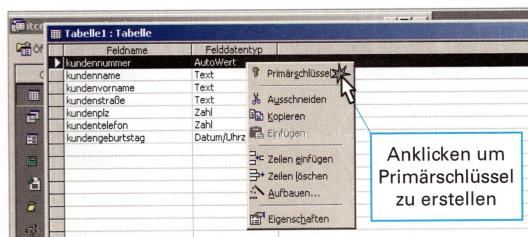


9

**Bild 1: Tabellen erstellen in der Entwurfsansicht**



**Bild 2: Anlegen einer Tabelle `tbl_kunden`**



**Bild 3: Erstellen eines Primärschlüssels**



## 9.5.2 Arbeiten mit Access

### Tabellen relational verknüpfen

Durch Anwenden der Anweisungen in **Tabelle 1** werden Datenbanktabellen relational verknüpft.

#### Beispiel 1:

Erstellen Sie die Beziehungen zwischen den Tabellen `tbl_artikel`, `tbl_auftragsposition` und `tbl_auftraege` aus Aufgabe 1 bis 3 vorhergehende Seite, mit referentieller Integrität.

*Lösung: Bild 1, Bild 2, Bild 3*

Daten werden durch Doppelklick auf den Tabellennamen oder über die Taste **Öffnen** in die Tabelle eingegeben. Solange Daten eingegeben werden, erscheint vor der entsprechenden Zeile ein symbolischer Schreibstift (**Bild 4**). Beim Verlassen des Datensatzes verschwindet dieser Stift und der Datensatz wird automatisch gespeichert.

#### Beispiel 2:

Geben Sie 3 Datensätze in die Tabelle `tblkunden` ein.

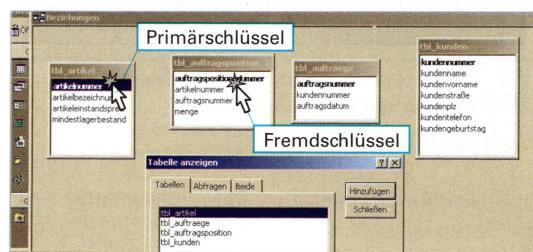
*Lösung: Bild 4*

### Aufgaben zu 9.5.2

1. Geben Sie in die Tabelle `tbl_artikel` mit den Spalten artikelbezeichnung, artikeleinstandspreis, mindestlagerbestand folgende 2 Datensätze ein: Artikel 1: TFT Monitor, 350, 15; Artikel 2: Drucker, 280, 10. Anmerkung: Artikelnummer wird als AutoWert automatisch ergänzt.
2. Geben Sie in die Tabelle `tbl_auftraege` 2 Datensätze ein, auftragsnummer wird automatisch ergänzt, kundennummer, auftragsdatum Auftrag 1: 1, 1.1.2009, Auftrag 2: 2, 2.1.2009
3. Geben Sie in die Tabelle `tbl_auftragsposition` 4 Datensätze ein, auftragspositionsnummer wird automatisch ergänzt, artikelnummer, auftragsnummer, menge, Auftragsposition 1: 1, 1, 12; Auftragsposition 2: 1, 2, 10; Auftragsposition 3: 2, 2, 5; Auftragsposition 4: 2, 1, 6.
4. Erstellen Sie ein Eingabeformular für die Tabelle `tbl_kunden`.

**Tabelle 1: Anweisungen zum relationalen Verknüpfen von Tabellen**

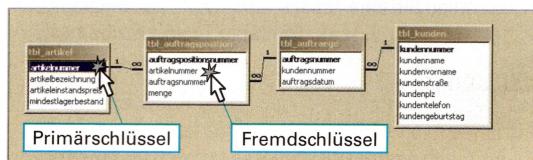
<b>Extras</b> –  Beziehungen	
Tabellennamen anklicken	Tabellenauswahl für relationale Verknüpfungen.
–	
Primärschlüssel anklicken, mit gedrückter Maustaste auf ein in Beziehung stehendes Feld (= Fremdschlüssel) ziehen.	Beziehung wird erstellt, Fenster Beziehung bearbeiten öffnet sich.
Häkchen bei  Mit referentieller Integrität auswählen ( <b>Bild 2</b> ).	Prüft logische Zusammenhänge zwischen den Datensätzen.
anklicken.	Das Fenster wird geschlossen.



**Bild 1:** Erstellen von Beziehungen



**Bild 2:** Beziehungen bearbeiten



**Bild 3:** Darstellung relationaler Beziehungen

tbl_kunden							
kundennummer	kundenname	kundenvorname	kundenstraße	kundenplz	kundentelefon	kundengeburtstag	
1 Weber	Franz		Eggerer Weg 30	89077	07311712	31.05.1966	
2 Dehler	Nikolas		An der Wang 20	89470	07311423	01.10.1970	
3 Christ	Rüdiger			0			
(AutoWert)							

Datensatz, der bearbeitet wird

**Bild 4:** Dateneingabe in Tabelle `tbl_kunden`



### 9.5.3 Datenbanksprache SQL

SQL (von Structured Query Language = strukturierte Abfragesprache) wird zur Datenänderung, Datenabfrage und Datenauswertung in Datenbanken verwendet.

#### 9.5.3.1 Abfragen mit SQL

Für Auswahlabfragen mit SQL wird das Schlüsselwort SELECT verwendet. Die SELECT-Anweisung besitzt eine umfangreiche Syntax und ist vielseitig einsetzbar. Nach SELECT werden die Felder aller anzuzeigenden Spalten mit Kommas getrennt angegeben, das Anweisungsende ist ein Semikolon (;).

Das Zeichen „\*“ kann als Platzhalter für sämtliche Felder einer Tabelle verwendet werden.

Eine SELECT-Anweisung erfordert mindestens die folgenden Elemente:

```
SELECT Felder FROM Tabellenname;
```

Mit einer WHERE-Klausel können die Ergebnisse der Abfrage weiter eingegrenzt werden. Die Datensätze, welche die aufgeführten Bedingungen erfüllen, werden ausgewählt und angezeigt. Die WHERE-Klausel kann Vergleichsoperatoren enthalten (**Tabelle 1**).

velplus/  
MELGS41

**Tabelle 1: Vergleichsoperatoren und logische Operatoren**

Art	Beispiel	Erklärung
=	ArtikelNr = 24	gleich
<	einstandspreis < 100	kleiner als
>	einstandspreis > 100	größer als
<>	einstandspreis <> 100	ungleich
<=	einstandspreis <= 100	kleiner gleich
>=	einstandspreis >= 100	größer gleich
LIKE	Ort LIKE "Ober"	Vergleicht mit Textmuster, Auswahl aller Orte, die mit „Ober“ beginnen.
AND	PLZ = 89077 AND Ort = „Ulm“	Auswahl, wenn Bedingung 1 UND Bedingung 2 erfüllt ist.
OR	PLZ = 89077 OR Ort = „Ulm“	Auswahl, wenn Bedingung 1 ODER Bedingung 2 erfüllt ist.
NOT	NOT (PLZ = 89077)	Datensatz wird berücksichtigt, wenn Bedingung nicht erfüllt ist.

9

#### Beispiel 1: SQL-Abfragen erstellen

Entwerfen Sie SQL-Abfragen, die aus der Kundentabelle **Tabelle 1** Folgendes ausgeben:

- alle Kunden
- alle Kunden, deren PLZ mit 8 beginnt
- alle Kunden, die vor dem Jahr 2000 geboren wurden
- nur den Namen und den Vornamen

*Lösung:*

- SELECT \* FROM Kunden;
- SELECT \* FROM Kunden WHERE plz LIKE 8%;
- SELECT \* FROM Kunden WHERE geboren < 1.1.2000;
- SELECT kundenname, kundenvorname  
FROM Kunden;

Wenn in einer Zeile der Datenwert für eine bestimmte Spalte fehlt, d.h. die Zelle nicht belegt ist, gilt dieser Wert als NULL-Wert (sprich: Nullwert).

Ein NULL-Wert ist ein nicht verfügbarer, nicht zugeordneter, unbekannter oder nicht zutreffender Wert. Ein NULL-Wert entspricht nicht 0 oder einem Leerzeichen. 0 ist eine Zahl und ein Leerzeichen ist ein Zeichen.

#### Beispiel 2: Kunden ohne Postleitzahl ermitteln

Suchen Sie nach Kunden in der Kundentabelle ohne Eintrag im Feld Postleitzahl.

*Lösung:*

```
SELECT * FROM Kunden WHERE plz IS NULL;
```

#### Aufgaben zu 9.5.3.1

- Erstellen Sie eine Abfrage, die alle Kunden ausgibt.
- Erstellen Sie eine Abfrage, die nur die Kundenvornamen ausgibt.
- Erstellen Sie eine Abfrage, die a) Kunden, deren PLZ mit 7 beginnt, ausgibt. b) Kunden, deren PLZ kleiner als 50 000, ausgibt. c) Kunden, die an Weihnachten geboren wurden, ausgibt. d) Kunden, deren Vorname mit B beginnt, ausgibt.
- Erstellen Sie eine Abfrage, die a) Kunden, deren Nachname „Römer“ ist, ausgibt. b) Kunden, deren Nachname „Dehler“ und deren Vorname „Fabio“ ist, ausgibt. c) Kunden, ausgibt, deren Kundennummer kleiner als 5 ist. d) Kunden, ausgibt, deren Vorname mit „J“ beginnt.



In der SELECT-Zeile können die Daten auch neu berechnet werden. Hierzu wird nach dem Schlüsselwort `SELECT` eine beliebige Rechenanweisung eingegeben.

Mit dem Schlüsselwort `AS` kann in der Ausgabe der SQL-Abfrage die Spaltenbezeichnung geändert werden.

### ■ Beispiel 1: Berechnungen mit SQL

Bestimmen Sie den kleinsten und den größten Artikelpreis von **Tabelle 1**.

*Lösung:*

```
SELECT MAX(artikelpreis),
       MIN(artikelpreis) FROM Artikel;
```

**Tabelle 1: Artikel**

Nummer	Bezeichnung	Artikelpreis	Gruppe
1	Soundkarte	150	PC
2	Festplatte	100	PC
3	Drucker	130	Zubehör
4	Beamer	499	Zubehör
5	Optische Maus	18	PC
6	USB-Stick	22	Speicher
7	Speicherkarte	12	Speicher
8	Tintenpatrone	19	Drucken
9	Scanner	109	Zubehör

### 9.5.3.2 SQL-Aggregatfunktionen

Aggregatfunktionen führen Berechnungen für eine Wertemenge durch und geben einen einzelnen Wert als Integerzahl zurück. Durch Verwenden von SQL-Aggregatfunktionen können z.B. Mittelwerte von Daten errechnet werden (**Tabelle 2**). Alle Aggregatfunktionen, außer `COUNT`, ignorieren NULL-Werte.

Ein Feld, das z.B. mit Aggregatfunktionen berechnet wird, hat standardmäßig eine Bezeichnung ohne Aussagekraft, z.B. `Ausdr1`. Um Spalten einer Abfrage bei der Ausgabe mit einer gewünschten Überschrift zu versehen, kann die Alias-Anweisung (von Alias = Pseudonym) `AS` gefolgt von der neuen Spaltenüberschrift verwendet werden.

### ■ Beispiel 2: Sortierung festlegen

Suchen Sie nach allen Artikeln in der Artikeltabelle und sortieren Sie das Ergebnis absteigend nach dem Preis.

*Lösung:*

```
SELECT * FROM Kunden ORDER BY
       artikelpreis DESC;
```

Mit `ORDER BY` wird bei Abfrageergebnissen die Ausgabe-Reihenfolge bestimmt.

Standard ist aufsteigend (ascending) absteigend (descending).

### ■ Beispiel 3: Werte berechnen mit SQL

Entwerfen Sie eine SQL-Abfrage, die den Artikelpreis aus der Artikeltabelle **Tabelle 1** sowohl unverändert ausgibt, als auch um 10 % erhöht ausgibt. Die Spalte mit den erhöhten Werten soll mit der Überschrift **Neupreis** bezeichnet werden.

*Lösung:*

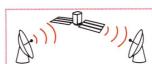
```
SELECT artikelpreis, artikelpreis *1,1
       AS „Neupreis“ FROM Kunden;
```

**Tabelle 2: Aggregatfunktionen**

Funktion	Bedeutung, Ausgaben
<code>AVG(Feldname)</code>	Arithmetischer Mittelwert von Werten in einem Feld.
<code>MAX(Feldname)</code>	Größter Wert aus einer Menge von Werten.
<code>MIN(Feldname)</code>	Kleinster Wert aus einer Menge von Werten.
<code>SUM(Feldname)</code>	Summe einer Menge von Zahlen.
<code>COUNT(Feldname)</code>	Anzahl einer Menge von Datensätzen.

### Aufgaben zu 9.5.3.2

1. Erstellen Sie eine Abfrage, die den durchschnittlichen Artikelpreis ausgibt.
2. Erstellen Sie eine Abfrage, die den aufsummierten Artikelpreis ausgibt.
3. Erstellen Sie eine Abfrage, welche die Anzahl der Artikel ausgibt.
4. Erstellen Sie eine Abfrage, die den durchschnittlichen Artikelpreis aller Artikel teurer als 100 Euro ausgibt.
5. Erstellen Sie eine Abfrage, die den Artikelpreis jeweils verdoppelt ausgibt.
6. Erstellen Sie eine Abfrage, die den Artikelpreis jeweils halbiert ausgibt.
7. Erstellen Sie eine Abfrage, welche die Kunden sortiert nach dem Geburtsdatum ausgibt.
8. Erstellen Sie eine Abfrage, welche die Kunden sortiert nach der Postleitzahl absteigend, d.h. höchste zuerst, ausgibt.



# 10 Kommunikations-technik

## 10.1 Kommunikationsanlagen

### 10.1.1 Übertragungsgrößen

Ist bei einer Übertragungsstrecke die Eingangsgröße, z.B. die Spannung, kleiner als die Ausgangsgröße, so liegt eine **Verstärkung**  $V$  vor. Ist die Ausgangsgröße kleiner als die Eingangsgröße, so liegt eine **Dämpfung**  $D$  vor (**Bild 1**).

#### 10.1.1.1 Übertragungsfaktor, Verstärkungsfaktor, Übertragungskoeffizient

Der Übertragungsfaktor ist das Verhältnis von Ausgangsgröße zur Eingangsgröße. Bei gleichartigen Größen am Eingang und Ausgang verwendet man zur Kennzeichnung des Übertragungsfaktors Zusätze und spricht z.B. vom **Spannungsübertragungsfaktor** oder vom **Leistungsübertragungsfaktor**.

Bei verschiedenartigen Eingangsgrößen und Ausgangsgrößen hat das Verhältnis  $S_2/S_1$  eine Einheit. Man nennt es dann **Übertragungskoeffizient**. Erhält man die Einheit Ohm, spricht man vom **Übertragungswiderstand** (Übertragungsimpedanz), bei der Einheit Siemens vom **Übertragungsleitwert** (Übertragungsdammittanz).

Bei Verstärkern nennt man den Übertragungsfaktor meist **Verstärkungsfaktor**. Man unterscheidet Stromverstärkungsfaktor  $V_i$ , Spannungsverstärkungsfaktor  $V_u$ , Leistungsverstärkungsfaktor  $V_p$ .

$$T = \frac{S_2}{S_1}$$

$T$  Übertragungsfaktor

$S_2$  Ausgangsgröße

$S_1$  Eingangsgröße

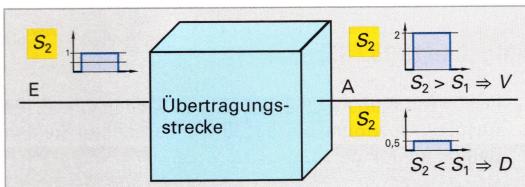


Bild 1: Übertragungsstrecke

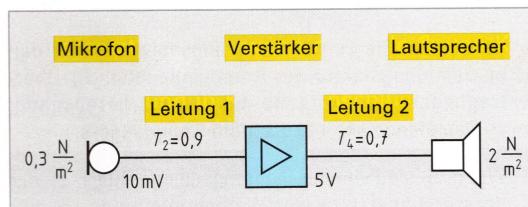


Bild 2: Übertragungsstrecke im NF-Bereich

10

3. Der Übertragungsfaktor einer Antennenleitung beträgt 0,7. Am Ausgang werden 7 mV gemessen. Berechnen Sie die Eingangsspannung.

4. Die Eingangsspannung eines Antennenverstärkers beträgt 0,5 mV. Der Spannungsverstärkungsfaktor beträgt 150. Wie groß ist die Ausgangsspannung?

5. Berechnen Sie von der Übertragungsstrecke Bild 2 den a) gesamten Übertragungsfaktor, b) Übertragungskoeffizienten des Mikrofons, c) Übertragungskoeffizienten des Lautsprechers.

6. Bei einer Übertragungsstrecke nach Bild 2 ist die Ausgangsspannung des Verstärkers unbekannt, und der Übertragungskoeffizient des Lautsprechers ist  $T_5 = 0,6 \text{ N}/(\text{Vm}^2)$ . Zu berechnen sind a) Eingangsspannung  $U_1$  des Verstärkers, b) Verstärkungsfaktor  $V_u = T_3$  des Verstärkers, c) Ausgangsspannung  $U_2$  des Verstärkers.

### Beispiel 1: Arbeiten mit Übertragungsgrößen

Bei einem Transistorverstärker bewirkt eine Eingangsspannungsänderung von 10 mV eine Ausgangsstromänderung von 30 mA. a) Wie groß ist der Übertragungskoeffizient? b) Wie nennt man den Übertragungskoeffizienten?

Lösung:

$$\text{a) } T = \frac{S_2}{S_1} = \frac{30 \text{ mA}}{10 \text{ mV}} = 3 \text{ S}$$

#### b) Übertragungsleitwert

### Aufgaben zu 10.1.1.1

- Die Signalspannung beträgt vor einem Tiefpass 60 mV, hinter dem Tiefpass 45 mV. Berechnen Sie den Übertragungsfaktor.
- Bei einem Hochpass beträgt die Signalleistung einseitig 5 mW, die Ausgangsleistung ist 4,5 mW. Wie groß ist der Leistungsübertragungsfaktor?

### 10.1.1.2 Dämpfungsfaktor

Der Dämpfungsfaktor, z.B. der Spannungsdämpfungsfaktor, ist der Kehrwert des Übertragungsfaktors bzw. des Verstärkungsfaktors und umgekehrt.

#### Beispiel 1: Dämpfungsfaktor berechnen

Vor einem Hochpass beträgt die Signalspannung 3 mV, hinter dem Hochpass ist sie 2,5 mV. Berechnen Sie den Spannungsdämpfungsfaktor  $D_u$ .

Lösung:

$$D_u = \frac{S_1}{S_2} = \frac{3 \text{ mV}}{2,5 \text{ mV}} = 1,2$$

$$[D] = 1$$

$$D = \frac{1}{T}$$

$$D = \frac{S_1}{S_2}$$

$$\begin{array}{ll} D & \text{Dämpfungsfaktor;} \\ T & \text{Übertragungsfaktor;} \\ S_1 & \text{Eingangsgröße} \\ S_2 & \text{Ausgangsgröße} \end{array}$$

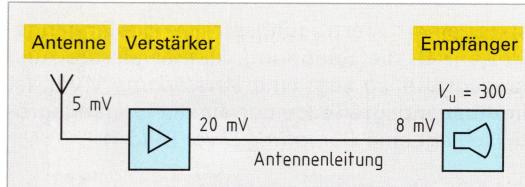


Bild 1: Empfangsanlage

### Aufgaben zu 10.1.1.2

- In einer Antennenleitung werden 20 mV eingespeist, die Ausgangsspannung beträgt 15 mV. Berechnen Sie den Dämpfungsfaktor.
- Eine Antennenleitung hat eine Eingangsspannung von 15 mV und einen Dämpfungsfaktor von 20. Berechnen Sie die Ausgangsspannung.
- Berechnen Sie von der Empfangsanlage Bild 1 den a) Dämpfungsfaktor der Antennenleitung, b) Übertragungsfaktor Antenne bis Verstärkerausgang, c) Dämpfungsfaktor des Rundfunkempfängers.
- Wie groß sind von der Empfangsanlage Bild 1 a) der Verstärkungsfaktor der Antennenleitung, b) der Dämpfungsfaktor Antenne bis Verstärkerausgang, c) der Verstärkungsfaktor Antenne bis Empfängerausgang?

$$[A] = \text{dB}$$

$$[G] = \text{dB}$$

$$A = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2} \text{ dB}$$

$$G = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB}$$

$$A = -G$$

$$G = -A$$

Für Rechner mit natürlichem Logarithmus ln:

$$A = \frac{10 \cdot \ln(P_1/P_2)}{\ln 10}$$

$$G = \frac{10 \cdot \ln(P_2/P_1)}{\ln 10}$$

$A$  Dämpfungsmaß in dB (von attenuate = dämpfen)  
 $P_1$  Eingangsleistung  
 $P_2$  Ausgangsleistung  
 $G$  Verstärkungsmaß (von gain = Gewinn)

### 10.1.1.3 Dämpfungsmaß und Verstärkungsmaß Bel und Dezibel

Der Zehnerlogarithmus des Leistungsdämpfungsfaktors heißt Dämpfungsmaß. Er wird durch den Anhang Bel<sup>1</sup> gekennzeichnet. Man verwendet als Dämpfungsmaß den zehnten Teil des Bel, das Dezibel (dB). Entsprechend gibt es ein Übertragungsmäß bzw. Verstärkungsmäß vom Übertragungsfaktor bzw. Verstärkungsfaktor. Man kann das Dämpfungsmaß durch ein negatives Verstärkungsmäß ausdrücken, da der Dämpfungsfaktor der Kehrwert vom Übertragungsfaktor ist, d.h.  $A = -G$  und  $G = -A$  (Zehnerlogarithmus siehe Abschnitt 1.4.2).

#### Beispiel 2: Dämpfungsmaß berechnen

In einer Fernsprechleitung werden 5 mW eingespeist, am Ausgang stehen 0,5 mW zur Verfügung. Berechnen Sie das Dämpfungsmaß in dB.

Lösung:

$$\begin{aligned} A &= 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2} \text{ dB} = 10 \cdot \lg \frac{5 \text{ mW}}{0,5 \text{ mW}} \text{ dB} \\ &= 10 \cdot \lg 10 \text{ dB} = 10 \cdot 1 \cdot \text{dB} = 10 \text{ dB} \end{aligned}$$

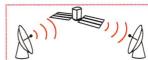
#### Beispiel 3: Verstärkungsmaß berechnen

Ein Antennenverstärker nimmt 2 mW Signalleistung auf und gibt 200 mW ab. Berechnen Sie das Verstärkungsmaß  $G$ .

Lösung:

$$\begin{aligned} G &= 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB} = 10 \cdot \lg \frac{200 \text{ mW}}{2 \text{ mW}} \text{ dB} \\ &= 10 \cdot 2 \text{ dB} = 20 \text{ dB} \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Alexander Graham Bell, amerik. Wissenschaftler, 1847 bis 1922



Ist der Eingangswiderstand so groß wie der Ausgangswiderstand, so lässt sich das Dämpfungsmaß aus den Spannungen berechnen. Sind Eingangswiderstand und Ausgangswiderstand verschieden groß, wird das durch den Term  $-10 \cdot \lg \frac{R_1}{R_2}$  berücksichtigt.

Man erhält aus dem dB-Maß das Spannungsverhältnis, indem man den dB-Wert durch 20 teilt und das Ergebnis als Exponent zur Basis 10 setzt (Beispiel 1).

Das Leistungsverhältnis ist das Quadrat vom Spannungsverhältnis (**Tabelle 1**).

Bei einer Übertragungsstrecke ist das gesamte Dämpfungsmaß so groß wie die Summe der Dämpfungsmaße abzüglich der Summe der Verstärkungsmaße. Entsprechendes gilt für das gesamte Verstärkungsmaß.

### Aufgaben zu 10.1.1.3

- Am Anfang einer Antennenleitung sind 20 mV Signalspannung, am Ende 15 mV. Berechnen Sie a) Dämpfungsfaktor, b) Dämpfungsmaß.
- Einem Verstärker werden 2,5 mV zugeführt, die Ausgangsspannung ist 300 mV. Berechnen Sie a) Dämpfungsfaktor, b) Dämpfungsmaß.
- Bei einem Antennenverstärker ist angegeben: Verstärkung 39 dB. Berechnen Sie a) Dämpfungsmaß, b) Spannungsverhältnis  $U_2 : U_1$ , c) Leistungsdämpfungsfaktor.
- Ein Verstärker hat die Verstärkung von 30 dB. Wie groß sind a) Dämpfungsmaß, b) Spannungsverstärkungsfaktor, c) Spannungsdämpfungsfaktor, d) Leistungsverstärkungsfaktor?
- Ein Koaxial-Erdkabel für 200 MHz hat eine Dämpfung von 4 dB/100 m. Es soll eine Entfernung von 5 km überbrückt werden. Die Ausgangsspannung soll 5 mV sein. In Abständen von 1 km werden 4 Verstärker von je 35 dB eingebaut. Berechnen Sie a) Dämpfungsmaß der gesamten Übertragungsstrecke, b) Dämpfungsmaß, c) einzuspeisende Spannung.

Der Spannungsverstärkungsfaktor hat keine Einheit, das Verstärkungsmaß wird in dB angegeben.

$$A = 10 \cdot \lg \frac{U_1^2 \cdot R_2}{R_1 \cdot U_2^2} \text{ dB} = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2} \text{ dB} - 10 \cdot \lg \frac{R_1}{R_2} \text{ dB}$$

Für  $R_1 = R_2$  gilt:

$$[A] = \text{dB}$$

$$A = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2} \text{ dB}$$

$$[G] = \text{dB}$$

$$G = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} \text{ dB}$$

A Dämpfungsmaß in dB

$U$  Spannung

$R$  Widerstand

$G$  Verstärkungsmaß  
in dB

1 Index für eingangsseitig

2 Index für ausgangsseitig

### Beispiel 1: Spannungsverstärkungsfaktor berechnen

Bei einem Spannungsverstärker ist das Verstärkungsmaß  $G = 19$  dB angegeben. Berechnen Sie den Spannungsverstärkungsfaktor.

Lösung:

$$1. \text{ Weg: } G = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} \text{ dB}$$

$$\Rightarrow \lg \frac{U_2}{U_1} = \frac{G}{20 \text{ dB}} = \frac{19 \text{ dB}}{20 \text{ dB}} = 0,95$$

$$\Rightarrow V_u = \frac{U_2}{U_1} = 10^{0,95} = 8,9$$

2. Weg: Dem Addieren der dB-Werte entspricht ein Multiplizieren der Faktoren (**Tabelle 1**).

$$G = 19 \text{ dB} = 10 \text{ dB} + 6 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$$

$$\Rightarrow V_u = 3,16 \cdot 2 \cdot 1,414 = 8,9$$

**Tabelle 1: Dämpfung und Verstärkung**

A oder G in dB	$D_U$ oder $V_u$	$D_P$ oder $V_p$
0	1	1
1	1,122	1,259
3	1,413	2
6	2	4
10	3,16	10
20	10	100
30	31,6	1 000
40	100	10 000

A Dämpfungsmaß

D Dämpfungsfaktor

G Verstärkungsmaß

V Verstärkungsfaktor

U Index für Spannung

P Index für Leistung

## 10.1.2 Kenngrößen von Richtantennen

Kenngrößen einer Richtantenne sind der Antennengewinn, das Vor-Rück-Verhältnis und der Öffnungswinkel  $\alpha$  (**Bild 1**).

Richtantennen bestehen aus Direktoren, Reflektoren, und einem  $\lambda/2$ -Dipol (**Bild 2**).

### Aufgaben zu 10.1.2

- Eine Richtantenne nimmt aus dem elektromagnetischen Feld eine Spannung von 3 mV auf. Ein  $\lambda/2$ -Dipol erzielt an der gleichen Stelle nur eine Spannung von 0,8 mV. Wie groß ist das Antennengewinnmaß der Richtantenne?
- Ein  $\lambda/2$ -Dipol liefert eine Antennenspannung von 500  $\mu$ V. Welche Spannung in Vorzugsrichtung erzielt eine Richtantenne mit einem Antennengewinn von 8 dB?
- Ein  $\lambda/2$ -Dipol erbringt eine Antennenspannung von 620  $\mu$ V. Ein Kreuzdipol gibt an der gleichen Stelle eine Spannung von 439  $\mu$ V ab. Wie groß ist der Antennengewinn des Kreuzdipols in dB?
- Ein Kreuzdipol mit einem Antennengewinn von 23 dB gibt eine Antennenspannung von 840  $\mu$ V ab. Welche Spannung würde an der gleichen Stelle ein  $\lambda/2$ -Dipol abgeben?
- Eine Richtantenne nimmt in Vorzugsrichtung 3 mV, in entgegengesetzter Richtung bei gleicher Empfangsfeldstärke nur 320  $\mu$ V Antennenspannung aus dem elektromagnetischen Feld auf. Wie groß ist das Vor-Rück-Verhältnismaß?
- Eine Richtantenne mit einem Rückdämpfungsmaß von 22 dB liefert in Vorzugsrichtung eine Antennenspannung von 7 mV. Wie groß ist die Antennenspannung, wenn die Antenne um  $180^\circ$  gedreht wird?
- Mit einem Pegelmessgerät ermittelt man an einer Richtantenne in Vorzugsrichtung einen Nutzspannungspegel von 68 dB $\mu$ V. Welchen Nutzspannungspegel und welche Nutzspannung an  $75\ \Omega$  erzielt man, wenn die Antenne um  $180^\circ$  gedreht wird und ein Vor-Rück-Verhältnismaß von 26 dB hat?
- Bei einer Zweiebenenantenne mit einem Vor-Rück-Verhältnis von 30 : 1 stellt man von rückwärts einen Störspannungspegel von 35 dB $\mu$ V fest. Wie groß sind der Nutzspannungspegel und die Nutzspannung an  $75\ \Omega$  in Vorzugsrichtung bei gleicher Empfangsfeldstärke und gleicher Sendefrequenz?
- Ermitteln Sie für eine Richtantenne mit der Richtcharakteristik **Bild 3** den Öffnungswinkel und das Rückdämpfungsmaß.

$$[G] = \text{dB}$$

$$G = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} \text{ dB}$$

$$G_{VR} = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_3} \text{ dB}$$

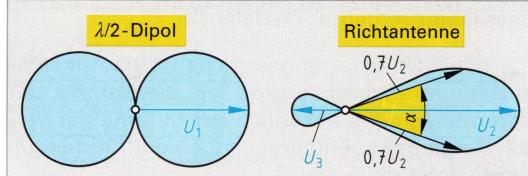
$G$  Antennengewinnmaß in dB

$G_{VR}$  Vor-Rück-Verhältnismaß (Rückdämpfungsmaß) in dB

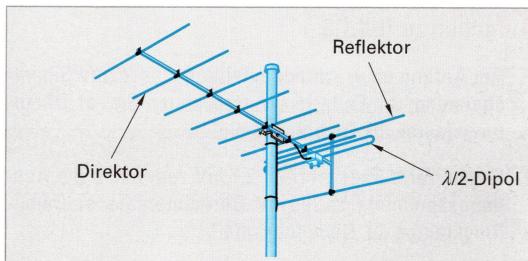
$U_1$  Antennenspannung der Bezugsantenne (in Mitteleuropa  $\lambda/2$ -Dipol)

$U_2$  Antennenspannung in Vorzugsrichtung

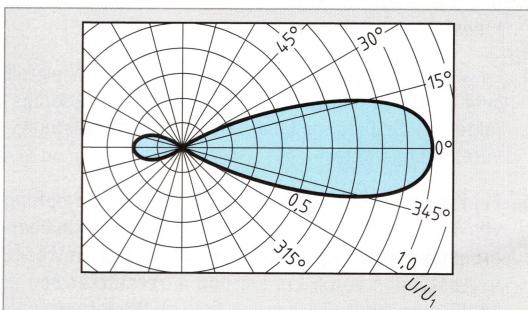
$U_3$  Antennenspannung entgegengesetzt zur Vorzugsrichtung



**Bild 1:** Richtcharakteristiken



**Bild 2:** Richtantenne



**Bild 3:** Richtcharakteristik

- Um welchen Winkel muss man die Richtantenne mit der Richtcharakteristik **Bild 3** drehen, damit die Antennenspannung 60 % der Antennenspannung in Vorzugsrichtung beträgt?



## 10.2 Schaltungen der Kommunikationstechnik

### 10.2.1 Leistungsverstärker für Niederfrequenz

#### 10.2.1.1 Großsignalverstärker

Beim Großsignalverstärker berechnet man die Leistungen aus der Fläche des Leistungsdreiecks AFE und der Fläche ABCD der Gleichstromleistung im Ausgangskennlinienfeld **Bild 1**.

#### Aufgaben zu 10.2.1.1

- Ermitteln Sie aus **Bild 1** a) Gleichstromleistung, b) Wechselstromleistung, c) Verlustleistung.
- Bei einem Ausgangskennlinienfeld betragen die Maßstäbe  $1 \text{ cm} \triangleq 1 \text{ V}$  und  $1 \text{ cm} \triangleq 1 \text{ A}$ . Für die Gleichstromleistung ist ein Rechteck von 9 cm Länge und 5,8 cm Breite eingetragen. Die Katheten des Leistungsdreiecks sind 6 cm und 4 cm. Berechnen Sie die Verlustleistung des Transistors.

#### 10.2.1.2 Gegentaktschaltungen

Gegentaktschaltungen werden bei Großsignalverstärkung verwendet, z.B. in Endstufen von NF-Verstärkern und von Sendern (**Bild 2**). Sie dienen zur Erhöhung der Leistung und haben einen großen Wirkungsgrad.

Nach der Lage des Arbeitspunktes auf der Spannungssteuerkennlinie (**Bild 3**) unterscheidet man die Betriebsarten A, AB und B.

Bei Aussteuerung eines Gegentaktverstärkers der Betriebsart B verstärkt jeder der Transistoren eine Halbperiode des Wechselstromes (**Bild 1**, folgende Seite). Der Hauptvorteil der Betriebsart B liegt darin, dass im nicht ausgesteuerten Zustand keine Leistung aufgenommen wird. Nachteilig sind die Übernahmeverzerrungen. Betriebsart AB ist leistungsmäßig fast ebenso günstig, vermeidet aber die Übernahmeverzerrungen.

Für B-Betrieb oder AB-Betrieb ermittelt man den günstigsten Lastwiderstand eines Transistors aus der Betriebsspannung  $U_{b1}$  eines Transistors und dem höchstzulässigen Kollektorstrom.

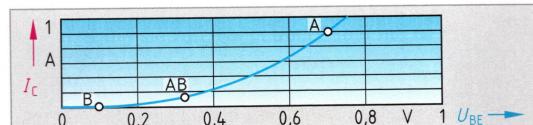


Bild 3: Lage der Arbeitspunkte

$$P_{\sim} = \frac{\hat{i}_C \cdot \hat{U}_{CE}}{2}$$

$$P_- = I_C \cdot U_{CE-}$$

$$P_v = P_- - P_{\sim}$$

$P_{\sim}$	Wechselstromleistung
$\hat{i}_C$	Kollektorwechselstrom (Höchstwert)
$\hat{U}_{CE}$	Kollektor-Emitter-Wechselspannung (Höchstwert)
$P_-$	Gleichstromleistung
$I_C$	Kollektorröhrestrom (Kollektorgleichstrom)
$U_{CE-}$	Kollektor-Emitter-Gleichspannung
$P_v$	Verlustleistung

#### Beispiel 1: Leistungen am Transistor berechnen

Ein Transistor wird im Arbeitspunkt  $I_C = 2,5 \text{ A}$ ,  $U_{CE} = 15 \text{ V}$  betrieben. Beim Aussteuern betragen  $\hat{i}_C = 1,75 \text{ A}$  und  $\hat{U}_{CE} = 10 \text{ V}$ . Berechnen Sie a) Gleichstromleistung, b) Wechselstromleistung, c) Verlustleistung.

Lösung:

$$\text{a) } P_- = I_C \cdot U_{CE-} = 2,5 \text{ A} \cdot 15 \text{ V} = 37,5 \text{ W}$$

$$\text{b) } P_{\sim} = \frac{\hat{i}_C \cdot \hat{U}_{CE}}{2} = \frac{1,75 \text{ A} \cdot 10 \text{ V}}{2} = 8,75 \text{ W}$$

$$\text{c) } P_v = P_- - P_{\sim} = 37,5 \text{ W} - 8,75 \text{ W} = 28,75 \text{ W}$$

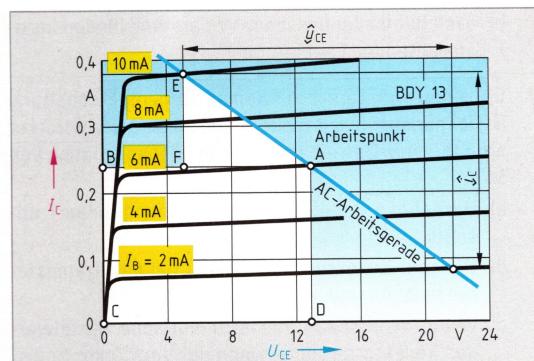


Bild 1: Leistungsflächen

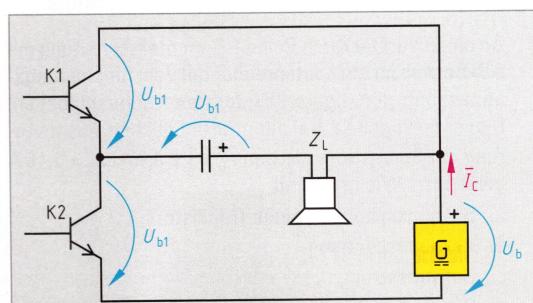


Bild 2: Reihen-Gegentaktschaltung

## Aufgaben zu 10.2.1.2

- Bei einem Verstärker mit Reihen-Gegentaktschaltung, Betriebsart B, ist die Betriebsspannung 50 V und der Scheitelwert des Kollektor-Wechselstromes beträgt 3,6 A. Berechnen Sie
  - arithmetischen Mittelwert des Kollektorstromes,
  - Betriebsspannung  $U_{b1}$  eines Transistors.
- Ein Verstärker mit Reihen-Gegentaktschaltung hat Betriebsart B. Der Scheitelwert des Wechselstromes bei voller Aussteuerung ist 4 A. Berechnen Sie für volle Aussteuerung
  - $\bar{I}_C$ ,
  - $I_b$ .
- An einem Verstärker mit Reihen-Gegentaktschaltung ist ein Verbraucher von  $20 \Omega$  angeschlossen. Der höchstzulässige Kollektorstrom von 1,5 A soll ausgenutzt werden. Welche Betriebsspannung ist erforderlich?
- Ein Verstärker mit Reihen-Gegentaktschaltung hat Transistoren mit einem höchstzulässigen Kollektorstrom von 4 A. Der Verstärker arbeitet in Betriebsart AB.
  - Berechnen Sie die Betriebsspannung eines Transistors, wenn das Netzteil 48 V abgibt.
  - Welches ist der passende Widerstand für den anzuschließenden Lautsprecher?
- Bei einem Verstärker mit Reihen-Gegentaktschaltung ist der günstigste Lastwiderstand  $50 \Omega$ . Der Verstärker arbeitet im B-Betrieb mit einer Betriebsspannung von 64 V.
  - Berechnen Sie die Betriebsspannung eines Transistors.
  - Welcher Kollektorstrom kommt bei den Transistoren beim Aussteuern höchstens vor?
  - Wie groß ist dabei der arithmetische Mittelwert des Kollektorstromes, wenn der Verstärker Sinusstrom abgibt?
  - Berechnen Sie die Gleichstromleistung (Leistungsaufnahme bei Aussteuerung) eines Transistors.
- An einen Verstärker in Reihen-Gegentaktschaltung mit AB-Betrieb ist ein Lautsprecher mit dem für Leistungsanpassung günstigsten Widerstand angeschlossen. Dieser beträgt  $8 \Omega$ . Bei der größtmöglichen Aussteuerung mit Sinusstrom werden  $\hat{I}_C = 1,2 \text{ A}$  und  $\bar{I}_C = 0,45 \text{ A}$  gemessen. Wie groß sind
  - Betriebsspannung eines Transistors,
  - Betriebsspannung,
  - Betriebsstrom,
  - Gleichstromleistung (Leistungsaufnahme bei Aussteuerung) beider Transistoren zusammen?

Bei B-Betrieb:

$$\bar{I}_C = \frac{\hat{I}_C}{\pi}$$

Für Reihen-Gegentaktschaltung bei Betriebsart B oder AB:

$$U_b = 2 \cdot U_{b1}$$

$$Z_L = \frac{U_{b1}}{I_{Cmax}}$$

$\bar{I}_C$	Kollektorstrom eines Transistors (sprich: IC quer; arithmetischer Mittelwert)
$\hat{I}_C$	Kollektorwechselstrom (Höchstwert)
$I_{Cmax}$	Kollektorstrom (Höchstwert)
$U_b$	Betriebsspannung
$U_{b1}$	Betriebsspannung je Transistor
$Z_L$	wechselstrommäßig wirkender Lastwiderstand

### Beispiel 1: Verstärker in Betriebsart B

Ein Verstärker mit Reihen-Gegentaktschaltung (**Bild 1**) arbeitet in Betriebsart B an  $60 \text{ V}$  Betriebsspannung. Der Verstärker wird mit Sinusstrom angesteuert. Die Scheitelwerte der Kollektorströme sind mit  $3 \text{ A}$  gerade gleich dem höchstzulässigen Kollektorstrom der Transistoren. Berechnen Sie a) Betriebsspannung eines Transistors, b) günstigsten Lastwiderstand, c) arithmetischen Mittelwert des Kollektorstromes, d) Gleichstromleistung eines Transistors.

Lösung:

a)  $U_b = 2 \cdot U_{b1} \Rightarrow U_{b1} = \frac{U_b}{2} = \frac{60 \text{ V}}{2} = 30 \text{ V}$

b)  $Z_L \approx \frac{U_{b1}}{I_{Cmax}} = \frac{30 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 10 \Omega$

c)  $\bar{I}_C = \frac{\hat{I}_C}{\pi} = \frac{3 \text{ A}}{\pi} = 0,955 \text{ A}$

d)  $P_- = \bar{I}_C \cdot U_{b1} = 0,955 \text{ A} \cdot 30 \text{ V} = 28,6 \text{ W}$

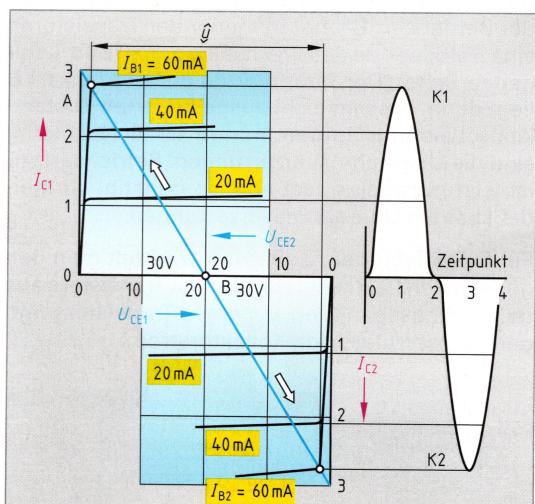
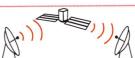


Bild 1: Betriebsart B



### 10.2.1.3 Klasse-D-Verstärker

Bei der Betriebsart Klasse D wird die sinusförmige Eingangsspannung in ein rechteckförmiges, getaktetes Ausgangssignal umgewandelt.

Klasse-D-Verstärker bestehen aus Eingangsverstärker, Pulsweitenmodulator (PWM), Taktgenerator, Leistungsteil und einem Tiefpass TP (**Bild 1**).

Der Pulsweitenmodulator erzeugt aus den differenziellen Eingangsspannungen zwei zueinander invertierte rechteckförmige Signale, deren Pulsbreite sich entsprechend den Eingangssignalamplituden ändert (**Bild 2**).

Um die EMV-Störungen über die Lautsprecherleitungen klein zu halten, werden Tiefpässe verwendet (**Bild 3**).

#### Beispiel 1: Grenzfrequenz berechnen

- Berechnen Sie für die Grenzfrequenz  $f_c = 30 \text{ kHz}$  die Serieninduktivität  $L$  für einen Lautsprecher mit  $R_L = 8 \Omega$ .
- Wie groß ist der induktive Blindwiderstand  $X_L$  für eine Schaltfrequenz  $f_T = 300 \text{ kHz}$ ?

*Lösung:*

$$\begin{aligned} \text{a) } L &= \frac{R_L}{2\pi \cdot f_c} = \frac{8 \Omega}{2 \cdot 3,14 \cdot 30 \text{ kHz}} = 42,4 \mu\text{H} \\ \text{b) } X_L &= 2\pi \cdot f_T \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 300 \text{ kHz} \cdot 42,4 \mu\text{H} \\ &= 79,9 \Omega \end{aligned}$$

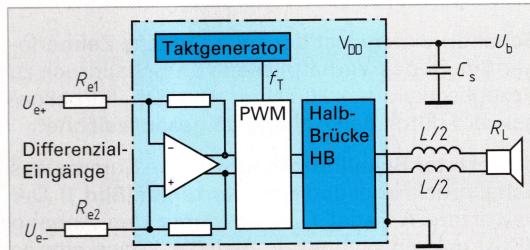
Die Störungen durch die Schaltfrequenz verringern sich durch Einfügen eines Kondensators. Es entsteht ein LC-Tiefpass (**Bild 3**).

#### Aufgaben zu 10.2.1.3

- a) Berechnen Sie für die Grenzfrequenz  $f_c = 30 \text{ kHz}$  die Serieninduktivität  $L$  für einen Lautsprecher mit  $R_L = 8 \Omega$ . b) Wie groß ist der induktive Blindwiderstand  $X_L$  für eine Schaltfrequenz  $f_T = 300 \text{ kHz}$ ? c) Berechnen Sie für die Grenzfrequenz  $f_c = 30 \text{ kHz}$  den kapazitiven Blindwiderstand für den Kondensator  $C = 0,68 \mu\text{F}$ .
- a) Berechnen Sie für die Grenzfrequenz  $f_c = 50 \text{ kHz}$  die Serieninduktivität  $L$  für einen Lautsprecher mit  $R_L = 4 \Omega$ . b) Wie groß ist der induktive Blindwiderstand  $X_L$  für eine Schaltfrequenz  $f_T = 1,2 \text{ MHz}$ ? c) Berechnen Sie für die Grenzfrequenz  $f_c = 30 \text{ kHz}$  den kapazitiven Blindwiderstand für den Kondensator  $C = 0,68 \mu\text{F}$ .
- Berechnen Sie die Dämpfung für die Schaltfrequenz  $f_T = 1,2 \text{ MHz}$  für Aufgabe 2.

$$\begin{aligned} L &= \frac{R_L}{2\pi \cdot f_c} \\ X_L &= 2\pi \cdot f_T \cdot L \\ X_C &= \frac{1}{2\pi \cdot f_T \cdot C} \end{aligned}$$

$C$	Kapazität
$L$	Induktivität
$f_T$	Frequenz des Taktgenerators
$f_c$	Grenzfrequenz
$X_C$	kapazitiver Blindwiderstand
$X_L$	induktiver Blindwiderstand



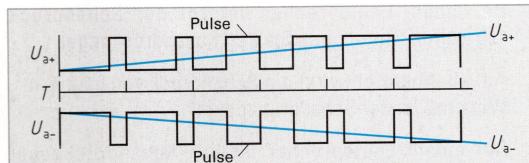
**Bild 1:** Baugruppen eines Klasse-D-Verstärkers

#### Beispiel 2: Störspannung berechnen

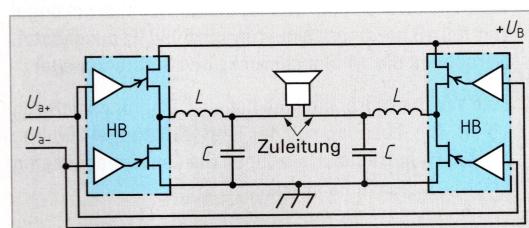
- Wie groß ist  $X_C$  für eine Schaltfrequenz  $f_T = 300 \text{ kHz}$  bei  $C = 0,68 \mu\text{F}$ ?
- Die Blindwiderstände  $X_L$  und  $X_C$  bilden einen Spannungsteiler für die Schaltfrequenz  $f_T$ . Wie viel % der Störungen gelangen auf die Zuleitung?

*Lösung:*

$$\begin{aligned} \text{a) } X_C &= \frac{1}{2\pi \cdot f_T \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 300 \text{ kHz} \cdot 0,68 \mu\text{F}} \\ &= 7,8 \Omega \\ \text{b) } n &= \frac{X_C}{X_L} = \frac{7,8 \Omega}{79,9 \Omega} = 0,098 = 9,8 \% \end{aligned}$$



**Bild 2:** Ausgangsspannungen des Pulsweitenmodulators



**Bild 3:** Verstärker in Brückenschaltung



## 10.2.2 Akustik

### 10.2.2.1 Pegelrechnung beim Schall

Schall ist mechanische Schwingung mit Frequenzen von 16 Hz bis 20 kHz.

**Druck** ist Kraft dividiert durch Fläche. Die Einheit N/m<sup>2</sup> hat den besonderen Einheitennamen Pa, Pascal<sup>1</sup>.

**Schalldruck** ist der Effektivwert des vom Schall hervorgerufenen Wechseldrucks.

**Schalldruckpegel** ist der zwanzigfache Zehnerlogarithmus des Verhältnisses von Schalldruck zu Bezugsschalldruck 20 µN/m<sup>2</sup>. Der Schalldruckpegel wird durch den Anhang dB gekennzeichnet.

**Bewerteter Schalldruckpegel** ist die Summe aus Schalldruckpegel und einer Korrektur (**Bild 1**). Der bewertete A-Pegel  $L_A$  wird durch den Anhang dB(A) gekennzeichnet. In gleicher Weise gibt es Pegel in dB(B), in dB(C), in dB(D) sowie die zugehörigen Korrekturen  $s_B$ ,  $s_C$  und  $s_D$ . Die Angaben in dB(A) entsprechen dem normalen menschlichen Hörvermögen. Deshalb erfolgt für die üblichen Aufgaben, z.B. beim Schallschutz, die Messung in dB(A).

**Lautstärkepegel** ist ebenfalls ein Schalldruckpegel mit der Kennzeichnung phon. Der meist angewendete A-Pegel entspricht annähernd dem Lautstärkepegel in phon.

Bei 1000 Hz ist der Lautstärkepegel so groß wie der Schalldruckpegel.

#### Aufgaben zu 10.2.2.1

- Bei einem Lautsprecher beträgt der Schalldruck 120 mN/m<sup>2</sup>. Berechnen Sie den Schalldruckpegel.
- Auf ein Mikrofon wirkt ein Schalldruck von 0,52 N/m<sup>2</sup>. Wie groß ist der Schalldruckpegel?
- Bei einem Lautsprecher ist der Schalldruckpegel 140 dB bei einem Sinuston von 2000 Hz. Berechnen Sie a)  $L_A$ -Pegel in dB(A), b) Schalldruck.
- Ein Schalldruck-Mikrofon ist einem Schalldruckpegel von 100 dB bei einem Sinuston von 6000 Hz ausgesetzt. Berechnen Sie a) Schalldruck, b) Lautstärkepegel.
- Eine Wechselsprechsanlage hat ein Dämpfungsmaß von -5 dB. Am Ausgang soll der Lautstärkepegel 20 phon bei 300 Hz betragen. Berechnen Sie den eingangsseitig erforderlichen Schalldruck.

$$(p_0 = 20 \mu\text{N}/\text{m}^2 = 20 \mu\text{Pa})$$

$$[L_p] = \text{dB} \quad L_p = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \text{ dB}$$

$$L_A = L_p + s_A$$

$L_p$  Schalldruckpegel in dB

$p$  Schalldruck

$p_0$  Bezugsschalldruck

$L_A$  bewerteter Schalldruckpegel in dB(A)

$s_A$  Korrektur für A-Pegel  $L_A$

#### Beispiel 1: Schalldruckpegel $L_p$ berechnen

Berechnen Sie den Schalldruckpegel eines Lautsprechers beim Schalldruck 0,177 Pa.

*Lösung:*

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \text{ dB} = 20 \lg \frac{0,177 \text{ N}/\text{m}^2}{20 \mu\text{N}/\text{m}^2} \text{ dB} \\ = 20 \lg 8850 \text{ dB} = 78,94 \text{ dB} \approx 79 \text{ dB}$$

#### Beispiel 2: Schalldruckpegel $L_A$ berechnen

Der Lautsprecher von Beispiel 1 erzeugt einen Sinuston von 50 Hz. Wie viel dB(A) beträgt der  $L_A$ -Pegel?

*Lösung:*

Aus **Bild 1**:  $s_A = -31 \text{ dB}$

$$L_A = L_p + s_A = 79 \text{ dB} + (-31 \text{ dB}) = 48 \text{ dB(A)}$$

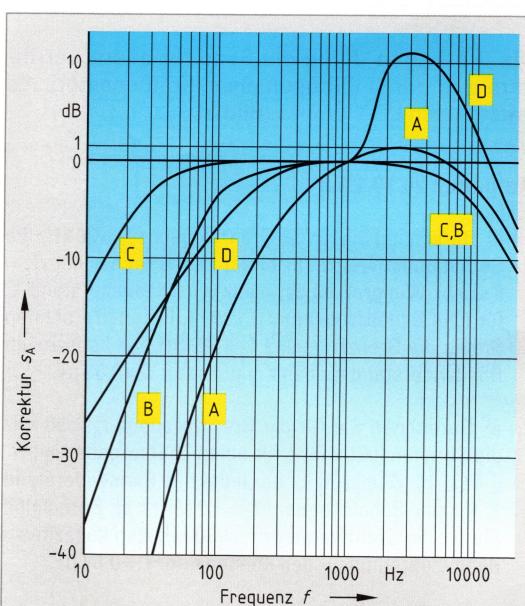
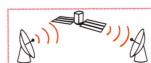


Bild 1: Schalldruckpegel-Korrekturen A, B, C, D

<sup>1</sup> Blaise Pascal, franz. Mathematiker und Physiker, 1623 bis 1662



### 10.2.2.2 Frequenzweichen

Frequenzweichen für Lautsprecherkombinationen teilen das zu übertragende Frequenzspektrum auf die einzelnen Lautsprecher auf. In einer Zweiwegekombination werden dem Tieftonlautsprecher die tiefen Frequenzen und dem Hochtonlautsprecher die höheren Frequenzen zugeführt (**Bild 1**).

Die Frequenzweichen werden entsprechend der Steilheit der Übertragungskurve im Überlappungsbereich eingeteilt. Bei einer **6-dB-Frequenzweiche** (Filter 1. Ordnung) ändert sich im Überlappungsbereich das Dämpfungsmaß je Oktave um 6 dB. Eine Oktave ist der Frequenzbereich zwischen der einfachen und der doppelten Frequenz.

Schaltet man vor den jeweiligen Lautsprecher ein LC-Halbglied, so entsteht eine **12-dB-Frequenzweiche** (**Bild 1**, folgende Seite). Hier ändert sich im Überlappungsbereich das Dämpfungsmaß je Oktave um 12 dB (Filter 2. Ordnung). Meist wählt man bei der Bemessung der Bauelemente eine besondere Übertragungskurve (Butterworth<sup>1</sup>-Charakteristik).

#### ■ Beispiel 1: Dämpfungsmaß berechnen

Wie groß ist bei einer 12-dB-Frequenzweiche das Dämpfungsmaß A für den Tieftonlautsprecher bei  $f = 3 \cdot f_c$ ?

*Lösung:*

$$\begin{aligned} A &= 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_t} \text{ dB} \\ &= 20 \cdot \lg \sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right]^2 + 2 \cdot \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \text{ dB} \\ &= 20 \cdot \lg \sqrt{[1 - 3^2]^2 + 2 \cdot 3^2} \text{ dB} = \mathbf{19,14 \text{ dB}} \end{aligned}$$

#### Aufgaben zu 10.2.2.2

1. Berechnen Sie für eine Grenzfrequenz von 800 Hz die Induktivität der Spule und die Kapazität des Kondensators einer 6-dB-Frequenzweiche, wenn der Hochtonlautsprecher und der Tieftonlautsprecher je 4 Ω Impedanz besitzen.
2. Bei einer 6-dB-Frequenzweiche besitzt der Kondensator eine Kapazität von 10 µF. Wie groß sind die Übernahmefrequenz und die Induktivität der Spule, wenn beide Lautsprecher je einen Widerstand von 8 Ω haben?

Bei 6-dB-Frequenzweiche:

$$L = \frac{Z}{2\pi \cdot f_c}$$

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot Z}$$

$$\frac{U_1}{U_t} = \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}$$

$$\frac{U_1}{U_h} = \sqrt{1 + \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

Bei 12-dB-Frequenzweiche:

für die Parallelschaltung mit Butterworth-Charakteristik

$$L = \frac{\sqrt{2} \cdot Z}{2\pi \cdot f_c}$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 2\pi \cdot f_c \cdot Z}$$

für die Reihenschaltung mit Butterworth-Charakteristik

$$L = \frac{Z}{\sqrt{2} \cdot 2\pi \cdot f_c}$$

$$C = \frac{\sqrt{2}}{2\pi \cdot f_c \cdot Z}$$

für die Parallelschaltung und Reihenschaltung

$$\frac{U_1}{U_t} = \sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right]^2 + 2 \cdot \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}$$

$$\frac{U_1}{U_h} = \sqrt{\left[1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2\right]^2 + 2 \cdot \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

*L* Induktivität

*C* Kapazität

*Z* Lautsprecherimpedanz (näherungsweise Wirkwiderstand)

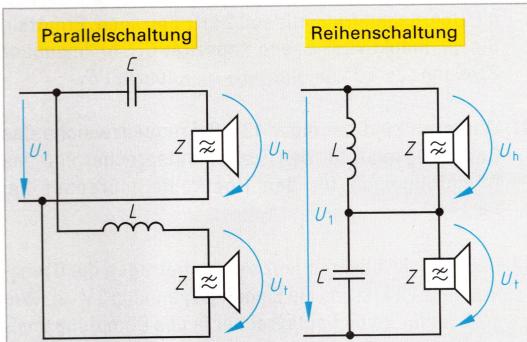
*f<sub>c</sub>* Grenzfrequenz (Übernahmefrequenz)

*U<sub>1</sub>* Eingangsspannung

*U<sub>t</sub>* Spannung am Tieftonlautsprecher

*U<sub>h</sub>* Spannung am Hochtonlautsprecher

*f* Frequenz



**Bild 1:** 6-dB-Frequenzweichen für Lautsprecher

<sup>1</sup> Stephen Butterworth, britischer Physiker, 1885 bis 1958

3. Berechnen Sie bei einer 6-dB-Frequenzweiche für  $f = 2 \cdot f_c$  die Dämpfungsmaße für den Tieftonlautsprecher und für den Hochtonlautsprecher.
4. Bei einer 6-dB-Frequenzweiche beträgt das Dämpfungsmaß für den Hochtonlautsprecher 8 dB bei einer Frequenz von 400 Hz. Wie groß ist die Übernahmefrequenz?
5. Eine 6-dB-Frequenzweiche besitzt die Grenzfrequenz 1,8 kHz. Bei welcher Frequenz beträgt das Dämpfungsmaß für den Hochtonlautsprecher 10 dB?
6. a) Bei welchem Frequenzverhältnis  $f/f_c$  beträgt bei einer 6-dB-Frequenzweiche das Dämpfungsmaß für den Tieftonlautsprecher 4 dB? b) Wie groß ist dabei die Spannung am Tieftonlautsprecher, wenn die Eingangsspannung 5 V beträgt?
7. Bei einer 12-dB-Frequenzweiche in Parallelschaltung soll die Grenzfrequenz 1,3 kHz betragen. Die beiden Lautsprecher haben eine Impedanz von je  $8\Omega$ . Berechnen Sie die Induktivität der Spulen und die Kapazität der Kondensatoren.
8. Eine 12-dB-Frequenzweiche in Reihenschaltung hat eine Grenzfrequenz von 2 kHz. Der Tieftonlautsprecher und der Hochtonlautsprecher haben je  $4\Omega$ . Wie groß müssen die Induktivität der Spulen und die Kapazität der Kondensatoren sein?
9. Es ist eine 12-dB-Frequenzweiche in Parallelschaltung für einen Tieftonlautsprecher mit  $Z_t = 8\Omega$  und einen Hochtonlautsprecher mit  $Z_h = 12\Omega$  zu bemessen. Die Übernahmefrequenz soll 1,2 kHz betragen. Berechnen Sie a) Induktivität  $L_t$  und Kapazität  $C_t$  des Halbglieds vor dem Tieftonlautsprecher, b) Induktivität  $L_h$  und Kapazität  $C_h$  des Halbglieds vor dem Hochtonlautsprecher.
10. Bei einer 12-dB-Frequenzweiche in Parallelschaltung hat der Hochtonlautsprecher eine Impedanz  $Z_h = 4\Omega$ , die Übernahmefrequenz soll 2 kHz betragen. Ermitteln Sie a) Induktivität  $L_h$  und Kapazität  $C_h$ , b) Impedanz  $Z_t$ , wenn  $L_t = 1,35\text{ mH}$  beträgt, c) Kapazität  $C_t$ .
11. Wie groß sind bei einer 12-dB-Frequenzweiche das Dämpfungsmaß für den Tieftonlautsprecher und das Dämpfungsmaß für den Hochtonlautsprecher bei  $f = 2 \cdot f_c$ ?
12. Bei einer 12-dB-Frequenzweiche betragen die Grenzfrequenz 1,1 kHz und die Eingangsspannung 3 V. a) Wie groß ist für beide Lautsprecher je das Dämpfungsmaß bei der Frequenz 400 Hz? b) Welche Spannung liegt bei  $f = 400\text{ Hz}$  am Tieftonlautsprecher?

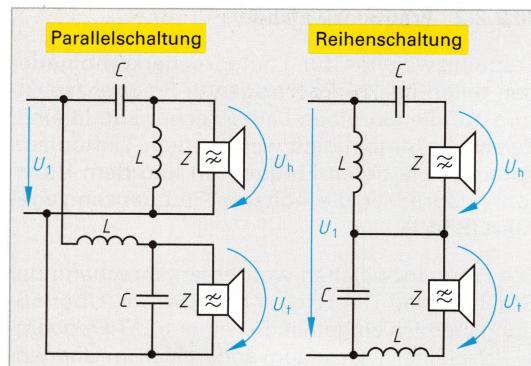


Bild 1: 12-dB-Frequenzweichen für Lautsprecher

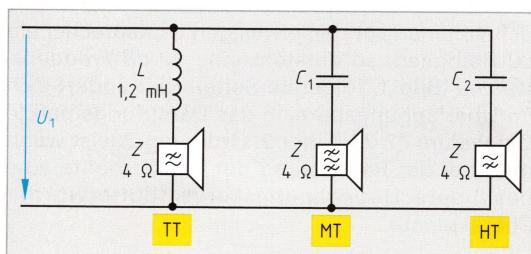


Bild 2: Dreiwege-Frequenzweiche

13. Bei welchem Frequenzverhältnis  $f_c/f$  beträgt bei einer 12-dB-Frequenzweiche das Dämpfungsmaß für den Hochtonlautsprecher 20 dB?
14. Eine 12-dB-Frequenzweiche hat die Grenzfrequenz  $f_c = 800\text{ Hz}$ . Bei welcher Frequenz  $f$  beträgt das Dämpfungsmaß für den Tieftonlautsprecher 15 dB?
15. Berechnen Sie von der Dreiwege-Frequenzweiche Bild 2 a) Grenzfrequenz am Tieftonlautsprecher TT, b) Kapazität  $C_1$ , wenn die Grenzfrequenz am Mitteltonlautsprecher MT genauso groß sein soll wie am Tieftonlautsprecher TT, c) Kapazität  $C_2$ , wenn die Grenzfrequenz hier 5 kHz betragen soll. Gegenseitige Verstimmungen bleiben unberücksichtigt.
16. a) Welche Impedanz benötigt der Tieftonlautsprecher TT in der Dreiwege-Frequenzweiche nach Bild 2, wenn  $L = 1,77\text{ mH}$  und  $f_c = 720\text{ Hz}$  betragen sollen? b) Wie groß wird die Kapazität von  $C_1$ , damit auch hier die Grenzfrequenz 720 Hz beträgt? Der Mitteltonlautsprecher hat  $Z = 8\Omega$ . c) Wie groß ist die Grenzfrequenz am Hochtonlautsprecher HT, wenn  $Z = 12\Omega$  und  $C_2 = 2\mu\text{F}$  betragen? Gegenseitige Verstimmungen bleiben unberücksichtigt.

# 11 Datenübertragung

## 11.1 Signalabtastung

Durch Abtastung analoger Signale können die dabei gewonnenen *Signalproben* digitalisiert sowie im Zeitmultiplexverfahren zusammen mit anderen Signalen übertragen werden.

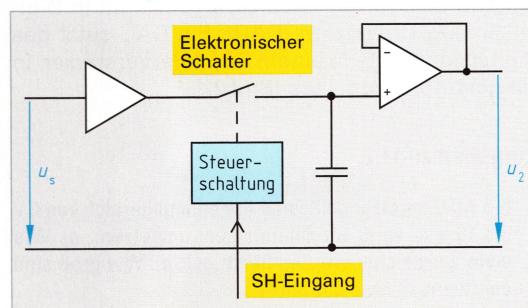
Die Abtastung erfolgt in einer Sample-and-Hold-Schaltung (sample = Probe, to hold = halten, **Bild 1**). Die Zeit für das Abtasten (Samplemode) kann kurz sein (**Bild 2**). Die Abtastfrequenz muss mehr als doppelt so groß sein wie die höchste zu übertragende Frequenz des Signals, damit das Signal aus den Proben zurückgewonnen werden kann (*Abtasttheorem von Shannon*). Meist wird mit einem Mehrfachen dieser Mindestfrequenz gearbeitet (*Oversampling*). Die Sample-and-Hold-Schaltung (SH-Schaltung) ist oft Bestandteil von AD-Umsetzern (Samplingwandler, **Bild 3**).

Mit einem Multiplexer werden die Eingangssignale zyklisch mit der SH-Schaltung verbunden, so wird nur ein AD-Umsetzer benötigt.

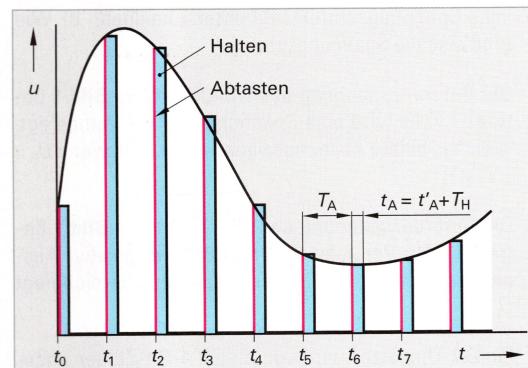
### Aufgaben zu 11.1

- Bei einem Samplingwandler beträgt die Abtastrate 50 kHz. Welche höchste Signalfrequenz kann bei zweifachem Oversampling erfasst werden?
- Ein AD-Umsetzer mit Samplingstufe soll mit Vierfach-Oversampling eine Signalfrequenz von 3,5 kHz erfassen. Wie groß muss die Abtastrate mindestens sein?
- Für eine Prozessüberwachung wird eine Datenerfassungskarte mit freilaufend 4000 Samples je Sekunde verwendet, während der Computer zur Bearbeitung der Daten 0,01 s braucht. Deshalb werden vom Computer die Proben nur alle 0,015 s abgerufen. a) Wie groß ist die wirksame Abtastrate? b) Wie groß ist ohne Oversampling die Signalfrequenz höchstens? c) Wie groß müsste die Signalverarbeitungszeit des Computers sein, wenn bei  $t'_A \ll t_H$  die volle Abtastrate der Datenerfassungskarte genutzt werden soll?
- Für eine Fernmessung wird eine Datenerfassungskarte mit freilaufend 3 Kilosamples je Sekunde eingesetzt, von der ein angeschlossener Computer alle 0,2 s Proben abruft. Berechnen Sie a) die wirksame Abtastrate, b) die größtmögliche Signalfrequenz bei vierfachem Oversampling, c) die Haltezeit der Datenerfassungskarte, wenn  $t'_A \ll t_H$ .

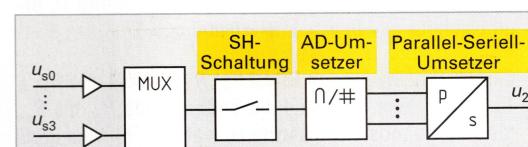
$f_A > 2 \cdot f_s$	$T_A = \frac{1}{f_A}$	$t_A \leq T_A$
Für $t'_A \ll t_H$ :		
$f_{AO} > f_A \cdot n$	$t_A = t'_A + t_H$	$t_s \leq t_A$
<i>f<sub>A</sub>: Abtastfrequenz, Abtastrate f<sub>s</sub>: höchste zu übertragende Frequenz des Signals T<sub>A</sub>: Abtastperiodendauer t<sub>A</sub>: Abtastzeit f<sub>AO</sub>: Abtastrate bei Oversampling n: Verhältniszahl t<sub>s</sub>: Signalverarbeitungszeit t<sub>H</sub>: Haltezeit t'<sub>A</sub>: Zeit im Samplemodus</i>		



**Bild 1:** Prinzip der Sample-and-Hold-Schaltung



**Bild 2:** Abtasten und Halten



**Bild 3:** Samplingwandler für vier Eingangssignale

## 11.2 Signalumsetzer

### AD-Umsetzer

Messgrößen, z.B. Spannungen, erhält man meist in analoger Form. Für die Umsetzung in digitale Signale verwendet man Analog-Digital-Umsetzer (ADU). Beim Parallelumsetzer wird das analoge Signal an alle Vergleicher K1 bis K7 gleichzeitig angelegt (**Bild 1**). Je feiner die Stufung (Quantisierung) sein soll, desto mehr Vergleicher benötigt man. Das in den D-Flipflops gespeicherte Signal wird im Codierer in ein binäres Signal, z.B. den BCD-Code, umgesetzt.

### DA-Umsetzer

Zum Steuern von Anlagen und Geräten werden binäre Werte in analoge Steuergrößen, meist Spannungen, umgesetzt. Dies geschieht in Digital-Analog-Umsetzern (DAU). Ein DAU setzt das Digitalsignal, z.B. in einem Summierverstärker, in ein gestuftes Signal um (**Bild 2**).

### Aufgaben zu 11.2

- Ein AD-Umsetzer soll einen Spannungsbereich von 0 V bis 10 V in ein 8-Bit-Digitalsignal umsetzen. a) Wie viele Vergleicher werden benötigt? b) Wie groß sind die Quantisierungsstufen?
- Ein AD-Umsetzer mit 3 bit soll einen Spannungsbereich von 0 V bis 4,5 V verarbeiten. a) Wie viele unterschiedliche Spannungsstufen sind unterscheidbar? b) Wie groß sind die Spannungsstufen?
- Die Referenzspannung des AD-Umsetzers **Bild 1** beträgt 7 V. Es wird eine Spannung  $U_x = 5,7 \text{ V}$  angelegt. Welches binäre Ausgangssignal ergibt sich, wenn  $U_R = 1 \text{ V}$  ist?
- Die Referenzspannung des AD-Umsetzers **Bild 1** beträgt 7 V. Die Vergleicher K1 bis K3 führen positive Ausgangsspannung. In welchem Spannungsbereich liegt  $U_x$ ?
- Ein DA-Umsetzer wird von einem 4-Bit-Zähler angesteuert (**Bild 2**). Der Zähler liefert  $U_{QH} = 4,5 \text{ V}$  und  $U_{QL} = 0,2 \text{ V}$ . a) Berechnen Sie  $R_K$  für  $U_{amax} = 10 \text{ V}$ . b) Wie groß ist  $U_{amin}$ ? c) Welche Ausgangsspannung  $U_a$  ergibt sich für  $q_A = 0, q_B = 1, q_C = 0$  und  $q_D = 1$ ?
- Ein DA-Umsetzer nach **Bild 2** hat  $R_K = 12 \text{ k}\Omega$  und  $R_{e1} = 10 \text{ k}\Omega$ . a) Wie groß sind die Widerstände  $R_{e2}$  bis  $R_{e4}$  für eine Quantisierungsstufe zu wählen? b) Wie groß muss  $U_{QH}$  für  $U_{amax} = 10 \text{ V}$  sein? c) Wie groß wird  $U_{amin}$  für  $U_{QL} = 0,1 \text{ V}$ ?

AD-Umsetzer:

$$z = 2^n - 1$$

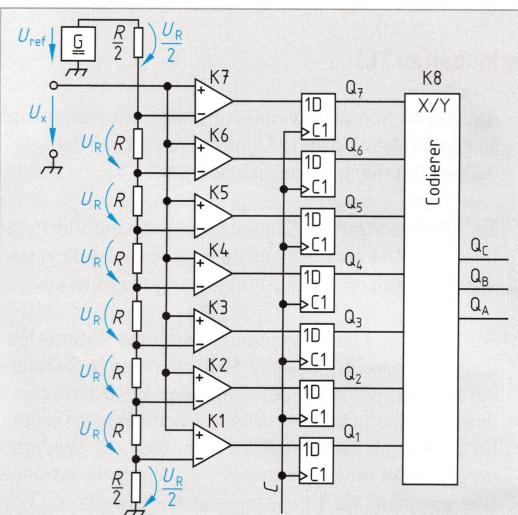
$$\Delta U = \frac{U_{emax} - U_{emin}}{z}$$

$$U_x = \frac{U_R}{2} + k \cdot U_R$$

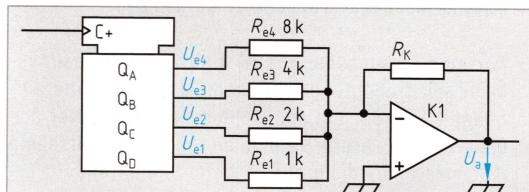
DA-Umsetzer mit Summierverstärker (Seite 127):

$$-U_a = \frac{R_K}{R_{e1}} \cdot U_{e1} + \frac{R_K}{R_{e2}} \cdot U_{e2} + \frac{R_K}{R_{e3}} \cdot U_{e3} + \frac{R_K}{R_{e4}} \cdot U_{e4}$$

$R_{e1}, \dots, R_{e4}$	Eingangswiderstände
$R_K$	Rückkopplungswiderstand
$U_a$	Ausgangsspannung
$U_{e1}, \dots, U_{e4}$	Eingangsspannungen
$U_R$	Spannung an den Teilerwiderständen
$\Delta U$	Messspannung
$z$	Spannungsquantisierstufe
$n$	Anzahl der Vergleicher
$k$	Datenwortbreite in bit
max	Anzahl Vergleicher (mit Wert 1 am Ausgang)
min	Maximalwert
	Minimalwert



**Bild 1:** AD-Umsetzer



**Bild 2:** DA-Umsetzer

## 11.3 Digitale Modulation

### 11.3.1 PSK und QAM

Die benötigte Bandbreite für die Übertragung eines Digitalsignals in einem analogen Kanal ist proportional zur Leitungsdigitrate. Um möglichst hohe Bitraten bei kleinen Bandbreiten zu erzielen, werden Modulationsarten auf der Basis von PSK (von Phase Shift Keying = Phasenumtastung) und QAM (Quadraturamplitudenmodulation) eingesetzt (**Bild 1**).

#### Aufgaben zu 11.3.1

- Der Übertragungskanal im Telefonnetz wird durch die Frequenzen  $f_t = 300$  Hz und  $f_h = 3400$  Hz begrenzt. Berechnen Sie die entsprechende Leitungsdigitrate im Telefonnetz.
- Die Bitrate in einem digitalen Richtfunksystem beträgt 139 Mbit/s. Die Modulation erfolgt nach dem 4-PSK-Verfahren. Berechnen Sie die Übertragungsbandbreite.
- Die Übertragungsbandbreite in einem digitalen Richtfunksystem beträgt 6 MHz. Berechnen Sie die maximale Bitrate, wenn für die Modulation das 4-PSK-Verfahren eingesetzt wird.
- In einem digitalen Richtfunksystem beträgt die Kanalbandbreite  $B_K = 9$  MHz. Es soll ein PCM-120-Multiplexsignal mit 8,448 Mbit/s übertragen werden. a) Prüfen Sie durch Rechnung nach, ob die 2-PSK-Modulationsart eingesetzt werden kann. b) Berechnen Sie die Kanalbandbreite bei Einsatz der 4-PSK-Modulation.
- Die Leitungsdigitrate ist im Telefonnetz auf maximal 2400 Baud begrenzt. Berechnen Sie die Wertigkeit des QAM-Verfahrens für eine Bitrate von 9600 bit/s.
- Für die Digitalübertragung von TV-Kanälen im Kabelnetz wird die Bitrate durch Datenreduktion auf 34 Mbit/s begrenzt. Die nutzbare Bandbreite beträgt 8 MHz. Berechnen Sie die benötigte Wertigkeit des QAM-Verfahrens.
- Berechnen Sie die frequenzbezogene Bitrate  $r_{b0}$  für das 4-PSK-Verfahren im Telefonnetz mit der Bandbreite 3100 Hz. Hinweis: Die Einheit von  $r_{b0}$  ist (bit/s)/Hz.
- Für ein Modem wird die frequenzbezogene Bitrate mit  $r_{b0} = 5$  (bit/s)/Hz angegeben. Die Bandbreite beträgt 3100 Hz. Berechnen Sie die Wertigkeit des verwendeten QAM-Verfahrens.
- Berechnen Sie für die Datenfernübertragung im Telefonnetz ( $B = 3100$  Hz,  $r_{ld} = 2400$  Baud) zu den Modulationsverfahren **Bild 1** jeweils die Bitrate und die frequenzbezogene Bitrate.

$$B = 1,4 \cdot r_{ld}$$

$$r_b = r_{ld} \cdot \lg n$$

$$\lg n = \frac{\lg n}{\lg 2}$$

$B$  Übertragungsbandbreite  
 $r_{ld}$  Leitungsdigitrate (Schrittgeschwindigkeit)  
 $r_b$  Bitrate  
 $n$  Wertigkeit von PSK oder QAM  
 $\lg n$  Zweierlogarithmus von  $n$   
 $\lg n$  Zehnerlogarithmus von  $n$

#### Beispiel 1: Bitrate berechnen

Berechnen Sie die Bitrate eines mit der Leitungsdigitrate von 2400 Baud übertragenen Signals, das in einem 4-PSK-Modem moduliert wird.

Lösung:

$$r_b = r_{ld} \cdot \lg n = 2400 \text{ 1/s} \cdot \lg 4 = 2400 \text{ 1/s} \cdot 2 = 4800 \text{ bit/s}$$

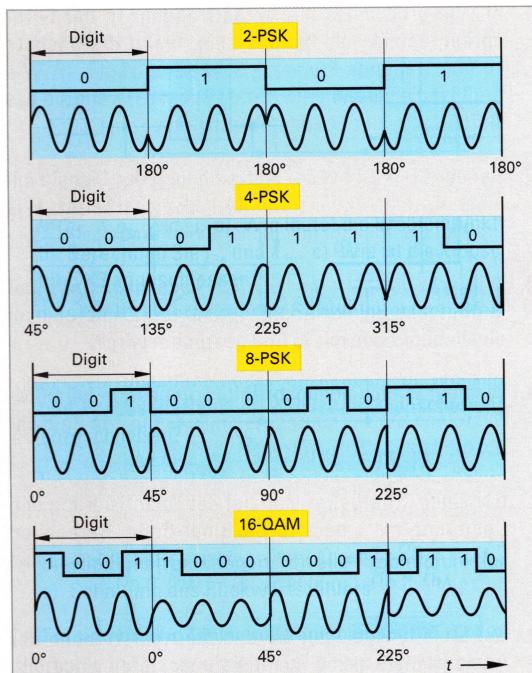


Bild 1: PSK-Modulationsarten

- Berechnen Sie für das 256-QAM-Verfahren a) bei der Leitungsdigitrate 2400 Baud die Bitrate, b) die frequenzbezogene Bitrate  $r_{b0}$  für die Bandbreite 3100 Hz, c) die Zahl  $n_b$  der Bits je Digit, d) die Zahl  $n_\phi$  der Phasenzustände, wenn  $n_A = 8$  Amplitudenzustände verwendet werden, e) die kleinste Phasendifferenz  $\Delta\varphi$  zwischen zwei aufeinander folgenden Phasenzuständen.

### 11.3.2 Pulsmodulation

Bei der Pulsmodulation wird ein Puls (Impulsfolge, Trägerpuls) moduliert. Es gibt verschiedene Arten der Pulsmodulation.

Bei der Abtastung des Analogsignals wird der Puls durch das Signal amplitudenmoduliert. Diese erste Stufe der Modulation bezeichnet man als *Pulsamplitudenmodulation* (PAM).

Bei der *Pulscodemodulation* (PCM) wird das PAM-Signal quantisiert und codiert (**Bild 1**). Die dabei auftretenden Quantisierungsfehler vermitteln den gleichen Höreindruck wie Rauschen. Jedes Quantisierungsbit erhöht den Rauschabstand um 6 dB.

#### Aufgaben zu 11.3.2

1. a) Wie groß muss die Abtastfrequenz in der Fernsprechtechnik mindestens sein, wenn die höchste zu übertragende Frequenz 3,4 kHz beträgt? b) Wie groß ist die verwendete Abtastfrequenz, wenn sie das 1,1765-fache der Mindestabtastfrequenz beträgt?
2. Bei der CD wird bei der Aufzeichnung der Signale mit einer Abtastfrequenz von 44,1 kHz gearbeitet. Wie groß ist die höchste aufzeichnbare Frequenz?
3. Wie groß ist bei einer CD das Rauschabstandsmaß in dB, wenn bei der Quantisierung und Codierung mit einem Binärcode mit 16 Bits gearbeitet wird?
4. Welcher Entscheidungsgehalt in bit besteht bei PCM-Systemen der Fernsprechtechnik, wenn das Rauschabstandsmaß 48 dB beträgt?
5. Bei einer CD arbeitet man bei der Quantisierung und Codierung mit einem 16-Bit-Binär-Code. Berechnen Sie a) Anzahl der Quantisierungsstufen, b) maximal aufzeichnbare Dynamik in dB.
6. Bei Mobilfunkgeräten werden die Abtastproben der Analogsignale in 256 Quantisierungsstufen eingeteilt. Ermitteln Sie a) Entscheidungsgehalt des verwendeten Binärcodes in bit, b) maximal übertragbare Dynamik in dB.
7. Ein Mobilfunksystem arbeitet mit einer Abtastfrequenz von 8 kHz, einem 8-Bit-Binär-Code, einer maximal übertragbaren Dynamik von 42 dB und 32 Kanälen. Wie groß ist dabei die auftretende Bitrate?

Abtasttheorem nach Shannon<sup>1</sup>:

$$f_A > 2 \cdot f_{s\max}$$

$$A_\sigma \approx 6 \text{ dB} \cdot n$$

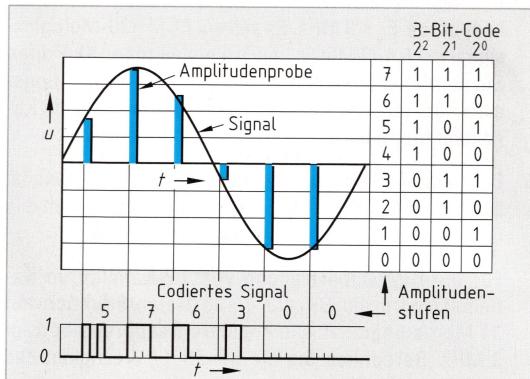
$$\begin{aligned} n &= \lceil \log_2 H_0 \rceil \\ \Rightarrow H_0 &= 2^n \end{aligned}$$

$$\Delta L_s = 20 \cdot (\lg \frac{1}{2} \cdot H_0) \text{ dB}$$

$$r_b = n \cdot f_A$$

$f_A$	Abtastfrequenz (Pulsfrequenz)
$f_{s\max}$	höchste Frequenz der Teilschwingungen
$A_s$	Rauschabstandsmaß in dB
$n$	Entscheidungsgehalt in bit
$H_0$	Elementarvorrat
$\Delta L_s$	Dynamik (Lautstärkeverhältnis) in dB
$r_b$	Bitrate in bit/s

**Abtasttheorem:** Die Abtastfrequenz muss mehr als doppelt so groß sein als die höchste Frequenz der zu übertragenden Teilschwingungen des Analogsignals.



**Bild 1:** Pulscodemodulation

8. Bei einer CD sind die Signale so gespeichert, dass 588 bei einen Rahmen bilden. Ein Rahmen umfasst 6 Abtastperioden. Die Abtastfrequenz beträgt 44,1 kHz, die maximal übertragbare Dynamik 90 dB und das Rauschabstandsmaß 96 dB. Wie groß ist die Bitrate?

<sup>1</sup> Claude Shannon, amerikanischer Ingenieur, 1916 bis 2001

### 11.3.3 Quantisierung und Codierung

Bei einer linearen Quantisierung werden der positive und der negative Spannungsbereich des Analogsignals in gleich hohe Stufen unterteilt (**Bild 1**). Bei einer nicht linearen Quantisierung werden verschiedene hohe Segmente mit gleichmäßiger Stufung innerhalb eines Segments gebildet (**Bild 2**). Das Empfangssignal erhält den Mittenwert der Stufe des Sendesignals.

#### Beispiel 1: Quantisierungsfehler berechnen

Der Abtastwert 1,99 V eines Sendesignals mit  $\hat{u} = 2 \text{ V}$  wird nach **Bild 1** quantisiert. Berechnen Sie den Quantisierungsfehler des Empfangssignals.

*Lösung:*

$$a = \frac{\hat{u}}{m} = \frac{2 \text{ V}}{4} = 0,5 \text{ V}$$

$$u_e = \frac{7a}{2} = \frac{7 \cdot 0,5 \text{ V}}{2} = 1,75 \text{ V}$$

$$u_q = u_s - u_e = 1,99 \text{ V} - 1,75 \text{ V} = 0,24 \text{ V}$$

$$F_q = \frac{u_q}{u_s} \cdot 100 \% = \frac{0,24 \text{ V}}{1,99 \text{ V}} \cdot 100 \% = 12,06 \%$$

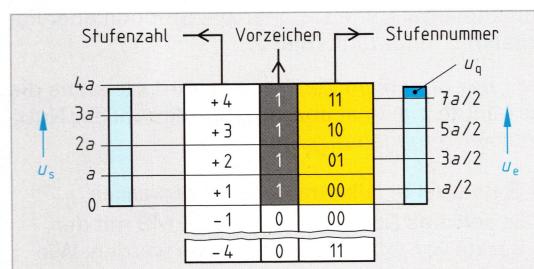
#### Aufgaben zu 11.3.3

- Der Abtastwert 1,95 V eines Sendesignals mit  $u_{\max} = 2 \text{ V}$  wird mit 4 Bits linear quantisiert (**Bild 1**). Berechnen Sie a) die Stufenhöhe, b) die Quantisierungsfehlerspannung, c) den Quantisierungsfehler.
- Berechnen Sie zu **Bild 2** mit  $\hat{u} = 2 \text{ V}$  a) die jeweilige Höhe der drei Segmente (1A und 1B werden zum 1. Segment zusammengefasst), b) die Höhe der Stufen jeweils innerhalb der Segmente (das zweigeteilte Segment 1 besitzt 8 Stufen, die übrigen Segmente jeweils 4 Stufen), c) den Quantisierungsfehler zum Abtastwert 1,47 V eines Sendesignals.
- Ermitteln Sie den Quantisierungsfehler für den Abtastwert 0,01 V eines Sendesignals mit  $\hat{u} = 2 \text{ V}$  a) bei einer linearen Quantisierung mit 5 Bits entsprechend **Bild 1**, b) bei einer nicht linearen Quantisierung mit 5 Bits entsprechend **Bild 2**.
- Wie groß ist der Quantisierungsfehler für den Abtastwert 1,99 V eines Sendesignals mit  $\hat{u}_{\max} = 2 \text{ V}$  a) bei einer linearen Quantisierung mit 5 Bits, b) bei einer nicht linearen Quantisierung mit 5 Bits nach **Bild 2**.

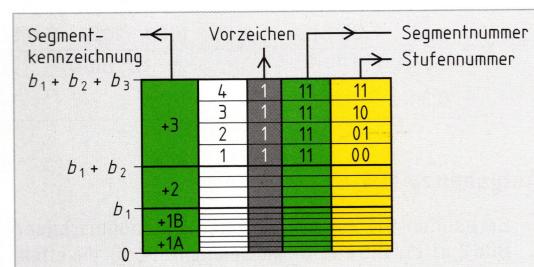
- Berechnen Sie zum Höchstwert 1 V für das Codewort in **Bild 3** a) die Segmenthöhe, b) die untere Grenze  $U_t$  und die obere Grenze  $U_h$  des Segments, c) die Stufenhöhe in diesem Segment.

$a = \frac{\hat{u}}{m}$	$a_n = \frac{b_n}{m}$	$b_n = \frac{2^{n-1} \cdot \hat{u}}{2^N}$
$u_q = u_s - u_e$	$m = 2^{z-1}$	$F_q = \frac{u_q}{u_s} \cdot 100 \%$

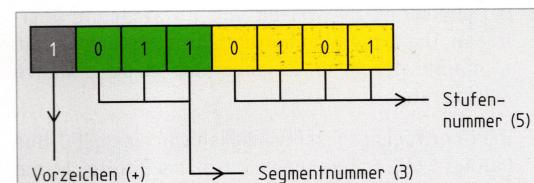
$a$	Stufenhöhe bei linearer Quantisierung
$\hat{u}, u_{\max}$	Höchstwert des analogen Sendesignals
$a_n$	Stufenhöhe im Segment mit der Nummer $n$
$b_n$	Höhe des Segments mit der Nummer $n$
$m$	Anzahl der Stufen je Spannungsbereich bzw. je Segment
$n, N$	Nummer, höchste Nummer eines Segments
$u_q$	Quantisierungsfehlerspannung
$u_s$	Abtastwert des Sendesignals
$u_e$	Abtastwert des Empfangssignals
$z$	Anzahl der Quantisierungsbits
$F_q$	Quantisierungsfehler in %



**Bild 1:** Lineare Quantisierung mit 3 Bits



**Bild 2:** Nicht lineare Quantisierung mit 5 Bits



**Bild 3:** Codewort

## 11.4 Geschwindigkeit der Datenübertragung

Unter *Bitrate* versteht man die Anzahl der je Sekunde übertragenen Bits. Die Einheit ist  $\text{1/s}$  oder  $\text{bit/s}$ .

Die *Digitrate* gibt die Anzahl der je Sekunde übertragenen Digits an (**Bild 1**). Ein Digit ist das kleinste Element eines Digitalsignals und kann eine jeweils festgelegte Anzahl von Zuständen annehmen. Das Digit eines Binärsignals kann die logischen Zustände 0 oder 1 annehmen und wird als Bit bezeichnet.

Die *Leitungsdigitrate* gibt die Anzahl der je Sekunde auf einer Leitung übertragenen Digits an. Die Einheit ist  $\text{1/s}$  oder auch Baud.

Die *Zeichenrate* gibt die Anzahl der je Sekunde übertragenen Zeichen an. Bei der Berechnung der Zeichenrate werden außer den Nutzbits auch die Steuerbits, wie z.B. Startbit, Stopppbit oder Paritätsbit, mitgezählt (**Bild 2**).

Mit der *effektiven Zeichenrate* wird meistens die je Minute maximal übertragbare Anzahl der Nutzzeichen angegeben.

### Beispiel 1: Übertragungszeit bestimmen

Es soll eine Datei der Größe 1,25 MB mit der Bitrate von 34 Mbit/s übertragen werden. Wie groß ist die Übertragungszeit mindestens?

*Lösung:*

$$r_b = \frac{n_b}{t}$$

$$\Rightarrow t = \frac{n_b}{r_b} = \frac{1,25 \text{ MB}}{34 \text{ Mbit/s}} = \frac{1,25 \cdot 1024 \cdot 1024 \cdot 8 \text{ bit}}{34 \cdot 10^6 \text{ bit/s}}$$

$$= 0,31 \text{ s}$$

### Aufgaben zu 11.4

1. Berechnen Sie zur asynchronen Datenübertragung **Bild 2** a) die Bitrate, b) die Zeichenrate, c) die effektive Zeichenrate.
2. Im Telexnetz wurden die Zeichen nach dem internationalen Alphabet Nr. 2 mit 5 Bits codiert und asynchron mit jeweils einem Startbit und 1,5 Stopppbits übertragen. Die Bitperiode beträgt 20 ms. Berechnen Sie a) die Bitrate, b) die Zeichenrate, c) die effektive Zeichenrate.
3. Die Übertragungsgeschwindigkeit von einem IEC-Bus beträgt 1 MB/s. Berechnen Sie a) die Bitrate, b) die Übertragungszeit für die Übertragung von 2700 Byte, c) die Zeichenrate (Zeichenlänge = 8 bit).

$$r_b = \frac{n_b}{t}$$

$$r_b = \frac{1}{T_b}$$

$$[r_b] = \text{bit/s} = \text{1/s}$$

$$1 \text{ MB} = 1024^2 \cdot 8 \text{ bit}$$

$$r_d = \frac{1}{T_d}$$

$$r_{ld} = \frac{r_b}{n_{bd}}$$

$$[r_d] = \text{digit/s}$$

$$[r_{ld}] = \text{Baud}$$

$$r_z = \frac{r_b}{n_{bz}}$$

$$r_{z\text{eff}} = \frac{n_z}{t}$$

$$[r_z] = \text{Zeichen/s}$$

$$[r_{z\text{eff}}] = \text{Zeichen/min}$$

$r_b$  Bitrate (Übertragungsgeschwindigkeit)

$r_d$  Digitrate

$r_{ld}$  Leitungsdigitrate (Schrittgeschwindigkeit)

$r_z$  Zeichenrate (Zeichengeschwindigkeit)

$r_{z\text{eff}}$  effektive Zeichenrate (Transfergeschwindigkeit)

$T_b$  Bitperiode (Dauer eines Bits)

$T_d$  Digitperiode (Dauer eines Digits)

$t$  Übertragungszeit

$n_b$  Anzahl der übertragenen Bits

$n_{bd}$  Anzahl der Bits eines Digits

$n_{bz}$  Anzahl der Bits eines Zeichens

$n_z$  Anzahl der Nutzzeichen

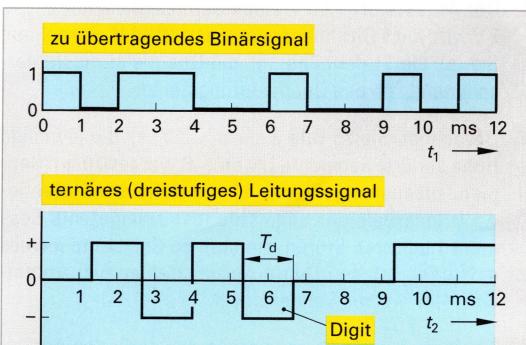


Bild 1: Codierte Datenübertragung

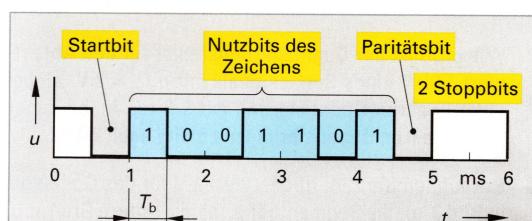


Bild 2: Asynchrone Übertragung eines Zeichens