

17.3.2 Kostenstellenrechnung

Neben Einzelkosten, die direkt den Kostenstellen zugeordnet werden, entstehen noch Gemeinkosten, die verursachungsgerecht diesen Kostenstellen zugeschlagen werden. Als Kostenstellen (**Bild 1**) unterscheidet man Material, z.B. Einkauf, Lagerung, Fertigung (z.B. Bestücken, Löten, Prüfen), Verwaltung, z.B. Buchhaltung, Geschäftsleitung), und Vertrieb, z.B. Verkauf, Werbung.

Diese Gemeinkostenzuschläge werden in einem **Betriebsabrechnungsbogen (BAB, Bild 1)** für die einzelnen Kostenstellen ermittelt und den Einzelkosten für Fertigungsmaterial und Fertigungslöhne mithilfe von Prozentsätzen (Zuschlagsätzen) oder Mengensätzen, z.B. €/Stück, zugeschlagen. Sie dienen zur Kalkulation der Selbstkosten (**Bild 1**, folgende Seite).

So setzen sich z.B. die Lohnkosten der Fertigung aus den Lohneinzelkosten und den Lohngemeinkosten zusammen.

Lösungsschritte zur Auswertung eines BAB:

- Eintragen der verschiedenen Gemeinkosten und deren Betrag.
- Ermitteln von verursachungsgerechten Verteilungsschlüsseln für die Verteilung der Gemeinkosten auf die verschiedenen Kostenstellen.
- Verteilen der Gemeinkosten nach diesen Verteilungsschlüsseln auf die Kostenstellen.
- Summenbildung der auf die Kostenstellen entfallenen Gemeinkosten.
- Berechnung der Herstellkosten.
- Ermittlung der Gemeinkosten für Verwaltung und Vertrieb.
- Berechnung der Selbstkosten.

$$MGKS = \frac{MGK \cdot 100 \%}{MEK} \quad LGKS = \frac{LGK \cdot 100 \%}{LEK}$$

$$HK = LEK + LGK + MEK + MGK$$

$$VerwGKS = \frac{VerwGK \cdot 100 \%}{HK}$$

$$VertrGKS = \frac{VertrGK \cdot 100 \%}{HK}$$

$$SK = HK + VerwGK + VertrGK$$

HK	Herstellkosten
LEK	Lohneinzelkosten
LGK	Lohngemeinkosten
LGKS	Lohngemeinkostensatz in %
MEK	Materialeinzelkosten
MGK	Materialgemeinkosten
MGKS	Materialgemeinkostensatz in %
SK	Selbstkosten
VerwGK	Verwaltungsgemeinkosten
VerwGKS	Verwaltungsgemeinkostensatz in %
VertrGK	Vertriebsgemeinkosten
VertrGKS	Vertriebsgemeinkostensatz in %

Die Gemeinkostenzuschlagsätze der einzelnen Kostenstellen werden als Faktoren für die Kalkulationen verwendet.

Betriebsabrechnungsbogen BAB der Firma				für die Zeit vom bis					
Gemeinkosten	Betrag	Verteilung in %			Kostenstellen				
		M	F	Verw	Vertr	Material (M)	Fertigung (F)	Verwaltung (Verw)	Vertrieb (Vertr)
Hilfslöhne	1640 €	15	70	10	5				
Gehälter	182325 €	15	60	15	10				
Energiekosten	11568 €	10	75	10	5				
Kalkulatorische Abschreibungen	40280 €	7	65	17	11				
Kalkulatorische Zinsen	15318 €	25	35	25	15				
Instandhaltungskosten	42754 €	5	80	8	7				
Gemeinkosten-Material	9866 €	6	60	22	12				
Raumkosten	52430 €	12	72	10	6				
Summen der Gemeinkosten									
Materialeinzelkosten MEK						188342,00 €			
Lohneinzelkosten LEK							166943,00 €		
Materialgemeinkostensatz MGKS									
Lohngemeinkostensatz LGKS									
Herstellkosten HK									
Verwaltungsgemeinkostensatz VerwGKS									
Vertriebsgemeinkostensatz VertrGKS									
Selbstkosten SK									

Bild 1: Beispiel eines Betriebsabrechnungsbogens BAB

Aufgaben zu 17.3.2

- Für die Fertigung eines Gerätes betragen die Materialeinzelkosten 137 € und die Lohneinzelkosten 72 €. Von den Gemeinkosten entfallen auf die Materialkosten 82 € und auf die Lohnkosten 93 €. Berechnen Sie a) den Materialgemeinkostensatz, b) den Lohngemeinkostensatz, c) die Herstellkosten.
- Die Herstellkosten für einen Computer betragen 522 €. An Vertriebsgemeinkosten fallen 88 € an. Der Verwaltungsgemeinkostensatz wurde mit 12,83 % ermittelt. Wie hoch sind a) die Verwaltungsgemeinkosten, b) die Selbstkosten, c) der Vertriebsgemeinkostensatz?
- Die Firma Mediatrade stellt DSL-Modems her mit Materialeinzelkosten von 14,23 € und Lohneinzelkosten von 7,55 € je Gerät. Ihre Zuschlagsätze zeigt **Tabelle 1**. Berechnen Sie je Gerät a) die Herstellkosten, b) die Selbstkosten.
- Die Firma IT-Com produziert DSL-Modems für 39,60 € Herstellkosten bei 16,40 € Materialeinzelkosten je Karte. Die Zuschlagsätze zeigt **Tabelle 1**. Berechnen Sie a) die Lohneinzelkosten, b) die Selbstkosten.
- Die Gemeinkosten von 237.262 € für die Gehälter sollen auf die Kostenstellen Material, Fertigung, Verwaltung und Vertrieb entsprechend der Arbeitszeiterfassung von 1610 h für Material, 3325 h für Fertigung, 1737 h für Verwaltung und 1236 h für Vertrieb aufgeteilt werden. Ermitteln Sie den Verteilungsschlüssel Material (M) : Fertigung (F) : Verwaltung (Verw) : Vertrieb (Vertr) für die Gehälter a) in %, b) in €.
- Die Raumkosten von 42.780 € werden als Gemeinkosten entsprechend der Grundflächen auf die Kostenstellen Material (M), Fertigung (F), Verwaltung (Verw) und Vertrieb (Vertr) aufgeteilt. Es sind für Material 102 m², für Fertigung 432 m², für Verwaltung 130 m² und für Vertrieb 46 m² anzurechnen. Ermitteln Sie den Verteilungsschlüssel M : F : Verw : Vertr für die Raumkosten a) in %, b) in €.
- Erstellen Sie mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms den vollständig ausgefüllten und berechneten Betriebsabrechnungsbogen **Bild 1**, Seite 259. Die Berechnung soll unter Verwendung geeigneter Formeln durchgeführt werden. Lassen Sie den BAB a) mit den Ergebnissen, b) mit eingetragenen Formeln anzeigen.

Tabelle 1: Zuschlagsätze in %

Gemeinkosten- satz für	Firma	
	Mediatrade	IT-Com
Material	72,4	56,3
Lohn	103,6	126,4
Verwaltung	9,7	7,8
Vertrieb	6,8	9,2

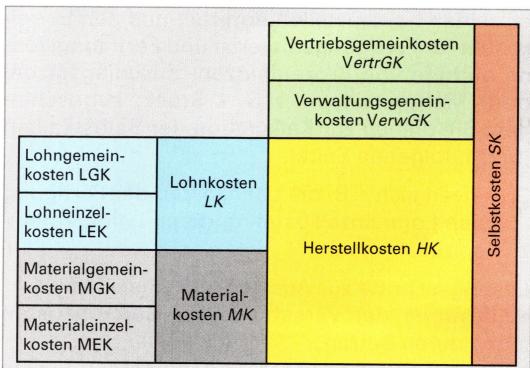

Bild 1: Ermittlung der Selbstkosten
(Zuschlagskalkulation)

Tabelle 2: Verteilungsschlüssel

Gemein- kosten	Beträge in €	Verteilung in %			
		M	F	Verw	Vertr
Gehälter	32.582	12	72	12	4
Räume	7.400	15	65	15	5
Heizung	1.232	15	62	20	3
Strom	895	9	73	14	4
Wasser	372	18	74	6	2
kalkulatori- sche AfA	963	14	68	14	4

- Der Betrieb Alfamobil hat die Gemeinkosten und Zuschlagsätze **Tabelle 2** und fertigt im Abrechnungszeitraum 1200 Geräte mit je 762 € Materialeinzelkosten und 28,50 € Lohneinzelkosten. Erstellen Sie mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms für den Betrieb Alfamobil einen Betriebsabrechnungsbogen für die Kostenstellen Material (M), Fertigung (F), Verwaltung (Verw) und Vertrieb (Vertr), den Sie mit geeigneten Formeln auswerten lassen.

17.3.3 Kostenträgerrechnung im produzierenden Gewerbe

Die Kosten einer Leistung (Produkt, Dienstleistung) können z.B. je Stück (Kostenträger-Stückrechnung) oder je Zeiteinheit (Kostenträger-Zeitrechnung) ermittelt werden.

Mit einer *Vorkalkulation* werden die voraussichtlichen Kosten zur Ermittlung eines Preisangebotes errechnet. Eine *Nachkalkulation* berücksichtigt die entstandenen Kosten, um sie nachträglich mit den Kosten der Vorkalkulation zu vergleichen (Kostenkontrolle, Controlling).

Divisionskalkulation: Bei der Herstellung eines einzigen Erzeugnisses, z.B. Strom, ist eine Divisionskalkulation möglich. Dabei werden die Selbstkosten durch die hergestellte Zahl der Leistungseinheiten, z.B. Stück, kg, kWh, geteilt.

Zuschlagskalkulation: Meist werden in Industrie- und Handwerksbetrieben verschiedene Erzeugnisse hergestellt. Dabei wird der Verkaufspreis mithilfe von Zuschlagsätzen und Einzelkosten als Zuschlagskalkulation ermittelt (**Bild 1**, Seite 260 und **Bild 1**).

Am einfachsten lässt sich die Zuschlagskalkulation mit einem Tabellenkalkulationsprogramm, z.B. Excel, durchführen.

Beispiel 1: Kalkulation erstellen

Ein Unternehmen soll für die Erstellung von 5000 Platinen ein Angebot erstellen. Das Fertigungsmaterial für eine Platine kostet 1,89 €. Die Firma hat einen Materialgemeinkostensatz von 6 %, einen Lohngemeinkostensatz der Fertigung von 180 %, einen Verwaltungsgemeinkosten- satz von 14,3 % und einen Vertriebsgemeinkosten- satz von 1,8 %. Als Fertigungslöhne fallen je Platine 2,05 € an. Es sollen ein Gewinnsatz von 15 %, ein Skontosatz von 2,5 %, ein Provisionssatz von 6,2 % und ein Rabattsatz von 6 % eingerechnet werden. Der Mehrwertsteuersatz beträgt 19 %. a) Berechnen Sie für eine Platine mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms die Selbstkosten, den Zielverkaufspreis und den Bruttoverkaufspreis. b) Zeigen Sie die Tabelle mit den eingegebenen Formeln. c) Wie hoch ist der Bruttoverkaufspreis, wenn sich die Lohneinzelkosten einer Platine auf 2,12 € erhöhen und ein Gewinn von 11 % angenommen wird?

Lösung:

- Kalkulationstabelle **Bild 1**, Seite 262
- Kalkulationstabelle **Bild 2**, Seite 262
- Bruttoverkaufspreis = 14,34 €, **Bild 1**, Seite 262

$S = \frac{SS \cdot ZielVP}{100 \%}$	$S = \frac{SS \cdot BarVP}{100 \% - SS - PS}$
$P = \frac{PS \cdot ZielVP}{100 \%}$	$P = \frac{PS \cdot BarVP}{100 \% - SS - PS}$
$R = \frac{RS \cdot NettoVP}{100 \%}$	$R = \frac{RS \cdot ZielVP}{100 \% - RS}$
$G = \frac{GS \cdot SK}{100 \%}$	$MWST = \frac{MWSTS \cdot NettoVP}{100 \%}$
$NettoVP = \frac{BruttoVP \cdot 100 \%}{MWSTS + 100 \%}$	$k = \frac{SK}{n}$
$BruttoVP = SK + G + P + S + R + MWST$	
Weitere Abhängigkeiten und Zusammenhänge siehe Bild 1	
<i>BarVP</i>	Barverkaufspreis
<i>BruttoVP</i>	Bruttoverkaufspreis
<i>G</i>	Gewinn
<i>GS</i>	Gewinnsatz
<i>k</i>	Kosten je Leistungseinheit (Gesamtstückkosten)
<i>MWST</i>	Mehrwertsteuer
<i>MWSTS</i>	Mehrwertsteuersatz (Umsatzsteuer)
<i>n</i>	Zahl der Leistungseinheiten
<i>NettoVP</i>	Nettoverkaufspreis (Listenverkaufspreis)
<i>P</i>	Provision, z.B. des Vertreters
<i>PS</i>	Provisionssatz
<i>R</i>	Rabatt für Kunden
<i>RS</i>	Rabattsatz
<i>S</i>	Skonto für Kunden
<i>SK</i>	Selbstkosten
<i>SS</i>	Skontosatz
<i>ZielVP</i>	Zielverkaufspreis

		Kundenrabatt <i>R</i>	Mehrwertsteuer <i>MWST</i> (Umsatzsteuer)	Bruttoverkaufspreis <i>BruttoVP</i>
	Kunden- skonto <i>S</i>	Nettover- kaufspreis <i>ZielVP</i> (Rechnungs- preis)		
	Vertreter- provision <i>P</i>			
<i>Gewinn G</i>				
<i>Selbstkosten SK</i>	<i>Barverkaufspreis BarVP</i>			

Bild 1: Ermittlung des Bruttoverkaufspreises (Zuschlagskalkulation)

Aufgaben zu 17.3.3

- Ein Betrieb produziert im ersten Halbjahr 10000 Antennenmaste, im zweiten Halbjahr 13000 Maste, davon sind aber 250 Maste Ausschuss. Die Selbstkosten betragen im Jahr 160.657,00 €. Wie hoch sind die Selbstkosten je Mast?
- Ein Windgenerator mit 0,75 MW Anschlussleistung ist im Jahr 1550 Stunden im Betrieb. Die Energiekosten je kWh betragen 0,055 €. Wie hoch sind die Selbstkosten?
- Ein Messgerät hat einen Zielverkaufspreis von 345,00 € und einen Barverkaufspreis von 312,80 €. Der Skontosatz ist mit 3 % eingerechnet. Wie groß ist der Provisionssatz?
- Ein Gerät wird zu 1.532,00 € Selbstkosten gefertigt. Für Direktverkauf wird bei 3 % Kundenskonto ein Zielverkaufspreis von 1.950,00 € und ein Nettoverkaufspreis von 2.119,57 € kalkuliert. Wie hoch sind a) der Barverkaufspreis, b) der Gewinnsatz, c) der Rabattsatz für den Kunden?
- Die Firma MBI (**Tabelle 1**) berechnet für ihr Produkt Materialeinzelkosten von 234,85 € und Lohneinzelkosten von 44,80 €. Ermitteln Sie die Selbstkosten, den Zielverkaufspreis und den Bruttoverkaufspreis a) manuell, b) mit einem Tabellenkalkulationsprogramm.
- Die Firma IT-Com (**Tabelle 1**) ermittelt für die Fertigung ihrer Ware 168,35 € Materialeinzelkosten bei 423,79 € Selbstkosten. Berechnen Sie die Lohneinzelkosten, die Herstellkosten, den Barverkaufspreis und den Bruttoverkaufspreis a) manuell, b) mit einem Tabellenkalkulationsprogramm.
- Welche Änderungen sind in der Tabelle **Bild 2** vorzunehmen, wenn für einen eingegebenen Bruttoverkaufspreis der Gewinnsatz ermittelt werden soll? Geben Sie die für die Programmierung der Zellen D18, C17, D16, C15, C14, D13, C12 und B12 verwendeten Formeln an.

Tabelle 1: Zuschlagsätze in %

Zuschlag	MBI	IT-Com
Materialgemeinkostensatz MGKS	11,5	10,8
Lohngemeinkostensatz LGKS	163,8	244,0
Verwaltungsgemeinkostensatz VerwGKS	13,5	11,8
Vertriebsgemeinkostensatz VertrGKS	4,5	5,0
Gewinnsatz GS	8,5	7,5
Skontosatz SS	3,0	2,5
Provisionssatz PS	3,0	4,0
Rabattsatz RS	4,0	5,0
Mehrwertsteuersatz MWSTS	19,0	19,0

Kosten	Zuschlagsatz in %	Betrag in €	Betrag in €
Materialeinzelkosten MEK		1,89	
+ Materialgemeinkosten MGK	6,0	0,11	
= Materialkosten MK			2,00
Lohneinzelkosten LEK		2,05	
+ Lohngemeinkosten LGK	180,0	3,69	
= Lohnkosten LK			5,74
Herstellkosten HK			7,74
+ Verwaltungsgemeinkosten VerwGK	14,3		1,11
+ Vertriebsgemeinkosten VertrGK	1,8	0,14	
= Selbstkosten SK			8,99
+ Gewinn G	15,0	1,35	
= Barverkaufspreis BarVP			10,34
+ Vertreterprovision P	6,2	0,70	
+ Kundenskonto S	2,5	0,28	
= Zielverkaufspreis ZielVP			11,32
+ Kundenrabatt R	6,0	0,72	
= Nettoverkaufspreis NettoVP	12,05		
+ Mehrwertsteuer MWST	19,0	2,29	
= Bruttoverkaufspreis BruttoVP			14,34

Bild 1: Zuschlagskalkulation

	A	B	C	D
1	Kosten	Zuschlagsatz in %	Betrag	Betrag
2	MEK		1,89	
3	+MGK	6	=C2*B3/100	
4	=MK			=C2+C3
5	LEK		2,05	
6	+LGK	180	=C5*B6/100	
7	=LK			=C5+C6
8	HK			=D7+D4
9	+VerwGK	14,3	=D8*B9/100	
10	+VertrGK	1,8	=D8*B10/100	
11	=SK			=D8+C9+C10
12	+G	15	=D11*B12/100	
13	=BarVP			=D11+C12
14	+P	6,2	=D13*B14/(100-B14-B15)	
15	+S	2,5	=D13*B15/(100-B14-B15)	
16	=ZielVP			=D13+C14+C15
17	+R	6	=D16*B17/(100-B17)	
18	NettoVP			=D16+C17
19	+MWST	19	=D18*B19/100	
20	BruttoVP			=D18+C19

Bild 2: Formeln in der Zuschlagskalkulation Bild 1

17.3.4 Kostenträgerrechnung in Handelsbetrieben

Vom *Listeneinkaufspreis* ausgehend wird durch Abzug des Liefererrabatts (Wiederverkäuferrabatt und Mengenrabatt) der *Zieleinkaufspreis* und durch weiteren Abzug des Liefererskontos der *Bareinkaufspreis* ermittelt (**Bild 1**). Durch Hinzurechnen der für den Bezug der Ware entstandenen Bezugskosten erhält man den Bezugspreis (Einstandspreis) der Ware (*Bezugspreiskalkulation*).

Listeneinkaufspreis LEP	Liefererrabatt LR	Wiederverkäuferrabatt WVR	
Zieleinkaufspreis ZielEP		Mengenrabatt MR	
		Liefererskonto LS	Bezugskosten BK
			Bezugspreis BP (Einstandspreis)
			Bareinkaufspreis BarEP

Bild 1: Bezugspreiskalkulation

Bei anschließender *Verkaufspreiskalkulation* wird durch Addition des Rohgewinns (Handelsspanne) zum Bezugspreis der *Nettoverkaufspreis* (Listeverkaufspreis) ermittelt (**Bild 2**). Der *Bruttoverkaufspreis* enthält zusätzlich die Mehrwertsteuer.

Verkaufszuschläge VZ	RohG (Handelsspanne)	Mehrwertsteuer MWST (Umsatzsteuer)	Bruttoverkaufspreis BruttoVP
Gewinn G			
Handlungskosten HaK		Nettoverkaufspreis NettoVP (Listerverkaufspreis)	
Bezugspreis BP (Einstandspreis)			

Bild 2: Verkaufspreiskalkulation

Der Rohgewinn besteht aus den Handlungskosten (Personalkosten, Abschreibungen, Mieten, Fuhrparkkosten, Kommunikationskosten und Betriebssteuern), dem Gewinn und den Verkaufszuschlägen (Skonto, Verkaufsprovision und Kundenrabatt). Der Nettoverkaufspreis ergibt auf den Bezugspreis bezogen den *Kalkulationsfaktor*, der Rohgewinn auf den Bezugspreis bezogen den *Kalkulationssatz* und der Rohgewinn auf den Nettoverkaufspreis bezogen den *Rohgewinnsatz* (Handelsspannesatz).

Aufgaben zu 17.3.4

- Für fünf Netzgeräte zum Listeneinkaufspreis von je 70,72 € gewährt der Lieferant 23,5 % Wiederverkäuferrabatt, 3,5 % Mengenrabatt und 2 % Skonto. Die

$$WVR = \frac{WVRS \cdot LEP}{100 \%}$$

$$MR = \frac{MRS \cdot (LEP - WVR)}{100 \%}$$

$$LS = \frac{LSS \cdot ZielEP}{100 \%}$$

$$LS = \frac{BarEP \cdot LSS}{100 \% - LSS}$$

$$KS = \frac{RohG \cdot 100 \%}{BP}$$

$$RohGS = \frac{RohG \cdot 100 \%}{NettoVP}$$

$$KF = \frac{NettoVP}{BP}$$

$$MWSTS = \frac{MWSTS \cdot NettoVP}{100 \%}$$

$$LR = \frac{LRS \cdot LEP}{100 \%}$$

$$MWSTS = \frac{MWSTS \cdot BruttoVP}{100 \% + MWSTS}$$

Weitere Zusammenhänge siehe **Bild 1** und **Bild 2**.

BarEP	Bareinkaufspreis	LEP	Listeneinkaufspreis
MWST	Mehrwertsteuer (Umsatzsteuer)	LR	Liefererrabatt
BP	Bezugspreis	RohGS	Rohgewinnsatz
BruttoVP	Bruttoverkaufspreis	LRS	Liefererrabattsatz
MWSTS	Mehrwertsteuersatz	WVR	Wiederverkaufsrabatt
KF	Kalkulationsfaktor	LS	Lieferskonto
NettoVP	Nettoverkaufspreis	LSS	Lieferskontosatz
KS	Kalkulationssatz	WVRS	Wiederverkaufsrabattsatz
RohG	Rohgewinn (Handelsspanne)	MR	Mengenrabatt
		MRS	Mengenrabattsatz
		ZielEP	Zieleinkaufspreis

Bezugskosten betragen 12,50 € Ermitteln Sie je Gerät den Zieleinkaufspreis, den Bareinkaufspreis und den Bezugspreis a) manuell, b) mit Tabellenkalkulationsprogramm.

- Ein Computer hat 995 € Einstandspreis, 15 € Bezugskosten, 12 % Liefererrabatt und 3 % Skonto. Berechnen Sie den Bareinkaufspreis, den Zieleinkaufspreis und den Listeneinkaufspreis a) manuell, b) mit Tabellenkalkulationsprogramm.
- Für eine Ware wird ein Bezugspreis von 676 € errechnet. Bei der Anlieferung müssen 12,70 € Frachtkosten und 13,30 € Zoll bezahlt werden. Die Handlungskosten betragen 72 €, Liefererrabatt und Skonto zusammen 44 € und der Gewinn 82 €. Wie groß sind a) der Bareinkaufspreis, b) der Nettoverkaufspreis?
- Eine Handelsware hat 198 € Handelsspanne, einen Bezugspreis von 676 € und einen Nettoverkaufspreis von 8.742 €. Berechnen Sie a) den Kalkulationssatz, b) den Rohgewinnsatz, c) den Kalkulationsfaktor.

18 Markt- und Kundenbeziehungen

18.1 Lieferantenauswahl

18.1.1 ABC-Analyse

Ziel der ABC-Analyse ist es, die Produkte auszusuchen, die den Großteil des Beschaffungsvolumens ausmachen. Hierbei werden die Produkte nach ihren Anteilen am Beschaffungsvolumen geordnet (**Tabelle 1**).

Mit der ABC-Analyse werden die Warengruppen ermittelt, bei denen bei der Beschaffung der Einsparungseffekt am größten ist.

Aufgaben zu 18.1.1

- Welche Produkte aus **Tabelle 2** gehören a) zur A-Gruppe, b) zur C-Gruppe?
- Wie berechnet man in Tabelle 2 a) den Gesamtpreis *GP*, b) den Prozentanteil *p* am Beschaffungsvolumen, c) die kumulierten Werte *k* in %?
- Erstellen Sie mit einem Tabellenkalkulationsprogramm die ABC-Analyse für die Produkte in **Tabelle 3**.
- Tabelle 3 wird um das Produkt P7 mit der Menge 2000 und dem Einzelpreis 5 € erweitert. a) Wie ist das Programm aus Aufgabe 3 zu verändern? b) Welche Änderung ergibt sich bei der ABC-Analyse?

18.1.2 Nutzwertanalyse

Bei der Beurteilung von Beschaffungsalternativen wird einzelnen Kriterien, z. B. Lieferbedingungen, Preise, Termintreue, mangelhafte Lieferung, eine Gewichtung zugeordnet. Für jedes dieser Kriterien wird eine Punktzahl vergeben (**Tabelle 4**). Aus der Summe der gewichteten Punkte wird die Rangfolge des Angebots ermittelt.

Mit der Nutzwertanalyse lassen sich Angebote qualitativ vergleichen.

Aufgaben zu 18.1.2

- Drei Lieferanten für Schaltnetzteile stehen zur Auswahl (**Tabelle 5**). Ermitteln Sie eine Rangfolge mithilfe der Nutzwertanalyse anhand Tabelle 4.
- Wie verändert sich die Rangfolge der Lieferanten, wenn der Gewichtungsfaktor für Fehllieferungen und Produktausfall mit je 2 und der für den Preis mit 3 in Tabelle 5 angenommen wird?

Tabelle 1: Kriterien der ABC-Analyse

Gruppe	Anteil am Beschaffungsvolumen
A-Gruppe	Produkte mit den höchsten Anteilen und bis zum kumulierten ¹ Wert von 75 %.
B-Gruppe	Produkte mit den nächsten 20 %.
C-Gruppe	Die restlichen 5 % der Produkte

¹ anhäufen, die Prozentanteile *p* werden aufaddiert.

Tabelle 2: ABC-Analyse

Produkt	Menge min Stück	Stück- kosten EP in €	Gesamt- preis GP in €	Prozent- anteil p in %	kumu- lierte Werte kin %
P1	1000	30	30.000	76,9	76,9
P2	500	10	5.000	12,8	89,7
P3	200	10	2.000	5,1	94,8
P4	50	20	1.000	2,6	97,4
P5	100	5	500	1,3	98,7
P6	2	250	500	1,3	100,0

Tabelle 3: Einkaufsstatistik von 2008

Produkt	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Menge	100	80	15	50	20	30
Einzelpreis in €	500	470	80	130	400	3

Tabelle 4: Bewertungstabelle

Güte des Kriteriums	Bewertungspunkte				
sehr gut					3
gut					2
mäßig					1
schwach/keine					0

Tabelle 5: Lieferanten für Schaltnetzteile

Lieferant Kriterium	L1	L2	L3	Gewichtungs- faktor
Preis in €	45	48	44	4
Fehllieferungen im letzten Jahr	4	2	4	1,5
Lieferzeit in Tagen	3	3	5	1
Garantie in Jahren	2	3	2	1,5
Ausfall Produkte im letzten Jahr	10	5	20	2

18.2 Bestellung und Lagerhaltung

18.2.1 Bestellpunktverfahren

Damit ein Betrieb stets produzieren oder liefern kann, muss er für ausreichende Lagerbestände sorgen.

Beim Bestellpunktverfahren (**Bild 1**) wird der Lagermeldebestand durch den durchschnittlichen Verbrauch und die Lieferzeit bestimmt. Der eiserne Lagerbestand sichert die Produktion bei Fehllieferungen und sonstigen Lieferproblemen.

Aufgaben zu 18.2.1

- Eine Schule benötigt pro Tag 5000 Blatt Kopierpapier. Die Lieferzeit des Großhändlers beträgt 3 Tage. Die eiserne Reserve soll eine Woche überbrücken. a) Bei welcher vorhandenen Papiermenge muss bestellt werden? b) Wie lange reicht die Lieferung einer Palette aus? Ein Karton Kopierpapier enthält 2500 Blätter. Auf die Breite der Palette passen 5 Kartons, auf die Länge 6 Kartons. Die Palette enthält 5 Lagen Kartons.
- Der eiserne Bestand eines PC-Händlers beträgt 25 Motherboards. Pro Tag werden im Schnitt 5 solcher Boards verkauft. a) Wie viele Tage reicht der eiserne Bestand aus? Der Meldebestand liegt bei 75 Stück. b) Von welcher Lieferzeit geht der PC-Händler aus?

18.2.2 Lagerkennziffern

Zur Ermittlung der Lagerkosten eines Artikels gibt es verschiedene Lagerkennziffern.

- Der kalkulatorische Lagerjahreszinssatz Z_K berücksichtigt, dass die Lagerhaltung stillgelegtes Kapital bedeutet.
- Die Lagerkosten sind abhängig von der Lagerdauer bzw. Umschlaghäufigkeit des Artikels.

Beispiel 1: Lagerzeit und Gesamtverbrauch

Die Speicherchips liegen durchschnittlich 20 Tage im Lager. Der durchschnittliche Lagerbestand beträgt 250 Stück. a) Wie hoch ist die Lagerumschlaghäufigkeit? b) Wie hoch ist der Gesamtverbrauch an Speicherchips in einem Jahr?

Lösung:

- $LD_\varnothing = 360 \text{ Tage/LUH}$
 $\Rightarrow LUH = 360 \text{ Tage}/LD_\varnothing$
 $= 360 \text{ Tage}/20 \text{ Tage} = 18$
- $LUH = GV/LB_\varnothing$
 $\Rightarrow GV = LUH \cdot LB_\varnothing$
 $= 18 \cdot 250 \text{ Stück} = 4500 \text{ Stück}$

Bei monatlichen Lagerbestandserfassungen wird zum Lageranfangsbestand der jeweilige Monatsendbestand hinzugezählt. Beim durchschnittlichen Lagerbestand für das Abrechnungsjahr wird die Summe der Bestände durch 13 geteilt.

$$LB_E = t_e \cdot V_\varnothing$$

$$LB_M = LB_E + t_L \cdot V_\varnothing$$

LB_E eiserner Lagerbestand in Stück

LB_M Lagermeldebestand in Stück

V_\varnothing Durchschnittsverbrauch pro Tag

t_e Reichweite von LB_E in Tagen

t_L Lieferzeit in Tagen

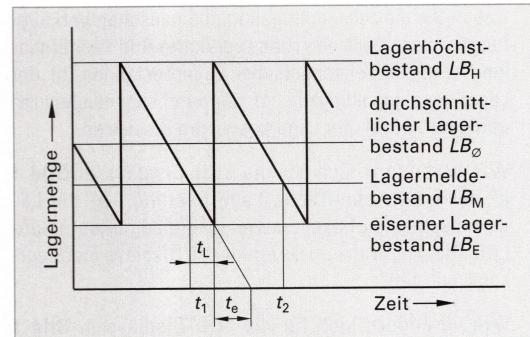


Bild 1: Bestellpunktverfahren

$$LB_\varnothing = \frac{LB_A + LB_E}{2}$$

$$LZ = \frac{LB_\varnothing \cdot EP \cdot Z_K}{LUH}$$

$$LUH = \frac{GV}{LB_\varnothing}$$

$$LD_\varnothing = \frac{360 \text{ d}}{LUH}$$

$$LB_\varnothing = \frac{LB_A + \sum_{i=1}^n LB_{Ei}}{n+1}$$

EP Stückkosten in €

GV Gesamtverbrauch pro Jahr

LB_\varnothing durchschnittlicher Lagerbestand

LB_A Anfangslagerbestand

LB_E eiserner Lagerbestand in Stück

LB_{Ei} Endbestand, $i = 1 \dots n$

ΣLB_{Ei} Summe der Endbestände $i = 1 \dots n$

n Anzahl der Lagerbestandserfassungen

LD_\varnothing durchschnittliche Lagerdauer in Tagen

LUH Lagerumschlaghäufigkeit

LZ Lagerkosten in € pro Stück

Z_K kalkulatorischer Lagerjahreszinssatz in %

Mit einer elektronischen Lagerkarte (**Bild 1**) lassen sich für jeden Artikel z.B. mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms die verschiedenen Lagerkennziffern ermitteln.

$$K_{Lg} = K_B + K_L$$

K_{Lg} Gesamtlagerkosten
 K_B Bestellkosten
 K_L Lagerkosten

Beispiel 1: Lagerkarte auswerten

Die mit EXCEL erstellte elektronische Lagerkarte **Bild 1** soll ausgewertet werden. a) Wie ist die Zelle C23 zu programmieren? b) Welche Lagerkennziffer wird damit berechnet?

Lösung:

a) =Summe(C9:C20)

b) **Gesamtverbrauch pro Jahr**

Aufgaben zu 18.2.2

1. Geben Sie die zellenmäßigen mathematischen Verknüpfungen in der elektronischen Lagerkarte **Bild 1** zur Ermittlung a) des durchschnittlichen Lagerbestandes, b) der Lagerumschlaghäufigkeit, c) der durchschnittlichen Lagerdauer und d) der Lagerkosten pro Display an.
2. Wie verändern sich für die LCD-Displays in **Bild 1** a) der durchschnittliche Lagerbestand, b) die Lagerumschlaghäufigkeit sowie c) die Lagerkosten pro LCD-Display, wenn im Dezember 10 Displays mehr verkauft werden?
3. Wie verändern sich für die LCD-Displays in **Bild 1** a) der durchschnittliche Lagerbestand, b) die Lagerumschlaghäufigkeit sowie c) die Lagerkosten pro LCD-Display, wenn ab 1. Juni die Displays um 10 % im Preis gesenkt werden?

18.2.3 Optimale Bestellmenge

Jede Bestellung verursacht Bestellkosten. Wird die Anzahl der Bestellungen reduziert, entstehen dafür höhere Lagerkosten.

Um die optimale Bestellmenge zu ermitteln, werden die Lagerkosten und Bestellkosten addiert. Bei einer bestimmten Bestellmenge ergibt sich dann das Kostenminimum. Die optimale Bestellmenge lässt sich rechnerisch (**Bild 2**) sowie grafisch (**Bild 3**) ermitteln. Im Beispiel in **Bild 2** wird ein durchschnittlicher Lagerbestand von 50 % angenommen.

Beispiel 1: Optimale Bestellmenge ermitteln

Ermitteln Sie die optimale Bestellmenge aus **Bild 3**.

Lösung:

Aus Bild 3 abgelesen: $m \approx 150$ Stück

A	B	C	D	E	F
1	Auszug aus der elektronischen Lagerkarte:				
2	ArtikelNr.:			12 565 66	
3	Name:	LCD-Display	Typ:	15 Zoll	
4	Lieferant:	Sommer GmbH			
5					
6	Datum	Einstands- preis €	Zugang Stück	Abgang Stück	aktueller Bestand Stück
7					
8	01. Jan 08	115,00			14
9	31. Jan 08	115,00	50	20	44
10	28. Feb 08	115,00	25	10	59
11	02. Mrz 08	115,00	20	10	69
12	30. Apr 08	115,00	10	40	39
13	31. Mai 08	115,00	30	20	49
14	07. Jun 08	115,00	20	60	9
15	31. Jul 08	115,00	30	20	19
16	31. Aug 08	115,00	20	15	24
17	30. Sep 08	115,00	20	15	29
18	31. Okt 08	115,00	20	15	34
19	30. Nov 08	115,00	10	15	29
20	31. Dez 08	115,00	20	15	34
21					
22					
23	SUMME =		275	265	
24					
25	Einstandspreis:				115,00 €
26					
27	kalkulatorischer Jahreszinssatz:				12%
28					
29	Durchschnittlicher Lagerbestand:				35 Stück
30					
31	Umschlaghäufigkeit:				7,9 pro Jahr
32					
33	Durchschnittliche Lagerdauer:				45,5 Tage
34					
35	Lagerkosten pro Display				1,74 €
36					

Bild 1: Auszug aus der elektronischen Lagerkarte

A	B	C	D	E	F	G	H
Optimale Bestellmenge							
1							
2							
3	Gesamtbedarf			600 Stück			
4	Listenpreis			40 €			
5	Bestellkosten			80 €			
6	Lagerzinsatz			12%			
7							
8	Anzahl der Bestellungen	bestellte Menge	Einstands- preis €	Bestell- kosten €	Durchschnitt- licher Lager- bestand	Lager- wert €	Lager- kosten €
9							
10	12	50	24000	960	25	1000	120
11	6	100	24000	480	50	2000	240
12	5	120	24000	400	60	2400	288
13	4	150	24000	320	75	3000	360
14	3	200	24000	240	100	4000	480
15	2	300	24000	160	150	6000	720
16	1	600	24000	80	300	12000	1440
17							

Bild 2: Auszug aus der Tabelle Optimale Bestellmenge

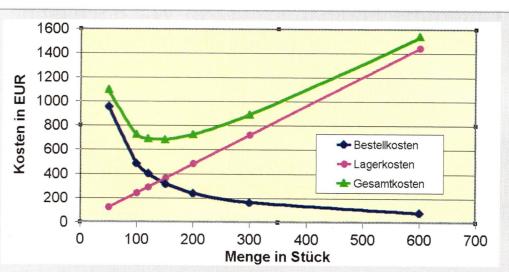


Bild 3: Optimale Bestellmenge

Aufgaben zu 18.2.3

- Welche formelmäßige Verknüpfung der Spalten in **Bild 2**, vorhergehende Seite, ergibt die jeweiligen Lagerkosten?
- Wie ändern sich die Lagerkosten in **Bild 2**, vorhergehende Seite, wenn ein kalkulatorischer Lagerzinssatz von 10 % pro Jahr angenommen wird?
- Ein PC-Händler hat verschiedene Angebote für Controllerkarten (**Tabelle 1**). Der Händler geht von 10 % kalkulatorischem Lagerzinssatz pro Jahr und einem durchschnittlichen Lagerbestand von 50 % sowie einem Gesamtverbrauch von 10000 Stück aus. Bei welchem Angebot sind die Gesamtkosten am geringsten?

18.2.4 Eigenfertigung oder Fremdbezug

Häufig muss der Betrieb auch entscheiden, ob er Produkte oder Leistungen selbst produziert oder kauft (make or buy). Unterhalb einer kritischen Menge lohnt sich die Eigenproduktion nicht. Hier sind die Stückkosten durch Eigenfertigung höher als die Stückkosten bei Fremdbezug.

Aufgaben zu 18.2.4

- Ermitteln Sie aus **Bild 2** die kritische Menge und die zugehörigen Stückkosten.
- Wie hoch sind die Gesamtkosten der Eigenfertigung bei Herstellung von 20 000 Stück (**Bild 2**)?
- Ein Display-Hersteller überprüft, ob die Eigenfertigung oder der Fremdbezug von Netzteilen günstiger ist. Kosten im Jahr: kalkulatorische Miete 2.400 € für die Fertigungswerkstatt, Abschreibung für Werkstattleinrichtung 4.000 €, Gehälter und sonstige fixe Kosten 10.000 € sowie variable Kosten pro Stück 30 €.
 - Ermitteln Sie die gesamten Fixkosten pro Jahr bei Eigenfertigung.
 - Welche kritische Menge ergibt sich bei einem Einstandspreis von 40 € bei Fremdbezug?
- Ein Planungsbüro stattet ein neues Bürogebäude mit 100 PC aus. Ein Computerhändler bietet PC in erforderlicher Ausstattung zum Stückpreis von 1.000 € an. Bei Eigenfertigung durch das Planungsbüro entstehen Fixkosten in Höhe von 15.000 €. Die variablen Kosten für den Eigenbau betragen 800 €.
 - Wie hoch sind die Gesamtkosten bei Eigenbau?
 - Wie hoch sind die Stückkosten?
 - Wie hoch ist die kritische Menge für diesen Auftrag?
 - Wie verändert sich die kritische Menge, wenn der PC-Händler bei Lieferung der 100 PCs einen Mengenrabatt von 10 % gewährt?

$$m_k = \frac{K_f}{EP - K_v}$$

$$K_g = K_f + m \cdot k_v$$

EP Stückkosten in €

K_f gesamte Fixkosten

K_g Gesamtkosten

k_v variable Stückkosten

m Menge (allgemein)

m_k kritische Menge

Beispiel 1: Kritische Menge ermitteln

Ermitteln Sie in **Bild 1** die kritische Menge m_k .

Lösung:

Aus **Bild 1** abgelesen: $m_k = 10000$ Stück

Tabelle 1: Angebote für Controllerkarten

Lieferant	Listenpreis/ Stück in €	Menge	Bestellkosten/ Bestellung in €
L1	12,50	2500	30,00
L2	12,00	5000	25,00
L3	10,00	10000	20,00

m	Kosten für Fremdbezug in €		Kosten für Eigenfertigung in €				
	Kg_F	EP_F	K_f	k_v	Kg_E	EP_E	
1000	2000	2,00	10000	1	11000	11,00	
2000	4000	2,00	10000	1	12000	6,00	
3000	6000	2,00	10000	1	13000	4,33	
4000	8000	2,00	10000	1	14000	3,50	
5000	10000	2,00	10000	1	15000	3,00	
6000	12000	2,00	10000	1	16000	2,67	
7000	14000	2,00	10000	1	17000	2,43	
8000	16000	2,00	10000	1	18000	2,25	
9000	18000	2,00	10000	1	19000	2,11	
10000	20000	2,00	10000	1	20000	2,00	
11000	22000	2,00	10000	1	21000	1,91	
15000	30000	2,00	10000	1	25000	1,67	

Bild 1: Eigenfertigung oder Fremdbezug

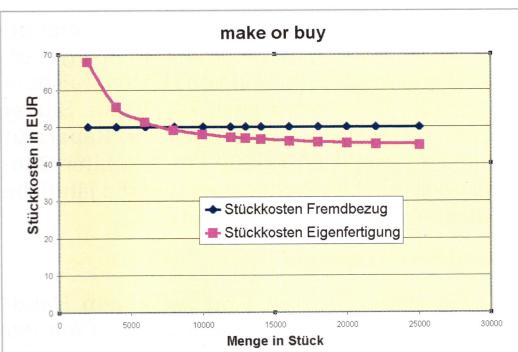


Bild 2: Kostenvergleich Eigenfertigung oder Fremdbezug

18.3 Prüfungsaufgaben IT

18.3.1 Unternehmensgründung

Zwei junge Fachinformatiker wollen sich mit dem Betrieb W+KPC selbstständig machen. Sie planen anwenderspezifische Softwarepakete, Hardwarepakete, Hotline-Service und einen Sofort-Service für Handwerksbetriebe anzubieten. Als Arbeitsstätte bietet sich eine ehemalige Werkstatt mit Büro an, die einer der beiden geerbt hat. Für den notwendigen Umbau sind 50.000 € zu veranschlagen, für den jeder von ihnen 20.000 € aus einer Erbschaft bzw. aus Sparguthaben zur Verfügung stellen kann. Nach sorgfältiger Prüfung gehen sie zur Bank und beantragen einen Kredit von 100.000 € für diese Existenzgründung. Sie legen der Bank ihr Finanzierungskonzept vor (**Bild 1**).

1. Bilanz

- Ermitteln Sie aus **Bild 1** das Anlagevermögen von dem Betrieb W+KPC nach der Betriebseröffnung.
- Wie groß ist die Quote von Eigenkapital zu Fremdkapital?
- Erstellen Sie die Gründungsbilanz.

2. Kredit oder Leasing

Die beiden Jungunternehmer wollen für die nächsten drei Jahre einen Geschäftswagen durch Kauf auf Kredit oder durch Leasing beschaffen, (**Bild 2**). Die durchschnittliche Fahrleistung wird mit 20000 km/Jahr angenommen.

- Ermitteln Sie die Kosten für beide Finanzierungsangebote.
- Um wie viel Prozent erhöht sich der Leasingpreis gegenüber dem Listenpreis?
- Wie hoch sind die Finanzierungskosten pro gefahrenem Kilometer (60000 km in drei Jahren) beim Kauf auf Kredit?
- Welche Kosten pro gefahrenem Kilometer ergeben sich, wenn folgende Annahmen getroffen werden: Abschreibung des Listenpreises in 6 Jahren, Benzinverbrauch 7 l/100 km, Steuer und Versicherung 400 € pro Jahr, Reparatur und Verschleiß 50 €/1000 km. Ein Liter Benzin wird mit 1,50 € angesetzt und die jährliche Fahrleistung beträgt 20000 km.

3. Handelskalkulation

Für den ersten Auftrag sind bei einem Handwerksmeister vier PCs zu vernetzen und mit der entsprechenden Handwerkersonline auszustatten. Eine große Handelskette bietet gerade ein PC-Paket für 1.249 € je PC an. Andererseits

Vorhandene Mittel:

• Büro mit Werkstatt	250.000 €
• Bargeld	40.000 €
Notwendige Ausgaben:	
• für den Umbau	50.000 €
• zu erwerbende Büroausstattung	10.000 €
• zu erwerbendes Werkzeug	5.000 €

Bild 1: Bankvorlage

Finanzierungsangebote:

Listenpreis des Neuwagens 24.000 €
Kauf auf Kredit:
3,9 % nominaler Jahreszins
2 % Bearbeitungsgebühr
Laufzeit: 36 Monate
Leasingvertrag:
Einmalzahlung: 8.000 €
Leasingraten 260 € pro Monat
Restzahlung bei Übernahme nach 3 Jahren: 10.000 €
Vertragsdauer: 3 Jahre bei 60000 km Fahrleistung

Bild 2: Finanzierungsangebote

können die beiden bei ihrem Großhändler zum Listenpreis von 1.250 € die gleiche Ausstattung erwerben. Der Großhändler gewährt ihnen noch 2 % Skonto und 20 % Wiederverkaufsrabatt. Dabei entstehen aber 25 € Bezugskosten.

- Welchen Rohgewinn machen damit die beiden, wenn sie den gleichen Bruttoverkaufspreis wie die Handelskette ansetzen?
- Wie groß ist die Handelsspanne?

4. Bruttoverkaufspreis

Sie entscheiden sich beim Bezug des PC-Pakets für den Großhändler. Berechnen Sie den Bruttoverkaufspreis, indem Sie außer den PC-Kosten noch folgende Punkte berücksichtigen:

Materialeinzelkosten für die zusätzliche Hardware einschließlich Verkabelung 700 €, Materialkostenzuschlag 25 %, Fertigungslöhne 25 Stunden je 20 € sowie Zuschläge für Fertigungsgemeinkosten von 150 %, Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten von 20 %, Gewinn von 15 %.

5. Kalkulation von Dienstleistungen

Da sich der Handwerksbetrieb im Internet präsentieren will, muss die gekaufte Anwendersoftware auf den Betrieb zugeschnitten werden. Die Fachinformatiker des Betriebs W+KPC rechnen mit 15 Programmiererstunden zu je 60 € und einem Gewinnsatz von 15 %. Außerdem entstehen viermal Anfahrtspauschalen in Höhe von jeweils 30 €. Ermitteln Sie den Angebotspreis für diese Dienstleistung.

18.3.2 Beschaffung und Betrieb von Datenprojektoren

Die Firma DATACom will sich auf Kundenschulungen spezialisieren. Dazu benötigt sie 12 Datenprojektoren mit folgenden Mindestanforderungen:

- XGA-Auflösung,
- Lichtstrom 3000 ANSI-Lumen und
- Ersatzgerät-Bereitstellung innerhalb 24 Stunden.

In einer Fachzeitschrift wurden Datenprojektoren getestet. Die **Tabelle 1** enthält einen Auszug aus dem Testergebnis.

1. Nutzwertanalyse

Welcher Datenprojektor wird Testsieger nach der in Tabelle 1 angenommenen Gewichtung?

Aufgrund des Testergebnisses entscheidet sich der Einkaufsleiter für die Einholung von drei verschiedenen Angeboten **Bild 1**.

2. Beschaffungskosten

Ermitteln Sie das kostengünstigste Angebot bezüglich der Beschaffungskosten.

3. Tabellenkalkulationsprogramm

Erstellen Sie für die Ermittlung der Beschaffungskosten eine Tabelle mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms. Überprüfen Sie damit auch die Rechenergebnisse aus Aufgabe 2.

4. Nutzwertanalyse

Führen Sie für die drei Anbieter (**Bild 1**) eine Nutzwertanalyse durch. Beurteilen Sie dabei neben dem Angebotspreis auch die Garantie und den Ersatzgeräteservice. Legen Sie die Gewichtung der Kriterien selbst fest und begründen Sie diese.

5. Kosten

Welche unnötigen Kosten entstehen dem Unternehmen, wenn jeder Datenprojektor im Jahr ohne Bedarf jeweils 250 Stunden in Betrieb ist? Die Leistungsaufnahme eines Datenprojektors beträgt 300 W. Die kWh ist mit 0,22 € zu verrechnen. Die Lampenkosten sind mit zu berücksichtigen.

6. Kosten

Wie hoch sind die Kosten pro Stunde Betriebsdauer eines Datenprojektors? Dabei ist von folgenden Annahmen auszugehen: Das Finanzamt lässt eine Abschreibungsdauer von vier Jahren bei Datenprojektoren zu. Der Datenprojektor ist pro Jahr an 150 Schulungstagen je 6 Stunden in Betrieb.

Tabelle 1: Testvergleich Datenprojektor

Gewichtung	Kriterien	Produkt P1	Produkt P2	Produkt P3
4	Preis in € ¹	580	650	1060
2	Preis Ersatzlampe in € ¹	140	120	400
2	Lampenlebensdauer in h	3000	3500	3500
1	Helligkeit in ANSI-Lumen	3000	3200	3200
2	Kontrast	–	0	+
2	Farbmischung	+	+	+
2	Bildqualität	+	0	+
2	Betriebsgeräusch	–	0	0
2	Garantie in Jahren	2	3	3
1	Ausstattung	+	–	+
1	Lieferumfang	--	+	++

Bewertung:

++ sehr gut, + gut, 0 zufriedenstellend, – schlecht, -- sehr schlecht
¹ durchschnittlich ermittelte Verkaufspreise

Anbieter 1:	
Listeneinkaufspreis	550 €
Lieferung frei Haus ohne Abzug	
Ersatzgeräte-Service pro Tag einschließlich Hol- und Bringdienst	80 €
Anbieter 2:	
Listeneinkaufspreis	575 €
Skonto bei Bezahlung innerhalb 10 Tagen	4 %
Verpackung und Transport je Gerät	15 €
Ersatzgeräte-Service pro Tag einschließlich Hol- und Bringdienst	100 €
Anbieter 3:	
Listeneinkaufspreis	580 €
Skonto bei Bezahlung innerhalb 10 Tagen	2 %
Verpackung und Transport je Auftrag	80 €
Rabatt bei Abnahme von mehr als 10 Geräten	5 %
Ersatzgeräte-Service pro Tag ohne Hol- und Bringdienst	40 €

Bild 1: Angebote für Datenprojektoren

18.3.3 Kommunikationskosten

Die Höhe der Kosten für Fernsprechverbindungen richtet sich nach den Tarifbedingungen der Telekommunikationsanbieter und dem Nutzungsprofil des Verbrauchers. Bei Mobiltelefonen sind neben der Gesprächsdauer und den Taktkosten vor allem Smartphonepreis, Grundgebühr, Mindestumsatz, Anmeldegebühr, Gesprächsgutschriften und Provisionen wichtige Kostenfaktoren.

■ Beispiel 1: Takt- und Gesprächskosten

Ein Anbieter verlangt bei einer Einwahlgebühr von 3 ct bei einer Taktzeit von 60 s laut Tarifliste 9,5 ct für 5 min. Berechnen Sie a) Taktkosten, b) Gesprächskosten für 3 min und 20 s.

Lösung:

- a) Die Taktzeit ist 60 s = 1 min. Für 5 min werden 5 Taktzeiten berechnet.

$$TK = \frac{9,5 \text{ ct}}{5 \text{ min}} = 1,9 \frac{\text{ct}}{\text{min}}$$

- b) Bei 3 min 20 s werden $n = 4$ min berechnet.

$$K = TK \cdot n + EG = 1,9 \frac{\text{ct}}{\text{min}} \cdot 4 \text{ min} + 3 \text{ ct} = 7,6 \text{ ct} + 3 \text{ ct} = 10,6 \text{ ct} = 0,106 \text{ €}$$

Aufgaben zu 18.3.3

- Berechnen Sie die Telefongesprächskosten für die angegebenen Taktzeiten und Gebühren von **Tabelle 1** für eine Gesprächsdauer von jeweils a) 1 min 20 s, b) 3 min 40 s und c) 12 min 20 s.
- Eine Datenübertragung dauert voraussichtlich 55 min 30 s. a) Berechnen Sie die Verbindungskosten für alle Tarife nach **Tabelle 1**. b) Welcher Tarif ist in diesem Fall am günstigsten?
- Tarife mit Sekundentakt sind häufig teurer als Tarife im Minutenuntakt. Berechnen Sie die Telefongesprächskosten mit unterschiedlichen Minutenpreisen für alle Tarife nach **Tabelle 1** für eine Gesprächsdauer von a) 1 min 20 s, b) 12 min 20 s und c) 55 min 30 s.
- Ein Telefongespräch dauert 3 min 40 s. Welcher Minutenpreis nach **Tabelle 1** ist am billigsten?
- Ein Smartphonevertrag soll abgeschlossen werden. Wie hoch sind die Gesamtkosten für die drei Handytypen nach **Tabelle 2** a) für die Gesamtvertragsdauer von 2 Jahren, b) für einen Monat?
- Mit einem Mobiltelefon Typ C (**Tabelle 2**) werden in einem Monat an 26 Werktagen in der Hauptzeit 3 Einheiten zu je 0,29 €, in der Nebenzeitz 6 Einheiten zu je 0,19 € und an 4 Sonntagen je 8 Einheiten zu je 0,19 € vertelefoniert. Berechnen Sie die monatlich auflaufenden gesamten Kosten.

Kalkulation ohne Fixkosten, Preise in €:

$$K = TK \cdot n + EG$$

Kalkulation bei Laufzeit 24 Monate

$$HK = \frac{HP + (GG + MU) \cdot 24 + AG - GUT - PRO}{24}$$

<i>K</i>	Kosten	<i>EG</i>	Einwahlgebühr
<i>GG</i>	Grundgebühr (monatlich)	<i>AG</i>	Anmeldegebühr
<i>TK</i>	Taktkosten	<i>HK</i>	Smartphonekosten
<i>n</i>	Anzahl angef. Taktzeiten	<i>GUT</i>	Gesprächsgutschrift
<i>MU</i>	Mindestumsatz (monatlich)	<i>HP</i>	Handypreis
		<i>PRO</i>	Provision

Tabelle 1: Telefontarife

Gleicher Minutenpreis (1 min kostet 3 ct)

Taktzeit in s	Taktkosten in ct	Einwahlgebühr in ct	Gesprächskosten für 40 s (Beispiel)
1	0,05	0	2
1	0,05	4	6
60	3	0	3
60	3	3	6
240	12	0	12
600	30	0	30

Unterschiedlicher Minutenpreis

Minutenpreis in ct	Taktzeit in s	Taktkosten in ct	Einwahlgebühr in ct	Gesprächskosten für 40 s in ct
3	1	0,05	0	2
2,5	1	0,0417	4	5,7
2,5	60	2,5	0	2,5
2,5	60	2,5	3	5,5
2,4	240	9,6	0	9,6
2,4	600	24	0	24

Tabelle 2: Smartphonekosten

Art	Typ A	Typ B	Typ C
Smartphonepreis in €	179,00	129,00	0,00
Grundgebühr im Monat in €	5,95	0,00	12,95
Mindestumsatz in €	5,00	0,00	0,00
Anmeldegebühr in €	24,95	0,00	24,95
Gesprächsgutschrift in €	0,00	15,00	75,00
Minutenpreis zum Festnetz in €	0,49	0,79	0,49

18.3.4 Druckerkosten

Bei der Anschaffung eines neuen Druckers sind neben dem Gerätepreis weitere Kosten zu beachten:

- Kosten für Tinte
- Kosten für Toner
- Leistungsaufnahme in den 3 Betriebszuständen „Aus“, „Bereitschaft“ und „Drucken“.

Aufgaben zu 18.3.4

- 1.** Bild 1 zeigt die Druckkosten verschiedener Tintendrucker und Farblaserdrucker im Vergleich. In einem Büro werden im Monat 2000 Farbseiten erstellt. Berechnen Sie Kosten für eine Farbseite bei Nutzung a) des Farblaserdruckers b) des Tintendruckers mit XL-Patronen.
- 2.** Mit dem Tintendrucker mit XL-Patronen werden in einem Büro monatlich 4000 Standard-Farbseiten sowie 1000 Fotos A4 erstellt. In den übrigen Bürozeiten (Mo. bis Fr. 8:00 bis 17:00 Uhr) ist der Drucker auf Bereitschaft geschaltet. Nach Arbeitsschluss wird er ausgeschaltet. Ermitteln Sie Arbeitskosten (Arbeitspreis 0,25 €/kWh) unter Verwendung von **Tabelle 1**.
- 3.** Welche Arbeitskosten ergeben sich, wenn statt des Tintendruckers in Aufgabe 2 ein Laserdrucker mit den Daten nach **Bild 2** und **Tabelle 2** benutzt wird?
- 4.** Bei den Druckkosten nach **Bild 1** wurde der Gerätepreis nicht mit eingerechnet. Der Laserdrucker kostet 600 €, der Tintenstrahldrucker wird mit 700 € angeboten. Mit welchem Preis/Seite ist der Gerätepreis auf eine Farbseite zu kalkulieren? Der Drucker ist 3 Jahre in Betrieb und monatlich werden 1000 Seiten erstellt.
- 5.** In einem Büro werden pro Jahr 7000 Farbseiten erstellt. Zur Auswahl stehen zwei Drucker: Drucker 1 mit einem Anschaffungspreis von 1.400 € und Druckkosten von 0,07 €/Seite oder Drucker 2 mit einem Anschaffungspreis 180 € und 0,16 €/Seite. Bei der Entscheidung ist ein Abschreibungszeitraum von 3 Jahren zu beachten.

- 6.** Ein Ecotank-Drucker kostet 332 €. Beim Kauf enthalten die Tanks genügend Tinte für den Druck von 6000 Farbseiten. Ein vergleichbares Standardgerät mit Druckpatronen wird für 85 € angeboten. Mit den im Lieferumfang enthaltenen Patronen können 300 Farbseiten gedruckt werden. Das Multiservice-Patronenpaket bietet der Hersteller für 143 € an. Damit können 1900 Farbseiten gedruckt werden. Vergleichen Sie die Gesamtkosten der beiden Geräte auf der Basis von 6000 Farbseiten.

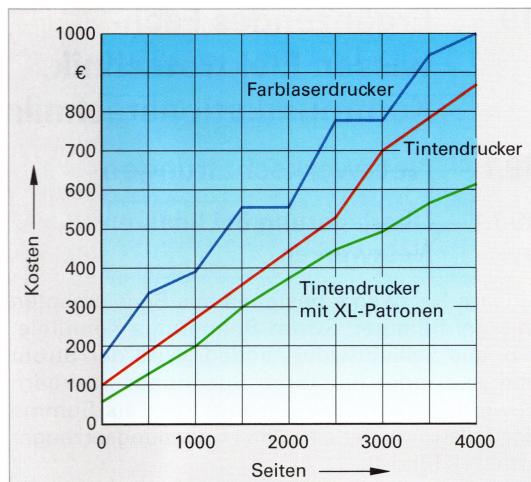


Bild 1: Druckkosten im Vergleich

Tabelle 1: Tintenstrahldrucker Kennwerte (Auswahl)

Größe	Foto 10 × 15	Foto A4	Foto A3
Druckzeit	1:51 min	3:35 min	5:34 min
Leistungsaufnahme	AUS 0,42 W	Bereitschaft 1,21 W	Drucken 16 W
Druckleistung ISO-Seite	Schnell 5 S./min	Standard 3,2 S./min	Hohe Qualität 0,9 S./min

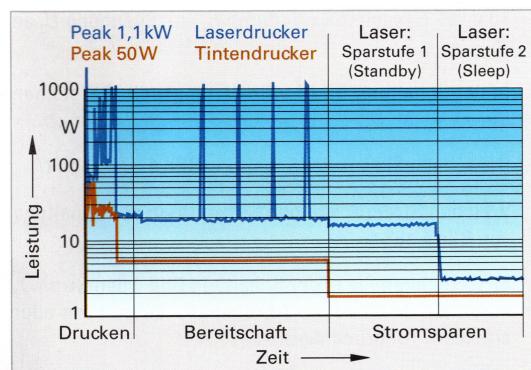


Bild 2: Leistungsvergleich Drucker

Tabelle 2: Laserdrucker Kennwerte (Auswahl)

Größe	Foto 10 × 15	Foto A4	Foto A3
Druckzeit	11 s	25 s	24 s
Druckleistung ISO-Seite	Schnell 25 S./min	Standard 18 S./min	Hohe Qualität 5 S./min



19 Ergänzendes Fachwissen Elektrotechnik, Kommunikationstechnik

19.1 Netzwerkschaltungen

19.1.1 Überlagerung bei linearen Netzwerken

Lineare Netzwerke bestehen aus Bauelementen mit geradliniger Strom-Spannungs-Kennlinie, z.B. aus Schichtwiderständen. Wird der Strom von zwei oder mehreren Spannungserzeugern bewirkt, so wird der Gesamtstrom als Summe der Teilströme der einzelnen Spannungserzeuger ermittelt (**Bild 1**).

Zur Bestimmung eines Teilstromes denkt man sich in der Ersatzschaltung die anderen Spannungserzeuger kurzgeschlossen (**Bild 2** und **Bild 3**).

Aufgaben zu 19.1.1

1. Berechnen Sie den von U_2 hervorgerufenen Teilstrom I_{32} durch R_3 in der Schaltung **Bild 3**.
2. Berechnen Sie den Teilstrom I_{31} in der Schaltung **Bild 2**, wenn U_1 auf 30 V erhöht wird.
3. Berechnen Sie von Schaltung **Bild 1**, jedoch mit $U_1 = 30 \text{ V}$, a) Gesamtstrom I_3 durch R_3 , b) Spannung U_3 an R_3 .
4. In der Schaltung **Bild 1** wird U_2 umgepolt. Berechnen Sie a) I_3 , b) U_3 .
5. Berechnen Sie aus der Schaltung **Bild 4** a) I_3 , b) U_3 .
6. Welchen Strom I_1 gibt das Netzgerät in der Schaltung von **Bild 4** ab?
7. a) Berechnen Sie in der Schaltung **Bild 4** den Strom I_2 durch R_{12} , b) Wird der Akkumulator aufgeladen oder entladen? (Begründung!)
8. Bei welchem Laststrom I_3 und welchem Lastwiderstand R_3 in der Schaltung **Bild 4** ist der Akkumulator stromlos?
9. Bei welchem Laststrom I_3 und welchem Lastwiderstand R_3 in Schaltung **Bild 4** ist der Ladestrom des Akkumulators gleich dem Laststrom?
10. Bei welchem Laststrom I_3 und welchem Lastwiderstand R_3 in Schaltung **Bild 4** stammt die Hälfte des Laststromes aus dem Netzgerät?

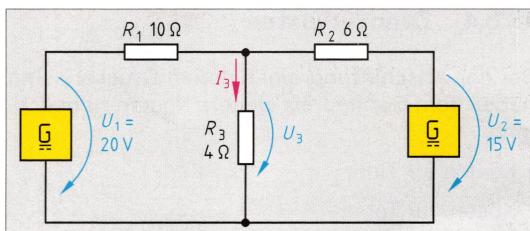


Bild 1: Schaltung mit zwei Spannungserzeugern

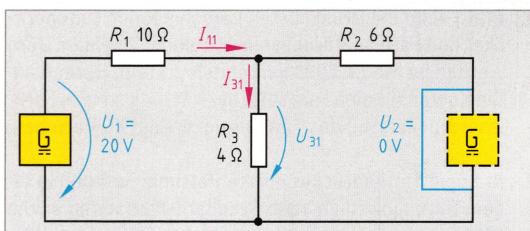


Bild 2: Ersatzschaltung zur Bestimmung von I_{31}

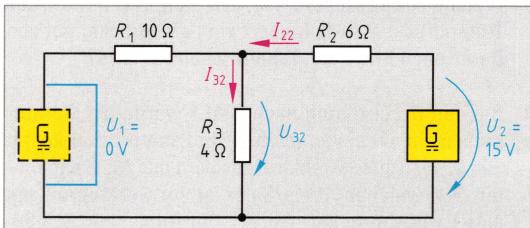


Bild 3: Ersatzschaltung zur Ermittlung von I_{32}

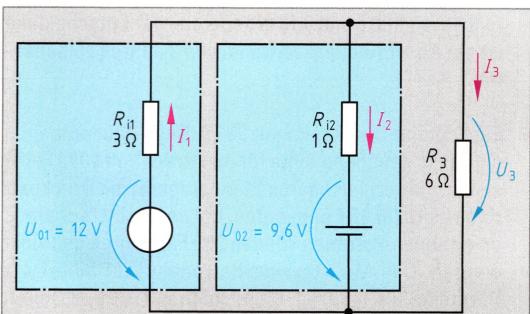


Bild 4: Überlagerung

19.1.2 Ersatzspannungsquelle

Ein lineares Netzwerk lässt sich auf eine Ersatz-Reihenschaltung aus dem Spannungsgerzeuger mit U'_0 und dem Innenwiderstand R'_i zurückführen (**Bild 1**).

Die Ersatzspannung U'_0 erhält man an den Klemmen des Netzwerkes, wenn man den Lastwiderstand entfernt.

Der Ersatzinnenwiderstand R'_i ist so groß wie der Widerstand des Netzwerkes zwischen den Klemmen ohne Lastwiderstand bei kurzgeschlossenen Spannungsgerzeugern.

Aufgaben zu 19.1.2

- Welche Spannung U_2 stellt sich an den Klemmen A und B in **Bild 1** ein, wenn $R_L = 6 \Omega$ ist?
- Beim Spannungsteiler in Schaltung **Bild 1** beträgt die Spannung $U_2 = 2,5 \text{ V}$. Berechnen Sie
 - Laststrom I_L ,
 - Lastwiderstand R_L .
- Der Basisspannungsteiler einer Transistorstufe nach Schaltung **Bild 2** besteht aus $R_1 = 18 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$. Welche Spannungsänderung ΔU_2 bewirkt eine Änderung des Basisstromes um $\Delta I_B = 25 \mu\text{A}$?
- Eine Transistorstufe nach **Bild 2** erhält über den Teiler $R_1 = 12 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 3,9 \text{ k}\Omega$ die Basisvorspannung U_2 . Bei welcher Basisstromänderung ΔI_B wird $\Delta U_2 = 0,1 \text{ V}$?
- Eine Brückenschaltung **Bild 3** mit $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 680 \Omega$, $R_4 = 470 \Omega$ wird an die Spannung $U = 20 \text{ V}$ gelegt und an den Anschlüssen A und B mit $R_5 = 100 \Omega$ belastet.
 - Bilden Sie für den Spannungsteiler $R_1 R_2$ die Ersatzspannungsquelle U'_{02} , R'_{12} .
 - Bilden Sie für $R_3 R_4$ die Ersatzspannungsquelle U'_{04} , R'_{14} . Die Ersatzschaltung der Brückenschaltung besteht nun aus den beiden Ersatzspannungsquellen, die über R_5 miteinander verbunden sind.
 - Berechnen Sie I_5 und U_5 .
- Eine Brückenschaltung **Bild 3** mit $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 8,2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 15 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 15 \text{ k}\Omega$ wird an die Spannung $U = 50 \text{ V}$ gelegt.
 - Welcher Spannungsfall U_5 entsteht, wenn $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$ beträgt?
 - Welcher Strom I_{5k} fließt, wenn anstelle von R_5 ein idealer Strommesser ($R_5 = 0 \Omega$) angeschlossen wird?

Ersatzgrößen werden durch Apostroph gekennzeichnet:

U' Ersatzspannung

I' Ersatzstrom

R' Ersatzinnenwiderstand

Beispiel 1: Ersatzgrößen berechnen

Berechnen Sie a) Ersatzspannung U'_0 und b) Ersatzinnenwiderstand R'_i vom Spannungsteiler in **Bild 1** für die Klemmen A und B.

Lösung:

$$\text{a) } U'_0 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \text{ V} \cdot \frac{4 \Omega}{8 \Omega + 4 \Omega} = 4 \text{ V}$$

$$\text{b) } R'_i = R_1 \parallel R_2 \\ \Rightarrow R'_i = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{8 \Omega \cdot 4 \Omega}{8 \Omega + 4 \Omega} = 2,67 \Omega$$

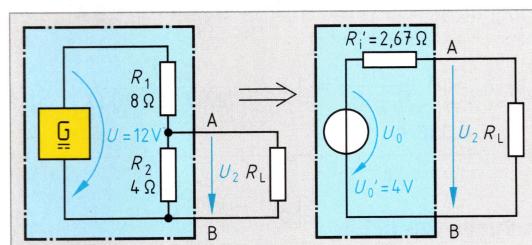


Bild 1: Belasteter Spannungsteiler

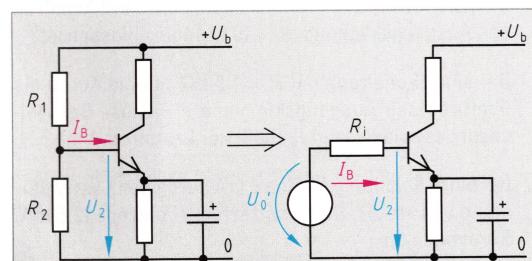


Bild 2: Basisspannungsteiler

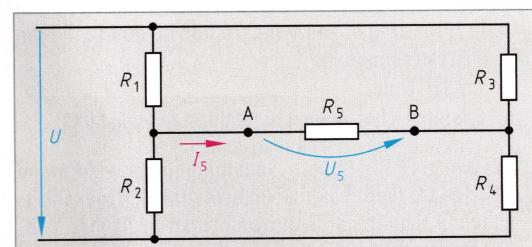


Bild 3: Brückenschaltung

19.1.3 Ersatzstromquelle

Die Ersatzstromquelle besteht aus einem Erzeuger und dem Ersatzzinnenwiderstand (**Bild 1**). Der konstante Ersatzstrom I' fließt in die Parallelschaltung aus Ersatzzinnenwiderstand R'_i und Lastwiderstand R_L . Der Ersatzzinnenwiderstand ist der gleiche wie bei der Ersatzspannungsquelle.

Der eingeprägte Ersatzstrom I' wird bestimmt, indem man sich die Ausgangsklemmen der gegebenen Schaltung überbrückt denkt und den Strom in der Überbrückung berechnet.

Bei $I' = \text{konstant}$:

$$\frac{I_L}{I'} = \frac{R'_i}{R'_i + R_L}$$

I_L Laststrom
 I' Ersatzstrom
 R'_i Ersatzzinnenwiderstand
 R_L Lastwiderstand

■ Beispiel 1: Spannungsteilerströme berechnen

Berechnen Sie für den belasteten Spannungsteiler **Bild 2** a) Ersatzstrom I' , b) Laststrom I_L für $R_L = 10 \Omega$.

Lösung:

a) Für $R_L = 0 \Omega \Rightarrow I' = \frac{U}{R'_i} = \frac{12 \text{ V}}{8 \Omega} = 1,5 \text{ A}$

b) $I_L = I' \cdot \frac{R'_i}{R'_i + R_L} = 1,5 \text{ A} \cdot \frac{2,67 \Omega}{2,67 \Omega + 10 \Omega} = 0,316 \text{ A}$

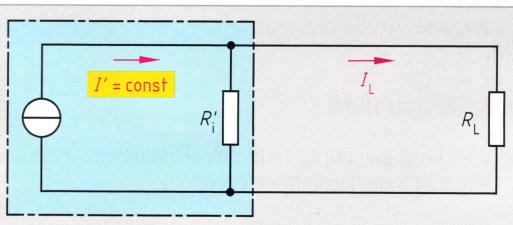


Bild 1: Ersatzstromquelle

Aufgaben zu 19.1.3

- Eine Schaltung besitzt den Ersatzzinnenwiderstand 15Ω . Durch die kurzgeschlossenen Ausgangsklemmen fließt der Strom 3 A. Welcher Laststrom fließt, wenn an den Ausgangsklemmen $R_L = 10 \Omega$ angeschlossen ist?
- Bei einer Schaltung mit $R'_i = 1,5 \text{ k}\Omega$ fließen durch die überbrückten Ausgangsklemmen $I' = 3 \text{ mA}$. Bei welchem Lastwiderstand R_L fließt der Laststrom 1 mA?
- Bei einer Schaltung fließen 5 mA durch den Lastwiderstand von $15 \text{ k}\Omega$. Der Ersatzstrom I' beträgt $12,5 \text{ mA}$. Berechnen Sie
 - Ersatzzinnenwiderstand,
 - Laststrom bei einem Lastwiderstand von $5 \text{ k}\Omega$.
- Eine Schaltung besitzt den Ersatzzinnenwiderstand von 200Ω . Durch den Lastwiderstand von 300Ω fließen 40 mA. Berechnen Sie
 - Ersatzstrom,
 - Laststrom bei einem Lastwiderstand von 50Ω .

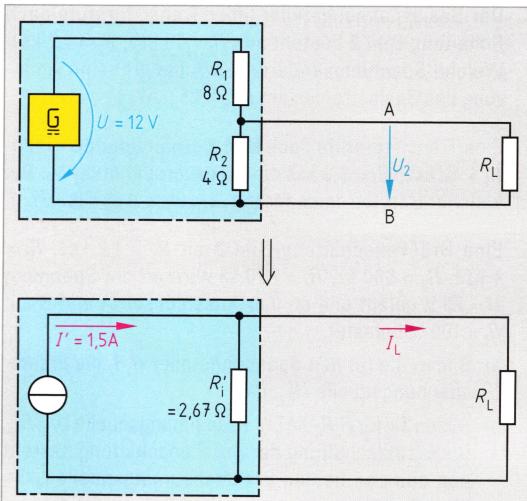


Bild 2: Belasteter Spannungsteiler

- Durch eine Transistorstufe mit dem Innenwiderstand $R'_i = 5 \text{ k}\Omega$ fließt bei für Wechselstrom kurzgeschlossenem Ausgang der Drainwechselstrom 10 mA . Welche Drainwechselspannung stellt sich bei einem Drainwiderstand $R_L = 12 \text{ k}\Omega$ ein?

19.2 Ermittlung von Kühlflächen

Zur Verringerung des Wärmewiderstandes werden Kühlbleche (**Bild 1**) oder Kühlkörper verwendet.

Bei Impulsbelastung können Bauelemente je nach Tastgrad g und Impulsdauer t_i größere Augenblicksleistungen aushalten als bei Dauerbetrieb (**Bild 2**).

Formeln und Größen siehe auch Seite 62.

Beispiel 1: Kühlblech berechnen

Ein Transistor benötigt ein Kühlblech mit $R_{thK} = 3,5 \text{ K/W}$. Wie groß muss ein quadratisches, 2 mm dickes blankes Aluminiumkühlblech sein bei a) senkrechter, b) waagerechter Anordnung?

Lösung:

a) Aus **Bild 1**:

$$A_1 = 17 \text{ cm} \cdot 17 \text{ cm} = 289 \text{ cm}^2$$

$$b) A_2 = 1,2 \cdot A_1 = 1,2 \cdot 289 \text{ cm}^2 = 346,8 \text{ cm}^2$$

$$l_2 = \sqrt{A_2} = \sqrt{346,8 \text{ cm}^2} = 18,6 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow A_2 = 18,6 \text{ cm} \cdot 18,6 \text{ cm}$$

Aufgaben zu 19.2

- Eine Diode BYY 90 mit $R_{thG} = 5 \text{ K/W}$ ist auf einen Kühlkörper mit $R_{thK} = 7,3 \text{ K/W}$ geschraubt. $R_{thÜ}$ kann vernachlässigt werden. Ermitteln Sie a) den Ersatzwärmewiderstand, b) die Größe eines quadratischen, geschwärzten 2 mm dicken Aluminiumbleches senkrechter Anordnung als Kühlkörperersatz.
- In einem Transistor entsteht eine Verlustleistung von 5 W. Nach Datenblatt sind $\theta_{jmax} = 90^\circ\text{C}$ und $R_{thG} = 3,6 \text{ K/W}$. Die Umgebungstemperatur kann 45°C erreichen. Ermitteln Sie den Wärmewiderstand R_{thK} und das erforderliche quadratische Aluminiumkühlblech, wenn im Gerät nur ein Platz von $12,5 \text{ cm} \cdot 12,5 \text{ cm}$ frei ist ($R_{thÜ}$ vernachlässigbar).
- Ein Transistor BSX46 mit den Datenblattangaben $U_{CEmax} = 60 \text{ V}$, $I_{Cmax} = 1 \text{ A}$ und $P_{tot} = 5 \text{ W}$ gibt eine Rechteckspannung der Impulsdauer 0,1 ms und der Frequenz 2 kHz ab. Die höchstzulässige Sperrsichttemperatur beträgt 200°C . Wie groß ist a) der Impulswärmewiderstand, b) die zulässige Impulsverlustleistung bei 85°C Gehäusetemperatur?
- Auf ein 5 mm dickes quadratisches Aluminiumblech mit einer Fläche von 250 cm^2 ist über eine 0,1 mm dicke Glimmerscheibe ($R_{thÜ} = 1,5 \text{ K/W}$) ein Transistor isoliert befestigt. Die höchstzulässige Sperrsichttemperatur ist 100°C und der innere Wärmewiderstand 2 K/W. Wie groß darf der Kollektorstrom bei $U_{CE} = 6 \text{ V}$ und einer Umgebungstemperatur von 45°C höchstens sein?

Bei waagerechter Anordnung muss die Kühlfläche das 1,2-Fache einer senkrechten Kühlfläche betragen, bei geschwärzter Kühlfläche das 0,9-Fache einer blanken Kühlfläche.

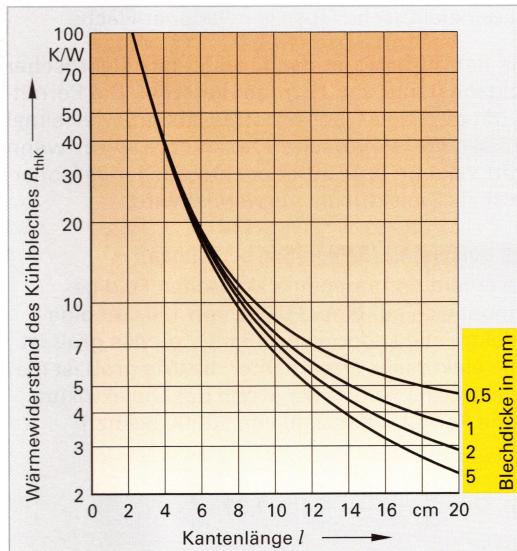


Bild 1: Wärmewiderstand, senkrecht stehender, quadratischer, blander Aluminiumbleche

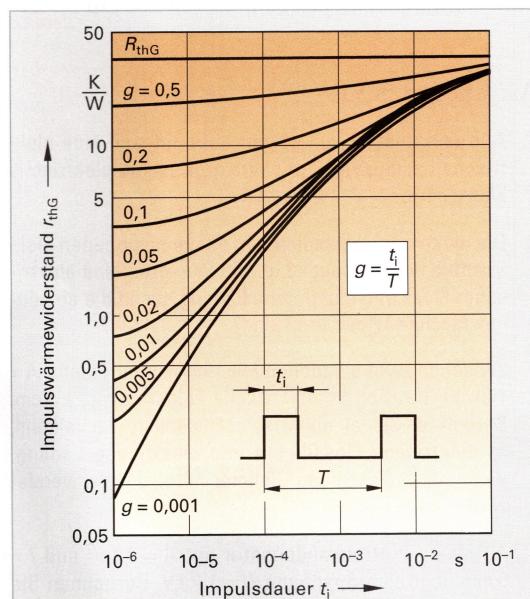


Bild 2: Impulswärmewiderstand des Transistors BSX46

19.3 Felder in der Elektrotechnik

19.3.1 Elektrische Flussdichte

Jeder elektrisch geladene Körper erzeugt einen elektrischen Fluss, welcher der Ladung des Körpers gleich ist (**Bild 1**). Die elektrische Flussdichte ist der elektrische Fluss je geladener Fläche.

Die Permittivität ist das Produkt aus elektrischer Feldkonstante und Permittivitätszahl. Die Permittivitätszahl eines Isolierstoffes gibt an, wievielmal größer die elektrische Flussdichte wird, wenn statt Vakuum bzw. Luft der entsprechende Isolierstoff als Dielektrikum verwendet wird.

Beispiel 1: Feldgrößen berechnen

In einem homogenen elektrischen Feld befindet sich auf einer Fläche von 120 cm^2 eine elektrische Ladung von 16 mC . a) Wie groß ist die elektrische Flussdichte? b) Wie groß ist die elektrische Feldstärke, wenn das Dielektrikum eine Permittivitätszahl von 10000 besitzt?

Lösung:

$$a) D = \frac{Q}{A} = \frac{16 \text{ mC}}{120 \text{ cm}^2} = 1,33 \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$$

$$b) D = \epsilon \cdot E = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot E$$

$$\Rightarrow E = \frac{D}{\epsilon_r \cdot \epsilon_0}$$

$$= \frac{1,33 \text{ C/m}^2}{10000 \cdot 8,85 \text{ pC/(Vm)}} = 15,0 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Aufgaben zu 19.3.1

1. Auf einer Fläche von 63 cm^2 befindet sich eine elektrische Ladung von $7 \mu\text{C}$. Wie groß ist die elektrische Flussdichte?
2. Die elektrische Flussdichte in einem homogenen elektrischen Feld beträgt 73 nC/m^2 . Wie groß sind elektrischer Fluss und elektrische Ladung, wenn die geladenen Flächen 17 cm^2 groß sind?
3. Zwischen zwei geladenen Flächen mit der Fläche $A = 100 \text{ cm}^2$ beträgt die elektrische Feldstärke 18 kV/cm . Berechnen Sie a) elektrische Flussdichte im Vakuum, b) elektrische Flussdichte und elektrische Ladung, wenn das Dielektrikum Glimmer mit $\epsilon_r = 7$ verwendet wird.
4. An einem Plattenkondensator mit $A = 2 \text{ cm}^2$ und $l = 5 \text{ mm}$ liegt eine Spannung $U = 1,2 \text{ kV}$. Berechnen Sie a) elektrische Feldstärke, b) elektrische Flussdichte, wenn das Dielektrikum $\epsilon_r = 12$ besitzt, c) elektrische Ladung.

$\Psi = Q$	$D = \frac{Q}{A}$
$[D] = \frac{As}{\text{m}^2} = \frac{C}{\text{m}^2}$	$D = \epsilon \cdot E$
$\epsilon_0 = 8,85 \frac{\text{pC}}{\text{Vm}}$	$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$

D elektrische Flussdichte
 Ψ elektrischer Fluss
 (Ψ griech. Großbuchstabe Psi)
Q elektrische Ladung
A geladene Fläche
E elektrische Feldstärke
 ϵ Permittivität
 (ϵ griech. Kleinbuchstabe Epsilon)
 ϵ_0 elektrische Feldkonstante
 ϵ_r Permittivitätszahl

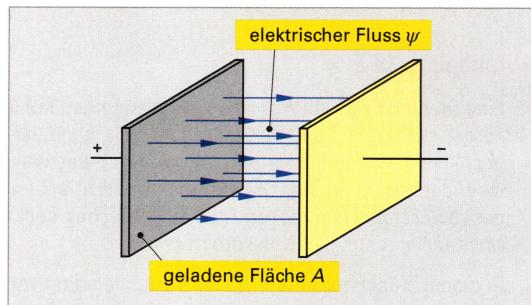


Bild 1: Elektrischer Fluss

5. Bei einem Plattenkondensator verdreifacht sich die elektrische Flussdichte und beträgt dann $0,1 \text{ mC/m}^2$, wenn als Dielektrikum statt Luft Polystyrol verwendet wird. Ermitteln Sie a) Permittivitätszahl von Polystyrol, b) Permittivität, c) elektrische Feldstärke, d) elektrische Ladung, wenn $A = 7 \text{ cm}^2$ beträgt.
6. Zwischen zwei geladenen Flächen mit der Fläche $A = 4,3 \text{ cm}^2$ beträgt die elektrische Flussdichte $45 \mu\text{C/m}^2$, wenn das Dielektrikum $\epsilon_r = 3$ hat. Berechnen Sie für ein Dielektrikum mit $\epsilon_r = 8$ a) Flussdichte, b) elektrischen Fluss, c) elektrische Feldstärke, d) Spannung zwischen den Flächen, wenn $l = 3,5 \text{ mm}$ beträgt.



19.3.2 Energie und Energiedichte des magnetischen Feldes

Zum Aufbau eines Magnetfeldes ist elektrische Arbeit erforderlich, die als Energie des magnetischen Feldes gespeichert wird. Beim Abbau des Feldes entsteht wieder elektrische Arbeit.

Die Energiedichte eines magnetischen Feldes ist umso größer, je mehr magnetische Energie gespeichert wird und je weniger Volumen dieses Feld einnimmt.

Beispiel 1: Magnetische Energie ermitteln

Eine Spule mit der Induktivität von 0,3 H wird von 0,5 A durchflossen. Wie groß ist die Energie des Magnetfeldes?

Lösung:

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,3 \text{ H} \cdot (0,5 \text{ A})^2 \\ = \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot \frac{\text{Vs}}{\text{A}} \cdot 0,25 \text{ A}^2 = 37,5 \text{ mWs} = 37,5 \text{ mJ}$$

$$[W] = \frac{\text{Vs}}{\text{A}} \cdot \text{A}^2 = \text{Ws} = \text{J}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

$$[w] = \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{A}}{\text{m}} = \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

$$w = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H$$

$$[W] = \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{A}}{\text{m}} \cdot \text{m}^3 = \text{Ws}$$

$$W = w \cdot V$$

Bei Spulen ohne Eisenkern:

$$w = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot H^2$$

$$w = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_0}$$

V Volumen

W Energie, Arbeit

L Induktivität

I Stromstärke

w Energiedichte

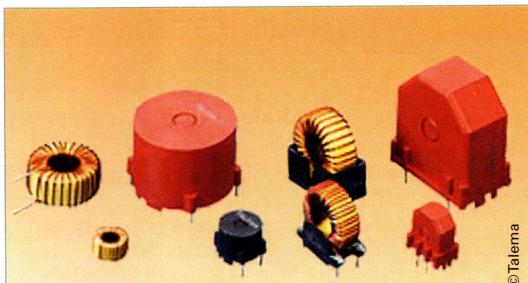
B magnetische Flussdichte

H magnetische Feldstärke

μ_0 magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 1,257 \text{ } \mu\text{Vs}/(\text{Am})$

Aufgaben zu 19.3.2

1. Eine Spule mit 68 mH soll 37,5 mWs magnetische Energie speichern. Welcher Spulenstrom ist dafür nötig?
2. Welche magnetische Energie speichert eine Spule mit 120 Windungen, durch die 0,5 A fließen, wenn der Kern den A_l -Wert (Spulenkonstante) von 0,1 $\mu\text{Vs}/\text{A}$ besitzt?
3. Bei einer Spule ohne Kern mit 850 Windungen ist die mittlere Feldlinienlänge 12 cm. Bei welchem Magnetisierungsstrom herrscht im Innern der Spule eine Energiedichte von 113,5 mWs/m³?
4. Ein Kern M85 mit dem Kernvolumen $V = 165 \text{ cm}^3$ besteht aus Trafoperm N2. Er wird von der magnetischen Feldstärke $H = 3 \text{ A/cm}$ auf $B = 1,2 \text{ T}$ magnetisiert. Berechnen Sie für diesen Kern die a) Energiedichte, b) magnetische Energie in mWs.
5. Berechnen Sie die Energiedichte, die im Luftspalt eines Lautsprechermagneten herrscht, wenn die Flussdichte $B = 0,8 \text{ T}$ beträgt.
6. Das Magnetfeld der Erde beträgt an einem Ort 50 μT . Wie groß ist dort die Energiedichte dieses Feldes?
7. In der Leistungsspule DPO-3.0-2200 (Bild 1) eines Schaltnetzteils fließen 80 % des maximal zulässigen Stromes. Berechnen Sie die gespeicherte magnetische Energie der Spule.



Bezeichnung	I_{\max} in A	L in μH	W in mJ
DPO-3.0-2200	3	2200	9,9
DPO-10-220	10	220	11
DPO-15-68	15	68	7,65

Bild 1: Leistungsspulse und Kenngrößen

8. Die Leistungsspule DPO-10-220 (Bild 1) dient als Siebglied in einem Netzteil. Berechnen Sie den Spulenstrom bei 8 mWs gespeicherter magnetischer Energie.
9. Eine Spule ohne Kern mit 20 Windungen wird von 5 A durchflossen. Die mittlere Feldlinienlänge ist $l = 18 \text{ cm}$. Wie groß ist die Energiedichte im Spuleninnern?

19.4 RC-Schaltungen

19.4.1 Ersatz-Reihenschaltung und Ersatz-Parallelschaltung

Reihenschaltungen lassen sich in Ersatz-Parallelschaltungen und Parallelschaltungen lassen sich in Ersatz-Reihenschaltungen umformen. Dabei müssen Stromaufnahme und damit Scheinwiderstand sowie der Phasenverschiebungswinkel gleich sein. Die Umformung erfolgt schrittweise anhand der Zeigerbilder (Bild 1) oder mit der Formel.

Beispiel 1: Ersatz-Parallelschaltung berechnen

Eine Reihenschaltung mit einem Widerstand von $10 \text{ k}\Omega$ und einem kapazitiven Blindwiderstand von $9,48 \text{ k}\Omega$ ist in eine Ersatz-Parallelschaltung umzuwandeln.

Lösung:

$$Z_r = \sqrt{R_r^2 + X_{Cr}^2} = \sqrt{(10 \text{ k}\Omega)^2 - (9,48 \text{ k}\Omega)^2} \\ = 13,78 \text{ k}\Omega$$

$$Y_p = \frac{1}{Z_r} = \frac{1}{13,78 \text{ k}\Omega} = 72,6 \mu\text{S}$$

$$\tan \varphi_r = \frac{X_{Cr}}{R_r} = \frac{9,48 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = 0,948 \Rightarrow \varphi_r = 43,5^\circ$$

$$\varphi_p = \varphi_r = 43,5^\circ$$

$$G_p = Y_p \cdot \cos \varphi_p = 72,6 \mu\text{S} \cdot \cos 43,5^\circ = 52,66 \mu\text{S}$$

$$R_p = \frac{1}{G_p} = \frac{1}{52,66 \mu\text{S}} = 18,99 \text{ k}\Omega$$

$$B_{Cp} = Y_p \cdot \sin \varphi_p = 72,6 \mu\text{S} \cdot \sin 43,5^\circ = 49,98 \mu\text{S}$$

$$X_{Cp} = \frac{1}{B_{Cp}} = \frac{1}{49,98 \mu\text{S}} = 20,0 \text{ k}\Omega$$

Aufgaben zu 19.4.1

- Ein Widerstand mit $2,7 \text{ k}\Omega$ und ein Kondensator mit 470 pF sind in Reihe an eine Wechselspannung mit 60 kHz angeschlossen. Berechnen Sie R_p und C_p der Ersatz-Parallelschaltung.
- Eine Spule mit $210 \mu\text{H}$ hat einen Reihenverlustwiderstand von 5Ω . Berechnen Sie für $f = 900 \text{ kHz}$ die Größen L_p und R_p der Ersatz-Parallelschaltung.
- Ein Widerstand mit $5,6 \text{ k}\Omega$ und eine Spule mit $1,5 \text{ mH}$ liegen parallel an einer Wechselspannung mit $f = 1050 \text{ kHz}$. Ermitteln Sie die Größen der Ersatz-Reihenschaltung.
- Ein Kondensator mit 270 pF hat einen parallelen inneren Verlustwiderstand von $5 \text{ M}\Omega$. Berechnen Sie für $f = 800 \text{ kHz}$ die Größen der Ersatz-Reihenschaltung.
- Das Lautstärkepotenziometer R_1 mit dem Gesamtwiderstand $1 \text{ M}\Omega$ von Bild 2 hat bei $0,3 \text{ M}\Omega$ vom Fußpunkt eine Anzapfung, an die $R_2 C_1$ angeschlossen sind. Berechnen Sie für $f = 100 \text{ Hz}$ und 10 kHz die Ausgangsspannung U_2 , wenn der Schleifer bei $0,5 \text{ M}\Omega$ steht. (Die Belastung bleibt unberücksichtigt.)
- a) Berechnen Sie bei der Potenziometerschaltung Bild 2 für $f = 100 \text{ Hz}$ und 10 kHz die Ausgangsspannung U_2 , wenn der Schleifer an der Anzapfung steht. Von dieser Anzapfung bis zum Fußpunkt beträgt der Widerstand $0,3 \text{ M}\Omega$. Das Potenziometer hat einen Gesamtwiderstand von $1 \text{ M}\Omega$. b) Warum wird das RC-Glied an die Potenziometeranzapfung geschaltet? (Die Belastung bleibt unberücksichtigt.)

$$Z_r^2 = R_r^2 + X_{Cr}^2$$

$$Y_p^2 = G_p^2 + B_p^2$$

$$R_p \approx \frac{Z^2}{R_r} \quad X_p \approx \frac{Z^2}{X_r}$$

Bei gleicher Frequenz:

$$Y_p = \frac{1}{Z_r}$$

$$\varphi_p = \varphi_r$$

Z_r Scheinwiderstand der Reihenschaltung

Y_p Scheinleitwert der Parallelschaltung

φ_r Phasenverschiebungswinkel bei Reihenschaltung

φ_p Phasenverschiebungswinkel bei Parallelschaltung

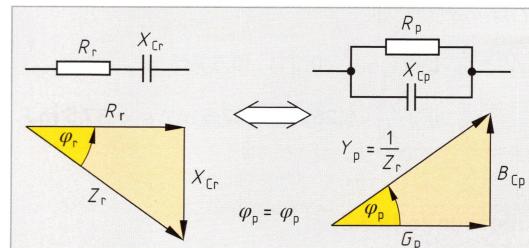


Bild 1: Ersatzschaltungen

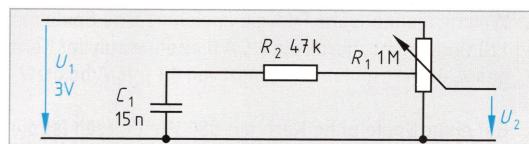


Bild 2: Lautstärkeeinstellung

19.4.2 Einfache RC-Siebschaltungen

Siebschaltungen (Filter) benutzt man zur Schwächung von Spannungen mit unerwünschten Frequenzen. Dazu gibt es Tiefpässe, Hochpässe, Bandpässe und Bandsperren (**Tabelle 1**).

Beispiel 1: RC-Hochpass berechnen

Ein RC-Hochpass mit $C = 22 \text{ nF}$ soll eine Grenzfrequenz von 1 kHz haben. Wie groß muss R sein?

Lösung:

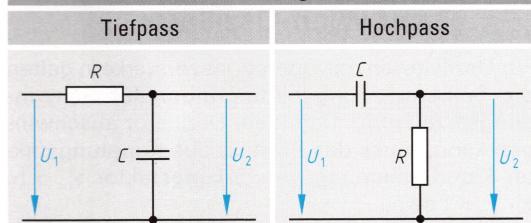
$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

$$\Rightarrow R = \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \text{ kHz} \cdot 22 \text{ nF}} = 7,23 \text{ k}\Omega$$

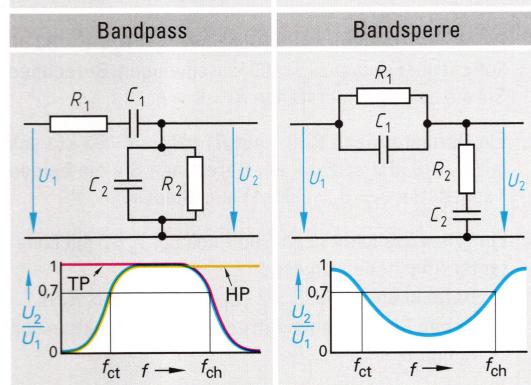
Aufgaben zu 19.4.2

- Ein RC-Tiefpass mit $R = 10 \text{ k}\Omega$ und $C = 8,2 \text{ nF}$ liegt an $U_1 = 10 \text{ V}$. Berechnen Sie a) Grenzfrequenz, b) Ausgangsspannung, wenn die Frequenz der Eingangsspannung so groß ist wie die Grenzfrequenz, c) Ausgangsspannung für $f = 100 \text{ kHz}$.
- Bei einem RC-Hochpass mit $R = 3,3 \text{ k}\Omega$ soll bei $f = 5 \text{ kHz}$ die Ausgangsspannung nur noch $\frac{1}{10}$ der Eingangsspannung betragen. Berechnen Sie a) Kapazität, b) Grenzfrequenz.
- Ein RC-Bandpass hat $R_1 = 12 \text{ k}\Omega$ und $C_2 = 10 \text{ nF}$. a) Ermitteln Sie R_2 und C_1 für $f_m = 8 \text{ kHz}$. b) Wie viel Prozent der Eingangsspannung liegt bei $f = f_m$ am Ausgang?
- Bei einem RC-Bandpass mit $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$ und $C_1 = 15 \text{ nF}$ beträgt bei der Mittenfrequenz die Ausgangsspannung $\frac{1}{20}$ der Eingangsspannung. Berechnen Sie a) Widerstand R_1 , b) Mittenfrequenz f_m , c) Kapazität C_2 .
- Bei einer RC-Bandsperre mit $R_1 = 5 R_2$ und $C_2 = 22 \text{ nF}$ soll die Spannung mit $f = 4 \text{ kHz}$ gesperrt werden. a) Wie groß ist das Dämpfungsmaß in dB bei dieser Frequenz? b) Wie groß sind R_2 und C_1 ?
- Bei einer RC-Bandsperre mit $R_1 = 8,2 \text{ k}\Omega$ und $C_2 = 8,2 \text{ nF}$ soll bei der Mittenfrequenz ein Dämpfungsmaß $A = 12 \text{ dB}$ wirken. Berechnen Sie a) U_1/U_2 , b) R_2 , c) f_m , d) C_1 .

Tabelle 1: RC-Siebschaltungen



$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$	$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$
$U_2 = U_1 \cdot \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$	$U_2 = U_1 \cdot \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$
bei $f = f_c$:	bei $f = f_c$:
$X_C = R \Rightarrow U_2 \approx 0,7 \cdot U_1$	$X_C = R \Rightarrow U_2 \approx 0,7 \cdot U_1$
bei $f \gg f_c$:	bei $f \ll f_c$:
$X_C \ll R$	$X_C \gg R$
$\Rightarrow U_2 \approx U_1 \cdot \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C}$	$\Rightarrow U_2 \approx U_1 \cdot \omega \cdot R \cdot C$



Es gilt für $R_1 \cdot C_1 = R_2 \cdot C_2$:

$$f_m = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot R_2 \cdot C_2}$$

bei $f = f_m$ gilt $X_{C1} = R_1$ und $X_{C2} = R_2$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{4R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1/4}$$

Grenzfrequenzen

$$f_{ct} = \frac{0,303}{2\pi \cdot R_1 \cdot C_1}$$

$$= \frac{0,303}{2\pi \cdot R_2 \cdot C_2}$$

$$f_{ch} = \frac{3,303}{2\pi \cdot R_1 \cdot C_1}$$

$$= \frac{3,303}{2\pi \cdot R_2 \cdot C_2}$$

f_c Grenzfrequenz
 f_m Mittenfrequenz
 U_1 Eingangsspannung

U_2 Ausgangsspannung
 Indizes t tief, h hoch

19.5 Schwingungserzeugung mit Wien-Oszillator

Für Oszillatoren mit Operationsverstärkern gelten die Selbsterregungsbedingungen für Schwingungserzeugung. Damit ein Oszillator anschwingen kann, muss das Produkt aus Kopplungsfaktor K und Spannungsverstärkungsfaktor V_u , d.h. $K \cdot V_u > 1$ sein.

Bei Schwingfrequenz f_0 sind Brückenspannung U_B und die rückgekoppelte Teilspannung U_{B2} (**Bild 1** und **Bild 1**, folgende Seite) phasengleich. Die Mitkopplung erfolgt deshalb über den nicht invertierenden Eingang.

Amplitudenbegrenzung

Zur Amplitudenbegrenzung verwendet man im Gegenkopplungszweig z.B. zwei gegeneinander geschaltete Z-Dioden mit Dämpfungswiderstand R_d (**Bild 1**) oder einen VDR-Widerstand.

Aufgaben zu 19.5

- Ein Wien-Oszillator nach **Bild 1** mit $C_1 = C_2 = C = 33 \text{ nF}$ soll mit der Frequenz $f_0 = 500 \text{ Hz}$ schwingen. Berechnen Sie die beiden Widerstände $R_1 = R_2 = R$.
- Ein Oszillator nach **Bild 1** mit $R_1 = R_2 = R = 33 \text{ k}\Omega$ soll mit $f_0 = 10 \text{ kHz}$ schwingen. Berechnen Sie die beiden Kapazitäten $C_1 = C_2 = C$ des Wien-Gliedes.
- Ein Wien-Oszillator nach **Bild 1** soll bei $V_u = 5$ mit konstanter Amplitude schwingen.
 - Berechnen Sie für $C_2 = 2 \cdot C_1$ das Verhältnis R_2/R_1 .
 - Geben Sie die Schwingfrequenz f_0 als Funktion von R_1 und C_1 an.
- Bei einem Oszillator nach **Bild 1** ist $R_2 = 2 \cdot R_1$. Der Oszillator soll mit $V_u = 2$ schwingen.
 - Berechnen Sie das Verhältnis C_2/C_1 .
 - Geben Sie die Schwingfrequenz in Abhängigkeit von R_1 und C_1 an.
- Das Wien-Glied eines Oszillators nach **Bild 1** besteht aus $R_1 = 4,7 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 10 \text{ nF}$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ und $C_2 = 4,7 \text{ nF}$. Berechnen Sie
 - Schwingfrequenz,
 - Spannungsverstärkungsfaktor V_u ,
 - Rückkopplungswiderstand R_K für $R_Q = 27 \text{ k}\Omega$.
- Das frequenzbestimmende Glied eines Oszillators nach **Bild 1** besteht aus $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 4,7 \text{ nF}$, $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$ und $C_2 = 10 \text{ nF}$. Berechnen Sie
 - Schwingfrequenz f_0 ,
 - Spannungsverstärkungsfaktor V_u ,
 - Eingangsquerwiderstand R_Q für $R_K = 100 \text{ k}\Omega$.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}$$

$$n = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}$$

$$V_u = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}$$

$$V_u = 1 + \frac{R_K}{R_Q}$$

$$n = \frac{U_B}{U_{B2}}$$

Für $R_1 = R_2 = R$ und $C_1 = C_2 = C$:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

$$V_u = 3$$

$$n = 3$$

f_0	Schwingfrequenz
R_1, R_2, R	Widerstände des Wien-Gliedes
C_1, C_2, C	Kapazitäten des Wien-Gliedes
R_K, R_Q	Beschaltungswiderstände
V_u	Spannungsverstärkungsfaktor für konstante Amplitude der Schwingung
n	Spannungsteilerverhältnis U_B/U_{B2} des Wien-Gliedes
U_B, U_{B2}	Spannungen am Wien-Glied

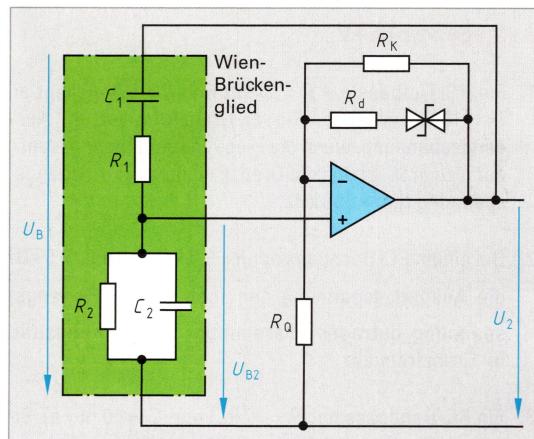


Bild 1: Wien-Oszillator mit Amplitudenbegrenzung

- Bei einem Oszillator nach **Bild 1** werden die Widerstände R_1 und R_2 durch ein Zweifachpotenziometer mit je einem Vorwiderstand gebildet, sodass $R_1 = R_2 = R$ sich von $1 \text{ k}\Omega$ bis $11 \text{ k}\Omega$ einstellen lassen. Die Kapazitäten sind $C_1 = C_2 = C = 10 \text{ nF}$. Wie groß ist
 - die niedrigste,
 - die höchste Schwingfrequenz?
- Mit einem Wien-Oszillator nach **Bild 1** soll der Frequenzbereich 30 kHz bis 300 kHz erzeugt werden. Im Brückenzweig ist ein Doppeldrehkondensator $C_1 = C_2 = C$ mit je 25 pF bis 250 pF . Berechnen Sie die beiden Widerstände $R_1 = R_2 = R$.

Amplitudenstabilisierung

Bei der Amplitudenstabilisierung wird der Mitkopplungsfaktor mit zunehmender Amplitude der Schwingung verkleinert, bis $K \cdot V_u = 1$ ist. Die Ausgangsspannung hat einen wesentlich kleineren Klirrfaktor als bei der Amplitudenbegrenzung. Bei der Schaltung **Bild 1** ist der Kaltleiterwiderstand R_3 z.B. eine Glühlampe 6 V/0,05 A mit der Kennlinie **Bild 2**.

Beispiel 1: Wien-Oszillator berechnen

Bei einem Oszillator nach **Bild 1** ist $n = 3$. Am Kaltleiterwiderstand R_3 mit Kennlinie **Bild 2**, soll sich $U_{R3} = 2$ V einstellen. R_4 ist auf 100 Ω eingestellt. Bestimmen Sie a) R_3 , b) V_{ust} .

Lösung:

a) aus **Bild 2** abgelesen: $R_3 = 75 \Omega$

$$\text{b) } V_{ust} = n \cdot \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) = 3 \cdot \left(1 + \frac{75 \Omega}{100 \Omega}\right) = 5,25$$

9. Bei einem Oszillator nach **Bild 1** mit dem Teilverhältnis $n = 4$ entsteht am Kaltleiterwiderstand R_3 die Spannung $U_{R3} = 1,5$ V. Der Stellwiderstand R_4 hat 120 Ω . Berechnen Sie a) Spannungsverstärkungsfaktor V_{ust} , b) Ausgangsspannung U_2 .

10. Ein Oszillator nach **Bild 1** mit $n = 2$ soll die Spannung $U_2 = 4$ V liefern. Bestimmen Sie für $U_{R3} = 2$ V a) R_3 mit **Bild 2**, b) R_4 , c) V_{ust} .

11. Bei einem Oszillator nach **Bild 1** mit $n = 5$ und $R_K = 47 \text{ k}\Omega$ soll $U_{R3} = 1,5$ V betragen bei einer Ausgangsspannung von $U_2 = 4,5$ V. Wie groß sind a) R_3 , b) R_4 , c) V_{ust} , d) R_Q ?

12. Ein Oszillator nach **Bild 1** mit $n = 4$ liefert eine Ausgangsspannung von 5 V bei $R_3 = 75 \Omega$. Der Eingangsquerwiderstand ist $R_Q = 22 \text{ k}\Omega$. Bestimmen Sie a) U_{R3} , b) R_4 , c) V_{ust} , d) R_K .

13. Bei einem Oszillator nach **Bild 1** sind $R_1 = 2,2 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 4,7 \text{ nF}$, $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$, $C_2 = 2,2 \text{ nF}$, $R_4 = 150 \Omega$, $R_K = 47 \text{ k}\Omega$ und $U_{R3} = 1,5$ V. Bestimmen Sie a) R_3 , b) V_{ust} , c) U_2 , d) R_Q .

14. Bei einem Wien-Oszillator nach **Bild 1** sind $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 22 \text{ nF}$, $R_2 = 22 \text{ k}\Omega$, $C_2 = 10 \text{ nF}$, $R_4 = 75 \Omega$, $R_Q = 22 \text{ k}\Omega$. Am Kaltleiterwiderstand R_3 entstehen $U_{R3} = 2$ V. Ermitteln Sie a) R_3 , b) V_{ust} , c) U_2 , d) R_K .

Bei Amplitudenstabilisierung ($V_u = V_{ust}$):

$$V_{ust} = n \cdot \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right)$$

$$n = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}$$

$$V_u = 1 + \frac{R_K}{R_Q}$$

$$U_2 = U_{R3} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)$$

V_{ust}	Spannungsverstärkungsfaktor für Amplitudenstabilisierung
n	Spannungsteilverhältnis U_B/U_{B2} des Wien-Gliedes bei Schwingfrequenz
R_3, R_4, R_K, R_Q	Beschaltungswiderstände
R_1, R_2, R	Widerstände des Wien-Gliedes
C_1, C_2, C	Kapazitäten des Wien-Gliedes
V_u	Spannungsverstärkungsfaktor für konstante Amplitude der Schwingung
U_2	Ausgangsspannung
U_{R3}	Spannung am Kaltleiterwiderstand R_3

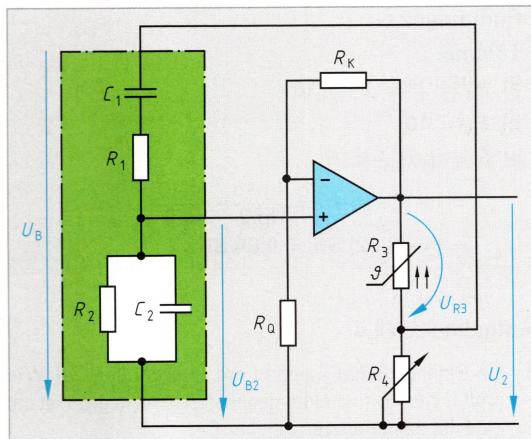


Bild 1: Wien-Oszillator mit Amplitudenstabilisierung durch R_3

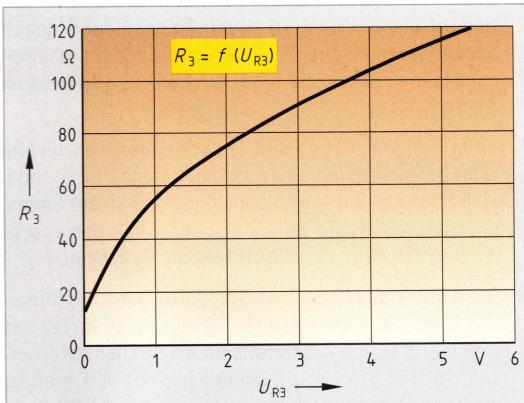


Bild 2: Widerstandskenntlinie einer Glühlampe

19.6 Entscheidungsgehalt und Redundanz von Codes

Jeder Binärcode mit einer festliegenden Stellenzahl je Zeichen hat einen Entscheidungsgehalt (größtmögliche Zahl) von verschiedenen Zeichen.

Der Elementarvorrat n gibt die Zahl der erforderlichen Bits je Zeichen an und ist bei Binärcodes gleich der Stellenzahl. Die *Redundanz R* (= Weitschweifigkeit, Überfluss) sagt etwas aus über das Verhältnis der Zahl der ausnutzbaren Zeichen zu der Zahl der ausgenutzten Zeichen eines Codes.

Die Redundanz wird in der Einheit Sh (von Shannon) angegeben.

■ Beispiel 1: Redundanz bestimmen

Beim 8-4-2-1-Code werden die zehn Dezimalziffern durch Quadbits dargestellt. a) Wie groß ist H_0 ? b) Wie groß ist H_1 ? c) Berechnen Sie die Redundanz.

Lösung:

$$a) H_0 = 2^n = 2^4 = 16$$

$$b) H_1 = 10$$

$$c) R = \text{Ib } H_0 - \text{Ib } H_1$$

$$= \text{Ib } 16 - \text{Ib } 10 = \frac{\lg 16}{\lg 2} - \frac{\lg 10}{\lg 2}$$

$$= (4 - 3,32) \text{ Sh} = 0,68 \text{ Sh}$$

Claude Elwood Shannon (*1916, † 2001) begründete die moderne Informationstheorie und „erfand“ das Bit.

Für Binärcodes:

$$H_0 = 2^n$$

$$n = \text{Ib } H_0$$

$$[R] = 1 \text{ Sh}$$

$$n = \frac{\lg H_0}{\lg 2}$$

$$R = \text{Ib } H_0 - \text{Ib } H_1$$

$$R = \text{Ib } \frac{H_0}{H_1}$$

H_0 Entscheidungsgehalt der Stellenzahl

n Stellenzahl je Zeichen, Elementarvorrat in bit

H_1 Zahl (Entscheidungsgehalt) der ausgenützten Zeichen

R Redundanz in Sh

Ig Zehnerlogarithmus

Ib Zweierlogarithmus

Quadbit

= Satz von 4 Bit, auch Nibble oder Tetrade.

Aufgaben zu 19.6

- Ein Binärcode hat Zeichen mit zwei Stellen. a) Wie groß ist der Entscheidungsgehalt? b) Wie groß ist die Zahl der ausgenutzten Zeichen?
- Ein Binärcode hat acht Stellen. a) Wie groß ist H_0 ? b) Wie groß ist n ?
- Der 1-aus-10-Code hat zehn Binärstellen für eine Dezimalziffer. a) Wie groß ist der Entscheidungsgehalt der bildbaren Zeichen? b) Wie groß ist der Entscheidungsgehalt der verwerteten Zeichen? c) Wie groß ist die Redundanz?
- Beim Biquinär-Code (**Bild 1**) verwendet man für die zehn Dezimalzahlen einen siebenstelligen Binärcode. a) Berechnen Sie den Entscheidungsgehalt des Codes. b) Wie groß ist der Entscheidungsgehalt der ausgenutzten Zeichen? c) Wie groß ist die Redundanz?
- Der ASCII-Code (American Standard Code for Information Interchange) verwendet 7 Bits je Zeichen. Für das große und kleine Alphabet sind 52 Zeichen erforderlich. a) Wie groß ist die Redundanz? b) Wie groß ist die Redundanz bei Steuerzeichen, wenn im ASCII-Code hierfür 30 Zeichen verwendet werden?

Dezimal	Biquinär	Dezimal	Biquinär
0	0000101	5	0010010
1	0000110	6	0100001
2	0001001	7	0100010
3	0001010	8	1000001
4	0010001	9	1000010

Bild 1: Biquinär-Code

- Der erweiterte ASCII-Code (IBM-Code) verwendet 8 Bits je Zeichen. a) Wie groß ist der Entscheidungsgehalt? b) Welche Redundanz hat der Code, wenn die Zahl der ausgenutzten Zeichen 253 beträgt?
- Ein Binärcode hat eine Redundanz von 3 Sh. Die Zahl der ausgenutzten Zeichen beträgt 32. a) Wie groß ist der Elementarvorrat? b) Wie groß ist der Entscheidungsgehalt des Codes?
- Bei einem Binärcode werden 60 Zeichen ausgenutzt. Die Redundanz wurde mit 5,91 Sh angegeben. a) Welche Stellenzahl je Zeichen hat der Code? b) Wie groß ist sein Entscheidungsgehalt?

19.7 Schaltkreis PAL 16RP8

Beim PAL 16RP8 im Bild 1 haben 16 Signale Zugang zum programmierbaren UND-Feld. Acht davon liegen an den Eingangspins 2 bis 9 an, die anderen sind die intern rückgekoppelten acht Ausgangssignale. Jeder Ausgang (Pin 12 bis 19) ist mit einem D-Kippglied als Register R und einem XOR-Glied als Polaritätsschalter P versehen. Die Bits an XOR 0 bis XOR 7 steuern die Polarität der Ausgangssignale. Man nennt sie Architekturbits, weil sie die Hardwarearchitektur verändern. Der PAL 16RP8 kann nur sequenziell arbeiten, deshalb muss an Pin 1 ein Taktsignal c angelegt werden.

Aufgaben zu 19.7

1. An welches Potenzial muss Pin 11 im Bild 1 gelegt werden, damit die Ausgänge freigegeben werden?
2. Mit welchem logischen Wert invertieren die Architekturbits an XOR(n) im Bild 1 den jeweiligen Ausgang?
3. a) Zeichnen Sie ein Zeitablaufdiagramm für die Signale an C, A und Z aus Bild 1, wenn der Tastgrad des Taktes 0,5 beträgt. b) Welche Schaltung liegt vor?
4. Entwickeln und skizzieren Sie die Schaltung eines synchronen Zählers von 0 bis 2 (modulo 3) mit den Ausgängen Q1 und Q0 von Bild 1 unter Verwendung des PAL. Tragen Sie die Signalwerte der notwendigen Architekturbits XOR in die Skizze mit ein. Hinweis: Es ist zu berücksichtigen, dass der PAL nach dem Einschalten der Betriebsspannung alle Ausgänge auf den Signalwert 1 legt (Power-Up-Reset).

Beispiel 1: Schaltung zeichnen

Zeichnen Sie die vereinfachte Digitalschaltung für die Funktion des Signals an Z, Pin 19, im Bild 1.

Lösung:

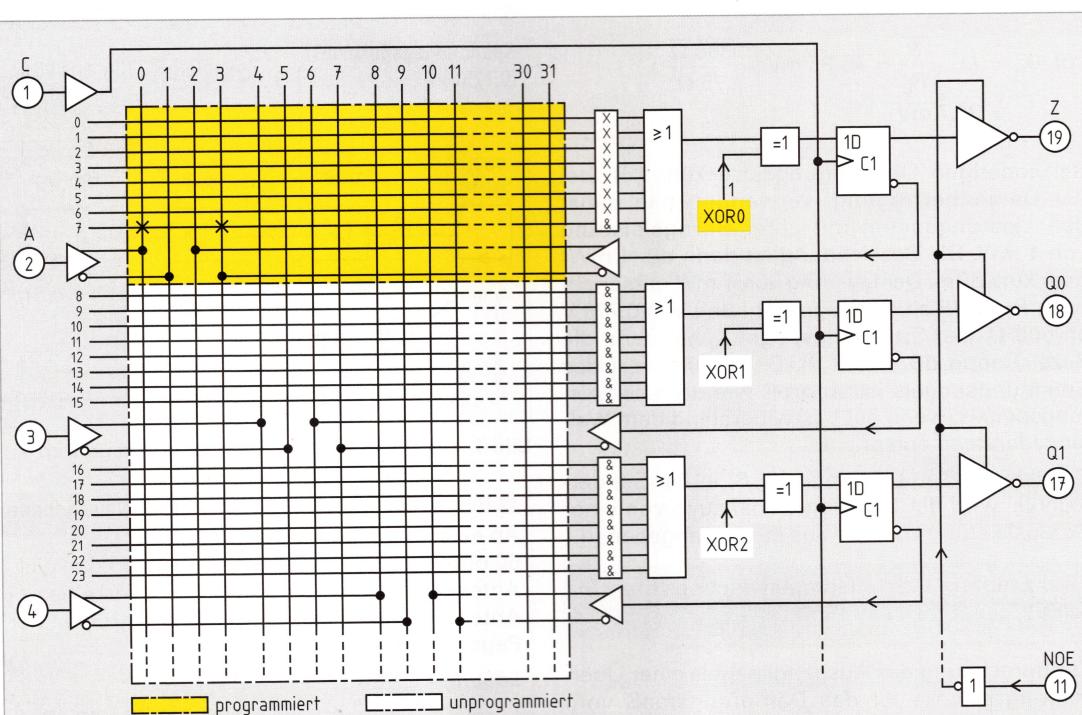
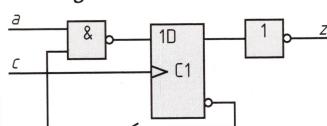


Bild 1: Teildarstellung der Architektur des PAL 16RP8 mit einem Programmierbeispiel

19.8 Verteilnetze

19.8.1 Pegelrechnung in HF-Verteilnetzen

Durch Pegel gibt man an, von welchem Bezugspunkt aus eine Dämpfung bzw. eine Verstärkung gemessen wird. Pegel sind Zahlenwerte ohne Einheit. Zur Kennzeichnung fügt man jedoch zusätzlich eine Bezeichnung bei, z.B. dB μ V. Bei Empfangsverteilanlagen, z.B. BK-Anlagen oder Antennenanlagen, verwendet man den *Spannungspegel* mit einer Bezugsspannung von 1 μ V an 75 Ω . Die Bezeichnung ist dann dB μ V oder dB (1 μ V) (**Tabelle 1**). Weicht der Widerstand vom Bezugswiderstand, z.B. 75 Ω , ab, so erfolgt die Umrechnung wegen der gleich bleibenden Leistung mit $P = U^2/R$.

Beispiel 1: Spannung und Pegel berechnen

Bei einer Antennenanlage ist der höchstzulässige Pegel 84 dB μ V. Wie groß ist die Spannung a) an 75 Ω , b) an 300 Ω ?

Lösung:

$$\begin{aligned} \text{a) } L_u &= 20 \cdot \lg \frac{U}{U_0} \text{ dB} \Rightarrow \frac{L_u}{20 \text{ dB}} = \lg \frac{U}{U_0} \\ &\Rightarrow 10^{\frac{L_u}{20 \text{ dB}}} = \frac{U}{U_0} \Rightarrow U = 10^{\frac{L_u}{20 \text{ dB}}} \cdot U_0 \\ &= 10^{84 \text{ dB}/20 \text{ dB}} \cdot 1 \mu\text{V} = \mathbf{15,85 \text{ mV}} \\ \text{b) } U_R &= U \cdot \sqrt{\frac{R}{R_B}} = 15,85 \text{ mV} \cdot \sqrt{\frac{300 \Omega}{75 \Omega}} \\ &= \mathbf{31,7 \text{ mV}} \end{aligned}$$

Bei sonstigen Übertragungsstrecken, z.B. bei der Datenübertragung, verwendet man meist den Leistungspegel mit einer Bezugsleistung von 1 mW. Die Bezeichnung ist dann dB (1 mW) oder kurz dBm. Der Leistung von 1 mW entspricht nach $P = U^2/R$ eine Bezugsspannung von 0,775 V an 600 Ω . Der Spannungspegel L_u hat dann die Bezeichnung dB (0,775 V). Der Zahlenwert des Spannungspegels ist so groß wie der des Leistungspegels, wenn der Lastwiderstand dem Wellenwiderstand entspricht.

Bei sehr großen Leistungen, z.B. in der Sendertechnik, wird der Leistungspegel auch von einer Bezugsleistung von 1 W aus in dBW angegeben.

Bei Empfangsverteilanlagen rechnet man in dB μ V, sonst meist in dBm.

Zur Berechnung des Ausgangspegels einer Übertragungsstrecke ist das Dämpfungsmaß vom Eingangspegel zu subtrahieren bzw. ein Verstärkungsmaß zu addieren (**Bild 1**).

$$U_R = U \cdot \sqrt{\frac{R}{R_B}}$$

$$L_u = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_0} \text{ dB}$$

$$L_{ue} = L_{uA} + G_u - A$$

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0} \text{ dB}$$

L_u Spannungspegel

U Messspannung am Bezugswiderstand

U_0 Bezugsspannung, z.B. 1 μ V am Bezugswiderstand von 75 Ω

U_R Spannung an R

R Lastwiderstand

R_B Bezugswiderstand

L_p Leistungspegel

P Messleistung

P_0 Bezugsleistung, z.B. 1 mW

L_{ue} Spannungspegel am Empfängereingang

L_{uA} Spannungspegel am Antennenausgang

G_u Spannungsverstärkungsmaß

A Dämpfungsmaß

Tabelle 1: Pegelangaben

Bezeichnung	Bezugsgröße
Leistungspegel in dBm	Leistung 1 mW
Leistungspegel in dBW	Leistung 1 W
Spannungspegel in dB μ V	Spannung 1 μ V an 75 Ω
Spannungspegel in dB (0,775V)	Spannung 0,775 V an 600 Ω

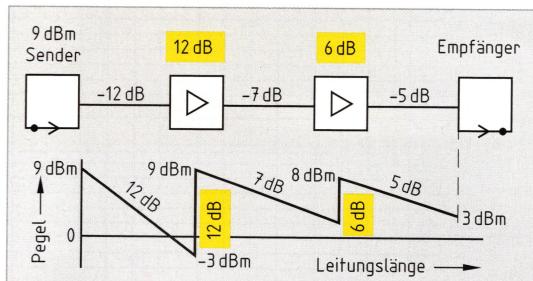


Bild 1: Übertragungsstrecke mit Pegeldiagramm

Beispiel 2: Empfängereingangspegel berechnen

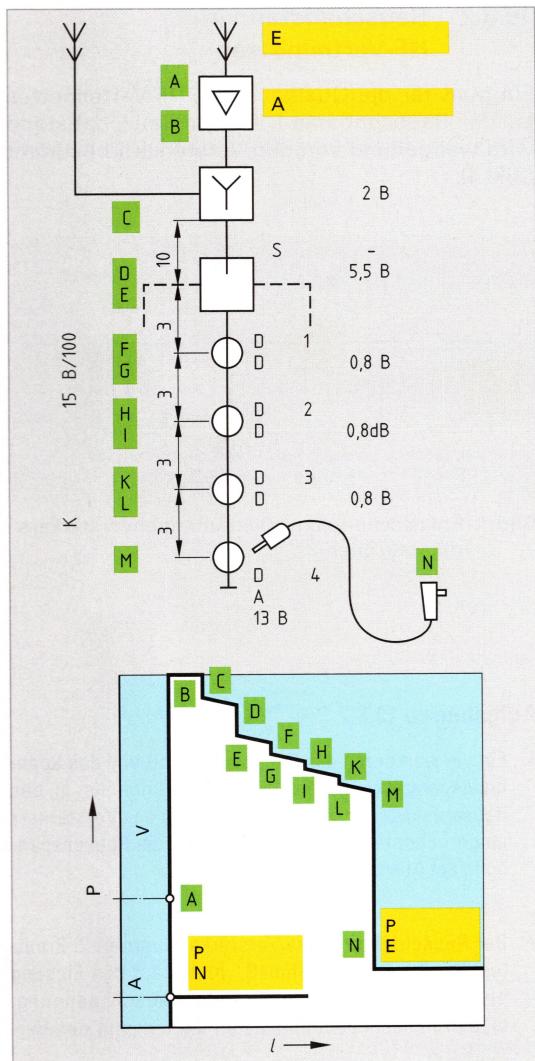
An einer Antenne wird ein Pegel von $L_{uA} = 60 \text{ dB}\mu\text{V}$ gemessen. Nachgeschaltet folgen ein Antennenverstärker mit $G_u = 42 \text{ dB}$ und eine Antennenleitung mit $A = 18 \text{ dB}$. Wie groß ist der Pegel L_{ue} am Empfängereingang?

Lösung:

$$\begin{aligned} L_{ue} &= L_{uA} + G_u - A = 60 \text{ dB}\mu\text{V} + 42 \text{ dB} - 18 \text{ dB} \\ &= \mathbf{84 \text{ dB}\mu\text{V}} \end{aligned}$$

Aufgaben zu 19.8.1

- Die Messung im Bereich FIII ergibt mit einer Testantenne an 75Ω einen Antennenspannungspegel von $60 \text{ dB}\mu\text{V}$. Die Niederföhrung bis zum Antenneneingang besteht aus 22 m Koaxialleitung mit einem Dämpfungskoeffizienten von $15 \text{ dB}/100 \text{ m}$ und einer Antennenweiche mit Dämpfung 2 dB . Berechnen Sie Pegel und Spannung am Empfängereingang (75Ω).
- Der Antennenspannungspegel einer Anlage für die Bänder IV und V wird mit einer Testantenne mit 5 dB Gewinn gemessen zu $61 \text{ dB}\mu\text{V}$. Die Anlagendämpfung beträgt 7 dB . a) Berechnen Sie den Empfängereingangspegel. b) Wie groß muss der Antennengewinn einer besseren Antenne sein, wenn der Mindestpegel am Empfängereingang $60 \text{ dB}\mu\text{V}$ betragen soll?
- Für ein Modem ist der Ausgangspegel angegeben zu -5 dBm . Wie groß sind am mit 600Ω belasteten Ausgang a) Leistung, b) Spannung?
- Ein Modem hat den Empfangspegel von 225 dBm und einen Eingangswiderstand von 600Ω . Wie groß sind a) Eingangsleistung, b) Eingangsspannung?
- Wie groß sind an der Stelle A von **Bild 1**, vorhergehende Seite, a) Pegel in dBm, b) Spannung an 600Ω ?
- Wie groß sind am Ende der Übertragungsstrecke von **Bild 1**, vorhergehende Seite, a) Pegel in dBm, b) Spannung an 600Ω ?
- Hinter einem Antennenverstärker wird mit einem Pegelmessgerät ein Signalspannungspegel von 3 dB ($0,775 \text{ V}$) gemessen. Berechnen Sie a) Signalspannung an 600Ω , b) Spannungspegel in $\text{dB}\mu\text{V}$.
- Am Empfängereingang ergibt eine Messung 4 dB ($0,775 \text{ V}$). Berechnen Sie a) Signalspannung an 600Ω , b) Spannungspegel in $\text{dB}\mu\text{V}$.
- Ein $\lambda/2$ -Dipol (Normaldipol) gibt an einem Aufstellungs-ort 2 mV an 75Ω ab. Berechnen Sie zu der dort geplanten Gemeinschaftsantennenanlage (GA-Anlage) **Bild 1** die Pegel in $\text{dB}\mu\text{V}$ an den Punkten A bis F bei günstigster Antennenstellung. Die verwendete Antenne hat einen Antennengewinn von 11 dB , der Antennenverstärker ein Spannungsverstärkungsmaß von 20 dB .
- Ein $\lambda/2$ -Dipol gibt an einem Aufstellungs-ort 3 mV an 75Ω ab. Berechnen Sie zu der dort geplanten GA-Anlage **Bild 1** die Pegel in $\text{dB}\mu\text{V}$ an den Punkten A, B, C, N bei günstiger Antennenrichtung. Die verwendete Antenne hat $G = 11 \text{ dB}$, der Verstärker $G_u = 18 \text{ dB}$.

**Bild 1:** GA-Anlage mit Durchschleifsystem

- Ermitteln Sie das erforderliche Spannungsverstärkungsmaß des Antennenverstärkers für die GA-Anlage **Bild 1**, damit an der am ungünstigsten gelegenen Steckdose der Mindestpegel von $57 \text{ dB}\mu\text{V}$ nicht unterschritten wird. Der Spannungspegel an der Richtantenne beträgt $72 \text{ dB}\mu\text{V}$.
- Ermitteln Sie, ob an der günstigst gelegenen Steckdose der GA-Anlage **Bild 1** der Höchstpegel von $84 \text{ dB}\mu\text{V}$ nicht überschritten wird, wenn der Spannungspegel an der Antenne $80 \text{ dB}\mu\text{V}$ beträgt und der Verstärker die Spannung um 16 dB verstärkt.



19.8.2 Rauschabstand in HF-Verteilnetzen

Ein Maß für die Qualität eines HF-Verteilnetzes ist der Rauschabstand. Dieser Rauschabstand wird weitgehend von den Verstärkern bestimmt (Bild 1).

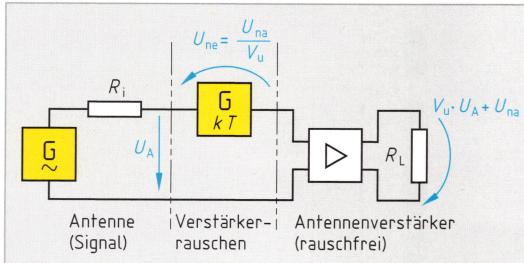


Bild 1: Ersatzschaltplan eines Antennenverstärkers mit Rauschen

$$A_n = 10 \cdot \lg F_n \text{ dB}$$

$$A_\sigma = L_u - L_{un}$$

$$A_\sigma \approx L_u - A_n - 3 \text{ dB}\mu\text{V}$$

$$U_{ne} \approx 1,4 \mu\text{V} \cdot \sqrt{F_n}$$

$$U_{na} = V_u \cdot U_{ne}$$

Die Näherungsformeln gelten für
 $B \approx 7 \text{ MHz}$ (TV), $T \approx 300 \text{ K}$ und $R \approx 75 \Omega$.

A_n	Rauschmaß des Verstärkers in dB
F_n	Rauschfaktor (Rauschzahl) des Verstärkers
A_σ	Rauschabstandsmaß in dB
L_u	Nutzspannungspegel am Eingang des Verstärkers in $\text{dB}\mu\text{V}$
L_{un}	Rauschspannungspegel am Eingang des Verstärkers in $\text{dB}\mu\text{V}$
U_{ne}	auf den Eingang des Verstärkers umgerechnete Rauschspannung
U_{na}	Rauschspannung am Ausgang des Verstärkers
V_u	Spannungsverstärkungsfaktor des Verstärkers

Aufgaben zu 19.8.2

- Ein Verstärker hat das Rauschmaß 8 dB und das Spannungsverstärkungsmaß 15 dB. Berechnen Sie a) den Rauschfaktor, b) die auf den Eingang des Verstärkers umgerechnete Rauschspannung, c) die Rauschspannung am Ausgang des Verstärkers.
- Der Rauschfaktor eines Verstärkers beträgt 2. Ermitteln Sie a) das Rauschmaß, b) die auf den Eingang des Verstärkers umgerechnete Rauschspannung, c) den Rauschspannungspegel am Eingang des Verstärkers.
- Das Rauschmaß eines Verstärkers hat 6 dB. Berechnen Sie a) F_n , b) A_σ , beim Nutzspannungspegel von 54 $\text{dB}\mu\text{V}$ am Eingang des Verstärkers.
- Der geforderte Rauschabstand in einem HF-Verteilnetz soll 40 dB betragen. Berechnen Sie a) A_n des Verstärkers, wenn $L_u = 53 \text{ dB}\mu\text{V}$ hat, b) Rauschfaktor F_n .
- An einem $\lambda/2$ -Dipol (Bezugsantenne) wird eine Spannung von 200 μV an 75Ω gemessen. Der Antennenverstärker hat $G_u = 16 \text{ dB}$ und $L_{un} = 10 \text{ dB}\mu\text{V}$. Die Dämpfung der Antennenanlage bis zum Empfänger beträgt 25 dB. Berechnen Sie a) Nutzspannungspegel an der Antenne, b) erforderlicher Nutzspannungspegel
- Bei einer Richtantenne wird in Vorzugsrichtung eine Spannung von 2 mV gemessen. Die Antenne hat ein Vor-Rück-Verhältnis von $G_{VR} = 18 \text{ dB}$. Nach der Antenne kommt ein Verstärker mit $L_{un} = 8 \text{ dB}\mu\text{V}$. Ermitteln Sie a) Nutzspannungspegel an der Antenne, b) A_σ für die Vorzugsrichtung, c) A_σ für gleich starke Sender aus entgegengesetzter Richtung, d) U_{ne} und F_n des Verstärkers.
- Für einen Frequenzumsetzer ist angegeben: Zulässiger Ausgangspegel 104 $\text{dB}\mu\text{V}$, Rauschen am Ausgang 26 $\text{dB}\mu\text{V}$. Berechnen Sie a) zulässige Ausgangsspannung an 75Ω , b) Rauschspannung am Ausgang (75Ω), c) Rauschabstandsmaß in dB.
- Für einen Frequenzumsetzer ist angegeben: Verstärkung 44 dB, zulässiger Ausgangspegel 117 $\text{dB}\mu\text{V}$, Rauschen am Ausgang 54 $\text{dB}\mu\text{V}$. Berechnen Sie für 75Ω a) zulässige Ausgangsspannung, b) Rauschspannung, c) Rauschabstandsmaß in dB.