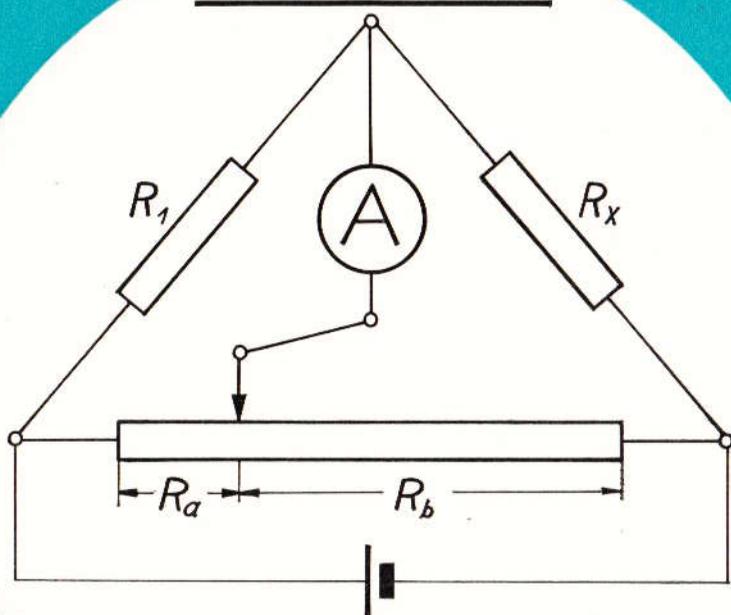


# Handbuch der Fernmeldetechnik

- Buchreihe AFt -



$$R_a \cdot R_x = R_1 \cdot R_b$$

**Band B 6**

(Teil 1)

Beispiele und Aufgaben  
aus der Fernmeldetechnik

# Handbuch der Fernmeldetechnik

— Buchreihe AFt —

17

wichtige Lehr- und Lernwerke für den Lehrl; auch für den Handwerker F und den Fernmeldehandwerker zur Vorbereitung auf die Grundlehrgänge Ft 1 und 2 gut geeignet!

- Band A 1** — **Allgemeine Berufskunde**  
Weg und Ziel der Ausbildung — Lehrvertrag — Fernmeldehandwerkerprüfung — Tarifvertrag — Gesetze und Verordnungen des Fernmeldewesens
- Band A 2** — **Allgemeine Berufskunde**  
Allgemeines über den Staatsaufbau — Aufgaben und Gliederung der DBP — Sozialeinrichtungen bei der DBP — Musterausarbeitungen und Musterthemen
- Band B 1** — **Grundkenntnisse der Mathematik und Physik**  
Erklärung der Grundgrößen der Physik — Buchstabenrechnen — Lösen von Gleichungen — Umstellen von Formeln
- Band B 2** — **Fachzeichnen in der Fernmeldetechnik**  
(mit Beiheft) Technisches Zeichnen — Stromlaufzeichnen — Planunterlagen und Zeichnen in der Linientechnik
- Band B 3** — **Gleichstromlehre**  
Wesen der Elektrizität — Größen, Einheiten und Gesetze im Gleichstromkreis — Wirkungen des elektrischen Stromes — Arten der Spannungserzeugung — Elektrisches Feld — Kondensator
- Band B 4** — **Wechselstromlehre**  
(2 Teile) Dauermagnetismus — Elektromagnetismus — Fremdinduktion — Selbstinduktion — Entstehung des Wechselstromes — Wechselstromwiderstände — Stromversorgungsanlagen — Vorgänge auf elektrischen Leitungen — Elektronenröhren
- Band B 5** — **Meßgeräte und Meßschaltungen**  
Meßtechnik und Meßübungen — Entstörungs- und Prüftechnik
- Band B 6** — **Beispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik**  
(2 Teile) Übungsbeispiele und Aufgabensammlung aus der Physik und der Gleich- und Wechselstromlehre — Berechnen elektrischer Größen in Schaltungen der Fernmeldetechnik

— Weitere Lehrbücher siehe 3. und 4. Umschlagseite —

# Handbuch der Fernmeldetechnik

— Buchreihe AFt —

Herausgegeben mit Unterstützung  
des Bundesministers für das Post- und Fernmeldewesen

**Band B 6**

(Teil 1)

## Beispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik

Übungsbeispiele und Aufgabensammlung aus der Physik  
und der Gleich- und Wechselstromlehre;  
Berechnen elektrischer Größen in Schaltungen der Fernmeldetechnik

2., verbesserte und erweiterte Auflage

Deutsche Postgewerkschaft — Hauptvorstand — Verlag  
6 Frankfurt 1 – Savignystraße 43

## Vorwort

Die siebzehn Bände des „Handbuchs der Fernmeldetechnik — Buchreihe AFt —“ sollen

1. den Fernmeldelehrlingen während der Lehrzeit ein ständiger Begleiter sein und ihnen eine umfassende und gute Prüfungsvorbereitung ermöglichen,
2. den Fernmeldearbeitern bei der Vorbereitung auf die Prüfung nach dem Tarifvertrag, § 10, behilflich sein,
3. den Handwerkern aus artverwandten Berufen aufzeigen, welches Fachwissen erforderlich ist, um genausoviel zu wissen wie die Lehrlinge am Ende ihrer Lehrzeit,
4. den Fernmeldehandwerkern die Möglichkeit geben, ihr Wissen aufzufrischen und es auf den neuesten Stand der Fernmeldetechnik zu bringen und
5. eine ausreichende Vorbereitung auf den Lehrstoff der dienstlichen Grundlehrgänge gewährleisten.

In der Fernmeldehandwerkerprüfung sowie in den Grundlehrgängen Ft 1 und 2 müssen neben den praktischen Fertigkeiten auch die theoretischen Fachkenntnisse über die Fernmeldetechnik vorhanden sein. Das gleiche gilt hinsichtlich der Kenntnisse in dem wichtigen Prüfungsfach „Allgemeine Berufskunde“ sowie in bezug auf die Grundkenntnisse über die für das Fernmeldewesen wichtigen Gesetze und Verordnungen wie FAG, TWG und FeO. Einer der Bände allein kann dem Leser dieses umfangreiche Wissen nicht vermitteln; alle siebzehn Bände zusammen (vgl. hierzu die Angaben auf der 2. und 3. Umschlagseite) enthalten jedoch das Fachwissen, das sich der Leser im Interesse des Prüfungserfolges und seines weiteren Aufstiegs aneignen muß. In dem „Handbuch der Fernmeldetechnik“ ist nur der unbedingt notwendige Lehrstoff in einfachster Form behandelt worden. Die Verfasser erheben nicht den Anspruch, daß die Bände alle Vorschriften und technischen Einzelheiten sowie das in der Praxis selten oder gar nicht Vorkommende enthalten. Ihnen ging es vielmehr darum, eine

### Fibel

**für den Fernmeldelehrling,  
für den Fernmeldearbeiter,  
für den Handwerker aus artverwandten Berufen und  
für den Fernmeldehandwerker**

zu schaffen, die der gestellten Aufgabe ohne unnötigen Ballast im Interesse der Leser gerecht wird.

Stand: Herbst 1970

Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Einführung</b> .....	7
<b>2. Allgemeine Rechenregeln</b>	
2.1. Formelumstellen .....	9
2.1.1. Aufgaben .....	11
2.2. Zehnerpotenzen .....	12
2.2.1. Aufgaben .....	13
2.3. Winkelfunktionen .....	13
2.3.1. Aufgaben .....	15
2.4. Stabrechnen .....	16
2.4.1. Aufgaben .....	20
<b>3. Physikalische Grundlagen</b>	
3.1. Rauminhalt und Gewicht .....	20
3.1.1. Kreisumfang .....	20
3.1.2. Fläche .....	21
3.1.3. Rauminhalt .....	22
3.1.4. Gewicht .....	23
3.1.5. Umrechnungsfaktoren .....	24
3.1.6. Aufgaben .....	25
3.2. Kräfte .....	27
3.2.1. Kräfte in gleicher Richtung .....	28
3.2.2. Kräfte in entgegengesetzter Richtung .....	29
3.2.3. Kräfte rechtwinklig zueinander gerichtet .....	29
3.2.4. Kräfte in beliebiger Richtung .....	30
3.2.5. Aufgaben .....	31
3.3. Bewegung .....	33
3.3.1. Geschwindigkeit .....	33
3.3.2. Umfangsgeschwindigkeit .....	34
3.3.3. Umrechnungsfaktoren .....	35
3.3.4. Aufgaben .....	35
3.4. Arbeit und Leistung .....	36
3.4.1. Mechanische Arbeit .....	36
3.4.2. Schiefe Ebene .....	37
3.4.3. Mechanische Leistung .....	38
3.4.4. Wirkungsgrad .....	39
3.4.5. Umrechnungsfaktoren .....	40
3.4.6. Aufgaben .....	40
3.5. Wärme .....	42
3.5.1. Wärmemenge .....	42
3.5.2. Längenausdehnung .....	43
3.5.3. Aufgaben .....	44
<b>4. Grundlagen des Gleichstromkreises</b>	
4.1. Ohmsches Gesetz .....	46
4.2. Leitwert .....	47
4.3. Reihenschaltung von Widerständen .....	47
4.3.1. Spannungsaufteilung .....	49
4.3.2. Spannungsverhältnis .....	50
4.3.3. Spannungsmesser .....	50

	Seite
4.4. Parallelschaltung von Widerständen .....	52
4.4.1. Stromverzweigung .....	54
4.4.2. Stromverhältnis .....	55
4.4.3. Strommesser .....	56
4.5. Elektromotorische Kraft und Klemmenspannung .....	57
4.6. Umrechnungsfaktoren .....	58
4.7. Aufgaben .....	59
<b>5. Leiterwiderstand</b>	
5.1. Stromdichte .....	67
5.2. Widerstand und Temperatur .....	67
5.3. Aufgaben .....	68
<b>6. Widerstandsgruppenschaltung</b>	
6.1. Parallelschaltung mit Vorwiderstand .....	76
6.2. Reihenschaltung mit Parallelwiderstand .....	77
6.3. Parallelschaltung von Reihenwiderständen .....	78
6.4. Reihenschaltung von Parallelwiderständen .....	79
6.5. Brückenschaltung .....	80
6.6. Ergänzungsschaltung .....	81
6.7. Leitungs- und Isolationswiderstand .....	82
6.8. Stromkreis mit mehreren Spannungsquellen .....	83
6.9. Belasteter Spannungsteiler .....	83
6.10. Aufgaben .....	84
<b>7. Elektrische Strömung</b>	
7.1. Elektrische Leistung .....	94
7.2. Elektrische Arbeit .....	95
7.3. Wirkungsgrad .....	95
7.4. Umrechnungsfaktoren .....	96
7.5. Aufgaben .....	97
<b>8. Magnetismus</b>	
8.1. Magnetische Durchflutung .....	101
8.2. Magnetische Feldstärke .....	102
8.2.1. Spule mit Lufthohlraum .....	102
8.2.2. Spule mit geschlossenem Eisenkern .....	103
8.2.3. Eisenkern mit Luftspalt .....	104
8.3. Magnetische Flußdichte .....	105
8.3.1. Spule mit Lufthohlraum .....	105
8.3.2. Spule mit geschlossenem Eisenkern .....	105
8.3.3. Eisenkern mit Luftspalt .....	106
8.4. Magnetischer Fluß .....	107
8.5. Magnetischer Widerstand .....	107
8.6. Ohmsches Gesetz des magnetischen Kreises .....	108
8.7. Magnetische Kraftwirkung .....	109
8.8. Umrechnungsfaktoren .....	110
8.9. Aufgaben .....	111

	Seite
<b>9. Spannungserzeugung</b>	
9.1. Bewegungsspannung .....	117
9.2. Transformationsspannung .....	118
9.3. Wechselstromgrößen .....	119
9.3.1. Frequenz .....	119
9.3.2. Kreisfrequenz .....	120
9.3.3. Periodendauer .....	121
9.3.4. Wellenlänge .....	121
9.3.5. Augenblickswert .....	122
9.3.6. Effektivwert .....	122
9.4. Induktivität .....	123
9.5. Zeitkonstante .....	124
9.6. Schaltung von Induktivitäten .....	125
9.6.1. Reihenschaltung .....	125
9.6.2. Parallelschaltung .....	125
9.7. Aufgaben .....	126
<b>10. Elektrisches Feld</b>	
10.1. Elektrische Feldstärke .....	134
10.2. Kapazität .....	134
10.3. Elektrizitätsmenge .....	135
10.4. Verschiebungsdichte .....	136
10.5. Elektrisches Potential .....	137
10.6. Zeitkonstante .....	137
10.7. Schaltung von Kapazitäten .....	138
10.7.1. Reihenschaltung .....	138
10.7.2. Parallelschaltung .....	139
10.8. Umrechnungsfaktoren .....	140
10.9. Aufgaben .....	140
Anhang 1: Werkstoffeigenschaften – Leiter .....	148
Anhang 2: Werkstoffeigenschaften – Isolierstoffe .....	149
Internationale Normenreihe	
Anhang 3: Magnetisierungskurven .....	150
Anhang 4: Tabelle der Sinus-, Cosinus- und Tangenswerte .....	151

# 1. Einführung

Das „Handbuch der Fernmeldetechnik – Buchreihe AFt“ enthält den Lehrstoff, der dem Fernmeldelehrling während seiner Lehrzeit vermittelt wird. Im Rahmen dieser Buchreihe kommt dem zweiteiligen Band B 6 – **Beispiele und Aufgaben aus der Fernmeldetechnik** – besondere Bedeutung zu.

Jeder Lehrbeamte weiß, wie wichtig das Fachrechnen bei der Lehrlingsausbildung und der sich daran anschließenden weiterführenden Ausbildung ist. Immer wieder bereitet es dem Lernenden Schwierigkeiten, eingekleidete Fachrechenaufgaben schnell und sicher zu lösen. Hier Abhilfe zu schaffen und dem Leser die Kenntnisse zu vermitteln, die er im Unterricht, bei Prüfungen und in der Praxis zum Lösen dieser Aufgaben benötigt, ist Sinn und Zweck dieses Bandes.

Die beiden Teile des Bandes B 6 ergänzen sich und bilden ein Ganzes. Beim Aufbau und bei der Gliederung sind die Ausbildungsordnungen für den fernmeldetechnischen Dienst, insbesondere die für die Fernmeldelehrlinge bei der DBP, weitgehend berücksichtigt worden. Im Teil 1 werden die physikalischen Grundlagen, der Gleichstromkreis, der Magnetismus und das elektrische Feld behandelt. Im Teil 2 folgen dann der Wechselstromkreis, die chemischen Wirkungen des Stroms sowie Anwendungsbeispiele aus den verschiedenen Fachbereichen der Fernmeldetechnik. Zur allgemeinen Einführung und zur Wiederholung werden die fachbezogenen allgemeinen Rechenregeln in einem besonderen Abschnitt des Teiles 1 behandelt.

Der jeweilige Lehrstoff wird zunächst in jedem Abschnitt hinsichtlich der Begriffsbestimmungen, der Formelzeichen und der Größen- und Einheitengleichungen kurz wiederholt. Anhand eines sich hieran anschließenden Übungsbeispiels werden sodann der Ansatz und der vollständige Rechengang ausführlich aufgezeigt. Aufgrund dieses Beispiels ist der Leser dann in der Lage, die nachfolgenden Aufgaben in diesem Abschnitt selbst zu lösen beziehungsweise die Ergebnisse herauszufinden.

Sämtliche Aufgaben sind dem praktischen Fernmeldebetrieb entnommen und in einen fachgerechten Text eingekleidet. Auf die Verwendung verschiedener Einheitengrößen wurde besonderer Wert gelegt; bevorzugt wurden die Einheiten des MKSA-Systems verwendet. Auf Rechenaufgaben, die nicht zum eigentlichen Bereich der Fernmeldetechnik gehören, ist bewußt verzichtet worden.

Wenn der Leser für das Lösen von Aufgaben physikalische und elektrische Zahlengrößen benötigt, so können diese Werte den Anhängen am Ende des Teiles 1 entnommen werden.

## 2. Allgemeine Rechenregeln

Der Lösungsgang einer Rechenaufgabe soll folgerichtig, klar und übersichtlich niedergeschrieben werden; er soll so übersichtlich gestaltet sein, daß er von dem Nachrechnenden ohne große Mühe gelesen und verstanden werden kann. Um dieses Ziel zu erreichen, werden nachstehend einige Rechenregeln aufgestellt. Zur Vermeidung von Denk-, Schreib- und Rechenfehlern wird empfohlen, diese Regeln bei allen Fachrechenaufgaben möglichst genau zu beachten.

1. Den Aufgabentext sorgfältig durchlesen, bevor mit der Lösung begonnen wird!
2. Den Lösungsgang stets mit folgender Unterteilung beginnen:  
Gegeben:            Gesucht:            Lösung:
3. Für jeden Lösungsgang möglichst eine Zeichnung oder ein Schaltbild anfertigen!
4. Für den Lösungsgang den richtigen Ansatz aufstellen!  
Müssen für Nebenrechnungen weitere Nebenansätze aufgestellt werden, so ist es oftmals zweckmäßig, die Größengleichungen für die Nebenansätze etwas ( $\infty 1$  cm) nach rechts einzurücken.
5. Für Zeichnungen, Schaltbilder, Bruchstriche, Wurzeldächer und Unterstreichungen stets ein Lineal benutzen!
6. Den Ansatz (Größengleichung) nach der gesuchten Größe umstellen!  
Größengleichungen und Schaltbilder stehen stets auf der linken Seite des Schreibblattes; Einheitengleichungen und Ausrechnungen stehen auf der rechten Seite des Schreibblattes.
7. In die umgestellte Größengleichung die gegebenen Zahlenwerte einsetzen!
8. Beim Zahleneinsatz stets auf die Einheiten der verwendeten Rechengrößen achten!  
Bei umfangreichen Größengleichungen die Einheitengleichungen aufstellen!
9. Machen Sie vor jeder Ausrechnung zuerst eine Überschlagsrechnung!
10. Die Multiplikationen, die Divisionen, die Additionen, die Subtraktionen und die Quadratwurzeln der eingesetzten Zahlenwerte ausrechnen! Die Ausrechnungen für die Zahlenwerte werden auf der rechten Seite des Schreibblattes ausgeführt.

11. Die Rechengenauigkeit ist in den meisten Fällen dann ausreichend, wenn die Zahlenwerte bis zu vier Stellen, außer den Nullen in Verbindung mit einem Komma, ausgerechnet werden. Mit Hilfe der vierten ausgerechneten Ziffer wird das Ergebnis auf- oder abgerundet.

Z. B. Zahlenwert ausgerechnet bis 2,466, aufgerundet auf 2,47; ausgerechnet bis 0,002464, abgerundet auf 0,00246; ausgerechnet bis 0,002088, aufgerundet auf 0,00209.

12. Machen Sie nach Möglichkeit die Rechenprobe!
13. Das Ergebnis der Ausrechnung auf der linken Seite des Schreibblattes niederschreiben!

Ergebnisse von Hauptrechnungen, d. h. von gesuchten Größen, werden doppelt, Ergebnisse von Nebenrechnungen, d. h. von Zwischenergebnissen, nach denen in der Aufgabe nicht besonders gefragt ist, werden einmal unterstrichen.

14. Die Ergebnisse von Hauptrechnungen in einem kurzen Satz erläutern!

Die Anwendung dieser allgemeinen Rechenregeln ist aus den nachstehenden Übungsbeispielen zu ersehen.

### 2.1. Formelumstellen

Beim Umstellen von Größengleichungen nach der gesuchten Größe muß stets die Unbekannte freigestellt werden. Hiernach muß die unbekannte Größe mit positivem Vorzeichen auf der linken Gleichungsseite alleine als Zähler (über dem Bruchstrich) stehen.

Beim Freistellen der gesuchten Größe müssen folgende Rechenregeln beachtet werden:

- a) Ist die Unbekannte durch eine Strichrechnung mit anderen Größen verbunden, dann wird sie mit umgekehrter Strichrechnung freigestellt.

Beispiel

$$\begin{array}{ll}
 I = I_1 + I_2 & \text{umzustellen nach } I_2 = ? \\
 I - I_1 = I_1 + I_2 - I_1 & \text{Auf beiden Gleichungsseiten wird } I_1 \text{ abgezogen, weil} \\
 I - I_1 = I_2 + 0 & I_1 - I_1 = 0 \text{ ist.} \\
 & I_2 = \underline{\underline{I - I_1}}
 \end{array}$$

- b) Ist die Unbekannte durch eine Punktrechnung mit anderen Größen verbunden, dann wird sie mit umgekehrter Punktrechnung freigestellt.

Beispiel

$$U = I \cdot R$$

umzustellen nach  $R = ?$

$$\frac{U}{I} = \frac{I \cdot R}{I}$$

Beide Gleichungsseiten werden durch  $I$  geteilt, weil  $I : I = 1$  ist.

$$\frac{U}{I} = 1 \cdot R$$

$$R = \frac{U}{I}$$

- c) Ist die Unbekannte durch eine Potenzrechnung mit anderen Größen verbunden, dann wird sie nach Freistellung von den Größen mit Strich- und Punktrechnung mit umgekehrter Potenzrechnung freigestellt.

Beispiel

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

umzustellen nach  $d = ?$

$$A \cdot 4 = d^2 \cdot \pi$$

$$\frac{A \cdot 4}{\pi} = d^2$$

Auf beiden Gleichungsseiten wird die Quadratwurzel gezogen, weil  $d = d$  ist.

$$\sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = d$$

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}$$

- d) Ist die Unbekannte durch Strich- und Punktrechnung mit anderen Größen verbunden, dann wird sie zuerst von der Strich- und danach von der Punktrechnung freigestellt.

Beispiel

$$E = U + I \cdot R_1$$

umzustellen nach  $I = ?$

$$E - U = I \cdot R_1$$

Auf beiden Seiten wird  $U$  abgezogen, weil  $U - U = 0$  ist.

$$\frac{E - U}{R_1} = I \cdot \frac{R_1}{R_1} = \frac{E - U}{R_1}$$

Beide Gleichungsseiten werden durch  $R_1$  geteilt, weil  $R_1 : R_1 = 1$  ist.

- e) Steht die Unbekannte im Nenner, und enthält die Gleichung mehrere Einzelbrüche, dann wird die im Nenner stehende Unbekannte zuerst freigestellt und die Einzelbrüche werden gleichnamig gemacht. Danach wird die gesuchte Größe in den Zähler gebracht.

Beispiel

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

umzustellen nach  $R_2 = ?$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R} - \frac{1}{R_1}$$

Auf beiden Gleichungsseiten wird  $\frac{1}{R_1}$  abgezogen.

$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R} \cdot \frac{R_1}{R_1} - \frac{1}{R_1} \cdot \frac{R}{R}$  Die Einzelbrüche werden derart erweitert, daß sich ihr Wert nicht ändert, der Hauptnenner (Produkt der Einzelnenner  $R_1 \cdot R$ ) aber erreicht wird.

$$R_1 : R_1 = R : R = 1$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{R_1}{R \cdot R_1} - \frac{R}{R_1 \cdot R}$$

Man erhält zwei Einzelbrüche mit gleichem Nenner.  $R_1 \cdot R = R \cdot R_1$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{R_1 - R}{R_1 \cdot R}$$

Brüche mit gleichem Nenner können auf einen gemeinsamen Bruchstrich gebracht werden.

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R}{R_1 - R}$$

Stehen auf beiden Gleichungsseiten Brüche mit durchgehendem Bruchstrich, dann kann man auf beiden Seiten Zähler und Nenner vertauschen.

Für das Freistellen von gesuchten Größen wird auf beiden Gleichungsseiten stets derselbe Rechnungsgang durchgeführt.

### 2.1.1. Aufgaben

1.  $R = R_1 + R_2 + R_3$      $R_1 = ?$      $R_2 = ?$      $R_3 = ?$

2.  $R = \frac{l \cdot \varrho}{A}$      $A = ?$      $l = ?$      $\varrho = ?$

3.  $U = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2$      $I_1 = ?$      $R_2 = ?$

4.  $R_2 = R_1 \cdot [1 + a \cdot (t_2 - t_1)]$      $R_1 = ?$      $t_1 = ?$

5.  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$      $R_1 = ?$      $R_2 = ?$      $R = ?$

6.  $I = \frac{n \cdot E}{\frac{n}{p} \cdot R_1 + R_a}$      $R_a = ?$      $n = ?$      $p = ?$

7.  $F = \left[ \frac{B}{5000} \right]^2 \cdot A$      $A = ?$      $B = ?$

8.  $A = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d_2^2 \cdot \pi}{4}$      $d_1 = ?$      $d_2 = ?$

9.  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$      $R = ?$      $X = ?$

10.  $\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}}$      $Z = ?$      $R = ?$      $X = ?$

11.  $Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}}$      $R = ?$      $X = ?$

## 2.2. Zehnerpotenzen

Bei den Zehnerpotenzen gibt eine positive Hochzahl die Anzahl der Nullen hinter der Eins und eine negative Hochzahl die Stellung der Eins hinter dem Komma an.

$$10^4 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = \underline{\underline{10000}} \quad 400 = 4 \cdot 100 = \underline{\underline{4 \cdot 10^2}}$$

$$10^{-3} = \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10} = \frac{1}{1000} = \underline{\underline{0,001}} \quad 0,04 = 4 \cdot 0,01 = \underline{\underline{4 \cdot 10^{-2}}}$$

a) Zehnerpotenzzahlen werden miteinander **malgenommen**, indem man die Hochzahlen zusammenzählt.

$$4000 \cdot 0,018 = 4 \cdot 10^3 \cdot 1,8 \cdot 10^{-2} = 7,2 \cdot 10^{3-2} = 7,2 \cdot 10 = \underline{\underline{72}}$$

b) Zehnerpotenzzahlen werden **geteilt**, indem man die Hochzahlen voneinander abzieht.

$$\frac{4000}{0,018} = \frac{4 \cdot 10^3}{1,8 \cdot 10^{-2}} = \frac{4}{1,8} \cdot 10^{3-(-2)} = 2,22 \cdot 10^{3+2} = \underline{\underline{2,22 \cdot 10^5}}$$

c) Zehnerpotenzzahlen werden **quadriert**, indem man die Hochzahl mit zwei malnimmt.

$$4000^2 = 4^2 \cdot 1000^2 = 4^2 \cdot (10^3)^2 = 4^2 \cdot 10^{3 \cdot 2} = 16 \cdot 10^6 = \underline{\underline{16000000}}$$

d) Aus Zehnerpotenzzahlen wird die **Quadratwurzel gezogen**, indem man die Hochzahl durch zwei teilt.

$$\sqrt{4000} = \sqrt{40 \cdot 10^2} = 10^1 \cdot \sqrt{40} = 10 \cdot 6,32 = \underline{\underline{63,2}}$$

Beispiele

$$\frac{43500 \cdot 0,000624}{12} = \frac{4,35 \cdot 6,24}{12} \cdot 10^4 \cdot 10^{-4} = \frac{4,35 \cdot 6,24}{12} = \underline{\underline{2,26}}$$

$$\frac{1200^2 + 800^2}{24000} = \frac{12^2 \cdot 10^4 + 8^2 \cdot 10^4}{24 \cdot 10^3} = \frac{10^4 \cdot (12^2 + 8^2)}{10^3 \cdot 24}$$

$$= 10^{4-3} \cdot \frac{144 + 64}{24} = 10^1 \cdot \frac{208}{24} = 10 \cdot 8,67 = \underline{\underline{86,7}}$$

$$\sqrt{\frac{0,004^2 + 0,016^2}{0,000006^2}} = \sqrt{\frac{4^2 \cdot 10^{-6} + 16^2 \cdot 10^{-6}}{6^2 \cdot 10^{-12}}} = \sqrt{\frac{10^{-6} \cdot (4^2 + 16^2)}{10^{-12} \cdot 6^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{10^{-6+12} \cdot (16 + 256)}{36}} = \sqrt{\frac{10^6 \cdot 272}{36}} = 10^3 \cdot \sqrt{\frac{272}{36}} = 10^3 \cdot \sqrt{7,56}$$

$$= 10^3 \cdot 2,75 = \underline{\underline{2750}}$$

### 2.2.1. Aufgaben

1.  $824000 \cdot 0,044 \cdot 0,02$

2.  $\frac{6000 \cdot 0,0048 \cdot 13}{840}$

3.  $\frac{(84000 + 3200) \cdot 2000}{1200 + 4000}$

4.  $\frac{(0,00034 + 0,00256) \cdot 600}{0,0048 - 0,003}$

5.  $4200^2 \cdot 0,0039^2$

6.  $\frac{0,054^2 \cdot 0,06^2}{0,002^2}$

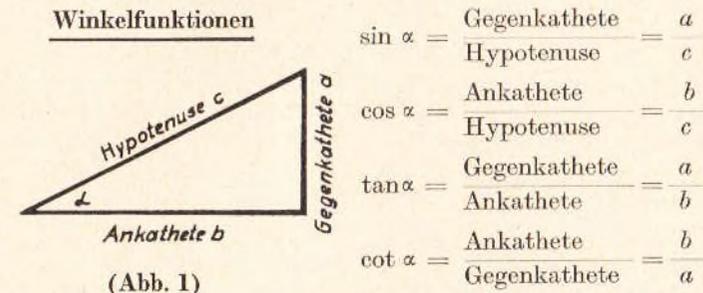
7.  $\sqrt{8000 \cdot 0,018 \cdot 200}$

8.  $\sqrt{\frac{4000^2 + 900^2}{660000}}$

9.  $\sqrt{\frac{(0,04^2 + 0,03^2) \cdot 6400^2}{400^2}}$

## 2.3. Winkelfunktionen

Die Winkelfunktionen sind die Quotienten der Seitenverhältnisse eines rechtwinkligen Dreiecks.



Die **Gegenkathete** liegt dem betrachteten Winkel gegenüber; die **Ankathete** ist ein Schenkel des betrachteten Winkels.

Beispiel

Von zwei Wechselströmen verschiedener Phasenlage betragen  $I_1 = 40 \text{ mA}$ ,  $\varphi_1 = +45^\circ$  und  $I_2 = 30 \text{ mA}$ ,  $\varphi_2 = -30^\circ$ .

Wie groß sind der Gesamtstrom  $I$  und der Phasenwinkel  $\varphi$ ?

Gegeben:  $I_1 = 40 \text{ mA}$ ,  $\varphi_1 = +45^\circ$ ,  $I_2 = 30 \text{ mA}$ ,  $\varphi_2 = -30^\circ$

Gesucht:  $I$

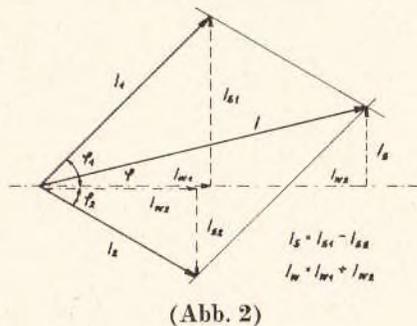
Lösung:

Zeichnerische Lösung

$10 \text{ mA} \cong 1 \text{ cm}$      $I_1 = 40 \text{ mA} \cong 4 \text{ cm}$

$I_2 = 30 \text{ mA} \cong 3 \text{ cm}$

Man wählt einen Maßstab, der der verfügbaren Zeichenfläche und der Ablesegenauigkeit gerecht wird.

Stromparallelogramm

Die Ströme werden nach Größe und Phasenlage an einer Waagerechten aufgetragen. Durch parallelverschiebung der Einzelströme wird das Strom-Parallelogramm gebildet: Die Stromzeiger werden so weit parallel verschoben, bis die Parallele durch die Zeigerspitze des anderen Teilstroms verläuft. Der Schnittpunkt der Parallelen ergibt die Zeigerspitze für den Gesamtstrom.

$$I = 5,6 \text{ cm} = \underline{\underline{56 \text{ mA}}}$$

$$\varphi = \underline{\underline{14^\circ}} \text{ (mit Winkelmesser)}$$

Rechnerische Lösung

Die beiden Teilströme  $I_1$  und  $I_2$  werden in waagrecht gerichtete Teile  $I_{w1}$  und  $I_{w2}$  und in senkrecht gerichtete Teile  $I_{s1}$  und  $I_{s2}$  zerlegt.  $I_{w1}$  und  $I_{w2}$  sind gleichgerichtet,  $I_{s1}$  und  $I_{s2}$  sind entgegengesetzt gerichtet.

Nach Tabelle:

$$\sin \varphi_1 = \sin 45^\circ = 0,707 \quad \cos \varphi_1 = \cos 45^\circ = 0,707$$

$$\sin \varphi_2 = \sin 30^\circ = 0,5 \quad \cos \varphi_2 = \cos 30^\circ = 0,866$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{I_{w1}}{I_1} \quad I_{w1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 40 \cdot 0,707 = \underline{\underline{28,3 \text{ mA}}}$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{I_{s1}}{I_1} \quad I_{s1} = I_1 \cdot \sin \varphi_1 = 40 \cdot 0,707 = \underline{\underline{28,3 \text{ mA}}}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{I_{w2}}{I_2} \quad I_{w2} = I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 30 \cdot 0,866 = \underline{\underline{26,0 \text{ mA}}}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{I_{s2}}{I_2} \quad I_{s2} = I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 30 \cdot 0,5 = \underline{\underline{15,0 \text{ mA}}}$$

$$I_w = I_{w1} + I_{w2} = 28,3 + 26,0 = \underline{\underline{54,3 \text{ mA}}}$$

$$I_s = I_{s1} - I_{s2} = 28,3 - 15,0 = \underline{\underline{13,3 \text{ mA}}}$$

$$\tan \varphi = \frac{I_s}{I_w} = \frac{13,3}{54,3} = \underline{\underline{0,245}}$$

Nach Tabelle:

$$\tan \varphi = 0,245; \quad \varphi = \underline{\underline{13^\circ 50'}} \quad \cos \varphi = \cos 13^\circ 50' = \underline{\underline{0,971}}$$

$$\cos \varphi = \frac{I_w}{I} \quad I = \frac{I_w}{\cos \varphi} = \frac{54,3}{0,971} = \underline{\underline{55,9 \text{ mA}}}$$

$$\text{Rechenprobe: } I = \sqrt{I_w^2 + I_s^2} = \sqrt{54,3^2 + 13,3^2} = \sqrt{3125} = \underline{\underline{55,9 \text{ mA}}}$$

Der Gesamtstrom ist  $I = 55,9 \text{ mA}$ , der Phasenwinkel beträgt  $\varphi = 13^\circ 50'$ .

2.3.1. Aufgaben

- Ein Ankerseil greift in Höhe von  $h = 7,80 \text{ m}$  an einem Fernmelde-mast an. Der Abstand zwischen der Mastmitte und dem Ankerseil im Erdboden beträgt  $a = 2,45 \text{ m}$ . Wie lang ist das Ankerseil oberhalb des Erdbodens und wie groß ist der Spitzenwinkel zwischen Mast und Seil?
- Wie groß sind die drei Winkel des sogenannten „Maurerdreiecks“ von  $a = 3 \text{ m}$ ,  $b = 4 \text{ m}$  und  $c = 5 \text{ m}$ ?
- Über einen quadratischen Hof ist von Ecke zu Ecke eine Fernmeldeleitung gespannt, deren geradlinige Führung  $l = 18,6 \text{ m}$  beträgt. Aus Sicherheitsgründen soll die Leitung entlang der rechtwinklig verlaufenden Außenwände neu verlegt werden. Wieviel m Kabel werden hierfür benötigt?
- Der Verlauf einer Kabeltrasse macht einen Knick von  $\alpha = 7^\circ$ , um die das Kabel von der vorherigen geradlinigen Führung abweicht. Die Abweichung soll mit Hilfe der Tangenten dieses Winkels aufgezeichnet werden. Wie lang sind die beiden Tangenten, wenn die schräg verlaufende Kabelstrecke  $l = 135 \text{ m}$  beträgt?
- Zwei Kräfte greifen an einem Angriffspunkt nach rechts gerichtet an. Die Größe der einen Kraft ist  $F_1 = 70 \text{ kp}$ , ihr Angriffswinkel von der Waagerechten beträgt  $\alpha_1 = +24^\circ$ ; die zweite Kraft ist  $F_2 = 56 \text{ kp}$ , der Angriffswinkel zur Waagerechten beträgt  $\alpha_2 = -60^\circ$ . Wie groß sind Gesamtkraft und Angriffswinkel der Gesamtkraft?
- Eine Kabeltrasse verläuft zunächst geradlinig, dann knickt sie um  $12^\circ$  nach unten ab. Die geradlinig verlaufende Kabelstrecke ist  $l_1 = 500 \text{ m}$  lang; die nach dem Knickpunkt schräg verlaufende Strecke beträgt  $l_2 = 600 \text{ m}$ . Wie groß ist die Luftlinienentfernung zwischen dem Kabelanfang und dem Kabelende?
- In einem Wechselstromkreis fließen zwei zueinander phasenverschobene Ströme. Der Teilstrom  $I_1$  beträgt  $60 \text{ mA}$  bei einer Phasenverschiebung von  $\varphi_1 = +30^\circ$ ; der Teilstrom  $I_2$  beträgt  $80 \text{ mA}$  bei einem Phasenwinkel von  $\varphi_2 = 0^\circ$ .
  - Ermitteln Sie die Größe und die Richtung des Gesamtstromes zeichnerisch.  $1 \text{ mA} \underline{\underline{1 \text{ mm}}}$
  - Errechnen Sie die Größe und Richtung des Gesamtstromes mit Hilfe von Winkelfunktionen.

## 2.4. Stabrechnen

Jeder Rechenstab besteht aus einem **festen Stab** und einer daran entlangleitenden **Zunge**. Zur Erleichterung des Ablesens und des Einstellens von Zahlenwerten dient ein durchsichtiger **Läufer** mit dem Läuferstrich. Wegen der verschiedensten Ausführungsformen werden nur die grundsätzlichen Rechenarten behandelt. Neben den in der Abb. 3 dargestellten Zahlenreihen A, B, C und D weisen Rechenstäbe noch Zahlenreihen für Kubikzahlen (K) und in der Zungenmitte für Reziprokrechnungen (CI) auf. Die kürzeren Läuferstriche dienen für Kreisberechnungen sowie für Umrechnungen der Leistungswerte von Kilowatt in Pferdestärken.

Das praktische Rechnen des Fernmeldetechnikers besteht vorwiegend aus einer geeigneten Verbindung von Stab- und Tabellenrechnen.

Jede Zahlenrechnung beginnt mit einer Überschlagsrechnung.

**Beispiele:**

$$31,4 \cdot 192 \approx 30 \cdot 200 \approx \underline{\underline{6000}}$$

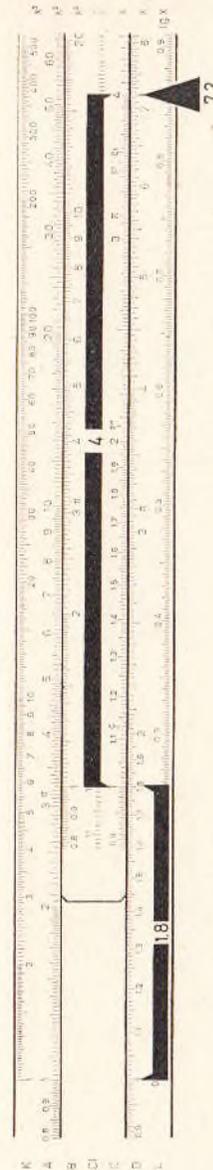
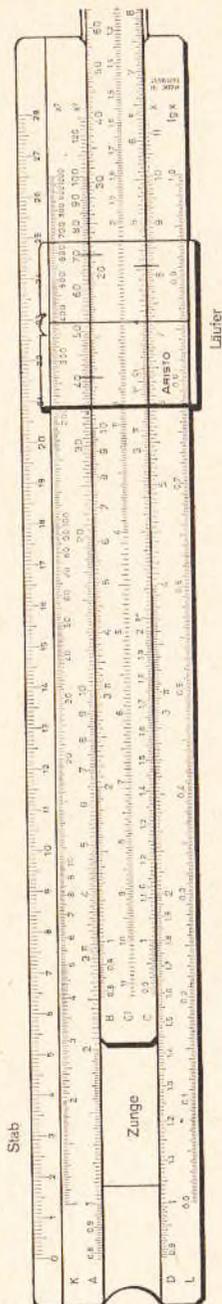
$$\frac{3,14}{192} \approx \frac{3}{200} \approx \frac{3}{2} \cdot 10^{-2} \approx 1,5 \cdot 10^{-2} \approx \underline{\underline{0,015}}$$

Beim Einstellen von Zahlenwerten mit Hilfe der Zunge oder des Läuferstrichs zählt man nicht 0,015 (Null Komma Null Eins Fünf), sondern 1-5 (Eins-Fünf). Die Stellenzahl des Ergebnisses wird danach durch Überschlagsrechnung ermittelt.

Beim Stabrechnen soll die Zunge möglichst wenig bewegt werden. Zu diesem Zweck bedient man sich weitgehend der Reziprokrechnung mit Hilfe der Zahlenreihe CI.

**Rechenstab**

(Abb. 3)



### a) Malnehmen

Malgenommen wird mit den Zahlenreihen C und D. Man nimmt zwei Zahlenwerte miteinander mal, indem man die Zahlenwertstrecken des Stabs und der Zunge **zusammenzählt** (Abb. 4).

**Beispiel:**  $1,8 \cdot 4,0 = \underline{\underline{7,2}}$

**Einstellung:**

1. Die Zunge, Zahlenreihe C, Ziffer 1, wird auf den Stab, Zahlenreihe D, Faktor 1,8, eingestellt.
2. Der Läuferstrich wird auf die Zunge, Zahlenreihe C, Faktor 4,0, eingestellt.
3. Ablesen über den Läuferstrich auf dem Stab, Zahlenreihe D; Ergebnis 7,2.

### Malnehmen – reziprok

Für das reziproke Malnehmen verwendet man die Zahlenreihen D und CI. Man nimmt zwei Zahlenwerte miteinander reziprok mal, indem man die Zahlenwertstrecken des Stabs und der Zunge zusammenzählt.

**Beispiel:**  $1,8 \cdot 4 = \underline{\underline{7,2}}$

**Einstellung:**

1. Der Läuferstrich wird auf den Stab, Zahlenreihe D, Faktor 1,8, eingestellt.
2. Die Zunge, Zahlenreihe CI, Faktor 4, wird auf den eingestellten Läuferstrich eingestellt.
3. Der Läuferstrich wird auf die Zunge, Zahlenreihe CI, Ziffer 1, eingestellt.
4. Ablesen über Läuferstrich auf dem Stab, Zahlenreihe D; Ergebnis 7,2.

### Stabrechnen – Malnehmen

(Abb. 4)



**b) Teilen**

Geteilt wird mit den Zahlenreihen C und D. Man teilt einen Zahlenwert durch einen anderen Zahlenwert, indem man die Zahlenwertstrecke der Zunge von der des Stabes **abzieht** (Abb. 5).

**Beispiel:**  $7,2 : 4 = \underline{\underline{1,8}}$

**Einstellung:**

1. Läuferstrich wird auf den Stab, Zahlenreihe D, Dividend 7,2, eingestellt.
2. Die Zunge, Zahlenreihe C, Divisor 4,0, wird auf den Läuferstrich eingestellt.
3. Der Läuferstrich wird auf die Zunge, Zahlenreihe C, Ziffer 1, eingestellt.
4. Ablesen über Läuferstrich auf dem Stab, Zahlenreihe D; Ergebnis 1,8.

**Teilen – reziprok**

Für das reziproke Teilen verwendet man die Zahlenreihen D und CI. Man teilt einen Zahlenwert durch einen anderen, indem man die Zahlenwertstrecke der Zunge von der des Stabes abzieht.

**Beispiel:**  $7,2 : 4 = \underline{\underline{1,8}}$

**Einstellung:**

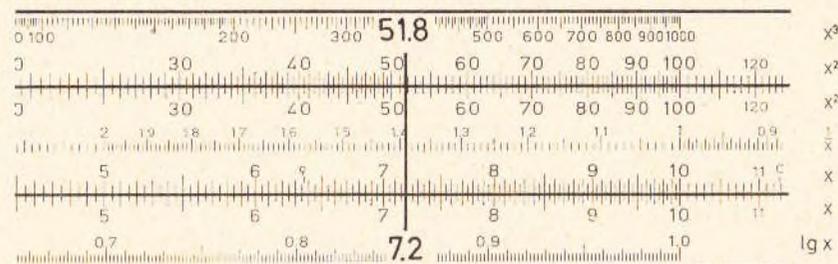
1. Der Läuferstrich wird auf den Stab, Zahlenreihe D, Dividend 7,2, eingestellt.
2. Die Zunge, Zahlenreihe CI, Ziffer 1, wird auf den eingestellten Läuferstrich eingestellt.
3. Der Läuferstrich wird auf die Zunge, Zahlenreihe CI, Divisor 4,0, verschoben.
4. Ablesen über Läuferstrich auf dem Stab, Zahlenreihe D; Ergebnis 1,8.

**Stabrechnen – Teilen**

(Abb. 5)

**c) Quadratwurzel**

**Stabrechnen – Quadratwurzel**



(Abb. 6)

Quadratwurzeln werden gezogen mit den Zahlenreihen A und D.

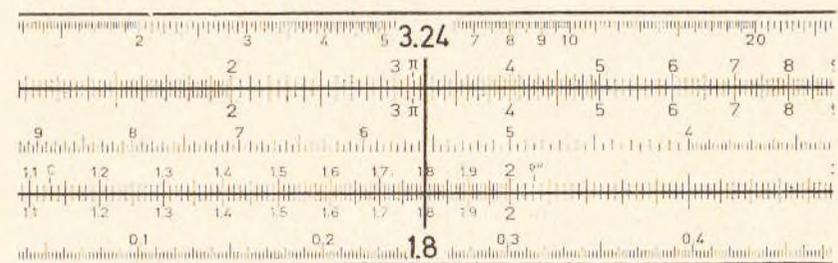
**Beispiel:**  $\sqrt{51,8} = \underline{\underline{7,2}}$

**Einstellung:**

1. Der Läuferstrich wird auf den Stab, Zahlenreihe A, Radiant 51,8, eingestellt.
2. Ablesen über Läuferstrich auf dem Stab, Zahlenreihe D; Ergebnis 7,2.

**d) Quadrieren**

**Stabrechnen – Quadrieren**



(Abb. 7)

Quadriert wird mit den Zahlenreihen D und A.

**Beispiel:**  $1,8^2 = \underline{\underline{3,24}}$

**Einstellung:**

1. Der Läuferstrich wird auf den Stab, Zahlenreihe D, Basis 1,8, eingestellt.
2. Ablesen über Läuferstrich auf dem Stab, Zahlenreihe A; Ergebnis 3,24.

Beispiel:

$$R = \frac{240 \cdot 0,018}{16} \quad \text{Überschlag: } \frac{2,4 \cdot 1,8}{16} \approx \underline{\underline{0,25}}$$

Einstellung:

1. Der Läuferstrich wird auf den Stab, Zahlenreihe D, Faktor 240, eingestellt.
2. Die Zunge, Zahlenreihe CI, Faktor 0,018, wird auf den eingestellten Läuferstrich eingestellt.
3. Der Läuferstrich wird auf die Zunge, Zahlenreihe CI, Divisor 16, eingestellt.
4. Ablesen über Läuferstrich auf dem Stab, Zahlenreihe D, Ergebnis 0,27.

### 2.4.1. Aufgaben

- |                                |                              |   |  |
|--------------------------------|------------------------------|---|--|
| 1. $28,2 \cdot 6,78$           | $2456 \cdot 0,0075$          | $0,0012 \cdot 48,6$                           | $3600 \cdot 12500$                     |
| 2. $28,2 : 6,78$               | $2456 : 0,0075$              | $0,0012 : 48,6$                               | $3600 : 12500$                         |
| 3. $\frac{26,7 \cdot 0,81}{4}$ | $\frac{2680 \cdot 84}{0,05}$ | $\frac{242 \cdot 0,018}{174}$                 | $\frac{0,004 \cdot 64}{0,5 \cdot 0,2}$ |
| 4. $\sqrt{47,6}$               | $\sqrt{25940}$               | $\sqrt{0,0856}$                               | $\sqrt{0,00462}$                       |
| 5. $28,2^2$                    | $26900^2$                    | $0,0487^2$                                    | $0,0021^2$                             |
| 6. $\frac{12^2 \cdot \pi}{4}$  | $\frac{0,6^2 \cdot \pi}{4}$  | $\left(\frac{9400}{5000}\right)^2 \cdot 1,44$ | $5000 \cdot \sqrt{\frac{0,60}{0,81}}$  |

## 3. Physikalische Grundlagen

Für das Fachrechnen werden physikalische Größen verwendet, bei denen man unterscheidet nach:

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Länge	$l, a, b, c$	Meter	m

Die Einheiten werden stets der jeweiligen Aufgabenstellung angepaßt; z. B. für Längenangabe in mm, cm, m oder km.

### 3.1. Rauminhalt und Gewicht

#### 3.1.1. Kreisumfang

Der Kreisumfang ist das Produkt aus dem Durchmesser und der Zahl  $\pi$ .

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Kreisumfang	$U$	Meter	m

### Größengleichung

$$U = d \cdot \pi m$$

$U$  = Kreisumfang in m  
 $d$  = Kreisdurchmesser in m

### Einheitengleichung

$\pi = 3,14$ , Einheit 1

$m = m \cdot 1$

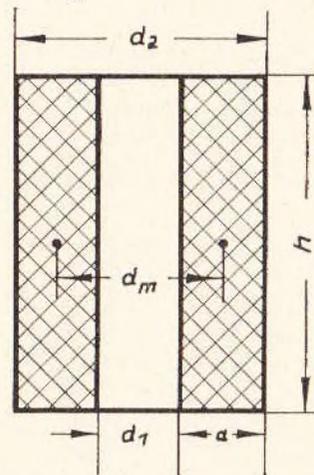
### Übungsbeispiel

Von einer Relaispule werden folgende Werte gemessen: Innendurchmesser der Kupferspule  $d_1 = 12$  mm, Außendurchmesser  $d_2 = 44$  mm, Wickelhöhe der Spulenwindungen  $h = 96$  mm. Der Außendurchmesser des lackisolierten Kupferdrahts ist  $d = 0,8$  mm (Abb. 8). Wie lang ist der Spulendraht?

Gegeben:  $d_1 = 12$  mm,  $d_2 = 44$  mm,  $h = 96$  mm,  $d = 0,8$  mm

Gesucht:  $l$

Lösung:



(Abb. 8)

$$a = \frac{d_2 - d_1}{2} = \frac{44 - 12}{2} = 16 \text{ mm}$$

$$N_w = \frac{a}{d} = \frac{16}{0,8} = 20 \quad \text{Anzahl der Windungslagen}$$

$$N_s = \frac{h}{d} = \frac{96}{0,8} = 120 \quad \text{Anzahl der Windungen pro Lage}$$

$$N = N_w \cdot N_s = 20 \cdot 120 = 2400 \text{ Windg.}$$

$$d_m = \frac{d_2 + d_1}{2} = \frac{44 + 12}{2} = 28 \text{ mm}$$

$$l = d_m \cdot \pi \cdot N = 0,028 \text{ m} \cdot \pi \cdot 2400$$

$$l = \underline{\underline{211 \text{ m}}}$$

Die Drahtlänge der Relaispule beträgt  $l = 211$  m.

#### 3.1.2. Fläche

Die Fläche ist das Produkt aus Länge und Breite.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Fläche	$A$	Quadratmeter	$m^2$

### Größengleichungen

$$A = a \cdot b \text{ m}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \text{ m}^2$$

### Einheitengleichungen

$$m^2 = m \cdot m$$

$$m^2 = \frac{m^2 \cdot 1}{1}$$

$A$  = Fläche, Kreisfläche,  
Querschnitt in  $\text{m}^2$

$b$  = Breite in m

$d$  = Kreisdurchmesser in m

$a$  = Länge in m

$\pi$  = 3,14, Einheit 1

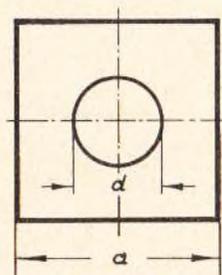
### Übungsbeispiel

Die Abmessungen eines Kühlblechs für einen Leistungstransistor sind: Kantenlänge  $a = 2,5$  cm, Durchmesser der Leitungsdurchführung  $d = 1$  cm. Nach längerem Betrieb stellt sich heraus, daß die Kühlfläche zu klein ist; sie soll daher verdoppelt werden. Wie groß ist die Kantenlänge des Kühlblechs von doppelter Kühlfläche und gleich großer Leitungsdurchführung (Abb. 9)?

Gegeben:  $a = 2,5$  cm,  $d = 1$  cm

Gesucht:  $a_1$

Lösung:



(Abb. 9)

$$A = A_1 - A_2 = a^2 - \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = 2,5^2 - \frac{1^2 \cdot \pi}{4} = 5,565 \text{ cm}^2 \quad \text{einfache Kühlfläche}$$

$$A_d = 2 \cdot A = 2 \cdot 5,565 = 11,13 \text{ cm}^2 \quad \text{doppelte Kühlfläche}$$

$$A_g = A_d + A_2 = 11,13 + \frac{1^2 \cdot \pi}{4} = 11,92 \text{ cm}^2$$

$$a_1 = \sqrt{A_g} = \sqrt{11,92} = 3,45 \text{ cm}$$

Die Kantenlänge des vergrößerten Kühlblechs beträgt  $a_1 = 3,45$  cm.

### 3.1.3. Rauminhalt

Der Rauminhalt ist das Produkt aus der Grundfläche und Höhe.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Rauminhalt	$V$	Kubikmeter	$\text{m}^3$

#### Größengleichung

$$V = A \cdot h \text{ m}^3$$

$V$  = Rauminhalt in  $\text{m}^3$

$A$  = Grundfläche in  $\text{m}^2$

#### Einheitengleichung

$$\text{m}^3 = \text{m}^2 \cdot \text{m}$$

$h$  = Höhe in m

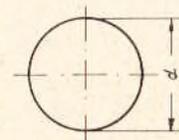
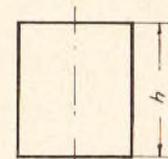
### Übungsbeispiel

Der Durchmesser eines runden Wasserbehälters beträgt  $d = 1,5$  m, die Höhe des Wasserbehälters ist  $h = 1,2$  m (Abb. 10). Wieviel Liter Wasser faßt der Wasserbehälter?

Gegeben:  $d = 1,5$  m,  $h = 1,2$  m

Gesucht:  $V$  in  $\text{dm}^3$

Lösung:



(Abb. 10)

$$V = A \cdot h$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = \frac{1,5^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = 1,77 \text{ m}^2$$

$$V = 1,77 \cdot 1,2$$

$$V = 2,124 \text{ m}^3$$

$$V = \underline{\underline{2124 \text{ dm}^3}}$$

Der Wasserbehälter faßt  $V = 2124$  Liter.

### 3.1.4. Gewicht

Das Gewicht ist das Produkt aus dem Rauminhalt und der Wichte.

Begriff	Formelzeichen	Einheit <sup>1)</sup>	Kurzzeichen der Einheit
Gewicht	$G$	Kilopond	kp

#### Größengleichung

$G$  = Gewicht in kp

$$G = V \cdot \gamma \text{ kp}$$

$V$  = Rauminhalt in  $\text{dm}^3$

$\gamma$  = Wichte in  $\text{kp}/\text{dm}^3$

#### Einheitengleichung

$$\text{kp} = \text{dm}^3 \cdot \frac{\text{kp}}{\text{dm}^3}$$

<sup>1)</sup> Nach dem Meter-Kilogramm-Sekunde-System ist die Einheit der Gewichtskraft das Newton (gesprochen: njuton); Kurzzeichen N.

$$1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N} \quad 1 \text{ N} = 102 \text{ p}$$

In Handel und Wirtschaft wird das Gewicht weiterhin in Kilogramm, Kurzzeichen kg, angegeben.

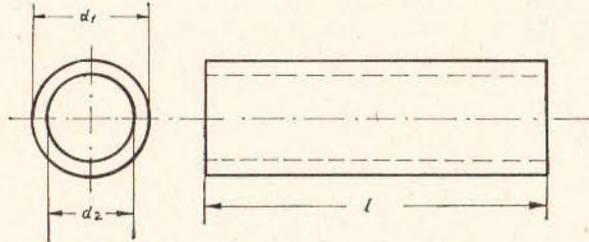
## Übungsbeispiel

Ein Stahlrohr ist  $l = 4,80$  m lang. Der äußere Durchmesser beträgt  $d_1 = 20,5$  mm, der innere Durchmesser ist  $d_2 = 13,0$  mm (Abb. 11). Wie schwer ist das Stahlrohr?

Gegeben:  $l = 4,80$  m,  $d_1 = 20,5$  mm,  $d_2 = 13,0$  mm,  $\gamma = 7,85 \frac{\text{kp}^1}{\text{dm}^3}$

Gesucht:  $G$

Lösung:



(Abb. 11)

$$A = A_1 - A_2 = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d_2^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = \frac{20,5^2 \cdot \pi}{4} - \frac{13^2 \cdot \pi}{4} = 330 - 133 = 197 \text{ mm}^2 = \underline{1,97 \text{ cm}^2}$$

$$V = A \cdot l = 1,97 \cdot 480 = 946 \text{ cm}^3 = \underline{0,946 \text{ dm}^3}$$

$$G = V \cdot \gamma = 0,946 \cdot 7,85 = \underline{7,43 \text{ kp}}$$

Das Gewicht des Stahlrohrs beträgt  $G = 7,43$  kp.

## 3.1.5. Umrechnungsfaktoren

Länge	mm	cm	dm	m	km
1 mm =	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$
1 cm =	10	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-5}$
1 dm =	$10^2$	10	1	$10^{-1}$	$10^{-4}$
1 m =	$10^3$	$10^2$	10	1	$10^{-3}$
1 km =	$10^6$	$10^5$	$10^4$	$10^3$	1

<sup>1)</sup> Die Werte für das spezifische Gewicht werden der Tabelle (Anhang 1) am Schluß dieses Bandes entnommen.

Fläche	mm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	dm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>
1 mm <sup>2</sup> =	1	$10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$10^{-12}$
1 cm <sup>2</sup> =	$10^2$	1	$10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-10}$
1 dm <sup>2</sup> =	$10^4$	$10^2$	1	$10^{-2}$	$10^{-8}$
1 m <sup>2</sup> =	$10^6$	$10^4$	$10^2$	1	$10^{-6}$
1 km <sup>2</sup> =	$10^{12}$	$10^{10}$	$10^8$	$10^6$	1

Rauminhalt	mm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1 mm <sup>3</sup> =	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$
1 cm <sup>3</sup> =	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$
1 dm <sup>3</sup> =	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$
1 m <sup>3</sup> =	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1

Kraft	mp	p	kp	Mp	N
1 mp =	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$9,81 \cdot 10^{-6}$
1 p =	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$9,81 \cdot 10^{-3}$
1 kp =	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$	9,81
1 Mp =	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1	$9,81 \cdot 10^3$
1 N =	$102 \cdot 10^3$	102	$102 \cdot 10^{-3}$	$102 \cdot 10^{-6}$	1

## 3.1.6. Aufgaben

1. Berechnen Sie:

- $l = 18 \text{ cm} + 24 \text{ dm} - 0,6 \text{ m} + 0,0048 \text{ km}$  in mm
- $A = 360 \text{ mm}^2 + 2,4 \text{ cm}^2 - 0,054 \text{ dm}^2 + 0,006 \text{ m}^2$  in cm<sup>2</sup>
- $V = 40,8 \text{ cm}^3 + 1,6 \text{ dm}^3 + 0,000722 \text{ m}^3$  in cm<sup>3</sup>
- $G = 54800 \text{ mp} + 73 \text{ p} + 0,64 \text{ kp} + 0,0012 \text{ Mp}$  in kp

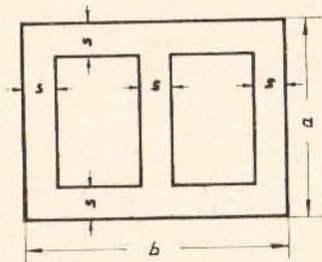
- Von einer Schaltdrahtrolle werden der äußere Durchmesser von  $d_1 = 28$  cm und der innere Durchmesser von  $d_2 = 18$  cm gemessen. Die Zahl der Drahtwindungen beträgt  $N = 72$ . Wieviel Meter Schaltdraht befinden sich auf der Rolle?
- Von einem Rundspulenkörper betragen der äußere Durchmesser  $d_2 = 38$  mm und der innere Durchmesser  $d_1 = 14$  mm. Der Außendurchmesser des lackisolierten Kupferdrahts ist  $d = 0,24$  mm. Die Wicklungshöhe beträgt  $h = 120$  mm (Abb. 8). Wie lang ist der Spulendraht?

4. Berechnen Sie für nachstehende Rundspulen die Drahtlänge.

$d_1$ mm	$d_2$ mm	$h$ mm	$d$ mm	$l$ m
a) 8	24	48	0,4	
b) 16	34,8	72	0,2	
c) 12	36	108	1,2	
d) 10	34	76	0,2	

5. Der Kernquerschnitt eines Flachrelais hat die Abmessungen  $a = 4$  mm und  $b = 9$  mm. Auf diesen Kern soll eine Kurzschlußwicklung aus blankem Kupferdraht von  $d = 0,6$  mm gewickelt werden. Die Kurzschlußwicklung liegt unmittelbar auf dem Eisenkern und hat  $N = 10$  Windungen. Wie lang ist der benötigte Kupferdraht?

6.



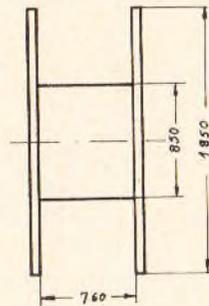
(Abb. 12)

Von dem Übertragerblech nach Abb. 12 betragen:  $a = 40$  mm,  $b = 80$  mm,  $s = 10$  mm. Für den Kern des Übertragers werden  $n = 12$  Bleche benötigt.

- Wie groß ist die Fläche des Übertragerblechs?
- Wieviel Übertragerblech wird für den Kern benötigt?
- Wie groß ist der Verschnitt in v.H.?

7. Aus einem Bronzestück von  $a = 30$  cm,  $b = 45$  cm und  $h = 15$  cm soll ein Bronzedraht von  $d = 3$  mm Durchmesser gezogen werden. Wie lang wird der gezogene Bronzedraht?

8. Eine Kabeltrommel hat nebenstehende Abmessungen. Das aufzuwickelnde Kabel hat einen Außendurchmesser von  $d = 40$  mm. Das Kabel wird Lage an Lage ohne Zwischenräume aufgewickelt (Abb. 13). Wieviel m Kabel kann die Kabeltrommel höchstens aufnehmen?



(Abb. 13)

9. Für eine Kabeltrasse sollen 2 vierzügige Kabelkanalformsteine übereinanderliegend verlegt werden. Hierfür beträgt die Grabentiefe  $h = 90$  cm und die Grabenbreite  $b = 90$  cm. Die Länge des Kabelgrabens ist  $l = 150$  m. Wie groß ist der Bodenaushub in  $m^3$ ?

10. Ein dreizügiger Kabelkanalformstein hat die äußeren Abmessungen: Breite  $b = 38$  cm, Höhe  $h = 15$  cm und Länge  $l = 1,0$  m. Die lichte Weite der Züge ist  $d = 100$  mm. Wie schwer ist ein dreizügiger Kabelkanalformstein?

11. Das Gewicht von Kabelkanalrohren aus Hart-PVC  $110$  mm  $\times$   $3,2$  mm beträgt  $1,48$  kp pro laufende Meter; ein Rohr ist  $l = 12$  m lang.

- Wie schwer sind 50 PVC-Rohre?
- Wie groß ist das spezifische Gewicht von Hart-PVC?

12. Ein Fernmeldemast der Nenngröße  $9 \times 17$  hat einen Zopfdurchmesser von  $d_1 = 12$  cm; der Durchmesser am Fußende beträgt  $d_2 = 19$  cm. Die Länge des Mastes beträgt  $l = 9$  m. Wie schwer ist der Fernmeldemast?

13. Berechnen Sie für nachstehende Fernmeldemasten die fehlenden Werte:

$d_1$ cm	$d_2$ cm	$l$ m	$V$ $m^3$	$G$ kp
a) 12	17	6		
b) 12	19		0,183	
c) 15		9	0,256	
d)	20	9		108

14. Wie schwer ist ein konisch zulaufender Stahlstift, dessen Länge  $l = 60$  mm und die Enddurchmesser  $d_1 = 4$  mm und  $d_2 = 6$  mm betragen?

15. Ein hohler Betonmast ist  $l = 11,20$  m lang. Die äußeren Durchmesser betragen: oben  $d_1 = 120$  mm, unten  $d_2 = 230$  mm. Die Stärke der Betonwandung ist  $s = 60$  mm. Die Stahlarmierung macht 10 v.H. des Rauminhalts der Betonwandung aus. Wie schwer ist der Mast?

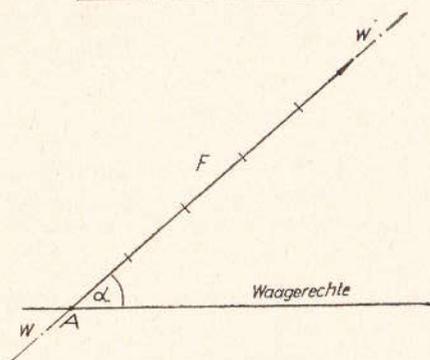
### 3.2. Kräfte

Durch eine Kraft können **Verformung** und **Bewegung** hervorgerufen werden. Sie wird bestimmt durch die **Richtung** und **Größe**. Die Größe einer Kraft wird durch eine Zahl mit zugehöriger Einheit oder zeichne-

risch durch einen Pfeil angegeben, dessen Länge der Größe der Kraft entspricht. Die Richtung der Kraft wird durch Angabe des Angriffswinkels oder zeichnerisch durch die Pfeilrichtung angegeben.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Kraft	$F$	Kilopond	kp

**Darstellung einer Kraft**



(Abb. 14)

- $F$  = Größe der Kraft  
z.B. 1 kp  $\triangleq$  1 cm
- $\alpha$  = Richtungswinkel
- $A$  = Angriffspunkt der Kraft
- $W$  = Wirkungslinie der Kraft

**3.2.1. Kräfte in gleicher Richtung**

**Größengleichung**

$$F = F_1 + F_2 \text{ kp}$$

$F$  = Gesamtkraft in kp

$F_1$  = Einzelkraft in kp

**Einheitengleichung**

$F_2$  = Einzelkraft in kp

kp = kp + kp

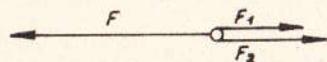
**Übungsbeispiel**

An einem Fernmeldemast greifen zwei Leitungszugkräfte von  $F_1 = 35$  kp und  $F_2 = 45$  kp in gleicher Richtung an. Der Fernmeldemast wird von einem Anker im Gleichgewicht gehalten (Abb. 15). Wie groß ist die Gegenkraft, die vom Anker in waagerechter Richtung aufgebracht werden muß?

Gegeben:  $F_1 = 35$  kp,  $F_2 = 45$  kp

Gesucht:  $F$

Lösung:



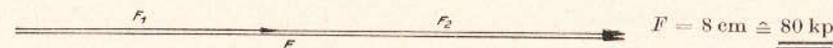
(Abb. 15)

Rechnerische Lösung:

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 35 + 45 = \underline{\underline{80 \text{ kp}}}$$

Zeichnerische Lösung:  $F_1 = 35 \text{ kp} \triangleq 3,5 \text{ cm}$      $F_2 = 45 \text{ kp} \triangleq 4,5 \text{ cm}$



(Abb. 16)

Die waagrecht gerichtete Gegenkraft des Ankers beträgt  $F = 80$  kp.

**3.2.2. Kräfte in entgegengesetzter Richtung**

**Größengleichung**

$$F = F_1 - F_2 \text{ kp}$$

**Einheitengleichung**

kp = kp - kp

**Übungsbeispiel**

An einem Fernmeldemast greifen zwei Leitungszugkräfte von  $F_1 = 45$  kp und  $F_2 = 35$  kp in entgegengesetzter Richtung an. Der Fernmeldemast wird von einem Anker im Gleichgewicht gehalten (Abb. 17). Wie groß ist die Gegenkraft, die vom Anker in waagerechter Richtung aufgebracht werden muß?

Gegeben:  $F_1 = 45$  kp,  $F_2 = 35$  kp

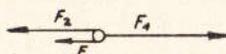
Gesucht:  $F$

Lösung:

Rechnerische Lösung:

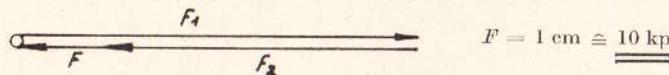
$$F = F_1 - F_2$$

$$F = 45 - 35 = \underline{\underline{10 \text{ kp}}}$$



(Abb. 17)

Zeichnerische Lösung:  $F_1 = 45 \text{ kp} \triangleq 4,5 \text{ cm}$      $F_2 = 35 \text{ kp} \triangleq 3,5 \text{ cm}$



(Abb. 18)

Die waagrecht gerichtete Gegenkraft des Ankers beträgt  $F = 10$  kp.

**3.2.3. Kräfte rechtwinklig zueinander gerichtet**

**Größengleichung**

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \text{ kp}$$

**Einheitengleichung**

kp =  $\sqrt{\text{kp}^2 + \text{kp}^2} = \sqrt{\text{kp}^2} = \text{kp}$

**Übungsbeispiel**

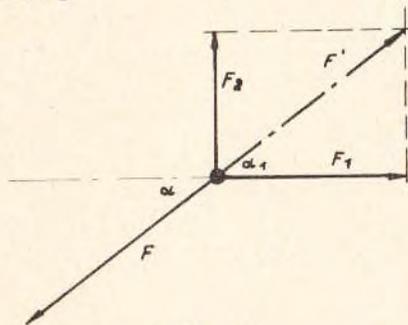
An einem Fernmeldemast greifen zwei Leitungszugkräfte von  $F_1 = 45$  kp und  $F_2 = 35$  kp rechtwinklig zueinander gerichtet an. Der Fernmeldemast wird von einem Anker im Gleichgewicht gehalten (Abb. 19). Wie groß ist die Gegenkraft, die

vom Anker in waagerechter Richtung aufgebracht werden muß und welche Richtung hat sie?

Gegeben:  $F_1 = 45 \text{ kp}$ ,  $F_2 = 35 \text{ kp}$ ,  $\alpha = 90^\circ$

Gesucht:  $F, \alpha_1$

Lösung:



(Abb. 19)

Rechnerische Lösung:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

$$F = \sqrt{45^2 + 35^2} = \sqrt{3250}$$

$$F = \underline{\underline{57 \text{ kp}}}$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{F_2}{F} = \frac{35}{57} = \underline{\underline{0,614}}$$

$$\alpha_1 = \underline{\underline{37^\circ 50'}}$$

Zeichnerische Lösung:

Die Einzelkräfte  $F_1$  und  $F_2$  werden so weit parallel verschoben, daß die Parallelen durch die Zeigerspitze der anderen Einzelkraft verlaufen (Abb. 19). Der Schnittpunkt der Parallelen ergibt die Zeigerspitze für die Gesamtkraft  $F'$ . Die vom Anker aufzubringende Kraft  $F$  ist der Gesamtkraft  $F'$  gleich groß und entgegengesetzt gerichtet.

$$F_1 = 45 \text{ kp} \hat{=} 2,25 \text{ em}$$

$$F_2 = 35 \text{ kp} \hat{=} 1,75 \text{ em (Abb. 19)}$$

$$F = 2,85 \text{ em} \hat{=} \underline{\underline{57 \text{ kp}}}$$

$$\alpha_1 = 38^\circ \text{ (mit Winkelmesser gemessen)}$$

Die waagrecht gerichtete Gegenkraft des Ankers ist  $F = 57 \text{ kp}$ , der Richtungswinkel ist  $\alpha_1 = 37^\circ 50'$ .

### 3.2.4. Kräfte in beliebiger Richtung

Größengleichung

$$F = F_1 \hat{+} F_2 \text{ kp}$$

Einheitengleichung

$$\text{kp} = \text{kp} \hat{+} \text{kp}$$

Das Zeichen  $\hat{+}$  bedeutet, daß die Kräfte nicht linear, sondern geometrisch zusammengesetzt werden.

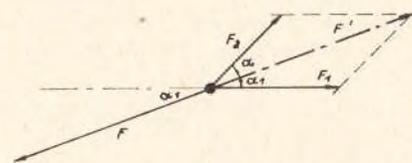
Übungsbeispiel

An einem Fernmeldemast greifen zwei Leitungszugkräfte von  $F_1 = 45 \text{ kp}$  und  $F_2 = 35 \text{ kp}$  derart an, daß der Winkel zwischen ihnen  $45^\circ$  beträgt. Der Fernmeldemast wird von einem Anker im Gleichgewicht gehalten (Abb. 20). Wie groß ist die Gegenkraft, die vom Anker in waagerechter Richtung aufgebracht werden muß und welche Richtung hat sie?

Gegeben:  $F_1 = 45 \text{ kp}$ ,  $F_2 = 35 \text{ kp}$ ,  $\alpha = 45^\circ$

Gesucht:  $F, \alpha_1$

Lösung:



(Abb. 20)

Rechnerische Lösung:

Die Kraft  $F_2$  wird in einen waagrecht gerichteten Teil  $F_{2w}$  und einen senkrecht nach oben gerichteten Teil  $F_{2s}$  zerlegt.

$$\sin \alpha = \frac{F_{2s}}{F_2} = \sin 45^\circ = 0,707$$

$$\cos \alpha = \frac{F_{2w}}{F_2} = \cos 45^\circ = 0,707$$

$$F_{2s} = F_2 \cdot \sin \alpha = 35 \cdot 0,707 = \underline{\underline{24,8 \text{ kp}}}$$

$$F_{2w} = F_2 \cdot \cos \alpha = 35 \cdot 0,707 = \underline{\underline{24,8 \text{ kp}}}$$

$$F_w = F_1 + F_{2w} = 45 + 24,8 = \underline{\underline{69,8 \text{ kp}}}$$

$$F_s = F_{2s} = \underline{\underline{24,8 \text{ kp}}}$$

$$F = \sqrt{F_w^2 + F_s^2} = \sqrt{69,8^2 + 24,8^2} = \sqrt{5487} = \underline{\underline{74,1 \text{ kp}}}$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{F_s}{F} = \frac{24,8}{74,1} = 0,335 \text{ nach Tabelle } \alpha_1 = \underline{\underline{19^\circ 30'}}$$

Zeichnerische Lösung:

Die Größe der Gesamtkraft  $F$  wird durch Parallelverschiebung der Einzelkräfte  $F_1$  und  $F_2$  ermittelt, der Richtungswinkel  $\alpha_1$  wird mit dem Winkelmesser gemessen.

$$F = 3,7 \text{ cm} \hat{=} \underline{\underline{74 \text{ kp}}} \quad \alpha_1 = \underline{\underline{19^\circ 30'}}$$

Die waagrecht gerichtete Gegenkraft des Ankers ist  $F = 74,1 \text{ kp}$ , der Richtungswinkel  $\alpha_1 = 19^\circ 30'$ .

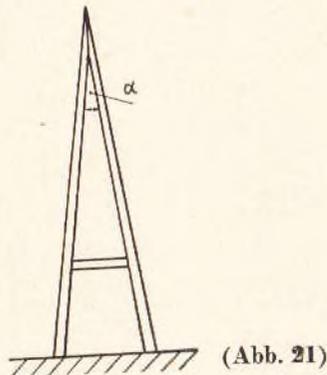
### 3.2.5. Aufgaben

1. An einem Mauerhaken sind zwei senkrecht nach unten gerichtete Lasten aufgehängt. Die Gewichte der beiden Lasten betragen  $G_1 = 14 \text{ kp}$ ,  $G_2 = 22 \text{ kp}$ . Mit welcher Gesamtkraft wird der Mauerhaken belastet?
2. An einem Fernmeldemast ziehen zwei Leitungszugkräfte von  $F_1 = 68 \text{ kp}$  und  $F_2 = 46 \text{ kp}$  in entgegengesetzter Richtung. Welche Gesamtkraft  $F$  wirkt auf den Fernmeldemast?
3. An einem Fernmeldemast greifen zwei Leitungszugkräfte von  $F_1 = 90 \text{ kp}$  und  $F_2 = 80 \text{ kp}$  unter einem Winkel von  $\alpha = 135^\circ$  an. Die Höhe der Angriffspunkte der Leitungen und des Ankers beträgt  $h = 6,0 \text{ m}$ , der Bodenabstand des Ankerseiles ist  $a = 2,8 \text{ m}$ .
  - a) Wie groß ist die waagrecht gerichtete Gegenkraft, die vom Ankerseil aufgebracht werden muß und welche Richtung hat sie?
  - b) Wie groß ist die Zugkraft im Ankerseil?
4. An einem Fernmeldemast werden von zwölf ankommenden Leitungsdrahten acht um  $60^\circ$  nach der einen und vier Leitungsdrahten um  $40^\circ$  nach der anderen Seite umgelenkt. Jeder Draht ist so ge-

spannt, daß er eine waagrecht gerichtete Zugkraft von  $F = 30$  kp ausübt.

- Wie groß ist die waagrecht gerichtete Gegenkraft, die von einem Anker aufgebracht werden muß, und welche Richtung hat sie?
- Wie groß ist die Zugkraft im Ankerseil, wenn der Bodenabstand  $a = 2,5$  m beträgt und die Angriffspunkte für Ankerseil und Leitungsdrähte in einer Höhe von  $h = 7,2$  m liegen?
- Mit welcher Kraft wird der Fernmeldemast senkrecht nach unten belastet?

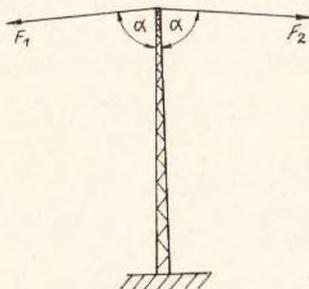
5.



(Abb. 21)

Ein A-Mast trägt eine senkrecht nach unten gerichtete Last von  $F = 240$  kp. Der Spitzenwinkel des A-Mastes ist  $\alpha = 20^\circ$  (Abb. 21). Wie groß sind die Teilkräfte  $F_1$  und  $F_2$ , die auf jeden Schenkel des A-Mastes entfallen?

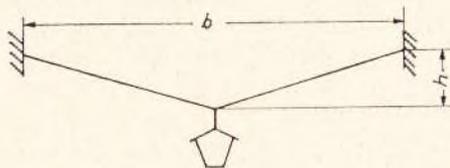
6.



(Abb. 22)

An einem Leitungsmast greifen die Leitungszugkräfte von  $F_1 = F_2 = 200$  kp in entgegengesetzter Richtung an. Der Durchhangswinkel der Leitung beträgt  $\alpha = 75^\circ$  (Abb. 22). Mit welcher Kraft  $F$  wird der Mast durch die Leitungszugkräfte senkrecht nach unten belastet?

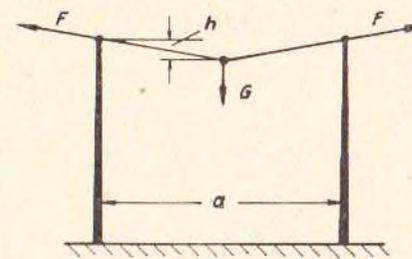
7.



(Abb. 23)

In einer Straße mit einer Breite von  $b = 8$  m soll ein Beleuchtungskörper in der Straßenmitte angebracht werden. Das Gewicht der Lampe ist  $G = 20$  kp, der Seildurchhang beträgt  $h = 1,2$  m (Abb. 23). Wie groß sind die Zugkräfte in den Trageseilen?

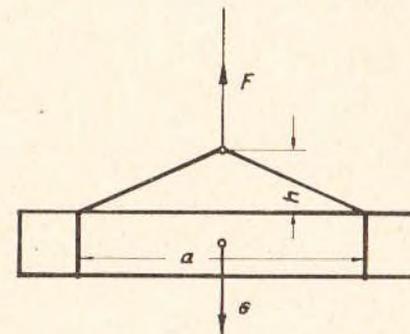
8.



(Abb. 24)

Für die Aufhängung eines Beleuchtungskörpers an zwei Betonmasten müssen zwei Handwerker jeweils eine Zugkraft mit Hilfe von Flaschenzügen von je 120 kp aufbringen. Der Mastabstand ist  $a = 15$  m, der Seildurchhang  $h = 1,1$  m (Abb. 24). Wie schwer ist der Beleuchtungskörper?

9.



(Abb. 25)

Eine Kiste mit fernmeldetechnischen Geräten ist  $G = 200$  kp schwer; sie wird mit Hilfe eines Flaschenzuges hochgezogen. Der Abstand der Angriffspunkte des Befestigungsseiles beträgt  $a = 3,0$  m, der Durchhang ist  $h = 1,0$  m. Der Schwerpunkt der Kiste liegt in ihrer Mitte (Abb. 25). Mit welcher Zugkraft wird das schräg verlaufende Befestigungsseil belastet?

10. Bei verschiedenen Anordnungen schließen zwei an einem Isolator befestigte Leitungsdrähte die Winkel von  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$  und  $180^\circ$  ein. Die Zugkräfte der Leitungsdrähte sind gleich groß; sie betragen jeweils  $F = 40$  kp. Wie groß ist die Gegenkraft, die vom Isolator aufgebracht werden muß?

$\sphericalangle a$	$0^\circ$	$30^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$150^\circ$	$180^\circ$
$F$							

### 3.3. Bewegung

#### 3.3.1. Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit ist der Quotient aus Weg durch Zeit.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Geschwindigkeit	$v$	Meter pro Sekunde	m/s

**Größengleichung**

$$v = \frac{s}{t} \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

 $v =$  Geschwindigkeit in m/s $s =$  Weg in m $t =$  Zeit in s**Einheitengleichung**

$$\frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**Übungsbeispiel**

Ein Eisenbahnzug legt eine Strecke von  $s = 435$  km in 6 Stunden und 35 Minuten zurück. Wie groß ist die durchschnittliche Geschwindigkeit des Zugs?

**Gegeben:**  $s = 435$  km,  $t = 6$  h 35 min

**Gesucht:**  $v$

**Lösung:**  $v = \frac{s}{t}$

$$t = 6 \text{ h } 35 \text{ min} = 360 \text{ min} + 35 \text{ min} = 395 \text{ min} = \frac{395}{60} \text{ h}$$

$$v = \frac{435 \cdot 60}{395} = \underline{\underline{66,1 \text{ km/h}}}$$

Die durchschnittliche Geschwindigkeit des Zugs beträgt  $v = 66,1$  km/h.

**3.3.2. Umfangsgeschwindigkeit**

Die Umfangsgeschwindigkeit ist das Produkt aus **Kreisumfang** mal **Umdrehungszahl**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Umfangsgeschwindigkeit	$v$	Meter pro Sekunde	m/s

**Größengleichung**

$$v = d \cdot \pi \cdot n \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$d =$  Durchmesser der sich drehenden Scheibe in m

$\pi = 3,14$ , Einheit 1

$n =$  Umdrehungszahl pro Sekunde in 1/s

**Einheitengleichung**

$$\frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{m} \cdot 1 \cdot \frac{1}{\text{s}}$$

**Übungsbeispiel**

Der Durchmesser einer Riemenscheibe beträgt  $d = 250$  mm. Die Umdrehungszahl ist  $n = 1500$  Umdrehungen pro Minute. Wie groß ist die Riemengeschwindigkeit in m/s?

**Gegeben:**  $d = 250$  mm,  $n = 1500$  1/min

**Gesucht:**  $v$

**Lösung:**  $v = d \cdot \pi \cdot n$

$$v = \frac{0,25 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = \underline{\underline{19,6 \text{ m/s}}}$$

Die Riemengeschwindigkeit beträgt  $v = 19,6$  m/s.

**3.3.3. Umrechnungsfaktoren**

Geschwindigkeit	$\frac{\text{cm}}{\text{s}}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\frac{\text{m}}{\text{min}}$	$\frac{\text{km}}{\text{h}}$
$1 \frac{\text{cm}}{\text{s}} =$	1	$10^{-2}$	$60 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$
$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} =$	$10^2$	1	60	3,6
$1 \frac{\text{m}}{\text{min}} =$	1,67	$1,67 \cdot 10^{-2}$	1	$6 \cdot 10^{-2}$
$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} =$	27,7	$2,77 \cdot 10^{-1}$	16,67	1

**3.3.4. Aufgaben**

1. Berechnen Sie:

- a)  $t = 3000 \text{ ms} + 24,4 \text{ s} + 0,62 \text{ min} + 0,02 \text{ h}$  in s  
 b)  $t = 24000 \text{ ms} + 12 \text{ s} + 2 \text{ min } 18 \text{ s} + 1 \text{ h } 4 \text{ min } 6 \text{ s}$  in min  
 c)  $t = 3800 \text{ s} + 24 \text{ min } 14 \text{ s} + 2 \text{ h } 6 \text{ min } 54 \text{ s}$  in h  
 d)  $v = 340 \text{ cm/s} + 2,4 \text{ m/s} + 0,624 \text{ m/min} + 0,03 \text{ km/h}$  in m/s

2. Ein Lastenaufzug überwindet in  $t = 1$  min 18 s eine Höhe von  $h = 7,60$  m. Wie groß ist die Geschwindigkeit des Lastenaufzugs?

3. Bei einem Gewitter wird der Zeitunterschied zwischen dem Erkennen des Blitzes und dem Eintreffen des Donners mit  $t = 4,8$  s gemessen. Die Schallgeschwindigkeit beträgt  $v = 340$  m/s. Wie weit ist das Gewitter von dem Standort des Betrachters entfernt?

4. Die Entfernung zwischen der Fernsprechvermittlungsstelle und einem Hauptanschluß beträgt  $l = 1,85$  km; die Bewegungsgeschwindigkeit der Elektronen in der Leitung wird auf  $v = 0,8$  mm/s ge-

schätzt. In welcher Zeit würden sich die Elektronen durch die Anschlußleitung bewegt haben?

- Die Entfernung zwischen der Fernsprechvermittlungsstelle und einem Hauptanschluß beträgt  $l = 1,85$  km. Bei der Anschaltung einer Spannung entsteht am Leitungsanfang ein Spannungsanstoß, der sich mit der Lichtgeschwindigkeit von  $c = 300000$  km/s durch die Leitung ausbreitet. In welcher Zeit macht sich der Spannungsanstoß beim Hauptanschluß und in der Vermittlungsstelle wieder bemerkbar?
- Eine Riemenscheibe hat einen Durchmesser von  $d = 240$  mm und macht in einer Minute 720 Umdrehungen. Wieviel Meter Riemen laufen über die Riemenscheibe in  $t = 36$  Sekunden ab?
- Eine Riemenscheibe hat einen Durchmesser von  $d = 180$  mm und macht 1500 Umdrehungen pro Minute. Wie groß ist die Riemen­geschwindigkeit in m/s?
- Die Drehzahl einer Riemenscheibe beträgt  $n = 1440$  1/min. Die Riemen­geschwindigkeit ist  $v = 16,8$  m/s. Wie groß ist der Durchmesser der Riemenscheibe?
- Ein Generator macht 3000 Umdrehungen pro Minute. Der mittlere Windungsdurchmesser ist  $d = 8,4$  cm. Wie groß ist die Umfangs­geschwindigkeit des Ankers in cm/s?
- Die Umfangsgeschwindigkeit eines Wechselstromgenerators ist  $v = 1884$  m/s; der mittlere Windungsdurchmesser ist  $d = 12$  cm. Wie groß ist die Umdrehungszahl in einer Sekunde?

### 3.4. Arbeit und Leistung

#### 3.4.1. Mechanische Arbeit

Die mechanische Arbeit ist das Produkt aus **Kraft** mal **Weg**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Mechanische Arbeit	$A$	Kilopond-Meter	kpm

#### Größengleichung

$$A = F \cdot s \text{ kpm}$$

$F$  = Kraft in kp  
 $s$  = der in Kraftrichtung zurückgelegte Weg in m

#### Einheitengleichung

$$\text{kpm} = \text{kp} \cdot \text{m}$$

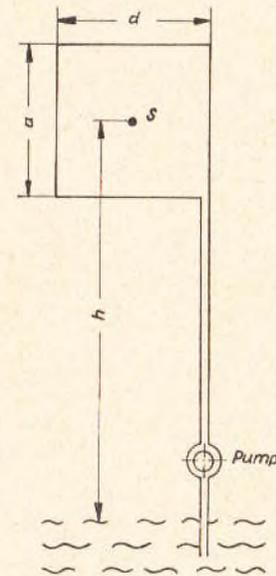
#### Übungsbeispiel

Ein zylindrischer Behälter von  $d = 2,00$  m Durchmesser und  $a = 3,00$  m Höhe ist  $h = 11,00$  m über dem Wasserspiegel eines Sees aufgestellt. Der Wasserbehälter soll durch eine Pumpe gefüllt werden (Abb. 26). Wie groß ist die von der Pumpe zu verrichtende mechanische Arbeit?

**Gegeben:**  $d = 2,00$  m,  $a = 3,00$  m,  $h = 11,00$  m,  $\gamma = 1$  kp/dm<sup>3</sup>

**Gesucht:**  $A$

**Lösung:**



(Abb. 26)

$$A = G \cdot h$$

$$G = V \cdot \gamma$$

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot a}{4}$$

$$V = \frac{20^2 \cdot \pi \cdot 30}{4}$$

$$V = \underline{9420 \text{ dm}^3}$$

$$G = 9420 \cdot 1$$

$$G = \underline{9420 \text{ kp}}$$

$$A = 9420 \cdot 11$$

$$A = 103620 \text{ kpm} = \underline{\underline{103,62 \text{ Mpm}}}$$

Die von der Pumpe zu verrichtende mechanische Arbeit beträgt  $A = 103,62$  Mpm.

#### 3.4.2. Schiefe Ebene

Für die schiefe Ebene gilt: Die Produkte aus **Kraft** mal **Weg** und **Gewicht** mal **Höhe** sind gleich groß.

Begriffe	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Kraft	$F$	Kilopond	kp
Weg	$s$	Meter	m
Gewichtskraft	$G$	Kilopond	kp
Höhe	$h$	Meter	m

**Größengleichung**

$$F \cdot s = G \cdot h \quad \text{kpm}$$

$F$  = Kraft in kp  
 $s$  = der in Kraftrichtung zurückgelegte Weg in m

**Einheitengleichung**

$$\text{kp} \cdot \text{m} = \text{kp} \cdot \text{m}$$

$G$  = Gewicht in kp  
 $h$  = Höhe in m

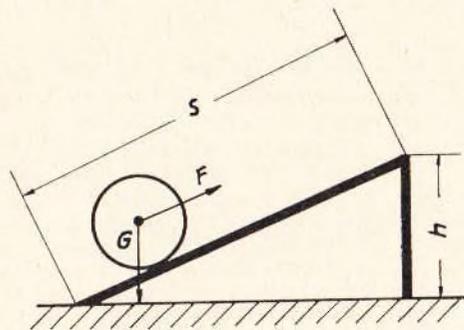
**Übungsbeispiel**

Das Gewicht einer Kabeltrommel beträgt  $G = 200$  kp. Sie soll mit Hilfe einer schiefen Ebene auf einen Lastkraftwagen verladen werden. Die Höhe der Ladefläche ist  $h = 1,45$  m, die Länge der schiefen Ebene ist  $s = 3,5$  m (Abb. 27). Welche Kraft ist für das Verladen der Kabeltrommel erforderlich?

**Gegeben:**  $G = 200$  kp,  $h = 1,45$  m,  $s = 3,5$  m

**Gesucht:**  $F$

**Lösung:**



(Abb. 27)

$$F \cdot s = G \cdot h$$

$$F = \frac{G \cdot h}{s}$$

$$F = \frac{200 \cdot 1,45}{3,5} = 82,9 \text{ kp}$$

Die aufzuwendende Kraft beträgt  $F = 82,9$  kp.

**3.4.3. Mechanische Leistung**

Die mechanische Leistung ist der Quotient aus **mechanischer Arbeit** und der **Zeit**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Mechanische Leistung	$P$	Kilopondmeter pro Sekunde	kpm/s

**Größengleichung**

$$P = \frac{A}{t} \quad \frac{\text{kpm}}{\text{s}}$$

$P$  = mechanische Leistung in kpm/s  
 $A$  = mechanische Arbeit in kpm  
 $t$  = Zeit in s

**Einheitengleichung**

$$\frac{\text{kpm}}{\text{s}} = \frac{\text{kp} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

$$1 \text{ PS} = 75 \text{ kpm/s}$$

**Übungsbeispiel**

Ein Wasserbehälter mit rechteckiger Grundfläche von  $2,5 \times 1,2$  m und  $c = 2,00$  m Höhe soll durch eine Pumpe in 30 min mit Wasser gefüllt werden. Das Wasser muß dabei auf eine Höhe von  $h = 13,00$  m gepumpt werden. Wie groß muß die mechanische Leistung der Pumpe mindestens sein?

**Gegeben:**  $a = 2,5$  m,  $b = 1,2$  m,  $c = 2,00$  m,  $t = 30$  min,  $h = 13,00$  m

**Gesucht:**  $P$

**Lösung:**  $V = a \cdot b \cdot c = 2,5 \cdot 1,2 \cdot 2 = 6,0 \text{ m}^3$

$$G = V \cdot \gamma = 6000 \cdot 1 = 6000 \text{ kp}$$

$$A = G \cdot h = 6000 \cdot 13 = 78000 \text{ kpm}$$

$$P = \frac{A}{t} = \frac{78000}{30 \cdot 60} = 43,3 \frac{\text{kpm}}{\text{s}} = \frac{43,3}{75} = 0,577 \text{ PS}$$

Die mechanische Leistung der Pumpe muß mindestens  $P = 0,577$  PS betragen.

**3.4.4. Wirkungsgrad**

Der Wirkungsgrad ist das **Verhältnis** der **abgegebenen** Leistung, Arbeit oder Wärmemenge, zur **zugeführten** Leistung, Arbeit oder Wärmemenge.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Wirkungsgrad	$\eta$	1	—

**Größengleichung**

$$\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}} = \frac{A_{\text{ab}}}{A_{\text{zu}}} = \frac{Q_{\text{ab}}}{Q_{\text{zu}}}$$

$P_{\text{ab}}$  = abgegebene Leistung in kpm/s oder kW

$P_{\text{zu}}$  = zugeführte Leistung in kpm/s oder kW

$A_{\text{ab}}$  = abgegebene Arbeit in kpm od. kWh

$A_{\text{zu}}$  = zugeführte Arbeit in kpm od. kWh

$Q_{\text{ab}}$  = abgegebene Wärmemenge in kcal

$Q_{\text{zu}}$  = zugeführte Wärmemenge in kcal

$\eta$  = Eta = Wirkungsgrad, Einheit 1

## Übungsbeispiel

Einer Turbine werden in jeder Sekunde 600 Liter Wasser zugeführt. Das Wassergefälle beträgt  $h = 14,00$  m. Die abgegebene Turbinenleistung ist  $P_{ab} = 71$  PS. Wie groß ist der Wirkungsgrad der Turbine?

Gegeben:  $G = 600$  kp,  $t = 1$  s,  $h = 14,00$  m,  $P_{ab} = 71$  PS

Gesucht:  $\eta$

Lösung:  $A_{zu} = G \cdot h = 600 \cdot 14 = 8400$  kpm

$$P_{zu} = \frac{A_{zu}}{t} = \frac{8400}{1} = 8400 \text{ kpm/s} = \frac{8400}{75} = 112 \text{ PS}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{71}{112} = 0,634$$

Der Wirkungsgrad der Turbine beträgt  $\eta = \underline{\underline{0,634}}$ .

## 3.4.5. Umrechnungsfaktoren

Mechanische Arbeit	pem	kpem	pm	kpm
1 pem	= 1	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-5}$
1 kpem	= $10^3$	1	10	$10^{-2}$
1 pm	= $10^2$	$10^{-1}$	1	$10^{-3}$
1 kpm	= $10^5$	$10^2$	$10^3$	1

Mechanische Leistung	kpm/s	kpm/min	kpm/h	PS
1 kpm/s	= 1	60	$3,6 \cdot 10^3$	$1,33 \cdot 10^{-2}$
1 kpm/min	= $1,67 \cdot 10^{-2}$	1	60	$2,22 \cdot 10^{-4}$
1 kpm/h	= $2,77 \cdot 10^{-4}$	$1,67 \cdot 10^{-2}$	1	$3,7 \cdot 10^{-6}$
1 PS	= 75	$4,5 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^5$	1

## 3.4.6. Aufgaben

1. Berechnen Sie:

a)  $A = 1200 \text{ pem} + 48 \text{ pm} + 5,6 \text{ kpem} + 0,8 \text{ kpm} =$  in kpm

b)  $P = 4800 \text{ kpm/s} + 3200 \text{ kpm/min} + 3600 \text{ kpm/h} + 45 \text{ PS} =$   
in kpm/s

2. Ein Mann trägt eine Last von  $G = 50$  kp auf eine senkrechte Höhe von  $h = 12,00$  m. Wie groß ist die hierfür zu verrichtende mechanische Arbeit, wenn das Körpergewicht des Mannes unberücksichtigt bleibt?

- Zum Bewegen eines beladenen Wagens muß zur Überwindung der Reibungskräfte eine Zugkraft von  $F = 18$  kp aufgewendet werden. Der Wagen soll waagrecht über eine Strecke von  $s = 620$  m gezogen werden. Wie groß ist die dabei zu verrichtende mechanische Arbeit?
- Ein Antriebsmotor hat eine Riemenscheibe mit einem Durchmesser von  $d = 375$  mm. Die Umdrehungszahl des Antriebsmotors ist  $n = 220$  Umdrehungen pro Minute. Die Riemenzugkraft beträgt  $F = 65$  kp. Wie groß ist die von dem Antriebsmotor in 1 min verrichtete mechanische Arbeit?
- Von einem Arbeiter wird ein Sack Zement von  $G = 50$  kp in ein  $h = 6,0$  m hoch gelegenes Stockwerk getragen. Das Gewicht des Mannes ist  $G = 75$  kp.
  - Welche mechanische Arbeit muß er unter Berücksichtigung seines Körpergewichts hierfür verrichten?
  - Wieviel Prozent der mechanischen Arbeit werden eingespart, wenn hierfür eine feste Rolle benutzt wird und das Gewicht des Seils vernachlässigt wird?
- Eine Kabeltrommel soll mit Hilfe einer schiefen Ebene auf eine senkrechte Höhe von  $h = 1,6$  m gebracht werden. Das Gewicht der Kabeltrommel ist  $G = 85$  kp. Für die schiefe Ebene werden Holzbalken von  $l = 2,40$  m Länge benutzt. Welche Kraft muß für den Transport der Kabeltrommel aufgebracht werden?
- Mit Hilfe eines Flaschenzugs mit  $n = 6$  Rollen soll ein Wählergestell von  $G = 180$  kp Gewicht auf eine senkrechte Höhe von  $h = 8,2$  m gebracht werden. Das Gewicht der Flasche und des Seils wird auf  $G_1 = 3$  kp geschätzt; die Rollenreibung wird vernachlässigt.
  - Wieviel mechanische Arbeit wird hierbei verrichtet?
  - Wie groß ist die Seilzugkraft?
  - Wieviel Meter Seil muß am Zugende bewegt werden?
- In welcher Zeit fließen einem Flußkraftwerk die Wassermenge von  $V = 120 \text{ m}^3$  Wasser zu, wenn die Turbine bei 8 m Gefälle eine mechanische Leistung von  $P_{zu} = 24$  PS aufnehmen soll?
- Ein Behälter soll mit Wasser gefüllt werden. Der Rauminhalt des Behälters beträgt  $V = 35 \text{ m}^3$ . Das Wasser muß  $h = 30$  m hoch gepumpt werden. Die abgegebene mechanische Leistung der Pumpe ist  $P_{ab} = 3$  PS. In welcher Zeit ist der Behälter mit Wasser gefüllt?
- Ein Gleichstrommotor gibt eine mechanische Leistung von  $P_{ab} = 24$  PS ab. Der Riemenscheibendurchmesser ist  $d = 280$  mm; die Umdrehungszahl beträgt  $n = 1500$  Umdrehungen pro Minute. Wie groß ist die Riemenzugkraft des Gleichstrommotors?
- Von einer Winde soll eine Last in 1 min 12 s auf eine Höhe von  $h = 24$  m gehoben werden. die zugeführte mechanische Leistung der

Winde beträgt  $P_{zu} = 7$  PS, der Wirkungsgrad ist  $\eta = 0,69$ . Wie schwer ist die Last?

12. Eine Wasserpumpe fördert in jeder Minute  $4,6 \text{ m}^3$  Wasser auf eine Höhe von  $h = 25 \text{ m}$ . Der Wirkungsgrad der Wasserpumpe beträgt 78 v.H. Wie groß ist die zugeführte mechanische Leistung in PS?
13. Einer Turbine werden in jeder Sekunde 1200 Liter Wasser über ein Wassergefälle von  $h = 12 \text{ m}$  zugeführt. Dabei gibt die Turbine eine mechanische Leistung von  $P_{ab} = 75$  PS an einen Drehstromgenerator ab. Wie groß ist der Wirkungsgrad der Turbine?
14. Durch eine Wasserpumpe soll ein  $h = 30 \text{ m}$  hoch gelegener Wasserbehälter gefüllt werden. Die Maße der rechteckigen Behälterform sind: Länge  $a = 3,40 \text{ m}$ , Breite  $b = 2,50 \text{ m}$  und Höhe  $c = 4,00 \text{ m}$ . Die Wasserpumpe wird mit einer mechanischen Leistung von  $P_{zu} = 4,5$  PS angetrieben. Der Wirkungsgrad der Pumpe ist  $\eta = 0,61$ . In welcher Zeit ist der Wasserbehälter gefüllt?
15. Von einer Turbine soll eine mechanische Leistung von  $P_{ab} = 34$  PS abgegeben werden. Der Wirkungsgrad der Turbine ist  $\eta = 0,85$ . Das Wassergefälle beträgt  $h = 3,5 \text{ m}$ . Wieviel  $\text{m}^3$  Wasser müssen der Turbine in jeder Sekunde zugeführt werden?

### 3.5. Wärme

#### 3.5.1. Wärmemenge

Die aufgenommene oder abgegebene Wärmemenge eines Körpers ist das Produkt aus dem **Gewicht** mal **Temperaturunterschied** mal **spezifischer Wärme**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Wärmemenge	$Q$	Kilokalorie	kcal

#### Größengleichung

$$Q = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \text{ kcal}$$

#### Einheitengleichung

$$\text{kcal} = \text{kp} \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kp} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C}$$

$Q$  = Wärmemenge in kcal

$G$  = Gewicht in kp

$t_2$  = Endtemperatur in  $^\circ\text{C}$

$t_1$  = Anfangstemperatur in  $^\circ\text{C}$

$c$  = spezifische Wärme in  $\frac{\text{kcal}}{\text{kp} \cdot ^\circ\text{C}}$

#### Übungsbeispiel

Das Gewicht der Kupferspitze eines Lötkolbens beträgt  $G = 0,3 \text{ kp}$ ; die Anfangstemperatur ist  $t_1 = 20^\circ \text{C}$ . Bei der Erwärmung nimmt die Kupferspitze eine Wärmemenge von  $Q = 16 \text{ kcal}$  auf. Auf welche Temperatur hat sich der Lötkolben erhitzt?

**Gegeben:**  $G = 0,3 \text{ kp}$ ,  $t_1 = 20^\circ \text{C}$ ,  $Q = 16 \text{ kcal}$ ,  $c = 0,105 \frac{\text{kcal}}{\text{kp} \cdot ^\circ\text{C}}$

**Gesucht:**  $t_2$

**Lösung:**  $Q = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$  umstellen nach  $t_2$ !

$$\frac{Q}{G \cdot c} = t_2 - t_1$$

$$t_2 = \frac{Q}{G \cdot c} + t_1 = \frac{16}{0,3 \cdot 0,105} + 20 = 508 + 20 = \underline{\underline{528^\circ \text{C}}}$$

Die Endtemperatur des Lötkolbens beträgt  $t_2 = 528^\circ \text{C}$ .

#### 3.5.2. Längenausdehnung

Die Längenveränderung eines Stabes infolge Temperaturveränderung ist das Produkt aus der **Stablänge** bei der Anfangstemperatur mal der **Längenausdehnungszahl** mal dem **Temperaturunterschied**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Längenausdehnung	$l_2$	Meter	m

#### Größengleichung

$$l_2 = l_1 \cdot [1 + \alpha \cdot (t_2 - t_1)] \text{ m}$$

$l_2$  = Länge bei der Temperatur  $t_2$

$l_1$  = Länge bei der Temperatur  $t_1$

$\alpha$  = Alpha =

Längenausdehnungszahl in  $1/^\circ\text{C}$

#### Einheitengleichung

$$m = m \cdot [1 + \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot (^\circ\text{C} - ^\circ\text{C})]$$

$t_2$  = Endtemperatur in  $^\circ\text{C}$

$t_1$  = Anfangstemperatur in  $^\circ\text{C}$

#### Übungsbeispiel

Eine Freileitung aus Bronze ist bei der Temperatur von  $t_1 = 20^\circ \text{C}$   $l_1 = 240 \text{ m}$  lang. Infolge Erwärmung durch Sonnenbestrahlung dehnt sie sich auf eine Länge von  $l_2 = 240,04 \text{ m}$  aus. Auf welche Temperatur  $t_2$  hat sich die Leitungstemperatur erhöht?

**Gegeben:**  $l_1 = 240 \text{ m}$ ,  $t_1 = 20^\circ \text{C}$ ,  $l_2 = 240,04 \text{ m}$ ,  $\alpha = 0,000007 \frac{1}{^\circ\text{C}}$

**Gesucht:**  $t_2$

**Lösung:**  $l_2 = l_1 \cdot [1 + \alpha \cdot (t_2 - t_1)]$  umstellen nach  $t_2$ !

$$\frac{l_2}{l_1} = 1 + \alpha \cdot (t_2 - t_1)$$

$$\frac{l_2}{l_1} - 1 = \alpha \cdot (t_2 - t_1)$$

linke Gleichungsseite gleichnamig machen!

$$\frac{t_2 - t_1}{l_1} = \alpha \cdot (t_2 - t_1) \quad \frac{t_2 - t_1}{l_1 \cdot \alpha} = t_2 - t_1$$

$$t_2 = \frac{t_2 - t_1}{l_1 \cdot \alpha} + t_1 = \frac{240,04 - 240}{240 \cdot 0,000007} + 20 = 23,8 + 20 = \underline{\underline{43,8^\circ \text{C}}}$$

Die erhöhte Leitungstemperatur beträgt  $t_2 = 43,8^\circ \text{C}$ .

### 3.5.3. Aufgaben

- In einem Kochtopf sollen 2 Liter Wasser von  $t_1 = 11^\circ \text{C}$  auf  $t_2 = 98^\circ \text{C}$  erwärmt werden. Wie groß ist die dafür benötigte Wärmemenge?
- Das Gewicht eines Kupfer-Lötkolbens beträgt  $G = 0,8 \text{ kp}$ . Der Lötkolben soll von  $t_1 = 15^\circ \text{C}$  auf  $t_2 = 330^\circ \text{C}$  erhitzt werden. Wie groß ist die dafür benötigte Wärmemenge?
- In einem Heißwasserspeicher werden 100 Liter Wasser von  $t_1 = 12^\circ \text{C}$  auf  $t_2 = 86^\circ \text{C}$  erwärmt. Die von dem Heißwasserspeicher dafür aufgenommene Wärmemenge beträgt  $Q_{\text{zu}} = 8800 \text{ kcal}$ . Wie groß ist der Wirkungsgrad des Heißwasserspeichers?
- Um 6 Liter Wasser von  $t_1 = 10^\circ \text{C}$  zu erwärmen, werden  $Q = 380 \text{ kcal}$  verbraucht. Welche Temperatur  $t_2$  hat das Wasser nach der Erwärmung?
- Ein Durchlauferhitzer soll in 5 min 30 Liter Wasser von  $t_1 = 12^\circ \text{C}$  auf  $t_2 = 60^\circ \text{C}$  erwärmen. Der Wirkungsgrad des Durchlauferhitzers beträgt 95,5 v.H. Welche Wärmemenge muß von der Heizpatrone des Durchlauferhitzers in jeder Minute erzeugt werden?
- Mit einer Wärmemenge von  $Q = 32500 \text{ kcal}$  sollen 400 kp Stahl erwärmt werden. Die Anfangstemperatur des Stahls beträgt  $t_1 = 20^\circ \text{C}$ . Wie groß ist die Endtemperatur des Stahls?
- Ein Stahlkörper soll mit einer Wärmemenge von 64500 kcal von  $t_1 = 15^\circ \text{C}$  auf  $t_2 = 780^\circ \text{C}$  erwärmt werden. Wie schwer darf der Stahlkörper höchstens sein?
- Mit einer Wärmemenge von  $Q = 21600 \text{ kcal}$  werden 300 kp eines Metalls von  $t_1 = 20^\circ \text{C}$  auf  $t_2 = 400^\circ \text{C}$  erwärmt. Wie groß ist die spezifische Wärme dieses Metalls?
- In eine Badewanne fließen aus dem Kaltwasserhahn 50 Liter Wasser von  $12^\circ \text{C}$  und aus dem Warmwasserhahn 30 Liter Wasser von  $80^\circ \text{C}$ . Welche Temperatur erhält das Badewasser?
- In einer Badewanne befinden sich 70 Liter Wasser von  $15^\circ \text{C}$ . Durch Zuschütten von heißem Wasser soll die gesamte Badewassermenge auf 110 Liter und die Badewassertemperatur auf  $39^\circ \text{C}$  gebracht werden. Welche Temperatur muß das heiße Wasser aufweisen?

- Ein Stück Eisen von  $G_1 = 12 \text{ kp}$  hat eine Temperatur von  $t_1 = 560^\circ \text{C}$ . Zur Abkühlung wird das Eisen in eine Wassermenge von 12 Litern getaucht. Das Wasser hat eine Temperatur von  $t_2 = 20^\circ \text{C}$ . Welche gemeinsame Temperatur haben Eisen und Wasser nach längerem Eintauchen?
- Ein Widerstandsdraht aus Nickel ist bei  $t_1 = 20^\circ \text{C}$   $l_1 = 220 \text{ m}$  lang. Infolge Stromdurchgangs erhöht sich die Temperatur des Widerstandsdrahts auf  $t_2 = 410^\circ \text{C}$ . Wie lang ist der Widerstandsdraht nach der Erwärmung?
- Eine Freileitung aus Bronze hat bei  $t_1 = 20^\circ \text{C}$  eine Länge von  $l_1 = 240 \text{ m}$ . Durch Kälteeinbruch sinkt die Temperatur der Leitung auf  $t_2 = -40^\circ \text{C}$ . Wie lang ist die Freileitung nach der Abkühlung?
- Ein Aluminiumrohr ist bei  $t_1 = 20^\circ \text{C}$   $l_1 = 19 \text{ m}$  lang. Infolge Erwärmung hat sich das Aluminiumrohr um 3,4 mm ausgedehnt. Auf welche Temperatur  $t_2$  hat sich das Aluminiumrohr erwärmt?
- Ein Wagenrad aus Holz soll mit einem Eisenreifen versehen werden. Der Durchmesser des Eisenreifens beträgt bei  $t_1 = 20^\circ \text{C}$   $d_1 = 120 \text{ cm}$ . Durch Erhitzen des Eisenreifens soll der Reifendurchmesser auf  $d_2 = 120,8 \text{ cm}$  vergrößert werden. Auf welche Temperatur muß der Eisenreifen erhitzt werden?
- Eine Leitung aus Kupfer hat bei  $t_1 = 20^\circ \text{C}$  eine Länge von  $l_1 = 640 \text{ m}$ . Wie lang ist die Kupferleitung
  - bei  $t_2 = 40^\circ \text{C}$ ,
  - bei  $t_2 = -25^\circ \text{C}$ ?
- Eine Freileitung hat eine Baulänge von  $l = 280 \text{ m}$ . Der Leitungsdraht aus Bronze wird im Winter bei  $-12^\circ \text{C}$  ausgelegt. Wie lang ist der Leitungsdraht im Sommer bei  $+32^\circ \text{C}$ ?
- Die Baulänge eines Kabelkanals für PVC-Rohre ist  $l = 160 \text{ m}$  lang. Die PVC-Rohre werden im Sommer bei der Temperatur von  $t_1 = 30^\circ \text{C}$  ausgelegt. Der zugeschüttete Kabelkanal weist im Winter eine Temperatur von  $+6^\circ \text{C}$  auf. Die Längenausdehnungszahl für Hart-PVC beträgt  $\alpha = 0,00008 \text{ } 1/^\circ \text{C}$ . Um wieviel hat sich die Gesamtlänge der PVC-Rohre verkürzt?
- Eine Freileitung aus Bronze von  $l_2 = 244 \text{ m}$  wird im Sommer bei  $t_1 = 28^\circ \text{C}$  ausgelegt. Im Winter fällt die Temperatur auf  $t_2 = -20^\circ \text{C}$  herab. Wie lang ist die Freileitung bei  $t_2 = -20^\circ \text{C}$ ?
- Ein Bimetallstreifen besteht aus zwei aufeinandergewalzten Metallstreifen von  $l_1 = 40 \text{ mm}$  bei  $t_1 = 20^\circ \text{C}$ . Der eine Streifen besteht aus einer Fe-Ni-Legierung mit der Längenausdehnungszahl  $\alpha = 0,0000019 \text{ } 1/^\circ \text{C}$ ; der andere Streifen besteht aus einer Cu-Ni-

Legierung mit der Längenausdehnungszahl  $\alpha = 0,00001523 \text{ 1/}^\circ\text{C}$ . Durch eine Widerstandswicklung wird der Bimetallstreifen auf  $t_2 = 90^\circ\text{C}$  erwärmt. Wie lang sind die beiden Metallstreifen nach der Erwärmung?

## 4. Grundlagen des Gleichstromkreises

### 4.1. Ohmsches Gesetz

Die Stromstärke ist verhältnismäßig der elektrischen **Spannung** und umgekehrt verhältnismäßig dem **Widerstand**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Stromstärke	$I$	Ampere	A
Spannung	$U$	Volt	V
Widerstand	$R$	Ohm	$\Omega$

#### Größengleichung

$$I = \frac{U}{R} \text{ A}$$

$I$  = elektrische Stromstärke in A

$U$  = elektrische Spannung in V

$R$  = elektrischer Widerstand in  $\Omega$

#### Einheitengleichung

$$\text{A} = \frac{\text{V}}{\Omega}$$

#### Übungsbeispiel

Eine Relaiswicklung von  $R = 1200 \Omega$  ist an eine Spannung von  $U = 42 \text{ V}$  geschaltet (Abb. 28). Von welcher Stromstärke wird die Relaiswicklung durchflossen?

Gegeben:  $U = 42 \text{ V}$ ,  $R = 1200 \Omega$

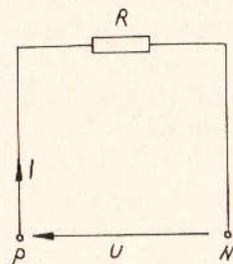
Gesucht:  $I$

Lösung:

Zeichnen Sie zuerst das Schaltbild! Der Spannungspfeil für die stromtreibende Spannung wird in Stromrichtung gezeichnet. Die Spitze des Strompfeils liegt auf der Linie des Stromkreises; der Strom fließt von Plus (P) nach Minus (N).

$$I = \frac{U}{R} = \frac{42}{1200} = 0,035 \text{ A} = \underline{\underline{35 \text{ mA}}}$$

Die Stromstärke in der Relaiswicklung beträgt  $I = 35 \text{ mA}$ .



(Abb. 28)

### 4.2. Leitwert

Der elektrische Leitwert ist der **umgekehrte Wert** des elektrischen **Widerstands**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Leitwert	$G$	Siemens	S

#### Größengleichung

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

$R$  = elektrischer Widerstand in  $\Omega$

$G$  = elektrischer Leitwert in S

#### Einheitengleichung

$$\text{S} = \frac{1}{\Omega} \text{ mS} = \frac{1000}{\Omega}$$

#### Übungsbeispiel

Der Widerstand einer Relaiswicklung ist  $R = 1200 \Omega$ . Wie groß ist der elektrische Leitwert?

Gegeben:  $R = 1200$

Gesucht:  $G$

$$\text{Lösung: } G = \frac{1}{R} = \frac{1}{1200} \text{ S} \quad G = \frac{1000}{1200} = \underline{\underline{0,833 \text{ mS}}}$$

Der Leitwert der Relaiswicklung beträgt  $G = 0,833 \text{ mS}$ .

### 4.3. Reihenschaltung von Widerständen

Bei der Reihenschaltung von Widerständen ist der Gesamtwiderstand gleich der Summe aller Einzelwiderstände. Bei der Reihenschaltung von **gleich großen** Widerständen ist der Gesamtwiderstand das Produkt aus dem Widerstandswert eines Einzelwiderstandes und der Anzahl der hintereinandergeschalteten Widerstände.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtwiderstand	$R$	Ohm	$\Omega$

**Größengleichungen**

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad \Omega$$

$$R = n \cdot R_1 \quad \Omega$$

**Einheitengleichungen**

$$\Omega = \Omega + \Omega + \Omega$$

$$\Omega = 1 \cdot \Omega$$

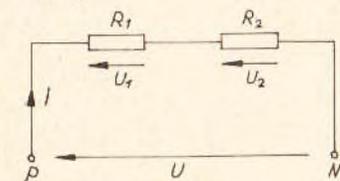
**Übungsbeispiel 1**

Eine Relaiswicklung von  $R_1 = 1200 \Omega$  ist mit einer Bifilarwicklung von  $R_2 = 400 \Omega$  hintereinandergeschaltet. Die Reihenschaltung ist an eine Spannung von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet (Abb. 29). Wie groß sind Gesamtwiderstand, Stromstärke und Teilspannungen in diesem Stromkreis?

**Gegeben:**  $R_1 = 1200 \Omega$ ,  $R_2 = 400 \Omega$ ,  $U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:**  $R$ ,  $I$ ,  $U_1$ ,  $U_2$

**Lösung:**

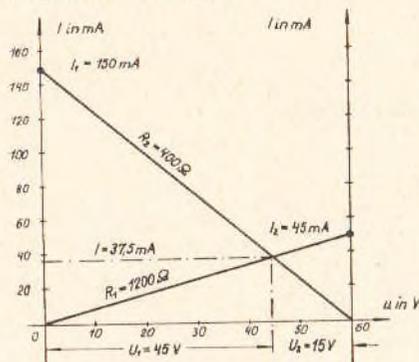


(Abb. 29)

**Rechenprobe:**  $U = U_1 + U_2 = 45 + 15 = 60 \text{ V}$

Die gesuchten Werte betragen:  $R = 1600 \Omega$ ,  $I = 37,5 \text{ mA}$ ,  $U_1 = 45 \text{ V}$ ,  $U_2 = 15 \text{ V}$ .

**Zeichnerische Lösung:**



(Abb. 30)

Der Schnittpunkt der Widerstandsgeraden ergibt den Wert des Gesamtstroms sowie die Spannungsabfälle  $U_1$  und  $U_2$ .

$R$  = Gesamtwiderstand in  $\Omega$

$R_1$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$

$R_2$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$

$R_3$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$

$n$  = Anzahl der hintereinandergeschalteten gleich großen Widerstände, Einheit 1

Zeichnen Sie zuerst das Schaltbild! Der Spannungspfeil für die stromtreibende Spannung wird in Stromrichtung, die Spannungspfeile für die Spannungsabfälle gegen die Stromrichtung gezeichnet.

$$R = R_1 + R_2 = 1200 + 400 = 1600 \Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60}{1600} \text{ A} = \frac{60000}{1600} = 37,5 \text{ mA}$$

$$U_1 = I \cdot R_1 = 37,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1200 = 45 \text{ V}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 37,5 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 15 \text{ V}$$

Zeichnen Sie ein Spannungs-Strom-Diagramm. Wählen Sie hierfür Maßstäbe, die der verfügbaren Zeichenfläche und der erforderlichen Ablesegenauigkeit gerecht werden.

Erechnen Sie die Stromwerte, die fließen würden, wenn die Einzelwiderstände allein an die Spannung geschaltet werden.

$$I_1 = \frac{60000 \text{ mV}}{1200} = 50 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{60000 \text{ mV}}{400} = 150 \text{ mA}$$

Tragen Sie hiernach die Widerstandsgeraden in das Diagramm ein.

**Übungsbeispiel 2**

Vier gleich große Widerstände von je  $400 \Omega$  sind hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Spannung beträgt  $U = 60 \text{ V}$ . Wie groß sind Gesamtwiderstand, Stromstärke und Teilspannungen des Stromkreises?

**Gegeben:**  $R_1 = 400 \Omega$ ,  $n = 4$ ,  $U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:**  $R$ ,  $I$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$

**Lösung:**  $R = n \cdot R_1 = 4 \cdot 400 = 1600 \Omega$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60}{1600} \text{ A}; \quad I = \frac{60000}{1600} = 37,5 \text{ mA}$$

$$U_1 = I \cdot R_1 = 37,5 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 15 \text{ V}$$

**Rechenprobe:**  $U = n \cdot U_1 = 4 \cdot 15 = 60 \text{ V}$

Die gesuchten Werte betragen:  $R = 1600 \Omega$ ,  $I = 37,5 \text{ mA}$ ,  $U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = 15 \text{ V}$ .

**4.3.1. Spannungsaufteilung**

In jedem geschlossenen Stromkreis ist die **treibende Spannung** gleich der **Summe aller Spannungsabfälle (Kirchhoff II)**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtspannung	$U$	Volt	V

**Größengleichung**

$$U = U_1 + U_2 \quad \text{V}$$

$U$  = Gesamtspannung in V  
 $U_1$  = Teilspannung in V

**Einheitengleichung**

$$\text{V} = \text{V} + \text{V}$$

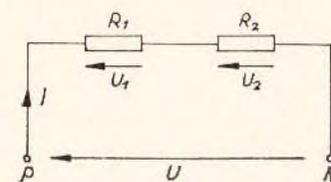
**Übungsbeispiel**

Eine Signallampe nimmt bei der Spannung von  $U_2 = 24 \text{ V}$  einen Strom von  $I = 0,25 \text{ A}$  auf. Die Lampe soll an eine Spannung von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet werden (Abb. 31). Wie groß muß der Vorwiderstand  $R_1$  sein?

**Gegeben:**  $U = 60 \text{ V}$ ,  $U_2 = 24 \text{ V}$ ,  $I = 0,25 \text{ A}$

**Gesucht:**  $R_1$

**Lösung:**



(Abb. 31)

Für das Aufstellen der Größengleichung wird der Stromkreis einmal vollständig umschrieben, z. B. von Punkt N aus über den Spannungspfeil  $U$  und die Spannungspfeile  $U_1$  und  $U_2$ .

Jeder Spannungspfeil, der in Pfeilrichtung überstrichen wird, bekommt ein positives Vorzeichen; jeder Spannungspfeil, der gegen die Pfeilrichtung überstrichen wird, bekommt ein negatives Vorzeichen. Sind sämtliche Spannungspfeile berücksichtigt worden, dann wird die Größengleichung gleich Null gesetzt.

$$+ U - U_1 - U_2 = 0 \quad U_1 = U - U_2 = 60 - 24 = \underline{36 \text{ V}}$$

$$R_1 = \frac{U_1}{I} = \frac{36}{0,25} = \underline{144 \Omega}$$

Der Vorwiderstand muß  $R_1 = 144 \Omega$  betragen.

### 4.3.2. Spannungsverhältnis

Bei der Reihenschaltung von Widerständen sind die **Spannungsabfälle** verhältnismäßig den Widerständen.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Teilspannung	$U_1$	Volt	V

#### Größengleichung

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

- $U_1$  = Teilspannung am Widerstand  $R_1$  in V
- $U_2$  = Teilspannung am Widerstand  $R_2$  in V
- $R_1$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$
- $R_2$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$

#### Einheitengleichung

$$\frac{\text{V}}{\text{V}} = \frac{\Omega}{\Omega} = 1$$

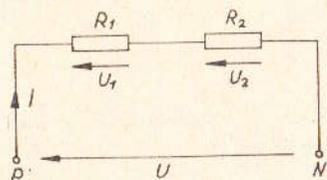
#### Übungsbeispiel

Der Widerstand einer Signallampe für  $U_2 = 24 \text{ V}$  beträgt  $R_2 = 200 \Omega$ . Die Signallampe soll an eine Spannung von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet werden (Abb. 32). Wie groß muß der Vorwiderstand  $R_1$  sein?

**Gegeben:**  $U_2 = 24 \text{ V}$ ,  $R_2 = 200 \Omega$ ,  $U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:**  $R_1$

**Lösung:**



(Abb. 32)

$$U_1 = U - U_2 = 60 - 24 = 36 \text{ V}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{36}{24} = \frac{R_1}{200}$$

$$R_1 = \frac{U_1 \cdot R_2}{U_2} = \frac{36 \cdot 200}{24} = 300 \Omega$$

Der Vorwiderstand muß  $R_1 = 300 \Omega$  betragen.

### 4.3.3. Spannungsmesser

Die Meßbereiche von Spannungsmessern werden durch **Vorwiderstände** erweitert.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Teilspannung	$U_V, U_V$	Volt	V
Widerstand	$R_i, R_V$	Ohm	$\Omega$

#### Größengleichungen

$U_V = U - U_i$	V
$R_V = \frac{U_V}{I_i} = \frac{R_i \cdot U_V}{U_i}$	$\Omega$
$R_V = R_i \cdot (n - 1)$	$\Omega$
$n = \frac{U}{U_i} = \frac{R_V}{R_i} + 1$	

$U_i$  = Meßwerkspannung bei Vollausschlag in V

$R_i$  = Meßwerkwiderstand in  $\Omega$

$U$  = Meßbereich mit Vorwiderstand in V

$U_V$  = Spannungsabfall am Vorwiderstand in V

$R_V$  = Vorwiderstand in  $\Omega$

$n$  = Vervielfachungsfaktor (Einheit 1)

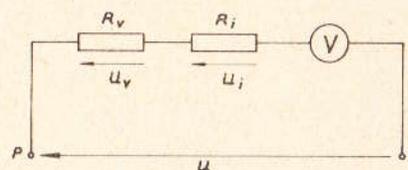
#### Übungsbeispiel

Ein Spannungsmesser für Messungen von 0 bis 6 V hat einen inneren Widerstand von  $R_i = 4 \text{ k}\Omega$ . Mit diesem Meßgerät sollen Spannungen bis zu 60 V gemessen werden. Die Skala des Spannungsmessers ist in 12 Teile von je 0,5 V eingeteilt (Abb. 33). Wie groß muß der Vorwiderstand  $R_V$  sein und welche Skaleneinteilung gilt bei eingeschaltetem Vorwiderstand?

**Gegeben:**  $U_i = 6 \text{ V}$ ,  $R_i = 4 \text{ k}\Omega$ ,  $U = 60 \text{ V}$ , 12 Skalenteile

**Gesucht:**  $R_V$ , Skaleneinteilung

**Lösung:**



(Abb. 33)

$$n = \frac{U}{U_i} = \frac{60}{6} = 10$$

$$R_V = R_i \cdot (n - 1) = 4 \cdot (10 - 1)$$

$$R_V = 4 \cdot 9 = \underline{36 \text{ k}\Omega}$$

#### Anderer Rechengang:

$$U_V = U - U_i = 60 \text{ V} - 6 \text{ V} = \underline{54 \text{ V}}$$

$$12 \text{ Skalenteile} \cong 60 \text{ V}$$

$$R_V = \frac{R_i \cdot U_V}{U_i} = \frac{4 \text{ k}\Omega \cdot 54 \text{ V}}{6 \text{ V}} = \underline{36 \text{ k}\Omega}$$

$$1 \text{ Skalenteil} \cong \frac{60}{12} = \underline{5 \text{ V}}$$

Skaleneinteilung mit Vorwiderstand: - in V -

0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Der Vorwiderstand muß  $R_V = 36 \text{ k}\Omega$  betragen.

### 4.4. Parallelschaltung von Widerständen

Bei der Parallelschaltung von Widerständen ist der **Gesamtleitwert** gleich der **Summe aller Einzelleitwerte**.

Bei der Parallelschaltung von **zwei** Widerständen ist der Gesamtwiderstand der Quotient aus dem Produkt und der Summe beider Widerstände. Bei der Parallelschaltung von **gleich großen** Widerständen ist der Gesamtwiderstand der Quotient aus dem Widerstandswert eines Einzelwiderstands und der Anzahl der parallelgeschalteten Widerstände.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtwiderstand	$R$	Ohm	$\Omega$
Gesamtleitwert	$G$	Siemens	S

#### Größengleichungen

$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad S$
$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \frac{1}{\Omega}$
$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \Omega$
$R = \frac{R_1}{p} \quad \Omega$

- $G$  = Gesamtleitwert in S
- $G_1$  = Einzelleitwert in S
- $G_2$  = Einzelleitwert in S
- $G_3$  = Einzelleitwert in S
- $R$  = Gesamtwiderstand in  $\Omega$
- $R_1$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$
- $R_2$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$
- $R_3$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$
- $p$  = Anzahl der parallelgeschalteten gleich großen Widerstände, Einheit 1

#### Einheitengleichungen

$$S = S + S + S$$

$$\frac{1}{\Omega} = \frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega}$$

$$\Omega = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\Omega + \Omega}$$

$$\Omega = \frac{\Omega}{1}$$

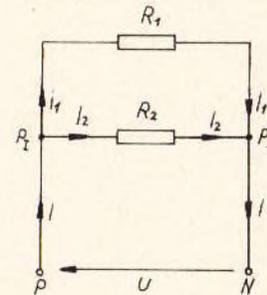
#### Übungsbeispiel 1

Eine Relaiswicklung von  $R_1 = 1600 \Omega$  und ein Widerstand von  $R_2 = 400 \Omega$  sind parallelgeschaltet. Die Parallelschaltung ist an eine Spannung von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet (Abb. 34). Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstromstärke und Teilströme in diesem Stromkreis?

**Gegeben:**  $R_1 = 1600 \Omega$ ,  $R_2 = 400 \Omega$ ,  $U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:**  $R$ ,  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$

**Lösung:**



(Abb. 34)

Zeichnen Sie zuerst das Schaltbild! Die Spitzen der Strompfeile werden in Richtung der treibenden Spannung der Spannungsquelle auf die Linien des Stromkreises gezeichnet. Die Einzelwiderstände liegen an derselben Spannung  $U$ . Der Gesamtstrom teilt sich in dem Stromverzweigungspunkt  $I$  auf; in dem Punkt  $II$  fließen die Teilströme wieder zusammen.

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1600 \cdot 400}{1600 + 400} = \underline{\underline{320 \Omega}}$$

**Anderer Rechengang:**

$$G = G_1 + G_2 = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{1600} + \frac{1}{400} \text{ S}$$

$$G = \frac{1000}{1600} + \frac{1000}{400} = 0,625 + 2,5 = \underline{\underline{3,125 \text{ mS}}} \quad R = \frac{1}{G} = \frac{1000}{3,125} = \underline{\underline{320 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60}{320} = 0,1875 \text{ A} = \underline{\underline{187,5 \text{ mA}}}$$

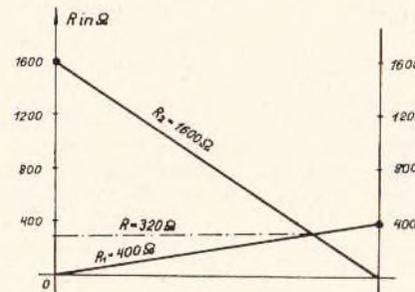
$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{60}{1600} \text{ A}; \quad I_1 = \frac{60000}{1600} = \underline{\underline{37,5 \text{ mA}}}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{60}{400} \text{ A}; \quad I_2 = \frac{60000}{400} = \underline{\underline{150 \text{ mA}}}$$

**Rechenprobe:**  $I = I_1 + I_2 = 37,5 + 150 = \underline{\underline{187,5 \text{ mA}}}$

Die gesuchten Werte betragen:  $R = 320 \Omega$ ,  $I = 187,5 \text{ mA}$ ,  $I_1 = 37,5 \text{ mA}$ ,  $I_2 = 150 \text{ mA}$ .

**Zeichnerische Lösung:**



(Abb. 35)

Tragen Sie senkrecht die Widerstandswerte auf. Wählen Sie hierbei einen Maßstab, der der verfügbaren Zeichenfläche und der erforderlichen Ablesegenauigkeit gerecht wird. Die Breite des Diagramms ist beliebig.

Tragen Sie auf der Senkrechten die Widerstandswerte der Einzelwiderstände auf.

Der Schnittpunkt der Widerstandsgeraden ergibt den Wert des Gesamtwiderstandes.

**Übungsbeispiel 2**

Vier gleich große Widerstände von je  $400 \Omega$  sind parallelgeschaltet. Die angeschaltete Spannung beträgt  $U = 60 \text{ V}$ . Wie groß sind Gesamtwiderstand, Stromstärke und Teilströme des Stromkreises?

**Gegeben:**  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 400 \Omega, n = 4, U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:**  $R, I, I_1, I_2, I_3, I_4$

**Lösung:**  $R = \frac{R_1}{n} = \frac{400}{4} = \underline{\underline{100 \Omega}} \quad I = \frac{U}{R} = \frac{60}{100} = \underline{\underline{0,6 \text{ A}}}$

$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{60}{400} = \underline{\underline{0,15 \text{ A}}}$

**Rechenprobe:**  $I = n \cdot I_1 = 4 \cdot 0,15 = \underline{\underline{0,6 \text{ A}}}$

Die gesuchten Größen betragen:  $R = 100 \Omega, I = 0,6 \text{ A}, I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 0,15 \text{ A}$ .

**4.4.1. Stromverzweigung**

In jedem Stromverzweigungspunkt ist die **Summe der zuffießenden Ströme** gleich der **Summe der abfließenden Ströme** (Kirchhoff I).

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtstrom	$I$	Ampere	A

**Größengleichung**

$I = I_1 + I_2 \text{ A}$

$I$  = Gesamtstrom in A  
 $I_1$  = Teilstrom in A

**Einheitengleichung**

$I_2$  = Teilstrom in A

$\text{A} = \text{A} + \text{A}$

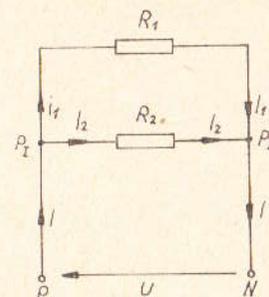
**Übungsbeispiel**

Eine Relaiswicklung nimmt bei einer Spannung von  $U = 60 \text{ V}$  einen Strom von  $I_1 = 100 \text{ mA}$  auf. Durch Parallelschalten eines Widerstands soll die Gesamtstromstärke des Stromkreises auf  $I = 150 \text{ mA}$  eingestellt werden (Abb. 36). Wie groß muß der Parallelwiderstand  $R_2$  sein?

**Gegeben:**  $U = 60 \text{ V}, I_1 = 100 \text{ mA}, I = 150 \text{ mA}$

**Gesucht:**  $R_2$

**Lösung:**



(Abb. 36)

Für das Aufstellen der Größengleichung wird ein Stromverzweigungspunkt betrachtet, z. B. Stromverzweigungspunkt  $P_1$ .

Jeder Strompfeil, der auf den Stromverzweigungspunkt zufließt, bekommt ein positives Vorzeichen; jeder Strompfeil, der von dem Stromverzweigungspunkt abfließt, bekommt ein negatives Vorzeichen. Sind sämtliche Strompfeile berücksichtigt, dann wird die Größengleichung gleich Null gesetzt.

$+ I - I_1 - I_2 = 0 \quad I_2 = I - I_1 = 150 - 100 = \underline{\underline{50 \text{ mA}}}$

$R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{60}{0,050} = \frac{60 \cdot 10^3}{50} = \underline{\underline{1200 \Omega}}$

Der Parallelwiderstand muß  $R_2 = 1200 \Omega$  betragen.

**4.4.2. Stromverhältnis**

Bei der Parallelschaltung von Widerständen sind die Teilströme **umgekehrt verhältnisgleich** den Widerständen.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Teilstrom	$I_1$	Ampere	A

**Größengleichung**

$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

$I_1$  = Teilstrom durch den Widerstand  $R_1$   
 $I_2$  = Teilstrom durch den Widerstand  $R_2$   
 $R_1$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$   
 $R_2$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$

**Einheitengleichung**

$\frac{\text{A}}{\text{A}} = \frac{\Omega}{\Omega} = 1$

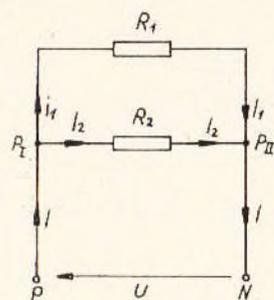
**Übungsbeispiel**

Die Gesamtstromstärke einer Parallelschaltung zweier Relaiswicklungen beträgt  $I = 240 \text{ mA}$ . Der Widerstandswert der einen Relaiswicklung ist  $R_1 = 800 \Omega$ ; sie wird von dem Teilstrom  $I_1 = 180 \text{ mA}$  durchflossen (Abb. 37). Wie groß ist der Einzelwiderstand  $R_2$ ?

**Gegeben:**  $I = 240 \text{ mA}, I_1 = 180 \text{ mA}, R_1 = 800 \Omega$

**Gesucht:**  $R_2$

**Lösung:**



(Abb. 37)

$$I_2 = I - I_1 = 240 - 180 = \underline{60 \text{ mA}}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = \frac{I_1 \cdot R_1}{I_2} = \frac{180 \cdot 800}{60}$$

$$R_2 = \underline{\underline{2400 \Omega}}$$

Der Widerstandswert der Relaiswicklung 2 beträgt  
 $R_2 = 2,4 \text{ k}\Omega$ .

#### 4.4.3. Strommesser

Die Meßbereiche von Strommessern werden durch **Parallelwiderstände** erweitert.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Teilstrom	$I_i, I_N$	Ampere	A
Widerstand	$R_i, R_N$	Ohm	$\Omega$

#### Größengleichungen

$I_N = I - I_i \text{ A}$
$R_N = \frac{U_i}{I_N} = \frac{I_i \cdot R_i}{I_N} \Omega$
$R_N = \frac{R_i}{n - 1} \Omega$
$n = \frac{I}{I_i} = \frac{R_i}{R_N} + 1$

$I_i$  = Meßwerkstrom bei Vollausschlag in A  
 $R_i$  = Meßwerkwiderstand in  $\Omega$   
 $I$  = Meßbereich mit Nebenwiderstand in A  
 $I_N$  = Stromfluß im Nebenwiderstand in A  
 $R_N$  = Nebenwiderstand in  $\Omega$   
 $n$  = Vervielfachungsfaktor (Einheit 1)

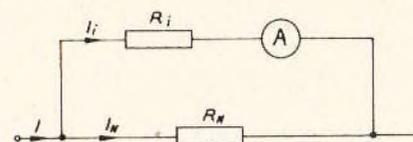
#### Übungsbeispiel

Ein Strommesser für Messungen von 0 bis 1,5 A soll für Strommessungen bis zu 7,5 A verwendet werden. Der innere Widerstand des Strommessers beträgt  $R_i = 200 \text{ m}\Omega$ ; die Skala des Strommessers ist in 10 Teile zu je 150 mA eingeteilt (Abb. 38). Wie groß muß der Nebenwiderstand  $R_N$  sein und welche Skaleneinteilung gilt bei eingeschaltetem Nebenwiderstand?

**Gegeben:**  $I_i = 1,5 \text{ A}, R_i = 200 \text{ m}\Omega, I = 7,5 \text{ A}, 10 \text{ Skalenteile}$

**Gesucht:**  $R_N$

**Lösung:**



(Abb. 38)

$$n = \frac{I}{I_i} = \frac{7,5}{1,5} = 5$$

$$R_N = \frac{R_i}{n - 1} = \frac{200}{5 - 1}$$

$$R_N = \frac{200}{4} = \underline{\underline{50 \text{ m}\Omega}}$$

#### Anderer Rechengang:

$$I_N = I - I_i = 7,5 \text{ A} - 1,5 \text{ A} = \underline{6 \text{ A}}$$

$$R_N = \frac{I_i \cdot R_i}{I_N} = \frac{1,5 \text{ A} \cdot 200 \text{ m}\Omega}{6 \text{ A}} = \underline{\underline{50 \text{ m}\Omega}}$$

$$10 \text{ Skalenteile} = 7,5 \text{ A}$$

$$1 \text{ Skalenteil} = \frac{7,5}{10} = \underline{\underline{0,75 \text{ A}}}$$

Skaleneinteilung mit Nebenwiderstand: - in A -

0,75	1,5	2,25	3,0	3,75	4,5	5,25	6,0	6,75	7,5
------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----

Der Nebenwiderstand muß  $R_N = 50 \text{ m}\Omega$  betragen.

#### 4.5. Elektromotorische Kraft und Klemmenspannung

Die elektromotorische Kraft ist die Summe aus der **Klemmenspannung** und dem **inneren Spannungsverlust**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Elektromotorische Kraft	$E$	Volt	V

#### Größengleichung

$$E = U + U_i \text{ V}$$

$E$  = Elektromotorische Kraft in V  
 $U$  = Klemmenspannung in V

**Einheitengleichung**  $U_i$  = innerer Spannungsverlust in V

$$V = V + V$$

Neuerdings wird die elektromotorische Kraft häufig auch als **Leerlaufspannung** bezeichnet:  
 $U_0$  = Leerlaufspannung in V

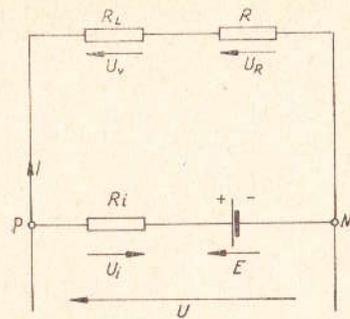
#### Übungsbeispiel

Die elektromotorische Kraft einer Batterie für eine Fernsprechvermittlungsstelle beträgt  $E = 62 \text{ V}$ ; der innere Widerstand der Batterie ist  $R_i = 0,0012 \Omega$ . Während der Hauptverkehrszeit beträgt der Widerstand der Vermittlungsstelle  $R = 0,58 \Omega$ ; der Leitungswiderstand für die Hin- und Rückleitung ist  $R_L = 0,01 \Omega$  (Abb. 39). Wie groß ist die Klemmenspannung der Batterie und welche Spannung liegt an den Einrichtungen der Vermittlungsstelle?

**Gegeben:**  $E = 62 \text{ V}, R_i = 0,0012 \Omega, R = 0,58 \Omega, R_L = 0,01 \Omega$

**Gesucht:**  $U, U_R$

**Lösung:**



(Abb. 39)

$$R_g = R_i + R_L + R = 0,0012 + 0,01 + 0,58$$

$$R_g = \underline{0,5912 \Omega}$$

$$I = \frac{U}{R_g} = \frac{62}{0,5912} = \underline{105 \text{ A}}$$

$$U_i = I \cdot R_i = 105 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} = \underline{126 \text{ mV}}$$

$$U = E - U_i = 62 - 0,126 = \underline{61,874 \text{ V}}$$

$$U_v = I \cdot R_L = 105 \cdot 10^{-2} = \underline{1,05 \text{ V}}$$

$$U_R = E - U_i - U_v = 62 - 0,126 - 1,05$$

$$U_R = \underline{60,824 \text{ V}}$$

Die Klemmenspannung beträgt  $U = 61,874 \text{ V}$ , die Verbraucherspannung ist  $U_R = 60,824 \text{ V}$ .

#### 4.6. Umrechnungsfaktoren

Stromstärke, Spannung	$\mu \text{ A}, \mu \text{ V}$	$\text{mA}, \text{mV}$	$\text{A}, \text{V}$	$\text{kA}, \text{kV}$
$1 \mu \text{ A} =$ $1 \mu \text{ V} =$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$
$1 \text{ mA} =$ $1 \text{ mV} =$	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$
$1 \text{ A} =$ $1 \text{ V} =$	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$
$1 \text{ kA} =$ $1 \text{ kV} =$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1

Widerstand	$\text{m}\Omega$	$\Omega$	$\text{k}\Omega$	$\text{M}\Omega$	$\text{G}\Omega$
$1 \text{ m}\Omega =$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$
$1 \Omega =$	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$
$1 \text{ k}\Omega =$	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$
$1 \text{ M}\Omega =$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$
$1 \text{ G}\Omega =$	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1

Leitwert	nS	$\mu\text{S}$	mS	S
$1 \text{ nS} =$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$
$1 \mu\text{S} =$	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$
$1 \text{ mS} =$	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$
$1 \text{ S} =$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1

Widerstand/ Leitwert	nS	$\mu\text{S}$	mS	S
$1 \Omega =$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1
$1 \text{ k}\Omega =$	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$
$1 \text{ M}\Omega =$	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$
$1 \text{ G}\Omega =$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$

Leitwert/ Widerstand	$\Omega$	$\text{k}\Omega$	$\text{M}\Omega$	$\text{G}\Omega$
$1 \text{ nS} =$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1
$1 \mu\text{S} =$	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$
$1 \text{ mS} =$	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$
$1 \text{ S} =$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$

#### 4.7. Aufgaben

1. Berechnen Sie:

- $I = 2,84 \text{ kA} + 78 \text{ A} + 68400 \text{ mA} + 89400000 \mu\text{A} = ?$  in A
- $I = 0,0052 \text{ A} + 72 \text{ mA} + 362 \mu\text{A} = ?$  in mA
- $U = 1,25 \text{ V} + 3400 \text{ mV} + 679200 \mu\text{V} = ?$  in V
- $U = 0,0048 \text{ kV} + 0,64 \text{ V} + 250 \text{ mV} + 840000 \mu\text{V} = ?$  in mV
- $R = 1800 \Omega + 0,24 \text{ k}\Omega + 0,0048 \text{ M}\Omega = ?$  in  $\Omega$
- $R = 26000 \Omega + 18 \text{ k}\Omega + 3,2 \text{ M}\Omega + 0,2 \text{ G}\Omega = ?$  in  $\text{k}\Omega$
- $G = 4600000 \text{ nS} + 78000 \mu\text{S} + 2 \text{ mS} + 0,0018 \text{ S} = ?$  in mS
- $G = 7860000000 \text{ nS} + 1200000 \mu\text{S} + 2800 \text{ mS} = ?$  in S

**Ohmsches Gesetz**

- Eine Glühlampe hat einen Widerstand von  $R = 112 \Omega$ . Die angeschaltete Spannung beträgt  $U = 24 \text{ V}$ . Von welcher Stromstärke wird die Glühlampe durchflossen?
- Ein Widerstand ist an eine Spannung von  $U = 220 \text{ V}$  geschaltet. Die gemessene Stromstärke beträgt  $I = 2,2 \text{ A}$ . Wie groß ist der Widerstand?
- An eine Spannung von  $U = 60 \text{ V}$  werden die in der Tabelle aufgeführten Widerstände geschaltet. Tragen Sie die dazugehörigen Stromwerte ein.

$R$ in	100	500	1000	2000	3000	4000
$I$						

- Ein Widerstand von  $R = 500 \Omega$  wird an die in der Tabelle aufgeführten Spannungswerte geschaltet.
  - Tragen Sie die dazugehörigen Stromwerte ein.
  - Zeichnen Sie in einem Spannungs-Strom-Diagramm die Widerstandsgerade.

$U$ in V	5	10	15	20	25	30	35	40
$I$ in mA								

- Von unbekanntem Widerständen werden die Spannungs- und Stromwerte gemessen. Die Meßergebnisse sind in folgender Tabelle aufgeführt.
  - Zeichnen Sie für die Spannungs- und Stromwerte die jeweiligen Widerstandsgeraden.
  - Tragen Sie die Widerstandswerte in die Tabelle ein.

$U$ in V	6	12	18	24	30	36	42
$I$ in mA	100	120	36	84	108	120	54
$R$ in $\Omega$							

**Widerstand/Leitwert**

- Der Widerstand eines Kupferdrahtes beträgt  $R = 30 \Omega$ . Wie groß ist der Leitwert des Kupferdrahtes?
- Der Leitwert eines Widerstands ist  $G = 28,4 \text{ nS}$ . Wie groß ist der Widerstandswert des Widerstands?

- In folgender Tabelle sind verschiedene Widerstandswerte aufgeführt. Berechnen Sie für jeden Widerstand den Leitwert.

$R$	500 $\Omega$	1,2 k $\Omega$	0,8 M $\Omega$	870 m $\Omega$	3,6 G $\Omega$
$S$					

- In folgender Tabelle sind verschiedene Leitwerte aufgeführt. Berechnen Sie die Widerstandswerte.

$G$	0,3 S	4,2 mA	36 $\mu\text{S}$	484 nS	800 pS
$R$					

- Ein Widerstand ist an eine Spannung von  $U = 42 \text{ V}$  geschaltet. Die Stromstärke beträgt  $I = 18 \text{ mA}$ . Wie groß ist der Leitwert des Widerstands?
- Der Leitwert eines Widerstands beträgt  $G = 6 \mu\text{S}$ . Der Widerstand wird an eine Spannung von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet. Wie groß ist die Stromstärke in dem Widerstand?

**Reihenschaltung**

- Vier Widerstände von  $R_1 = 24 \Omega$ ,  $R_2 = 13 \Omega$ ,  $R_3 = 38 \Omega$  und  $R_4 = 29 \Omega$  sind hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Spannung beträgt  $U = 60 \text{ V}$ . Wie groß sind Gesamt-widerstand, Gesamtstrom und Teilspannungen des Stromkreises?
- Zwei Widerstände von  $R_1 = 600 \Omega$  und  $R_2 = 900 \Omega$  sind in Reihe geschaltet. Die angeschaltete Spannung beträgt  $U = 60 \text{ V}$ . Durch Hinzuschalten eines dritten Reihenwiderstands soll die Stromstärke des Stromkreises auf  $I = 2,4 \text{ mA}$  eingestellt werden. Wie groß muß der zusätzliche Reihenwiderstand sein und welche Spannungsaufteilungen ergeben sich mit und ohne zusätzlichen Widerstand?
- Die Spannung sowie die Widerstandswerte von drei in Reihe geschalteten Widerständen sind in nachstehender Tabelle angegeben. Berechnen Sie die jeweiligen Stromwerte und die Teilspannungen.

	$U$ V	$R_1 \Omega$	$R_2 \Omega$	$R_3 \Omega$	$R$	$I$	$U_1$	$U_2$	$U_3$
a)	60	400	600	800					
b)	4	200	1200	500					
c)	12	60	600	240					

16. Der Anzugsstrom eines Fernmelderelais beträgt  $I = 35 \text{ mA}$ , der Widerstandswert der Relaiswicklung ist  $R = 1200 \Omega$ . Das Relais soll in einen Stromkreis von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet werden. Wie groß muß der Vorwiderstand für das Relais sein?
17. Zwei Glühlampen mit der Aufschrift  $L_1 = 24 \text{ V} / 0,2 \text{ A}$  und  $L_2 = 24 \text{ V} / 0,3 \text{ A}$  werden in Reihenschaltung an eine Spannung von  $U = 48 \text{ V}$  geschaltet. Welcher Strom stellt sich tatsächlich ein und wie ist die Spannungsaufteilung an beiden Glühlampen (Widerstandsveränderungen infolge Temperaturschwankungen werden vernachlässigt)?
18. Die Gesamtspannung von  $U = 60 \text{ V}$  soll mit Hilfe eines Spannungsteilers so aufgeteilt werden, daß eine Spannung von  $U_2 = 9,5 \text{ V}$  zur Verfügung steht. Der Gesamtwiderstand des Spannungsteilers beträgt  $R = 1600 \Omega$ . Welcher Strom fließt bei unbelastetem Spannungsteiler und wie groß sind die Teilwiderstände bei der Spannungsaufteilung?
19. In nachstehender Tabelle sind die jeweilige Gesamtspannung und der Gesamtwiderstand eines Spannungsteilers aufgeführt. Die Spannung  $U_2$  soll die Nutzspannung bei unbelastetem Spannungsteiler sein.
- Mit welchen Stromstärken werden die Spannungsteiler belastet?
  - Welche Widerstandsaufteilung ergibt sich?

	$U \text{ V}$	$R \Omega$	$U_2 \text{ V}$	$I$	$R_1$	$R_2$	$U_1$
a)	60	2000	12				
b)	4	1800	2,2				
c)	9	420	3,6				

### Spannungsmesser

20. Ein Spannungsmesser für  $0 - 6 \text{ V}$  hat einen inneren Widerstand von  $R_i = 4 \text{ k}\Omega$ . Mit diesem Meßgerät sollen Spannungen bis zu  $60 \text{ V}$  gemessen werden. Wie groß muß der Vorwiderstand sein und welcher Strom fließt bei  $U = 60 \text{ V}$  durch das Meßgerät?
21. Ein Spannungsmesser für  $0 - 1,5 \text{ V}$  hat einen inneren Widerstand von  $R_i = 1,2 \text{ k}\Omega$ . Die Skala des Meßgeräts ist in 15 gleiche Teile von je  $0,1 \text{ V}$  eingeteilt. Mit dem Spannungsmesser sollen Messungen bis zu  $15 \text{ V}$  durchgeführt werden.
- Wie groß muß der Vorwiderstand sein und welcher Strom fließt bei  $U = 15 \text{ V}$  durch das Meßgerät?
  - Welche Skaleneinteilung gilt für den Spannungsmesser mit Vorwiderstand?

22. Ein Spannungsmesser für  $0 - 400 \text{ mV}$  hat einen inneren Widerstand von  $R_i = 1,8 \text{ k}\Omega$ . Für dieses Meßgerät sollen Meßbereiche eingerichtet werden für Spannungsmessungen von  $0 - 4 \text{ V}$ ,  $0 - 8 \text{ V}$  und  $0 - 16 \text{ V}$ .
- Zeichnen Sie den Stromlaufplan.
  - Wie groß müssen die jeweiligen Vorwiderstände sein?
23. Für mehrere Spannungsmesser sind die Meßbereiche und die inneren Widerstände in nachstehender Tabelle angegeben. Die Meßbereiche sollen auf den Spannungswert  $U_2$  erweitert werden. Wie groß müssen die jeweiligen Vorwiderstände sein?

	$U_1 \text{ V}$	$R_i \text{ k}\Omega$	$U \text{ V}$	$R_V \text{ k}\Omega$
a)	0 - 2	2,4	20	
b)	0 - 60	36	120	
c)	0 - 25	18	75	

24. Vier Widerstände von  $R_1 = 400 \Omega$ ,  $R_2 = 600 \Omega$ ,  $R_3 = 800 \Omega$  und  $R_4 = 1000 \Omega$  sind parallelgeschaltet. Die angeschaltete Spannung beträgt  $U = 60 \text{ V}$ . Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom und Teilströme des Stromkreises?

### Parallelschaltung

25. Zwei Widerstände von  $R_1 = 600 \Omega$  und  $R_2 = 1200 \Omega$  sind parallelgeschaltet. Die angeschaltete Spannung beträgt  $U = 60 \text{ V}$ . Durch Hinzuschalten eines dritten Parallelwiderstandes soll die Gesamtstromstärke auf  $I = 350 \text{ mA}$  eingestellt werden. Wie groß muß der zusätzliche Parallelwiderstand sein und welche Stromaufteilung ergibt sich mit und ohne zusätzlichen Widerstand?
26. Die Spannung sowie die Widerstandswerte von drei parallelgeschalteten Widerständen sind in nachstehender Tabelle angegeben. Berechnen Sie den jeweiligen Gesamtstrom und die Teilströme.

	$U \text{ V}$	$R_1 \Omega$	$R_2 \Omega$	$R_3 \Omega$	$R$	$I$	$I_1$	$I_2$	$I_3$
a)	60	400	600	800					
b)	4	1000	1200	2200					
c)	12	900	1100	300					

27. Zu dem Widerstand eines Gebührenzählers von  $R_1 = 100 \Omega$  ist ein zweiter Widerstand von  $R_2 = 10 \Omega$  parallelgeschaltet. Bei einem Zählstromstoß muß die Stromstärke im Gebührenzähler mindestens  $I_1 = 46 \text{ mA}$  betragen. Wie groß muß die Gesamtstromstärke des Zählstromstoßes mindestens sein und welche Spannung liegt dann an der Parallelschaltung?

#### Strommesser

28. Ein Strommesser für  $0 - 6 \text{ A}$  hat einen inneren Widerstand von  $R_i = 240 \text{ m}\Omega$ . Der Strommesser soll für Strommessungen bis zu  $I = 60 \text{ A}$  verwendet werden. Wie groß muß der Parallelwiderstand sein und welche Spannung liegt bei  $I = 60 \text{ A}$  an dem Meßgerät?
29. Ein Strommesser für  $0 - 1,5 \text{ A}$  soll für Messungen bis zu  $I = 7,5 \text{ A}$  verwendet werden. Der innere Widerstand des Meßgeräts beträgt  $R_i = 120 \text{ m}\Omega$ ; die Skala ist in 15 gleiche Teile zu je  $0,1 \text{ A}$  eingeteilt.
- Wie groß muß der Parallelwiderstand sein und welche Spannung liegt bei  $I = 7,5 \text{ A}$  am Meßgerät?
  - Welche Skaleneinteilung gilt für den Strommesser mit Nebenwiderstand?
30. Ein Strommesser für  $0 - 60 \text{ mA}$  hat einen inneren Widerstand von  $84 \text{ m}\Omega$ . Für dieses Meßgerät sollen Meßbereiche eingerichtet werden für Strommessungen  $0 - 300 \text{ mA}$ ,  $0 - 600 \text{ mA}$  und  $0 - 1,2 \text{ A}$ .
- Zeichnen Sie den Stromlaufplan.
  - Wie groß müssen die jeweiligen Vorwiderstände sein?
31. Für mehrere Strommesser sind die Meßbereiche und die inneren Widerstände in nachstehender Tabelle angegeben. Die Meßbereiche sollen auf den Stromwert  $I$  erweitert werden. Wie groß müssen die jeweiligen Nebenwiderstände sein?

	$I_i \text{ A}$	$R_i \Omega$	$I \text{ A}$	$R_N$
a)	1,5	0,35	3	
b)	6	0,12	60	
c)	0,4	0,64	2,0	

#### EMK und Klemmenspannung

32. Eine Batterie hat eine EMK von  $E = 100 \text{ V}$ , der innere Widerstand der Batterie beträgt  $R_i = 0,8 \Omega$ . Die Batterie wird mit einer Stromstärke von  $I = 10 \text{ A}$  belastet. Wie groß ist die Klemmenspannung  $U$ ?
33. Eine Batterie hat eine Klemmenspannung von  $U = 218 \text{ V}$ . Die Strombelastung beträgt  $I = 40 \text{ A}$  und der innere Widerstand der Batterie  $R_i = 0,05 \Omega$ . Wie groß ist die EMK der Batterie?

34. Eine Batterie hat eine EMK von  $E = 64 \text{ V}$  und einen inneren Widerstand von  $R_i = 0,09 \Omega$ . Bei einer bestimmten Strombelastung beträgt die Klemmenspannung  $U = 62 \text{ V}$ . Mit welcher Stromstärke wird die Batterie belastet?
35. Eine Batterie hat eine EMK von  $E = 24 \text{ V}$  und einen inneren Widerstand von  $R_i = 0,8 \Omega$ . Wie groß ist die Kurzschlußstromstärke der Batterie?
36. Eine Batterie mit der EMK von  $E = 48 \text{ V}$  wird mit einer Stromstärke von  $I = 4,5 \text{ A}$  belastet. Dabei beträgt die Klemmenspannung  $U = 46,5 \text{ V}$ . Wie groß ist der innere Widerstand der Batterie?
37. Die EMK einer Batterie für eine Fernsprechvermittlungsstelle beträgt  $E = 62 \text{ V}$ ; der innere Widerstand ist  $R_i = 24 \text{ m}\Omega$ . Die verschiedenen Strombelastungen sind in nachstehender Tabelle eingetragen. Wie groß sind die jeweiligen Werte der Klemmenspannung?

$I \text{ A}$	18	36	62	80	100	120	185
$U \text{ V}$							

38. Die EMK einer Batterie beträgt  $E = 60 \text{ V}$ ; der innere Widerstand ist  $R_i = 100 \text{ m}\Omega$ . Wie groß sind die jeweiligen Werte der Klemmenspannung bei verschiedenen Belastungswiderständen  $R_a$ ?

$R_a \Omega$	80	44	16	8,6	1,6	0,4
$I \text{ A}$						
$U \text{ V}$						

39. Die elektromotorische Kraft der Stromversorgung einer Nebensstellenanlage beträgt  $U_o = 24,6 \text{ V}$ . Der innere Widerstand ist  $R_i = 0,1 \text{ Ohm}$ . Infolge der unterschiedlichen Widerstandsbelastung ergeben sich verschiedene Stromstärken und Klemmenspannungen. Wie groß sind die jeweiligen Stromwerte und Klemmenspannungen?

$R_a$	100	80	60	40	20	10
$I \text{ A}$						
$U \text{ V}$						

40. Von einer Batterie werden die Klemmenspannung zu  $U = 23,4 \text{ V}$  und die Strombelastung zu  $I = 12,6 \text{ A}$  gemessen. Die elektromotorische Kraft wird auf  $E = 24 \text{ V}$  geschätzt. Wie groß ist nach dieser Schätzung der ungefähre Wert des inneren Widerstandes der Batterie?

## 5. Der Leiterwiderstand

Der Leiterwiderstand ist verhältnismäßig der **Leiterlänge** und dem **spezifischen Widerstand** und umgekehrt verhältnismäßig dem **Leiterquerschnitt**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Leiterwiderstand	$R_L$	Ohm	$\Omega$

### Größengleichungen

$R_L = \frac{l \cdot \rho}{A} \Omega$	$R_L =$ Leiterwiderstand in $\Omega$
$R_L = \frac{l}{A \cdot \kappa} \Omega$	$l =$ Leiterlänge in m
	$\rho =$ (Rho) = spezifischer Widerstand in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

**Einheitengleichung**

$\Omega = \frac{\text{m} \cdot \Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{mm}^2 \cdot \text{m}}$	$A =$ Leiterquerschnitt in $\text{mm}^2$
	$\kappa =$ (Kappa) = Leitfähigkeit in $\frac{\text{S} \cdot \text{m}}{\text{mm}^2}$

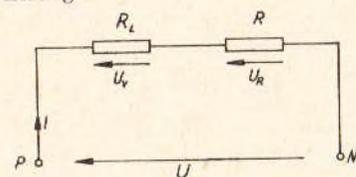
### Übungsbeispiel

Die Entfernung zwischen der Stromversorgungsanlage und den Vermittlungseinrichtungen einer Fernsprechvermittlungsstelle beträgt 84 m. Die Strombelastung in der Zuleitung während der Hauptverkehrsstunde ist  $I = 120 \text{ A}$  (Abb. 40). Welcher Kupferquerschnitt ist zu verlegen, wenn der Spannungsverlust auf der Leitung höchstens 2 v.H. von 60 V betragen darf?

**Gegeben:**  $U = 60 \text{ V}$ ,  $p = 0,02$ ,  $l = 2 \cdot 84 \text{ m}$ ,  $I = 120 \text{ A}$ ,  $\rho = 0,018 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

**Gesucht:**  $A$

**Lösung:**



(Abb. 40)

$$U_v = U \cdot p = 60 \cdot 0,02 = \underline{1,2 \text{ V}}$$

$$R_L = \frac{U_v}{I} = \frac{1,2}{120} = \underline{\underline{0,01 \Omega}}$$

$$R_L = \frac{l \cdot \rho}{A}$$

$$A = \frac{l \cdot \rho}{R_L} = \frac{2 \cdot 84 \cdot 0,018}{0,01} = \underline{\underline{302 \text{ mm}^2}}$$

Aus praktischen Gründen wird Flachkupfer  $5 \times 60 \text{ mm}^2$  gewählt. Der Kupferquerschnitt für die Zuleitung beträgt  $A = 300 \text{ mm}^2$ .

## 5.1. Stromdichte

Die Stromdichte ist der Quotient aus der **Stromstärke** und dem **Leiterquerschnitt**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Stromdichte	$S$	Ampere pro Quadratmillimeter	$\text{A}/\text{mm}^2$

### Größengleichung

$S = \frac{I}{A} \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$	$S =$ Stromdichte in $\text{A}/\text{mm}^2$
	$I =$ Stromstärke in A
	$A =$ Leiterquerschnitt in $\text{mm}^2$

### Einheitengleichung

$$\frac{\text{A}}{\text{mm}^2} = \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

### Übungsbeispiel

Die Strombelastung eines Leiterquerschnitts von  $A = 300 \text{ mm}^2$  ist  $I = 120 \text{ A}$ . Wie groß ist die Stromdichte des Leiters?

**Gegeben:**  $A = 300 \text{ mm}^2$ ,  $I = 120 \text{ A}$

**Gesucht:**  $S$

**Lösung:**  $S = \frac{I}{A} = \frac{120}{300} = \underline{\underline{0,4 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}}}$

Die Stromdichte beträgt  $S = 0,4 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ .

## 5.2. Widerstand und Temperatur

Der veränderte Widerstandswert infolge Temperaturveränderung ergibt sich aus der Summe des **Kaltwiderstands** und der **Widerstandsveränderung**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Widerstand	$R_2$	Ohm	$\Omega$

**Größengleichungen**

$$R_2 = R_1 + R_1 \cdot a \cdot (t_2 - t_1) \Omega$$

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + a \cdot (t_2 - t_1)] \Omega$$

**Einheitengleichungen**

$$\Omega = \Omega + \Omega \cdot \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot (^\circ\text{C} - ^\circ\text{C})$$

$$\Omega = \Omega \cdot [1 + \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot (^\circ\text{C} - ^\circ\text{C})]$$

$R_2$  = Widerstandswert in  $\Omega$   
bei der Temperatur  $t_2$

$R_1$  = Widerstandswert in  $\Omega$   
bei der Temperatur  $t_1 = 20^\circ\text{C}$

$a$  = (Alpha) = Temperaturbeiwert  
in  $1/^\circ\text{C}$

$t_2$  = Endtemperatur in  $^\circ\text{C}$

$t_1$  = Anfangstemperatur in  $^\circ\text{C}$

$t_1 = 20^\circ\text{C}$

**Übungsbeispiel**

Eine Widerstandswicklung wird bei einer Raumtemperatur von  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  an eine Spannung von  $U = 42\text{ V}$  geschaltet. Im Augenblick des Einschaltens beträgt die Stromstärke  $I_1 = 42\text{ mA}$ ; nach längerem Betrieb verringert sich der Strom auf  $I_2 = 34,5\text{ mA}$ . Die Temperatur des Widerstandsdrahtes beträgt während des Betriebs  $t_2 = 65^\circ\text{C}$ . Aus welchem Widerstandswerkstoff ist der Drahtwiderstand hergestellt?

**Gegeben:**  $U = 42\text{ V}$ ,  $I_1 = 42\text{ mA}$ ,  $I_2 = 34,5\text{ mA}$ ,  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 65^\circ\text{C}$

**Gesucht:**  $\alpha$

**Lösung:**  $R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha \cdot (t_2 - t_1)]$  umstellen nach  $\alpha$ !

$$\frac{R_2}{R_1} = 1 + \alpha \cdot (t_2 - t_1) \quad \text{beide Seiten durch } R_1 \text{ teilen!}$$

$$\frac{R_2}{R_1} - 1 = \alpha \cdot (t_2 - t_1) \quad \text{linke Seite gleichnamig machen!}$$

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha \cdot (t_2 - t_1) \quad \text{beide Seiten durch } (t_2 - t_1) \text{ teilen!}$$

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot (t_2 - t_1)} = \alpha$$

$$R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{42 \cdot 10^3}{42} = 1000 \Omega \quad R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{42 \cdot 10^3}{34,5} = 1217 \Omega$$

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{1217 - 1000}{1000 \cdot (65 - 20)} = \frac{217 \cdot 10^{-3}}{45} = 4,82 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Der Temperaturbeiwert des Widerstands beträgt  $\alpha = 0,00482\text{ } 1/^\circ\text{C}$ ; der Drahtwiderstand besteht aus Eisen.

**5.3. Aufgaben****Leiterwiderstand**

- Die Baulänge für eine Zuführungsleitung für einen Signalapparat beträgt  $45\text{ m}$ ; der Leitungswiderstand darf höchstens  $1,5\ \Omega$  betragen. Welcher Drahtdurchmesser einer Kupferleitung ist zu wählen?
- Auf einer Kabeltrommel befinden sich  $300$  Windungen eines Anschlußkabels bei einem mittleren Windungsdurchmesser der Kabel-

windungen von  $80\text{ cm}$ . Der Durchmesser der Kupferader ist  $d = 0,6\text{ mm}$ . Wie groß ist der Leitungswiderstand für einen Fernsprechananschluß, für den die ganze Kabellänge verwendet wird?

- Der Widerstand eines Fernsprechapparats  $611$  wird auf  $130\ \Omega$  geschätzt. Die Baulänge der Anschlußleitung beträgt  $l = 4000\text{ m}$ . Der Widerstand von Anschlußleitung und Fernsprechapparat darf zusammen  $680\ \Omega$  nicht überschreiten. Welchen Drahtdurchmesser muß die Kupferader aufweisen?
  - Ein Vorwiderstand aus Nickelinn soll bei einer Drahtlänge von  $l = 200\text{ m}$  einen Widerstand von  $55\ \Omega$  aufweisen. Wie groß muß der Querschnitt des Nickelindrahts sein?
  - Ein Aluminiummantelkabel hat einen Außendurchmesser von  $32\text{ mm}$ ; die Mantelstärke ist  $s = 1,2\text{ mm}$ . Wie groß ist der Widerstand des Kabelmantels je  $100\text{ m}$  Kabellänge?
  - Ein Bleimantelkabel ist  $l = 600\text{ m}$  lang; der Außendurchmesser ist  $46\text{ mm}$ , der Innendurchmesser  $40\text{ mm}$ . Wie groß ist der elektrische Widerstand des Kabelmantels?
  - Eine Freileitung aus Bronze von  $d = 2\text{ mm}$  hat einen Widerstand von  $R = 2,8\ \Omega$ . Wie lang sind der Freileitungsdraht und die Baulänge der Freileitung?
  - Wie groß ist der Widerstand nachstehender Anschlußleitungen?
- | $l\text{ m}$ | 300 | 420 | 540 | 600 | 750 | 820 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0,4 Cu       |     |     |     |     |     |     |
| 0,6 Cu       |     |     |     |     |     |     |
| 0,8 Cu       |     |     |     |     |     |     |
- Der höchstzulässige Leitungswiderstand für eine Fernsprechananschlußleitung beträgt etwa  $900\ \Omega$ . Welche größte Baulänge wird erreicht mit  $0,4$ -,  $0,6$ - und  $0,8$ -Kupferadern?
  - Wie groß ist der Widerstand eines Kohlestiftes von  $d = 2,4\text{ mm}$  und  $l = 5,4\text{ cm}$ ?
  - Ein Keramikrohr mit einem Außendurchmesser von  $d = 6\text{ mm}$  ist von einer  $0,2\text{ mm}$  starken Kohleschicht überzogen. Die Kohleschicht ist  $l = 4,8\text{ cm}$  lang. Wie groß ist der Widerstandswert des Kohlewiderstands?

12. Bei einer Kabelstörung wird von einem Meßbeamten ein Schleifenwiderstand von  $340 \Omega$  gemessen. Der Durchmesser der Kupferrader ist  $d = 0,8 \text{ mm}$ . Wie weit ist die Kabelstörung von der Meßstelle entfernt?
13. In welchem Verhältnis müssen die Querschnitte einer Kupferleitung und einer Aluminiumleitung stehen, wenn die Leitungen einen gleich großen elektrischen Widerstand aufweisen sollen?
14. In welchem Verhältnis müssen die Durchmesser einer Kupferleitung und einer Aluminiumleitung stehen, wenn die Leitungen einen gleich großen Widerstand aufweisen sollen?
15. Der mittlere Windungsdurchmesser einer Relaispule beträgt  $24 \text{ mm}$ ; die Windungszahl ist  $N = 800$ . Der Durchmesser des Kupferdrahts ist  $d = 0,15 \text{ mm}$ . Wie groß ist der Wicklungswiderstand?
16. Eine Relaispule hat einen Widerstand von  $R = 680 \Omega$ . Der mittlere Windungsdurchmesser ist  $d = 28 \text{ mm}$  bei einem Kupferdurchmesser des Spulendrahts von  $0,12 \text{ mm}$ . Wie groß ist die Windungszahl der Relaispule?
17. Ein Bifilarwiderstand von  $1680 \Omega$  aus Konstantan hat einen Drahtdurchmesser von  $0,4 \text{ mm}$ . Dieser Widerstand soll neu gewickelt werden, und zwar aus einem Wolframdraht von  $0,3 \text{ mm}$ . Welcher Längenunterschied der Widerstandsdrähte ergibt sich?
18. Auf einer Kabeltrommel befindet sich ein Anschlußkabel  $0,6 \text{ mm Cu}$  von unbekannter Länge. An die beiden Enden einer Ader wird eine Spannung von  $4,5 \text{ V}$  geschaltet; dabei fließt ein Strom von  $64 \text{ mA}$ . Wie lang ist das Anschlußkabel?
19. Der Widerstandswert eines Vorwiderstands beträgt  $R = 104 \Omega$ . Die Länge des Widerstandsdrahts ist  $l = 125 \text{ m}$  und der Drahtquerschnitt ist  $A = 0,5 \text{ mm}^2$ . Wie groß ist der spezifische Widerstand des Drahts?
20. Ein Widerstand aus Nickeldraht hat einen Durchmesser von  $d = 0,45 \text{ mm}$ . Der Widerstand soll aus Konstantandraht neu gewickelt werden, ohne daß sich dabei die Drahtlänge ändert. Wie groß muß der Drahtdurchmesser des Konstantandrahts sein?

#### Spannungsverlust

21. Mit einer Kupferleitung von  $l = 2 \times 35 \text{ m}$  soll eine Stromstärke von  $I = 35 \text{ A}$  übertragen werden. Der Spannungsverlust auf der Leitung darf  $U_v = 2 \text{ V}$  nicht übersteigen. Welcher Querschnitt ist zu verlegen?

22. Die Stromzuführungsleitung einer Wählvermittlungsstelle ist  $l = 2 \times 65 \text{ m}$  lang. Die Strombelastung während der Hauptverkehrszeit beträgt  $I = 240 \text{ A}$ . Der Spannungsverlust auf der Leitung darf  $U_v = 2 \text{ V}$  nicht überschreiten.
  - a) Wie groß muß der Mindestquerschnitt der Stromzuführung sein?
  - b) Welcher Kupfer-Querschnitt (Flachkupfer) ist zu verlegen?
  - c) Wie groß ist der Spannungsverlust auf der Stromzuführungsleitung bei dem gewählten Querschnitt?
23. Eine Aluminium-Leitung soll mit  $I = 26 \text{ A}$  bei einer Betriebsspannung von  $U = 220 \text{ V}$  belastet werden. Die Länge der Leitung beträgt  $l = 2 \times 120 \text{ m}$ . Der Spannungsverlust darf höchstens  $3 \text{ v.H.}$  der Betriebsspannung betragen. Welcher Aluminium-Querschnitt ist zu verlegen?
24. Eine  $2 \times 70 \text{ m}$  lange Kupfer-Leitung soll mit einer Stromstärke von  $I = 35 \text{ A}$  belastet werden. Bei einer Betriebsspannung von  $U = 220 \text{ V}$  darf der Spannungsverlust  $2 \text{ v.H.}$  nicht überschreiten.
  - a) Welcher Mindestquerschnitt ist erforderlich?
  - b) Welcher Querschnitt ist zu wählen?
  - c) Wie groß ist der Spannungsverlust im v.H.-Satz bei dem gewählten Querschnitt?
25. Eine Anschlußleitung aus Kupfer ist  $l = 2 \times 55 \text{ m}$  lang und der Querschnitt beträgt  $A = 16 \text{ mm}^2$ . Durch die Leitung fließt eine Stromstärke von  $I = 85 \text{ A}$ . Am Ende der Leitung wird eine Verbraucherspannung von  $U = 210 \text{ V}$  gemessen.
  - a) Wie groß ist der Widerstand der Leitung?
  - b) Wie groß ist die Netzspannung an der Anschlußstelle?
  - c) Wie groß ist der Spannungsverlust auf der Leitung im v.H.-Satz der Netzspannung?
26. Eine Aluminium-Leitung von  $l = 535 \text{ m}$  Länge und  $A = 95 \text{ mm}^2$  Querschnitt soll anderweitig verwendet werden. Die Netzspannung für die Wiederverwendung der Leitung beträgt  $U = 220 \text{ V}$  und der Spannungsverlust darf  $3 \text{ v.H.}$  nicht überschreiten. Mit welcher Stromstärke darf die Anschlußleitung mit Rücksicht auf den Spannungsverlust höchstens belastet werden?
27. An den Anschlußklemmen des Gleichrichters einer Stromversorgungsanlage wird eine Spannung von  $62,4 \text{ V}$  gemessen. Am Leitungsende der Stromzuführungsleitung beträgt die Spannung nur noch  $60,2 \text{ V}$ . Die Strombelastung ist  $I = 180 \text{ A}$ . Die Stromzufüh-

rungsleitung besteht aus Flachkupfer  $4 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm}$ . Wie groß ist die Baulänge der Zuführungsleitung?

28. Von mehreren Fernsprechvermittlungsstellen sind die Strombelastungen während der Hauptverkehrszeit sowie die Baulängen der Anschlußleitungen in nachstehender Tabelle angegeben. Der angegebene Vomhundertsatz für den zulässigen Spannungsverlust darf nicht überschritten werden. Die Betriebsspannung ist überall  $60 \text{ V}$ .
- Welcher Mindestkupferquerschnitt ergibt sich?
  - Welcher genormter Kupferquerschnitt wird verlegt?

	$I \text{ A}$	$l \text{ m}$	$p$	Mindest- Querschnitt	genormter Querschnitt
a)	120	64	2,0		
b)	84	36	2,2		
c)	180	72	1,8		

#### Stromdichte

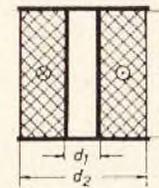
29. Eine Kupferleitung von  $A = 16 \text{ mm}^2$  wird mit einer Stromstärke von  $I = 80 \text{ A}$  belastet. Wie groß ist die Stromdichte in dem Leiter?
30. Der Glühfaden einer Glühlampe hat einen Wolframquerschnitt von  $A = 0,000036 \text{ mm}^2$ . Die Strombelastung während des Betriebes beträgt  $I = 0,3 \text{ A}$ . Wie groß ist die Stromdichte im Wolframfaden?
31. Die Dauerstromstärke für ein Relais soll  $I = 180 \text{ mA}$  betragen. Die Stromdichte in der Wicklung darf höchstens  $S = 100 \text{ mA pro mm}^2$  betragen. Wie groß muß der Drahtdurchmesser gewählt werden?
32. Ein Heizwiderstand aus Nickel hat einen Querschnitt von  $A_1 = 0,25 \text{ mm}^2$ . Der Querschnitt der Zuleitung aus Kupfer beträgt  $A_2 = 1,5 \text{ mm}^2$ . In der Zuleitung wird eine Stromstärke von  $I = 3 \text{ A}$  gemessen.
- Wie groß ist die Stromdichte in der Zuleitung?
  - Wie groß ist die Stromdichte im Heizwiderstandsdraht?
33. Die Strombelastung einer Stromzuführungsleitung für eine Fernsprechvermittlungsstelle für die verschiedenen Tageszeiten ist nachstehend angegeben. Der Leitungsquerschnitt ist  $4 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm}$ . Wie groß sind die jeweiligen Werte der Stromdichte?

$I \text{ A}$	24	42	60	110	145	186	250
$S \text{ A/mm}^2$							

34. Die Strombelastbarkeit einer zweiadrigen Kupferleitung von  $2,5 \text{ mm}^2$  beträgt nach VDE 0255  $40 \text{ A}$ . Wie groß ist die zulässige Stromdichte?
35. Eine Freileitung aus Kupfer von  $A = 10 \text{ mm}^2$  darf höchstens mit  $I = 70 \text{ A}$  belastet werden. Die höchstzulässige Strombelastung einer Bronzeleitung gleichen Querschnitts darf nur  $92 \text{ v.H.}$  des Kupferquerschnitts betragen. Wie groß ist die höchstzulässige Stromdichte für Bronze?
36. Die Stromdichte in einer Relaiswicklung soll mit Rücksicht auf die zulässige Erwärmung  $0,5 \text{ A/mm}^2$  nicht überschreiten. Die Strombelastung beträgt  $I = 80 \text{ mA}$ . Welcher Mindestdurchmesser des Wicklungsdrahtes ist zu wählen?

#### Widerstand / Temperatur

37. Die Wicklung einer Relaispule besteht aus lackisoliertem Kupferdraht. Der Durchmesser des blanken Kupferdrahts beträgt  $0,7 \text{ mm}$ , der Durchmesser des lackisolierten Kupferdrahts beträgt  $0,765 \text{ mm}$ . Die Windungen der inneren Lage haben einen Durchmesser von  $d_1 = 12 \text{ mm}$ , die Windungen der äußeren Lage haben einen Durchmesser von  $d_2 = 38 \text{ mm}$ . Die Länge des Wickelraums beträgt  $l = 66 \text{ mm}$  (Abb. 41).



(Abb. 41)

- Wie groß ist der Widerstand bei  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ?
- Wie groß ist der Widerstand bei  $t_2 = 65^\circ\text{C}$ ?

38. Ein Fernsprechananschluß ist mit einer Freileitung an die Vermittlungsstelle angeschlossen. Die Entfernung Hauptanschluß – Vermittlungsstelle beträgt  $3 \text{ km}$ . Der Draht ist aus Bronze und hat einen Durchmesser von  $d = 1,5 \text{ mm}$ .
- Wie groß ist der Leitungswiderstand bei  $20^\circ\text{C}$ ?
  - Wie groß ist der Leitungswiderstand am Tage bei der Temperatur von  $35^\circ\text{C}$ ?
  - Wie groß ist der Leitungswiderstand nachts bei der Temperatur  $10^\circ\text{C}$ ?
39. Der Widerstand einer Kohlefadenlampe beträgt im ausgeschalteten Zustand bei  $t_1 = 20^\circ\text{C}$   $R_1 = 1400 \Omega$ . Wird die Lampe eingeschaltet, so steigt die Temperatur des Kohlefadens an auf  $t_2 = 1200^\circ\text{C}$ . Wie groß ist der Widerstand der Kohlefadenlampe im eingeschalteten Zustand?

40. Der Wolframfaden einer Glühlampe hat während des Betriebszustands einen Widerstand von  $R_2 = 1205 \Omega$ . Die Temperatur des Wolframfadens beträgt dann  $t_2 = 2400^\circ \text{C}$ . Wird die Lampe ausgeschaltet, so fällt die Temperatur des Wolframfadens auf  $t_1 = 20^\circ \text{C}$  herab. Wie groß ist der Widerstand der Glühlampe in ausgeschaltetem Zustand?
41. Die Kupferwicklung eines Relais wird bei der Temperatur  $t_1 = 20^\circ \text{C}$  und nach längerem Betrieb gemessen. Bei der Temperatur  $t_1 = 20^\circ \text{C}$  beträgt der Widerstand der Kupferwicklung  $R_1 = 450 \Omega$ . Nach längerem Betrieb beträgt der Widerstand der Kupferwicklung  $R_2 = 463 \Omega$ . Auf welche Temperatur  $t_2$  hat sich die Kupferwicklung des Relais während des Betriebes erwärmt?
42. Die Grenzerwärmung eines Transformators beträgt nach VDE 05032  $70^\circ \text{C}$ . Die Unterspannungswicklung eines Transformators hat nach einer Messung bei der Temperatur  $t_1 = 20^\circ \text{C}$  einen Widerstandswert von  $R_1 = 3,8 \Omega$ . Nach längerem Betrieb wird der Widerstand der Unterspannungswicklung erneut gemessen. Der Widerstandswert der Unterspannungswicklung beträgt nunmehr  $R_2 = 4,9 \Omega$ . Genügt die Wicklung den VDE-Vorschriften für die Grenzerwärmung?
43. Ein Widerstandsdraht aus Stahl hat während des Stromdurchgangs eine Temperatur von  $t_2 = 650^\circ \text{C}$  und einen Widerstand von  $R_2 = 37 \Omega$ . Wie groß ist der Widerstand des Stahldrahts bei  $t_1 = 20^\circ \text{C}$ ?
44. Eine eingeschaltete Kohlefadenlampe hat einen Widerstand von  $R_2 = 1650 \Omega$ ; die Temperatur des Kohlefadens beträgt dabei  $t_2 = 900^\circ \text{C}$ . Wird die Lampe ausgeschaltet, so fällt die Temperatur des Kohlefadens auf  $t_1 = 20^\circ \text{C}$  herab. Wie groß ist der Widerstand der ausgeschalteten Kohlefadenlampe?
45. Die Kupferwicklung eines längere Zeit angezogenen Relais hat einen Widerstand von  $R_2 = 1240 \Omega$ . Die Temperatur des Relais mit eingeschalteten Kontakten beträgt  $t_2 = 55^\circ \text{C}$ . Nach Abfall des Relais fällt die Relais-Temperatur auf die Raumtemperatur von  $t_1 = 20^\circ \text{C}$  herab. Wie groß ist der Widerstand der Relaiswicklung bei der Raumtemperatur?
46. Eine Freileitung aus Bronze hat während der Sommerzeit bei  $+30^\circ \text{C}$  einen Widerstand von  $65 \Omega$ . Wie groß ist der Widerstand der Freileitung
- bei der Temperatur von  $+20^\circ \text{C}$  und
  - bei der Temperatur von  $-20^\circ \text{C}$ ?

47. Eine Relaisspule ist an  $42 \text{ V}$  angeschaltet; die gemessene Stromstärke beträgt bei  $20^\circ \text{C}$   $640 \text{ mA}$ . Nach längerem Betrieb zeigt der Strommesser nur noch  $608 \text{ mA}$  an. Auf welche Temperatur hat sich die Wicklung erwärmt?
48. Bei einer in Betrieb befindlichen Relaisspule wurden Spannung und Strom gemessen:  $U = 32 \text{ V}$ ,  $I = 90 \text{ mA}$ . Die Temperatur des Spulendrahtes betrug dabei  $55^\circ \text{C}$ .
- Wie groß ist der Widerstand bei  $+20^\circ \text{C}$ ?
  - Wie groß ist der Einschaltstrom bei abgekühlter Wicklung?
  - Wie lang ist der Spulendraht bei einem Kupferdurchmesser von  $0,3 \text{ mm}$ ?
49. Bei einer Kabelstörung wurde bei einem  $0,6\text{-mm-Cu-Kabel}$  ein Schleifenwiderstand von  $600 \Omega$  gemessen. Die Temperatur des Erdreiches betrug dabei  $+6^\circ \text{C}$ . Wie weit ist die Störung von der Meßstelle entfernt?
50. Auf ein Porzellanrohr von  $d = 8 \text{ mm}$  ist eine Kohleschicht von  $0,1 \text{ mm}$  Stärke aufgetragen. Die Länge der Kohleschicht ist  $60 \text{ mm}$ . Bei der Einschaltung steigt die Temperatur des Kohlewiderstands von  $20^\circ \text{C}$  auf  $200^\circ \text{C}$ . Auf das Wievielfache seines ursprünglichen Werts ist der Widerstandswert nach der Erwärmung angestiegen?
51. Eine Freileitung aus Bronze hat einen Kaltwiderstand von  $350 \Omega$  bei  $20^\circ \text{C}$ . Wie groß sind die Widerstandswerte bei nachstehenden Temperaturen?

$t_2 \text{ }^\circ \text{C}$	-25	-10	0	+10	+30	+40
$R_2 \text{ } \Omega$						

52. Von einem Uranoxid-Heißeiter betragen der Kaltwiderstand bei  $t_1 = 20^\circ \text{C}$   $5000 \Omega$  und der Warmwiderstand bei  $t_2 = 200^\circ \text{C}$   $R_2 = 50 \Omega$ . Wie groß ist der Temperaturbeiwert des Heißeiters?
53. Von mehreren Widerständen aus Nickel sind die Betriebswiderstandswerte sowie die Betriebstemperaturen nachstehend aufgeführt. Wie groß sind die jeweiligen Kaltwiderstände bei  $20^\circ \text{C}$ ?

$R_2 \text{ } \Omega$	750	300	126	84	44	21
$t_2 \text{ }^\circ \text{C}$	550	400	220	190	260	360
$R_1 \text{ } \Omega$						

## 6. Widerstandsgruppenschaltung

Der Gesamtwiderstand einer Widerstandsgruppenschaltung setzt sich zusammen aus der Summe aller **Reihewiderstände** und der Ersatzwiderstände der **parallelgeschalteten Einzelwiderstände**. Sämtliche Widerstandsgruppenschaltungen können auf die nachfolgenden Grundschaltungen zurückgeführt werden.

### 6.1. Parallelschaltung mit Vorwiderstand

Der Gesamtwiderstand ist die Summe des **Vorwiderstandes** und des **Ersatzwiderstandes** für die Parallelschaltung.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtwiderstand	$R$	Ohm	$\Omega$

#### Größengleichung

$$R = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} \Omega$$

$R$  = Gesamtwiderstand in  $\Omega$   
 $R_1$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$   
 $R_2$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$   
 $R_3$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$

#### Einheitengleichung

$$\Omega = \Omega + \frac{\Omega \cdot \Omega}{\Omega + \Omega}$$

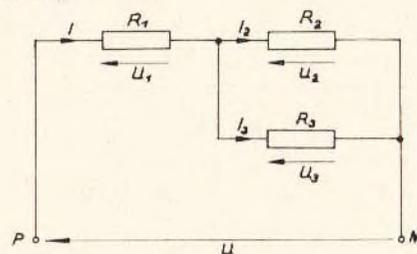
#### Übungsbeispiel

Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen  $R_1 = 600 \Omega$ ,  $R_2 = 1200 \Omega$  und  $R_3 = 400 \Omega$ . Die Spannung ist  $U = 60 \text{ V}$  (Abb. 42). Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom, Teilströme und -spannungen?

**Gegeben:**  $R_1 = 600 \Omega$ ,  $R_2 = 1200 \Omega$ ,  $R_3 = 400 \Omega$ ,  $U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:**  $R$ ,  $I$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $U_1$ ,  $U_2$

**Lösung:**



(Abb. 42)

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{20}{1200} = 0,0167 \text{ A} = 16,7 \text{ mA} \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{20}{400} = 0,05 \text{ A} = 50 \text{ mA}$$

**Rechenprobe:**  $I = I_2 + I_3 = 16,7 + 50 = 66,7 \text{ mA}$

$$U = U_1 + U_2 = 40 + 20 = 60 \text{ V}$$

Die gesuchten Größen betragen:  $R = 900 \Omega$ ,  $I = 66,7 \text{ mA}$ ,  $I_2 = 16,7 \text{ mA}$ ,  $I_3 = 50 \text{ mA}$ ,  $U_1 = 40 \text{ V}$ ,  $U_2 = U_3 = 20 \text{ V}$ .

### 6.2. Reihenschaltung mit Parallelwiderstand

Der Gesamtwiderstand ist das Produkt aus der Summe der **Reihewiderstände** und des **Parallelwiderstands** geteilt durch die Summe aller Widerstände.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtwiderstand	$R$	Ohm	$\Omega$

#### Größengleichung

$$R = \frac{(R_1 + R_2) \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \Omega$$

$R$  = Gesamtwiderstand in  $\Omega$   
 $R_1$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$   
 $R_2$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$   
 $R_3$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$

#### Einheitengleichung

$$\Omega = \frac{(\Omega + \Omega) \cdot \Omega}{\Omega + \Omega + \Omega}$$

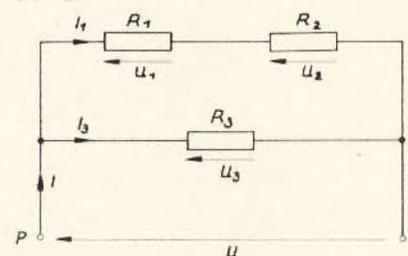
#### Übungsbeispiel

Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen  $R_1 = 600 \Omega$ ,  $R_2 = 1200 \Omega$  und  $R_3 = 400 \Omega$ . Die Spannung ist  $U = 60 \text{ V}$  (Abb. 43). Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom, Teilströme und -spannungen?

**Gegeben:**  $R_1 = 600 \Omega$ ,  $R_2 = 1200 \Omega$ ,  $R_3 = 400 \Omega$ ,  $U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:**  $R$ ,  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_3$ ,  $U_1$ ,  $U_2$

**Lösung:**



(Abb. 43)

$$R = \frac{(R_1 + R_2) \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R = \frac{(600 + 1200) \cdot 400}{600 + 1200 + 400} = \underline{\underline{327 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60}{327} = 0,183 \text{ A}$$

$$I = 183 \text{ mA}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_{1,2}} = \frac{60}{600 + 1200}$$

$$I_1 = 0,0333 \text{ A} = \underline{\underline{33,3 \text{ mA}}}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{60}{400} = 0,15 \text{ A} = \underline{\underline{150 \text{ mA}}}$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 = 33,3 \cdot 10^{-3} \cdot 600 = \underline{\underline{20 \text{ V}}}$$

$$U_2 = I_1 \cdot R_2 = 33,3 \cdot 10^{-3} \cdot 1200 = \underline{\underline{40 \text{ V}}}$$

**Rechenprobe:**  $U = U_1 + U_2 = 20 + 40 = 60 \text{ V}$

$$I = I_1 + I_3 = 33,3 + 150 = \underline{\underline{183,3 \text{ mA}}}$$

Die gesuchten Größen betragen:  $R = 327 \Omega$ ,  $I = 183 \text{ mA}$ ,  $I_1 = 33,3 \text{ mA}$ ,  $I_3 = 150 \text{ mA}$ ,  $U_1 = 20 \text{ V}$ ,  $U_2 = 40 \text{ V}$ ,  $U_3 = U = 60 \text{ V}$ .

### 6.3. Parallelschaltung von Reihenwiderständen

Der Gesamtwiderstand ist das Produkt aus den **Ersatzwiderständen** der Reihenwiderstände geteilt durch die Summe aller **Einzelwiderstände**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtwiderstand	$R$	Ohm	$\Omega$

#### Größengleichung

$$R = \frac{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \Omega$$

$R$  = Gesamtwiderstand in  $\Omega$   
 $R_1$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$   
 $R_2$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$   
 $R_3$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$   
 $R_4$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$

#### Einheitengleichung

$$\Omega = \frac{(\Omega + \Omega) \cdot (\Omega + \Omega)}{\Omega + \Omega + \Omega + \Omega}$$

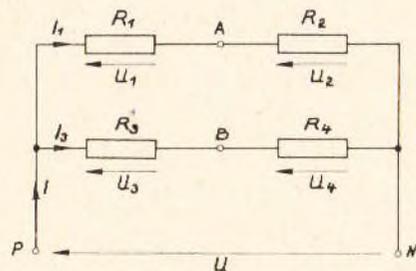
#### Übungsbeispiel

Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen  $R_1 = 600 \Omega$ ,  $R_2 = 400 \Omega$ ,  $R_3 = 1200 \Omega$  und  $R_4 = 300 \Omega$ . Die Spannung ist  $U = 60 \text{ V}$  (Abb. 44). Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom, Teilströme und -spannungen sowie die Spannung zwischen A und B?

**Gegeben:**  $R_1 = 600 \Omega$ ,  $R_2 = 400 \Omega$ ,  $R_3 = 1200 \Omega$ ,  $R_4 = 300 \Omega$ ,  $U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:**  $R$ ,  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_3$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$ ,  $U_{AB}$

**Lösung:**



(Abb. 44)

$$R = \frac{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$R = \frac{(600 + 400) \cdot (1200 + 300)}{600 + 400 + 1200 + 300}$$

$$R = \underline{\underline{600 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60 \cdot 10^{-3}}{600} = \underline{\underline{100 \text{ mA}}}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_{1,2}} = \frac{60 \cdot 10^3}{600 + 400} = \underline{\underline{60 \text{ mA}}}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_{3,4}} = \frac{60 \cdot 10^3}{1200 + 300} = \underline{\underline{40 \text{ mA}}}$$

**Rechenprobe:**  $I = I_1 + I_3 = 60 + 40 = 100 \text{ mA}$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 = 60 \cdot 10^{-3} \cdot 600 = \underline{\underline{36 \text{ V}}}$$

$$U_2 = I_1 \cdot R_2 = 60 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = \underline{\underline{24 \text{ V}}}$$

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 = 40 \cdot 10^{-3} \cdot 1200 = \underline{\underline{48 \text{ V}}}$$

$$U_4 = I_3 \cdot R_4 = 40 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = \underline{\underline{12 \text{ V}}}$$

**Rechenprobe:**  $U = U_1 + U_2 = U_3 + U_4 = 36 + 24 = 48 + 12 = \underline{\underline{60 \text{ V}}}$

$$U_{AB} = U_2 - U_4 = +24 - (+12) = +24 - 12 = +\underline{\underline{12 \text{ V}}}$$

Das elektrische Potential des Punktes B wird Null gesetzt; der Punkt A ist um 12 V positiver als der Punkt B.

$$U_{BA} = U_3 - U_1 = -48 - (-36) = -48 + 36 = \underline{\underline{-12 \text{ V}}}$$

Das elektrische Potential des Punktes A wird Null gesetzt; der Punkt B ist um 12 V negativer als der Punkt A.

Die gesuchten Werte betragen:  $R = 600 \Omega$ ,  $I = 100 \text{ mA}$ ,  $I_1 = 60 \text{ mA}$ ,  $I_3 = 40 \text{ mA}$ ,  $U_1 = 36 \text{ V}$ ,  $U_2 = 24 \text{ V}$ ,  $U_3 = 48 \text{ V}$ ,  $U_4 = 12 \text{ V}$ ,  $U_{AB} = +12 \text{ V}$ .

### 6.4. Reihenschaltung von Parallelwiderständen

Der Gesamtwiderstand ist die Summe der **Ersatzwiderstände** der Parallelwiderstände.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtwiderstand	$R$	Ohm	$\Omega$

#### Größengleichung

$$R = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} \Omega$$

$R$  = Gesamtwiderstand in  $\Omega$   
 $R_1$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$   
 $R_2$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$   
 $R_3$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$   
 $R_4$  = Einzelwiderstand in  $\Omega$

#### Einheitengleichung

$$\Omega = \frac{\Omega \cdot \Omega}{\Omega + \Omega} + \frac{\Omega \cdot \Omega}{\Omega + \Omega}$$

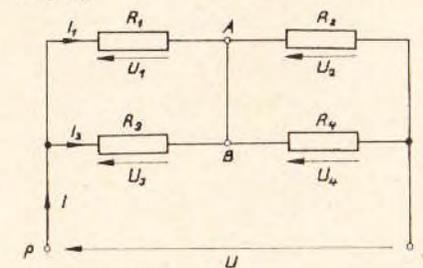
#### Übungsbeispiel

Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen  $R_1 = 600 \Omega$ ,  $R_2 = 400 \Omega$ ,  $R_3 = 1200 \Omega$ ,  $R_4 = 300 \Omega$ . Die Spannung ist  $U = 60 \text{ V}$  (Abb. 45). Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom, Teilströme und -spannungen sowie der Strom zwischen A und B?

**Gegeben:**  $R_1 = 600 \Omega$ ,  $R_2 = 400 \Omega$ ,  $R_3 = 1200 \Omega$ ,  $R_4 = 300 \Omega$ ,  $U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:**  $R$ ,  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$ ,  $I_{AB}$ ,  $U_1$ ,  $U_2$

**Lösung:**



(Abb. 45)

$$R = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4}$$

$$R = \frac{600 \cdot 1200}{600 + 1200} + \frac{400 \cdot 300}{400 + 300}$$

$$R = 400 + 171 = \underline{\underline{571 \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60 \cdot 10^3}{571} = \underline{\underline{105 \text{ mA}}}$$

$$U_1 = I \cdot R_{1,3} = 105 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = \underline{42 \text{ V}} \quad U_2 = I \cdot R_{2,4} = 105 \cdot 10^{-3} \cdot 171 = \underline{18 \text{ V}}$$

**Rechenprobe:**  $U = U_1 + U_2 = 42 + 18 = \underline{60 \text{ V}}$

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{42 \cdot 10^3}{600} = \underline{70 \text{ mA}}$$

$$I_3 = \frac{U_1}{R_3} = \frac{42 \cdot 10^3}{1200} = \underline{35 \text{ mA}}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{18 \cdot 10^3}{400} = \underline{45 \text{ mA}}$$

$$I_4 = \frac{U_2}{R_4} = \frac{18 \cdot 10^3}{300} = \underline{60 \text{ mA}}$$

$$I_{AB} = I_1 - I_2 = 70 - 45 = \underline{25 \text{ mA}}$$

$$I_{AB} = I_4 - I_3 = 60 - 35 = \underline{25 \text{ mA}}$$

Der Strom  $I_{AB}$  fließt von Punkt A nach Punkt B.

**Rechenprobe:**  $I = I_1 + I_3 = 70 + 35 = \underline{105 \text{ mA}}$

$$I = I_2 + I_4 = 45 + 60 = \underline{105 \text{ mA}}$$

Die gesuchten Größen betragen:  $R = 571 \Omega$ ,  $I = 105 \text{ mA}$ ,  $U_1 = 42 \text{ V}$ ,  $U_2 = 18 \text{ V}$ ,  $I_1 = 70 \text{ mA}$ ,  $I_2 = 45 \text{ mA}$ ,  $I_3 = 35 \text{ mA}$ ,  $I_4 = 60 \text{ mA}$ ,  $I_{AB} = 25 \text{ mA}$ .

### 6.5. Brückenschaltung

Der Brückenstrom ist Null, wenn das Produkt der diagonal gegenüberliegenden Widerstände gleich groß ist.

#### Größengleichung

$$R_x \cdot R_b = R_2 \cdot R_a$$

$R_x$  = unbekannter Widerstand in  $\Omega$

$R_b$  = bekannter Teilwiderstand in  $\Omega$

#### Einheitengleichung

$R_a$  = bekannter Teilwiderstand in  $\Omega$

$$\Omega \cdot \Omega = \Omega \cdot \Omega$$

$R_2$  = geeichter Widerstand in  $\Omega$

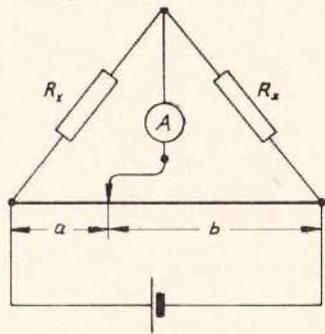
#### Übungsbeispiel

Der geeichte Widerstand der nachstehenden Schleifdrahtmeßbrücke beträgt  $R_2 = 2000 \Omega$ . Bei abgeglichenen Meßbrücke (Brückenstrom = Null) betragen die Teillängen des Schleifdrahtes  $a = 36,4 \text{ cm}$  und  $b = 63,6 \text{ cm}$  (Abb. 46). Wie groß ist der Widerstandswert  $R_x$ ?

**Gegeben:**  $R_2 = 2000 \Omega$ ,  $a = 36,4 \text{ cm}$ ,  $b = 63,6 \text{ cm}$

**Gesucht:**  $R_x$

**Lösung:**



(Abb. 46)

$$R_x \cdot R_b = R_2 \cdot R_a$$

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_a}{R_b} = 2000 \cdot \frac{36,4}{63,6} = \underline{1145 \Omega}$$

Der gesuchte Widerstandswert beträgt  $R_x = 1145 \Omega$ .

### 6.6. Ergänzungsschaltung

Die anzuwendenden Größengleichungen für diese Aufgaben richten sich nach der jeweiligen Aufgabenstellung.

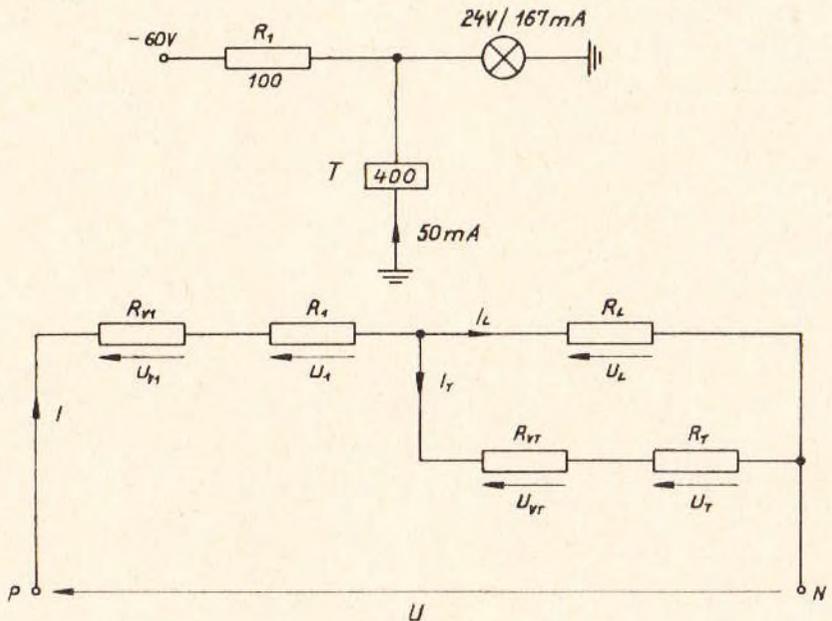
#### Übungsbeispiel

In die nachstehende Fernmeldeschaltung sollen zusätzliche Widerstände so eingefügt werden, daß die Verbraucher die richtigen Strom- und Spannungswerte erhalten (Abb. 47). Wie groß müssen die zusätzlichen Widerstände sein?

**Gegeben:**  $R_1 = 100 \Omega$ ,  $U_L = 24 \text{ V}$ ,  $I_L = 167 \text{ mA}$ ,  $R_T = 400 \Omega$ ,  $I_T = 50 \text{ mA}$ ,  $U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:** Zusatzwiderstände

**Lösung:**



(Abb. 47)

$$U_T = I_T \cdot R_T = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = \underline{20 \text{ V}}$$

$R_{v1}$  = Vorwiderstand von  $R_1$

$$U_{vT} = U_L - U_T = 24 - 20 = \underline{4 \text{ V}}$$

$R_{vT}$  = Vorwiderstand von T

$$U_{v1,1} = U - U_L = 60 - 24 = \underline{36 \text{ V}}$$

$U_T$  = Spannungsabfall an T

$$I = I_T + I_L = 50 + 167 = \underline{217 \text{ mA}}$$

$U_{vT}$  = Spannungsabfall an  $R_{vT}$

$$U_1 = I \cdot R_1 = 217 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = \underline{21,7 \text{ V}}$$

$U_{v1}$  = Spannungsabfall an  $R_{v1}$

$$U_{v1} = U_{v1,1} - U_1 = 36 - 21,7 = \underline{14,3 \text{ V}}$$

$$U_{v1,1} = U_{v1} + U_1$$

$$R_{vT} = \frac{U_{vT}}{I_T} = \frac{4 \cdot 10^3}{50} = \underline{80 \Omega}$$

$$R_{v1} = \frac{U_{v1}}{I} = \frac{14,3 \cdot 10^3}{217} = \underline{66 \Omega}$$

Rechenprobe:  $R_L = \frac{U_L}{I_L} = \frac{24 \cdot 10^3}{167} = 144 \Omega$

$R = R_{v1} + R_1 + \frac{R_L \cdot (R_{vT} + R_T)}{R_L + R_{vT} + R_T} = 66 + 100 + \frac{144 \cdot (80 + 400)}{144 + 80 + 100}$

$R = 277 \Omega$        $R = \frac{U}{I} = \frac{60 \cdot 10^3}{217} = 277 \Omega$

Beide Werte von  $R$  stimmen überein.

Die gesuchten Werte betragen:  $R_{v1} = 66 \Omega$ ,  $R_{vT} = 80 \Omega$ .

### 6.7. Leitungs- und Isolationswiderstand

Der Leitungswiderstand ist das Produkt aus dem **Leitungskennwert** und der **Leitungslänge**; der Isolationswiderstand ist der Quotient aus dem **Leitungskennwert** und der **Leitungslänge**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Leitungswiderstand	$R_L$	Ohm	$\Omega$
Isolationswiderstand	$R_i$	Ohm	$\Omega$

#### Größengleichungen

$R_L = R' \cdot l \quad \Omega$
$R_i = \frac{R_1'}{l} \quad \Omega$

- $R_L$  = Leitungswiderstand in  $\Omega$
- $R'$  = Leitungskennwert in  $\Omega/\text{km}$
- $l$  = Leitungslänge in km
- $R_1'$  = Leitungskennwert in  $\Omega \cdot \text{km}$
- $R_i$  = Isolationswiderstand in  $\Omega$

#### Einheitengleichungen

$\Omega = \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot \text{km}$

$\Omega = \frac{\Omega \cdot \text{km}}{\text{km}}$

#### Übungsbeispiel:

Die Linienlänge einer Freileitung beträgt  $l = 2,5 \text{ km}$ . Der Leitungswiderstand je km Doppelleitung ist  $R' = 8 \Omega/\text{km}$ ; der Isolationswiderstand je km Doppelleitung ist  $R_1' = 1,5 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$ . Wie groß sind Leitungs- und Isolationswiderstand?

Gegeben:  $l = 2,5 \text{ km}$ ,  $R' = 8 \Omega/\text{km}$ ,  $R_1' = 1,5 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$

Gesucht:  $R_L, R_i$

Lösung:  $R_L = R' \cdot l = 8 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 2,5 \text{ km} = 20 \Omega$

$R_i = \frac{R_1'}{l} = \frac{1,5 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}}{2,5 \text{ km}} = 0,6 \text{ M}\Omega = 600 \text{ k}\Omega$

Der Leitungswiderstand beträgt  $R_L = 20 \Omega$ , der Isolationswiderstand  $R_i = 600 \text{ k}\Omega$ .

### 6.8. Stromkreis mit mehreren Spannungsquellen

Die anzuwendenden Größengleichungen richten sich nach der jeweiligen Aufgabenstellung.

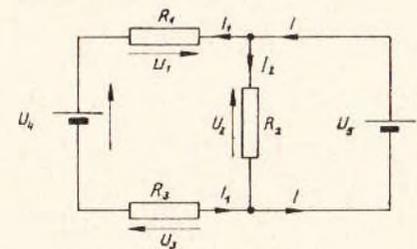
#### Übungsbeispiel

Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung betragen  $R_1 = 600 \Omega$ ,  $R_2 = 1200 \Omega$  und  $R_3 = 1800 \Omega$ . Die Spannungswerte sind  $U_4 = 30 \text{ V}$  und  $U_5 = 60 \text{ V}$  (Abb. 48). Wie groß sind die Teilspannungen und -ströme des Stromkreises?

Gegeben:  $R_1 = 600 \Omega$ ,  $R_2 = 1200 \Omega$ ,  $R_3 = 1800 \Omega$ ,  $U_4 = 30 \text{ V}$ ,  $U_5 = 60 \text{ V}$

Gesucht:  $I, I_1, I_2, I_3, U_1, U_2, U_3$

Lösung:



(Abb. 48)

$U_2 - U_5 = 0 \quad U_2 = U_5 = 60 \text{ V}$

$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{60 \cdot 10^3}{1200} = 50 \text{ mA}$

$U_4 + U_1 - U_2 + U_3 = 0$

$U_1 + U_3 = U_2 - U_4$

$U_1 + U_3 = 60 - 30 = 30 \text{ V}$

$\frac{U_1}{U_3} = \frac{R_1}{R_3} \quad U_3 = 30 - U_1 \quad \frac{U_1}{30 - U_1} = \frac{600}{1800}$

$U_1 = \frac{600}{1800} \cdot (30 - U_1) = \frac{1}{3} \cdot (30 - U_1)$

$3 \cdot U_1 = 30 - U_1 \quad 3 \cdot U_1 + U_1 = 30 \quad 4 \cdot U_1 = 30$

$U_1 = \frac{30}{4} = 7,5 \text{ V} \quad U_3 = 30 - U_1 = 30 - 7,5 = 22,5 \text{ V}$

$I_1 = I_3 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{7,5 \cdot 10^3}{600} = \frac{U_3}{R_3} = \frac{22,5 \cdot 10^3}{1800} = 12,5 \text{ mA}$

$I = I_1 + I_2 = 50 + 12,5 = 62,5 \text{ mA}$

Rechenprobe:  $I_1 = \frac{U_2 - U_4}{R_1 + R_2} = \frac{60 - 30}{600 + 1800} = \frac{30}{2400} = 0,0125 \text{ A} = 12,5 \text{ mA}$

Die gesuchten Größen betragen:  $I = 62,5 \text{ mA}$ ,  $I_1 = I_3 = 12,5 \text{ mA}$ ,  $I_2 = 50 \text{ mA}$ ,  $U_1 = 7,5 \text{ V}$ ,  $U_2 = 60 \text{ V}$ ,  $U_3 = 22,5 \text{ V}$ .

### 6.9. Belasteter Spannungsteiler

Beim belasteten Spannungsteiler verhält sich die **Betriebsspannung** zur **Gesamtspannung** wie die **Parallelschaltung des Last- und Spannungsteilerwiderstands** zum **Gesamtwiderstand**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Betriebsspannung	$U_1$	Volt	V

**Größengleichung**

$$\frac{U_1}{U} = \frac{R_{1,2}}{R_g}$$

- $U_1$  = Betriebsspannung in V
- $U$  = Gesamtspannung in V
- $R_{1,2}$  = Parallelschaltung des Lastwiderstands  $R_2$  mit dem Spannungsteilerwiderstand  $R_1$
- $R_g$  = Gesamtwiderstand des belasteten Spannungsteilers

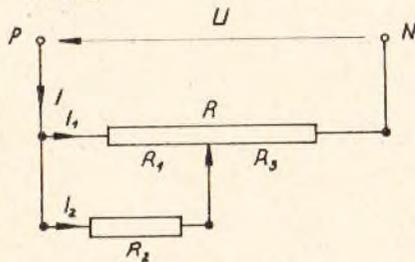
**Übungsbeispiel**

Ein Spannungsteilerwiderstand von  $R = 600 \Omega$  liegt an einer Spannung von  $U = 60 \text{ V}$ . Bei unbelastetem Spannungsteiler soll die Betriebsspannung  $U_o = 24 \text{ V}$  betragen. Als Lastwiderstand wird ein Widerstand von  $R_2 = 400 \Omega$  an die Leerlaufspannung geschaltet (Abb. 49). Wie groß ist die Betriebsspannung  $U_1$ ?

**Gegeben:**  $U = 60 \text{ V}$ ,  $R = 600 \Omega$ ,  $U_o = 24 \text{ V}$ ,  $R_2 = 400 \Omega$

**Gesucht:**  $U_1$

**Lösung:**



(Abb. 49)

a) bei Leerlauf:

$$\frac{U_o}{U} = \frac{R_1}{R}$$

$$R_1 = \frac{U_o \cdot R}{U} = \frac{24 \text{ V} \cdot 600 \Omega}{60 \text{ V}} = \underline{\underline{240 \Omega}}$$

$$R_3 = R - R_1 = 600 \Omega - 240 \Omega = \underline{\underline{360 \Omega}}$$

**Rechenprobe:**

$$I = \frac{U}{R_g} = \frac{60 \cdot 10^3}{600} = \underline{\underline{100 \text{ mA}}}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 0,1 \cdot 360 = \underline{\underline{36 \text{ V}}}$$

$$U = U_o + U_2 = 24 + 36 = \underline{\underline{60 \text{ V}}}$$

b) bei Belastung:  $\frac{U_1}{U} = \frac{R_{1,2}}{R_g}$   $R_{1,2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{240 \cdot 400}{240 + 400} = \underline{\underline{150 \Omega}}$

$$R_g = R_{1,2} + R_3 = 150 + 360 = \underline{\underline{510 \Omega}}$$

$$U_1 = \frac{U \cdot R_{1,2}}{R_g} = \frac{60 \text{ V} \cdot 150 \Omega}{510 \Omega} = \underline{\underline{17,6 \text{ V}}}$$

**Rechenprobe:**

$$I = \frac{U}{R_g} = \frac{60 \cdot 10^3}{510} = \underline{\underline{117 \text{ mA}}} \quad U_3 = I \cdot R_3 = 0,117 \cdot 360 = \underline{\underline{42,4 \text{ V}}}$$

$$U = U_{1,2} + U_3 = 17,6 + 42,4 = \underline{\underline{60 \text{ V}}}$$

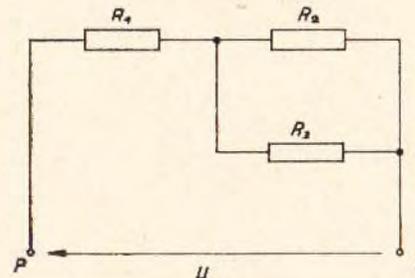
Die Betriebsspannung bei belastetem Spannungsteiler beträgt  $U_1 = 17,6 \text{ V}$ .

**6.10. Aufgaben**

**Parallelschaltung mit Vorwiderstand**

1. Einer Parallelschaltung von  $R_2 = 600 \Omega$  und  $R_3 = 800 \Omega$  ist ein Widerstand von  $R_1 = 400 \Omega$  vorgeschaltet. Die angeschaltete Spannung beträgt  $U = 60 \text{ V}$ . Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom sowie Teilströme und Teilspannungen?

2. Eine Reihenschaltung von  $R_1 = 500 \Omega$  und  $R_2 = 1200 \Omega$  ist an  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet. Zu dem Widerstand  $R_2$  soll ein Parallelwiderstand hinzugeschaltet werden, daß sich ein Gesamtstrom von  $60 \text{ mA}$  einstellt. Wie groß muß der Parallelwiderstand sein?
3. Eine Parallelschaltung von  $R_1 = 400 \Omega$  und  $R_2 = 750 \Omega$  ist an  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet. Vor diese Parallelschaltung soll ein Vorwiderstand geschaltet werden, daß sich ein Gesamtstrom von  $80 \text{ mA}$  einstellt. Wie groß muß der Vorwiderstand sein?
4. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung (Abb. 50) beitragen:



(Abb. 50)

	$R_1$ $\Omega$	$R_2$ $\Omega$	$R_3$ $\Omega$	$U$ $\text{V}$
a)	300	600	1200	60
b)	1200	300	600	60
c)	600	1200	1200	60

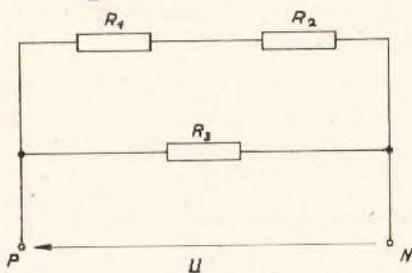
Wie groß sind die jeweiligen Gesamtwiderstände, Gesamtströme, Teilströme und -spannungen?

5. Von einer Parallelschaltung mit Vorwiderstand nach Abb. 50 sind sämtliche Einzelwiderstände gleich groß. Die angeschaltete Spannung ist  $60 \text{ V}$ , die gemessene Stromstärke beträgt  $180 \text{ mA}$ . Wie groß sind die Einzelwiderstände?

**Reihenschaltung mit Parallelwiderstand**

6. Einer Reihenschaltung von  $R_1 = 400 \Omega$  und  $R_2 = 1200 \Omega$  ist ein Widerstand von  $R_3 = 1800 \Omega$  parallelgeschaltet. Die angeschaltete Spannung ist  $U = 60 \text{ V}$ . Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom sowie Teilströme und -spannungen?
7. Eine Reihenschaltung von  $R_1 = 300 \Omega$  und  $R_2 = 400 \Omega$  ist an  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet. Zu dieser Reihenschaltung soll ein Widerstand parallelgeschaltet werden, daß sich eine Gesamtstromstärke von  $240 \text{ mA}$  einstellt. Wie groß muß der Parallelwiderstand sein?
8. Eine Parallelschaltung von  $R_1 = 800 \Omega$  und  $R_2 = 1500 \Omega$  ist an eine Spannung von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet. Zu dem Widerstand  $R_1$  soll ein Widerstand vorgeschaltet werden, daß sich eine Gesamtstromstärke von  $95 \text{ mA}$  einstellt. Wie groß muß der Reihenwiderstand sein?

9. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung (Abb. 51) be-  
tragen:



(Abb. 51)

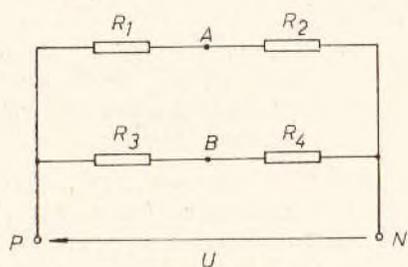
	$R_1$ $\Omega$	$R_2$ $\Omega$	$R_3$ $\Omega$	$U$ V
a)	300	600	1200	60
b)	1200	300	600	60
c)	600	1200	300	60

Wie groß sind die jeweiligen  
Gesamtwiderstände, Gesamt-  
ströme und Teilströme und  
-spannungen?

10. Von der Reihenschaltung mit Parallelwiderstand nach Abb. 51 sind  
sämtliche Einzelwiderstände gleich groß. Die angeschaltete Span-  
nung ist  $U = 60$  V, die gemessene Stromstärke 150 mA. Wie groß  
sind die Einzelwiderstände?

#### Parallelschaltung von Reihenwiderständen

11. Eine Reihenschaltung von  $R_1 = 500 \Omega$  und  $R_2 = 700 \Omega$  ist mit  
einer anderen Reihenschaltung von  $R_3 = 600 \Omega$  und  $R_4 = 200 \Omega$   
parallelgeschaltet. Die angeschaltete Spannung ist  $U = 60$  V. Wie  
groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom sowie Teilströme und  
-spannungen?
12. Eine Reihenschaltung von  $R_1 = 800 \Omega$  und  $R_2 = 600 \Omega$  ist an eine  
Spannung von  $U = 60$  V geschaltet. Zu dieser Reihenschaltung soll  
eine weitere Reihenschaltung parallelgeschaltet werden, von der  
eine Einzelwiderstand  $R_3 = 300 \Omega$  beträgt. Hierbei soll sich eine  
Gesamtstromstärke von  $I = 110$  mA einstellen. Wie groß muß der  
zweite Einzelwiderstand  $R_4$  sein?
13. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung (Abb. 52) be-  
tragen:



(Abb. 52)

	$R_1$ $\Omega$	$R_2$ $\Omega$	$R_3$ $\Omega$	$R_4$ $\Omega$	$U$ V
a)	600	800	1000	1200	60
b)	800	1000	1200	600	60
c)	1000	1200	600	800	60
d)	1200	600	800	1000	60

Wie groß sind Gesamt-  
widerstand, Gesamtstrom und Teilströme und  
-spannung sowie die Spannung zwischen den Punkten A und B der  
jeweiligen Schaltung?

14. In der Widerstandsgruppenschal-  
tung nach Abb. 52 soll die Span-  
nung zwischen A und B Null be-  
tragen. Die Werte für  $R_1$ ,  $R_2$  und  
 $R_3$  sind nebenstehend angegeben.  
Die Spannung ist  $U = 60$  V.

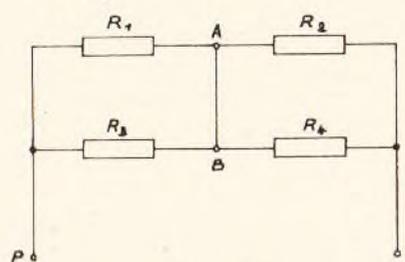
	$R_1$ $\Omega$	$R_2$ $\Omega$	$R_3$ $\Omega$	$R_4$ $\Omega$
a)	600	1200	800	
b)	900	400	500	
c)	1000	2000	1500	
d)	700	500	300	

- a) Wie groß muß der jeweilige Wi-  
derstand  $R_4$  sein?
- b) Wie groß sind die jeweiligen  
Gesamtwiderstände, Gesamtströme, Teilströme und -spannun-  
gen?

In der Widerstandsgruppenschaltung nach Abb. 52 sind sämtliche  
Einzelwiderstände gleich groß. Die angeschaltete Spannung ist 60 V,  
die gemessene Stromstärke beträgt 120 mA. Wie groß sind die Ein-  
zelwiderstände der Schaltung?

#### Reihenschaltung von Parallelwiderständen

15. Zu einer Parallelschaltung von  $R_1 = 400 \Omega$  und  $R_2 = 1000 \Omega$  ist  
eine weitere Parallelschaltung von  $R_3 = 600 \Omega$  und  $R_4 = 500 \Omega$   
hintereinandergeschaltet. Die angeschaltete Spannung ist  $U = 60$  V.  
Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom, Teilströme und  
-spannungen?
16. Eine Parallelschaltung von  $R_1 = 1200 \Omega$  und  $R_2 = 800 \Omega$  ist an eine  
Spannung von  $U = 60$  V geschaltet. Zu dieser Parallelschaltung soll  
eine weitere Parallelschaltung von zwei Widerständen vorgeschaltet  
werden, von der der eine Einzelwiderstand  $R_3 = 600 \Omega$  beträgt.  
Hierbei soll sich eine Gesamtstromstärke von 95 mA einstellen.  
Wie groß muß der Einzelwiderstand  $R_4$  sein?
17. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung (Abb. 53) be-  
tragen:



(Abb. 53)

	$R_1$ $\Omega$	$R_2$ $\Omega$	$R_3$ $\Omega$	$R_4$ $\Omega$	$U$ V
a)	600	1000	800	400	60
b)	1000	800	400	600	60
c)	800	400	600	1000	60
d)	400	600	1000	800	60

Wie groß sind Gesamt Widerstand, Gesamtstrom, Teilströme und Teilspannungen sowie der Strom zwischen den Punkten A und B der jeweiligen Schaltung?

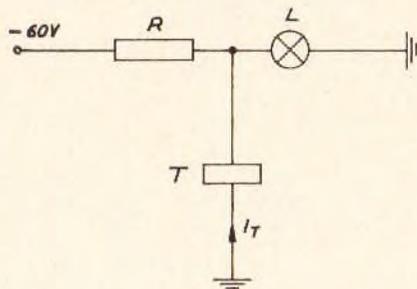
18. In der Widerstandsgruppenschaltung nach Abb. 53 soll der Strom zwischen den Punkten A und B Null sein. Die Werte für  $R_1$ ,  $R_2$  und  $R_3$  sind nebenstehend angegeben. Die angeschaltete Spannung ist  $U = 60$  V.

	$R_1$ $\Omega$	$R_2$ $\Omega$	$R_3$ $\Omega$	$R_4$ $\Omega$
a)	700	500	800	
b)	400	1200	900	
c)	1000	500	1500	
d)	300	150	400	

- a) Wie groß muß der jeweilige Widerstand  $R_4$  sein?
- b) Wie groß sind die jeweiligen Gesamt widerstände, Gesamtströme, Teilströme und -spannungen?
19. In der Widerstandsgruppenschaltung nach Abb. 53 sind sämtliche Widerstände gleich groß. Die angeschaltete Spannung ist  $U = 60$  V, die gemessene Stromstärke beträgt  $I = 90$  mA. Wie groß sind die Einzelwiderstände der Schaltung?

### Gemischte Schaltungen

20. Von nachstehender Fernmeldeschaltung (Abb. 54) betragen:

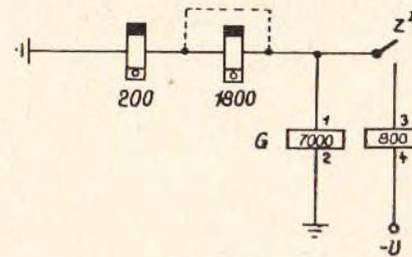


(Abb. 54)

	$R$ $\Omega$	$L$ V/mA	$T$ $\Omega$	$I_T$ mA	$U$ V
a)	200	24/100	600	50	60
b)	600	24/80	400	80	60
c)	400	24/150	600	30	60
d)	100	18/100	600	40	60

Welche Widerstände müssen zusätzlich in die Schaltung eingefügt werden, damit die Verbraucher die richtigen Strom- und Spannungswerte erhalten?

21.



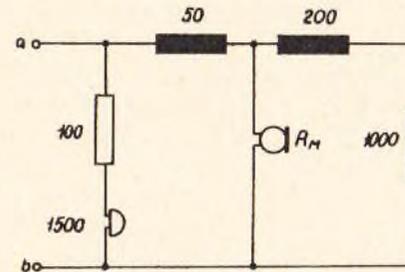
(Abb. 55)

Für die 16-kHz-Impulssteuerung wird nebenstehende Relaischaltung verwendet. Welcher Strom fließt durch die Wicklung 1 - 2 des G-Relais bei

- a) nicht überbrückter 1800-Ohm-Wicklung des Gebührenzählers und
- b) überbrückter 1800-Ohm-Wicklung des Gebührenzählers.

Die Betriebsspannung ist  $U = 60$  V.

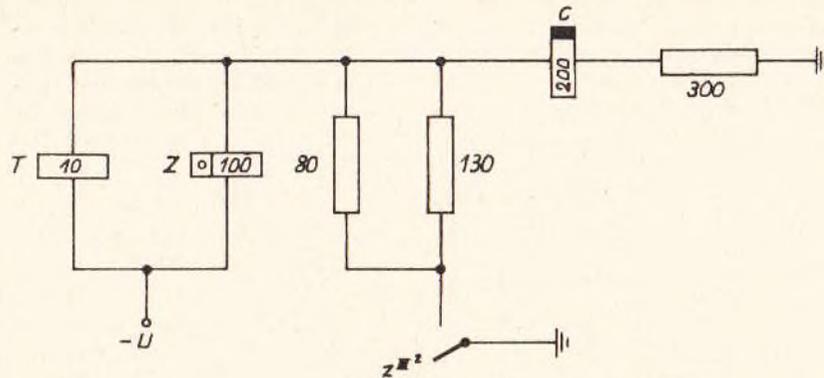
22.



(Abb. 56)

Nebenstehend ist die vereinfachte Gleichstromschaltung des Fernsprechapparats 611 dargestellt. Der Mikrofonwiderstand wird auf  $R_M = 200$   $\Omega$  geschätzt; der an den Anschlußklemmen a und b liegende Spannungswert wird zu  $U = 5,2$  V angenommen.

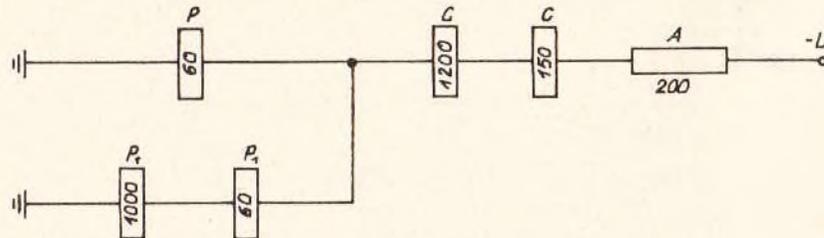
- a) Wie groß sind der Gesamt widerstand, Gesamtstrom, Teilströme und -spannungen in dem Fernsprechapparat?
- b) Wie verändern sich die Widerstands-, Strom- und Spannungswerte, wenn der Mikrofonwiderstand auf 180  $\Omega$  bzw. 220  $\Omega$  verändert wird?
23. Für einen Fernsprechapparat nach Abb. 56 betragen der Leitungswiderstand  $R_L = 800$   $\Omega$  und der Gesamt widerstand des in der Vermittlungsstelle befindlichen Speiserelais  $R_A = 1000$   $\Omega$ . Der Widerstand des Kohlemikrofons wird auf 100  $\Omega$  geschätzt. Die angeschaltete Betriebsspannung beträgt  $U = 60$  V. Wie groß sind der Gesamt widerstand des Sprechapparats, des Hauptanschlusses einschließlich der Anschlußleitung und der Speiserelaiswicklungen sowie die Strom- und Spannungsaufteilung im gesamten Stromkreis?
24. Nachstehend ist ein Schaltungsauszug für den Zählvorgang des Wählsystems 50 vereinfacht dargestellt. Bei geöffnetem  $z^{III2}$ -Kontakt erhält der Gebührenzähler Z 100 Fehlstrom; bei geschlossenem



(Abb. 57)

$z^{III2}$ -Kontakt wird der Gebührenzähler betätigt;  $-U = 60$  V (Abb. 57). Wie groß sind Fehlstrom und Anzugsstrom des Gebührenzählers?

25. Nachstehend ist ein vereinfachter Schaltungsauszug aus dem Wählsystem 50 dargestellt, wobei das P-Relais  $P_1$  auf die bereits bestehende Fernsprechverbindung P 60 aufprüft;  $-U = 60$  V (Abb. 58).



(Abb. 58)

- Wie groß ist die Halttestromstärke des P-60-Relais bei der bestehenden Verbindung?
  - Wie groß ist der Fehlstrom für das P-1000- und P-60-Relais bei dem aufprüfenden Wähler?
  - Wie groß sind sämtliche Teilströme und Teilspannungen bei beiden Schaltungen?
26. Zwei Glühlampen von  $L_1 = 48$  V / 120 mA und  $L_2 = 36$  V / 200 mA sollen so an die Spannung 60 V geschaltet werden, daß sie die richtigen Strom- und Spannungswerte erhalten.
- Welche Widerstände müssen zusätzlich in die Schaltung eingefügt werden?
  - Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom, Teilströme und -spannungen?

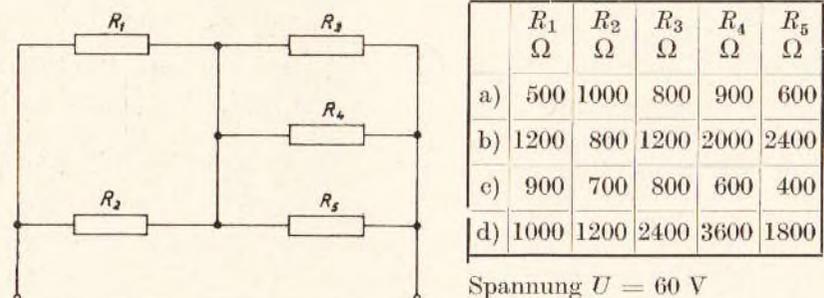
27. Zwei Glühlampen von  $L_1 = 24$  V / 100 mA und  $L_2 = 24$  V / 180 mA sollen so in Reihenschaltung an die Spannung von 48 V geschaltet werden, daß sie die richtigen Strom- und Spannungswerte erhalten.

- Welcher Widerstand muß zusätzlich in die Schaltung eingefügt werden?
- Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom, Teilströme und -spannungen?

28. Die nebenstehend angegebenen Glühlampen sollen jeweils so in den Stromkreis bei  $U = 60$  V geschaltet werden, daß sie die richtigen Strom- und Spannungswerte erhalten. Welche Zusatzwiderstände müssen in die jeweilige Schaltung eingefügt werden, damit die Lampen die richtigen Strom- und Spannungswerte erhalten?

	$L_1$ V/mA	$L_2$ V/mA	$L_3$ V/mA
a)	24/100	24/80	24/160
b)	12/40	24/100	48/200
c)	36/90	48/150	24/120
d)	24/80	60/40	12/100

29. Von nachstehender Widerstandsgruppenschaltung (Abb. 59) befragen:



(Abb. 59)

Spannung  $U = 60$  V

Wie groß sind Gesamtwiderstand, Gesamtstrom, Teilströme und -spannungen?

#### Leitungs- und Isolationswiderstand

30. Die Baulänge einer Anschlußleitung ist  $l = 650$  m. Die Leitungskennwerte sind  $R' = 130$  Ω/km und  $R_1' = 1,6$  MΩ · km. Wie groß sind Leitungs- und Isolationswiderstand?
31. Die Baulänge eines Ortsverbindungskabels ist  $l = 1,24$  km. Die Leitungskennwerte sind  $R' = 130$  Ω/km,  $G' = 0,6$  μS/km. Wie groß sind Leitungs- und Isolationswiderstand?

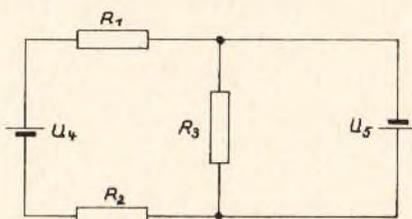
32. Wie groß sind Leitungs- und Isolationswiderstand eines Kabels von folgenden Baulängen, wenn die Leitungskonstanten  $G' = 0,8 \mu\text{S}/\text{km}$  und  $R' = 225 \Omega/\text{km}$  betragen?

$l$ in m	150	240	320	400	450	700	1000
$R_L$							
$R_i$							

33. Die Linienlänge einer Fernsprechleitung ist  $l = 2,14 \text{ km}$ . Der Leitungswiderstand je Kilometer Doppelleitung beträgt  $R' = 12,8 \Omega/\text{km}$ , der Isolationswiderstand je Kilometer Doppelleitung ist  $R_i' = 1,94 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$ . Wie groß sind Leitungs- und Isolationswiderstand?

### Mehrere Spannungsquellen

34. Von nachstehender Fernmeldeschaltung (Abb. 60) betragen:

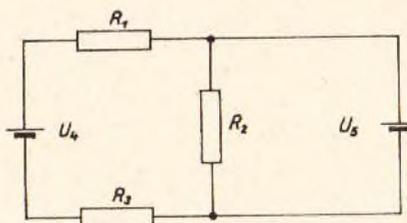


(Abb. 60)

Wie ist die jeweilige Strom- und Spannungsaufteilung in dem Stromkreis?

	$R_1$ $\Omega$	$R_2$ $\Omega$	$R_3$ $\Omega$	$U_4$ V	$U_5$ V
a)	400	300	600	20	10
b)	300	400	800	10	30
c)	800	200	500	15	45
d)	400	700	900	40	40

35. Von nachstehender Fernmeldeschaltung (Abb. 61) betragen:



(Abb. 61)

Wie ist die jeweilige Strom- und Spannungsaufteilung in dem Stromkreis?

	$R_1$ $\Omega$	$R_2$ $\Omega$	$R_3$ $\Omega$	$U_4$ V	$U_5$ V
a)	400	600	500	20	10
b)	800	800	400	10	30
c)	500	900	700	20	25
d)	600	1200	1000	30	30

### Spannungsteiler

36. Ein Spannungsteilerwiderstand von  $R_g = 2 \text{ k}\Omega$  liegt an einer Spannung von  $U = 60 \text{ V}$ . Bei unbelastetem Spannungsteiler soll die Betriebsspannung  $U_o = 18 \text{ V}$  betragen. An diesen Spannungsteiler werden Lastwiderstände von folgenden Werten angeschaltet. Berechnen Sie die jeweiligen Betriebsspannungswerte  $U_1$ .

$R_{\text{Last}} \Omega$	$\infty$	100	200	300	400	500	600	700
$U_1 \text{ V}$								

37. Ein Spannungsteilerwiderstand von  $R_g = 1200 \Omega$  liegt an einer Spannung von  $U = 60 \text{ V}$ . An den Abgriffspunkten für die nachstehenden Leerlaufspannungswerte wird ein Belastungswiderstand von  $300 \Omega$  geschaltet.

- a) Wie groß ist die tatsächliche Verbraucherspannung an den verschiedenen Abgriffen?  
b) Berechnen Sie für jeden Spannungsabgriff die Strom- und Spannungsaufteilung.

$U_o \text{ V}$	10	20	30	40	50	60
$U_1 \text{ V}$						

38. Eine Glühlampe  $24 \text{ V} / 120 \text{ mA}$  soll über einen Spannungsteiler an  $60 \text{ V}$  angeschaltet werden. Die Glühlampe soll die richtigen Strom- und Spannungswerte erhalten. Der Gesamtwiderstand des Spannungsteilers ist  $R_g = 800 \Omega$ .

- a) Wie groß ist der Spannungsteiler-Parallelwiderstand zur Lampe?  
b) Auf welchen Leerlaufspannungsabgriff muß der Schleifkontakt eingestellt werden?

39. Eine Glühlampe für  $36 \text{ V} / 150 \text{ mA}$  soll über einen Spannungsteiler an  $U = 120 \text{ V}$  angeschaltet werden. Die Glühlampe soll die richtigen Strom- und Spannungswerte erhalten. Der Gesamtstrom des Stromkreises soll  $300 \text{ mA}$  betragen.

- a) Welcher Widerstand muß parallel zur Lampe liegen?  
b) Auf welchen Leerlaufspannungsabgriff muß der Schleifkontakt eingestellt werden?  
c) Berechnen Sie die Strom- und Spannungsaufteilung bei unbelastetem und belastetem Spannungsteiler.

## 7. Elektrische Strömung

### 7.1. Elektrische Leistung

Die elektrische Leistung ist das Produkt aus **Spannung** und **Strom**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Elektrische Leistung	$P$	Watt	W

#### Größengleichungen

$P = U \cdot I$ W	$P =$ elektrische Leistung in W		
$P = I^2 \cdot R$ W	$U =$ elektrische Spannung in V		
$P = \frac{U^2}{R}$ W	$R =$ elektrischer Widerstand in $\Omega$		
<table border="1"> <tr> <td>1 kW <math>\underline{\underline{=}}</math> 1,36 PS</td> <td>1 PS <math>\underline{\underline{=}}</math> 0,736 kW</td> </tr> </table>		1 kW $\underline{\underline{=}}$ 1,36 PS	1 PS $\underline{\underline{=}}$ 0,736 kW
1 kW $\underline{\underline{=}}$ 1,36 PS	1 PS $\underline{\underline{=}}$ 0,736 kW		

#### Übungsbeispiel 1

Eine Glühlampe ist an eine Spannung von  $U = 220$  V geschaltet. In der Zuleitung wird eine Stromstärke von  $I = 0,182$  A gemessen. Wie groß ist die von der Glühlampe aufgenommene elektrische Leistung?

**Gegeben:**  $U = 220$  V,  $I = 0,182$  A

**Gesucht:**  $P$

**Lösung:**  $P = U \cdot I = 220 \text{ V} \cdot 0,182 \text{ A} = \underline{\underline{40 \text{ W}}}$

Die von der Glühlampe aufgenommene elektrische Leistung beträgt  $P = 40$  W.

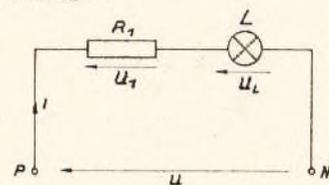
#### Übungsbeispiel 2

Die Leistung einer Signallampe 24 V/4 W soll durch einen Vorwiderstand auf 1,44 W vermindert werden. Die Widerstandsveränderung infolge Temperaturverminderung wird vernachlässigt (Abb. 62). Welchen Ohmwert und welche zulässige Leistungsbelastung muß der Vorwiderstand aufweisen?

**Gegeben:**  $U = 24$  V,  $P = 4$  W,  $P_2 = 1,44$  W

**Gesucht:**  $R_1, P_1$

**Lösung:**



(Abb. 62)

$$P = \frac{U^2}{R_2}$$

$$R_2 = \frac{U^2}{P} = \frac{24^2}{4} = \underline{\underline{144 \Omega}}$$

$$P_2 = I^2 \cdot R_2$$

$$I = \sqrt{\frac{P_2}{R_2}} = \sqrt{\frac{1,44}{144}} = \frac{1,2}{12} = \underline{\underline{0,1 \text{ A}}}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{24}{0,1} = \underline{\underline{240 \Omega}} \quad R_1 = R - R_2 = 240 - 144 = \underline{\underline{96 \Omega}}$$

$$P_1 = I^2 \cdot R_1 = 0,1^2 \cdot 96 = 0,96 \text{ W}; \quad \text{gewählt: } P_1 = \underline{\underline{1 \text{ W}}}$$

**Rechenprobe:**  $P = U \cdot I = 24 \cdot 0,1 = \underline{\underline{2,4 \text{ W}}} = P_1 + P_2 = 0,96 + 1,44 = 2,4 \text{ W}$

$$U_1 = I \cdot R_1 = 0,1 \cdot 96 = \underline{\underline{9,6 \text{ V}}} \quad U_2 = I \cdot R_2 = 0,1 \cdot 144 = \underline{\underline{14,4 \text{ V}}}$$

$$U = U_1 + U_2 = 9,6 + 14,4 = \underline{\underline{24 \text{ V}}}$$

Der Vorwiderstand muß folgende Kenndaten aufweisen:  $96 \Omega/1 \text{ W}$ ; gewählt wird:  $R_1 = 100 \Omega/1 \text{ W}$ .

### 7.2 Elektrische Arbeit

Die elektrische Arbeit ist das Produkt aus **Leistung** und **Zeit**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Elektrische Arbeit	$A, W$	Kilowattstunde	kWh

#### Größengleichung

$A = P \cdot t$ kWh	$A =$ elektrische Arbeit in kWh
	$P =$ elektrische Leistung in kWh

#### Einheitengleichung

$$t = \text{Zeitdauer in h}$$

$$\text{kWh} = \text{kW} \cdot \text{h}$$

1 kWh $\underline{\underline{=}}$ 860 kcal
--

#### Übungsbeispiel

Eine Glühlampe für 220 V wird von einer Stromstärke von  $I = 0,455$  A durchflossen. Die Glühlampe ist  $t = 5$  h eingeschaltet. Wie groß ist die verbrauchte elektrische Arbeit?

**Gegeben:**  $U = 220$  V,  $I = 0,455$  A,  $t = 5$  h

**Gesucht:**  $A$

**Lösung:**  $P = U \cdot I = 220 \cdot 0,455 = 100 \text{ W} = \underline{\underline{0,1 \text{ kW}}}$

$$A = P \cdot t = 0,1 \cdot 5 = \underline{\underline{0,5 \text{ kWh}}}$$

Die verbrauchte elektrische Arbeit beträgt  $A = 0,5$  kWh.

### 7.3. Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad ist das **Verhältnis** der **abgegebenen** elektrischen Leistung oder Arbeit zur **zugeführten** elektrischen Leistung oder Arbeit.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Wirkungsgrad	$\eta$ (Eta)	1	—

## Größengleichungen

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$\eta = \frac{A_{ab}}{A_{zu}}$$

$$\eta = \frac{Q_{ab}}{Q_{zu}}$$

$\eta$  = Wirkungsgrad, Einheit 1  
 $P_{ab}$  = abgegebene elektrische Leistung in kW  
 $P_{zu}$  = zugeführte elektrische Leistung in kW  
 $A_{ab}$  = abgegebene elektrische Arbeit in kWh  
 $A_{zu}$  = zugeführte elektrische Arbeit in kWh  
 $Q_{ab}$  = abgegebene Wärmemenge in kcal  
 $Q_{zu}$  = zugeführte Wärmemenge in kcal

## Übungsbeispiel

Ein Gleichstromgenerator für  $U = 230$  V läßt eine Stromstärke von  $I = 64$  A durch den Stromkreis fließen. Die mechanische Leistung, die dem Generator durch die Antriebsmaschine zugeführt wird, beträgt  $P_{zu} = 25$  PS. Welchen Wirkungsgrad hat der Gleichstromgenerator?

Gegeben:  $U = 230$  V,  $I = 64$  A,  $P_{zu} = 25$  PS

Gesucht:  $\eta$

Lösung:  $P_{zu} = 25 \cdot 0,736 = 18,4$  kW

$P_{ab} = U \cdot I = 230$  V  $\cdot$   $64$  A =  $14720$  W =  $14,72$  kW

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{14,72 \text{ kW}}{18,4 \text{ kW}} = \underline{\underline{0,8}}$$

Der Wirkungsgrad des Gleichstromgenerators beträgt  $\eta = 0,8$ .

## 7.4. Umrechnungsfaktoren

Leistung	J/s, W	kW	kpm/s	PS
1 J/s, W =	1	$10^{-3}$	0,102	$1,36 \cdot 10^{-3}$
1 kW =	$10^3$	1	102	1,36
1 kpm/s =	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	$13,3 \cdot 10^{-3}$
1 PS =	736	0,736	75	1

Leistung	$\mu$ W	mW	W	kW
1 $\mu$ W =	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$
1 mW =	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$
1 W =	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$
1 kW =	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1

Arbeit	J, Ws	kWh	kcal	kpm
1 J, Ws =	1	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$0,239 \cdot 10^{-3}$	0,102
1 kWh =	$3,6 \cdot 10^6$	1	860	$3,67 \cdot 10^5$
1 kcal =	4187	$1,16 \cdot 10^{-3}$	1	427
1 kpm =	9,81	$2,72 \cdot 10^{-6}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$	1

Arbeit	Ws	Wh	kWh
1 Ws =	1	$2,78 \cdot 10^{-4}$	$2,78 \cdot 10^{-7}$
1 Wh =	$3,6 \cdot 10^3$	1	$10^{-3}$
1 kWh =	$3,6 \cdot 10^6$	$10^3$	1

## 7.5. Aufgaben

1. Berechnen Sie:

- $P = 3000$  W +  $12$  mW +  $0,0042$  W +  $0,000064$  W in mW,
- $P = 426000$  W +  $260$  mW +  $1,25$  W +  $0,0691$  W in W,
- $A = 3600$  Ws +  $0,64$  Wh +  $0,00385$  kWh in Ws,
- $A = 475000$  Ws +  $3,92$  Wh +  $1,63$  kWh in Wh.

## Elektrische Leistung

- Eine Kohlenfadenlampe nimmt bei der Spannung von  $U = 220$  V eine elektrische Leistung von  $P = 75$  W auf. Welche Stromstärke fließt während des Betriebs durch die Glühlampe?
- Ein Widerstand von  $R = 184 \Omega$  nimmt eine elektrische Leistung von  $P = 15$  W auf. Wie groß ist die angeschaltete Spannung?
- Eine Relaispule hat einen Widerstand von  $R = 600 \Omega$ . Die angeschaltete Spannung beträgt  $U = 60$  V. Welche elektrische Leistung nimmt die Relaispule auf?
- Ein Tauchsieder für  $P = 500$  W nimmt eine Stromstärke von  $I = 2,27$  A auf. Für welche Spannung ist der Tauchsieder vorgesehen?
- Ein Heizgerät nimmt bei Anschluß an  $U = 220$  V eine elektrische Leistung von  $P_1 = 1800$  W auf. Durch Vorschalten eines Widerstandes soll die aufgenommene Leistung auf  $P_2 = 1200$  W verringert werden.
  - Wie groß muß der Vorwiderstand sein?

- b) Welche elektrische Leistung nimmt der Vorwiderstand auf?  
 c) Für welche Mindeststromstärke ist der Vorwiderstand vorzusehen?
7. Eine Glühlampe ist an  $U = 220\text{ V}$  angeschlossen. In ausgeschaltetem Zustand beträgt der Widerstand des Wolframfadens  $R_1 = 112\ \Omega$ ; während des Betriebs beträgt der Widerstand des Wolframfadens  $R_2 = 1200\ \Omega$ .
- a) Wie groß ist die aufgenommene elektrische Leistung im Einschalt Augenblick?  
 b) Wie groß ist die aufgenommene elektrische Leistung während des Betriebs?
8. Berechnen Sie für nachstehende Spannungs- und Stromwerte die aufgenommene Leistung.

$U\text{ V}$	$10^{-3}$	0,707	1,0	4	24	60
$I\text{ mA}$	2	707	1,6	64	600	1200
$P\text{ W}$						

9. Berechnen Sie für nachstehende Strom- und Widerstandswerte die aufgenommene Leistung.

$I\text{ mA}$	40	120	800	1500	4000
$R\ \Omega$	400	600	300	1200	60
$P\text{ W}$					

10. Berechnen Sie für die nachstehenden Spannungs- und Widerstandswerte die aufgenommene Leistung.

$U\text{ V}$	$10^{-3}$	0,707	1,0	4	24	60
$R\ \Omega$	1000	600	1000	300	144	54
$P\text{ W}$						

11. Zwei Glühlampen von  $L_1 = 110\text{ V} / 40\text{ W}$  und  $L_2 = 110\text{ V} / 75\text{ W}$  werden in Reihe an eine Betriebsspannung von  $220\text{ V}$  geschaltet. Widerstandsveränderungen durch Temperatureinfluß werden vernachlässigt.
- a) Wie groß ist die tatsächliche Leistungsaufnahme beider Glühlampen und was geschieht nach der Einschaltung?  
 b) Welcher Widerstand muß zusätzlich eingefügt werden, damit die Lampen die richtige Betriebsspannung erhalten?

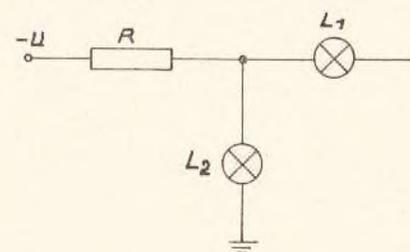
12. Berechnen Sie von nebenstehenden Glühlampen die tatsächliche Leistungsaufnahme, wenn sie hintereinander an die Nennspannung geschaltet werden. Berechnen Sie auch die erforderlichen Zusatzwiderstände.

	$L_1$ V/W	$L_2$ V/W	$U$ V
a)	24/4	24/2	60
b)	24/4	36/3	60
c)	24/4	24/2	48
d)	48/6	48/12	110

13. Von einer Glühlampe  $220\text{ V} / 40\text{ W}$  soll durch einen Vorwiderstand die Leistungsaufnahme auf  $10\text{ W}$  vermindert werden. Die Betriebsspannung ist  $220\text{ V}$ . Widerstandsveränderungen durch Temperatureinfluß werden vernachlässigt. Wie groß muß der Vorwiderstand gewählt werden?
14. Nachstehend sind von mehreren Glühlampen die Nennspannungen und die dazugehörige Leistungsaufnahme angegeben. Durch Vorwiderstände soll die Leistungsaufnahme der Glühlampen auf die angegebenen Werte vermindert werden.
- a) Berechnen Sie die Vorwiderstände hinsichtlich ihres Ohmwertes und der Leistungsbelastung.  
 b) Machen Sie bei jeder Berechnung auch die Rechenprobe.

$L\text{ V/W}$	110/40	24/6	220/100	48/10	60/6
$U\text{ V}$	110	24	220	48	60
$P_2\text{ W}$	15	2,4	25	3,0	1,8
$R_1\ \Omega$					
$P_1\text{ W}$					

15. Von nachstehender Lampenschaltung (Abb. 63) betragen:

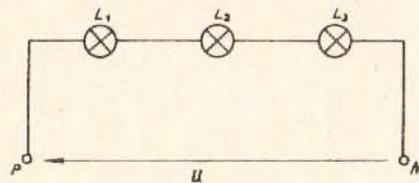


(Abb. 63)

Welche zusätzlichen Widerstände sind in die jeweilige Schaltung einzufügen, damit die Glühlampen die richtigen Spannungs- und Stromwerte erhalten (Ohmwerte und Belastbarkeit in Watt)?

	$R$ $\Omega$	$L_1$ V/W	$L_2$ V/W	$-U$ V
a)	200	24/6	12/4	60
b)	800	36/4	24/3	60
c)	100	24/4	36/6	60
d)	400	12/2,4	24/4,8	60

16. Von nachstehender Lampenschaltung (Abb. 64) betragen:



(Abb. 64)

	$L_1$ V/W	$L_2$ V/W	$L_3$ V/W	$U$ V
a)	24/4	24/1,5	24/6	72
b)	12/2,4	36/6	12/3,2	60
c)	24/3	48/4	24/4	110
d)	36/3,5	36/2,5	36/4	120

Welche zusätzlichen Widerstände sind in die jeweilige Schaltung einzufügen, damit die Glühlampen die richtigen Spannungs- und Stromwerte erhalten (Ohmwerte und Belastbarkeit in Watt)?

### Elektrische Arbeit

17. Ein elektrisches Gerät ist  $t = 2,5$  Stunden lang an eine Spannung von  $U = 220$  V geschaltet. Die Stromstärke beträgt  $I = 0,64$  A. Wie groß ist die verbrauchte elektrische Arbeit?
18. Der Antriebsmotor einer Bohrmaschine nimmt bei Anschluß an  $U = 220$  V eine Stromstärke von  $I = 2,4$  A auf. Die tägliche Betriebsdauer beträgt 5 Stunden. Die Bohrmaschine wird an 25 Tagen des Monats benutzt. Der Tarifpreis für die Stromkosten beträgt  $k = 0,08$  DM/kWh.
- Wie groß ist die aufgenommene elektrische Leistung?
  - Wie groß ist die monatlich verbrauchte elektrische Arbeit?
  - Wie hoch sind die monatlichen Betriebskosten?
19. Wie lange kann eine 60-Watt-Lampe eingeschaltet sein, bis eine elektrische Arbeit von  $A = 1$  kWh verbraucht ist?
20. Ein Gleichstromgenerator gibt eine elektrische Leistung von  $P_{ab} = 75$  kW ab. Die Spannung des Gleichstromgenerators beträgt  $U = 460$  V. Der Wirkungsgrad ist  $\eta = 0,9$ .
- Welche Stromstärke kann der Gleichstromgenerator abgeben?
  - Welche elektrische Leistung muß dem Generator zugeführt werden?
  - Welche mechanische Leistung muß dem Generator durch die Antriebsmaschine zugeführt werden?
21. Durch einen Widerstand von  $R = 0,8$   $\Omega$  fließen 25 Minuten lang 14 A hindurch. Wie groß ist die in dem Widerstand verbrauchte elektrische Arbeit?

22. Berechnen Sie für die nachstehend angegebenen Spannungs- und Stromwerte bei den dazugehörigen Betriebszeiten die jeweilig verbrauchte elektrische Arbeit.

$U$	V	12	24	36	48	60	110	220
$I$	A	0,8	0,6	1,0	1,8	6,4	2,3	5,1
$t$	h	1,2	3,6	24	7,2	0,65	1,5	7,5
$A$	kWh							

## 8. Magnetismus

Bei der Berechnung der magnetischen Größen werden hier die Einheiten nach dem „**Internationalen Einheitensystem**“ verwendet, das auch von der Bundesrepublik Deutschland anerkannt und eingeführt worden ist. Die veralteten Einheiten, z. B. Gauß, Maxwell usw., sind nur noch bei den Umrechnungsfaktoren erwähnt.

### 8.1. Magnetische Durchflutung

Die magnetische Durchflutung ist das Produkt aus **Strom** und **Windungszahl**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
---------	---------------	---------	-------------------------

Magnetische Durchflutung	$\Theta$ (Theta)	Amperewindungen	A
--------------------------	------------------	-----------------	---

#### Größengleichung

$$\Theta = I \cdot N \text{ A}$$

$\Theta$  = magnetische Durchflutung in A  
 $I$  = Stromstärke in A

Einheitengleichung  $N$  = Windungszahl (Einheit 1)

$$A = A \cdot 1$$

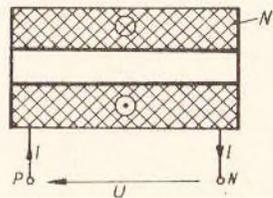
**Übungsbeispiel**

Eine Relaispule von  $N = 1400$  Windungen wird von einer Stromstärke von  $I = 25$  mA durchflossen (Abb. 65). Wie groß ist die magnetische Durchflutung der Relaispule?

**Gegeben:**  $N = 1400, I = 25$  mA

**Gesucht:**  $\Theta$

**Lösung:**



(Abb. 65)

$$\Theta = I \cdot N = 25 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 1400 = \underline{\underline{35 \text{ A}}}$$

Die magnetische Durchflutung beträgt 35 Amperewindungen.

**8.2. Magnetische Feldstärke**

**8.2.1. Spule mit Lufthohraum**

Die magnetische Feldstärke ist die **Amperewindungszahl** pro Meter Spulenlänge.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Magnetische Feldstärke	$H$	Amperewindungszahl pro Meter	A/m

**Größengleichung**

$$H = \frac{\Theta}{l} = \frac{I \cdot N}{l} \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$H$  = magnetische Feldstärke in A/m

$I$  = Stromstärke in A

$N$  = Windungszahl (Einheit 1)

$l$  = Spulenlänge in m

**Einheitengleichung**

$$\frac{\text{A}}{\text{m}} = \frac{\text{A} \cdot 1}{\text{m}}$$

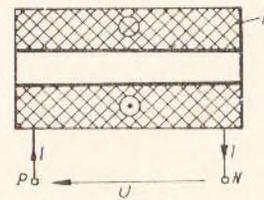
**Übungsbeispiel**

Eine Relaispule von  $N = 3000$  Windungen wird von einem Strom von  $I = 5$  mA durchflossen. Die Spulenlänge ist  $l = 6,5$  cm (Abb. 66). Wie groß ist die magnetische Feldstärke?

**Gegeben:**  $N = 3000, I = 5$  mA,  $l = 6,5$  cm

**Gesucht:**  $H$

**Lösung:**



(Abb. 66)

$$H = \frac{I \cdot N}{l}$$

$$H = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 3000}{6,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = \underline{\underline{231 \frac{\text{A}}{\text{m}}}}$$

Die magnetische Feldstärke beträgt  $H = 231$  Ampere pro Meter.

**8.2.2. Spule mit geschlossenem Eisenkern**

Die magnetische Feldstärke ist die **Amperewindungszahl** pro Meter **mittlerer Feldlinienlänge**.

**Größengleichung**

$$H = \frac{\Theta}{l} = \frac{I \cdot N}{l} \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$H$  = magnetische Feldstärke in A/m

$I$  = Stromstärke in A

$N$  = Windungszahl, Einheit 1

$l$  = mittlere Feldlinienlänge in m

**Einheitengleichung**

$$\frac{\text{A}}{\text{m}} = \frac{\text{A} \cdot 1}{\text{m}}$$

$$l = 2 \cdot (a - s) + 2 \cdot (b - s) \text{ m}$$

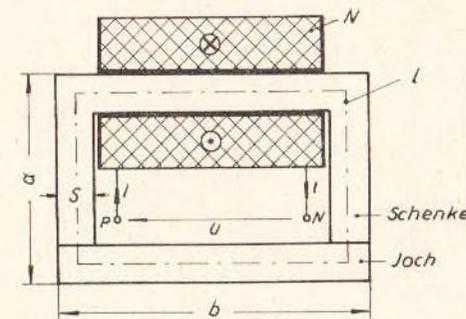
**Übungsbeispiel**

Von einer Stromspule mit geschlossenem Eisenkern betragen:  $N = 1200$  Windungen,  $I = 45$  mA; die Abmessungen des Eisenkerns sind: äußere Höhe des Kerns  $a = 35$  mm, äußere Breite des Kerns  $b = 40$  mm, Kantenbreite des Kerns  $s = 8$  mm (Abb. 67). Wie groß ist die magnetische Feldstärke?

**Gegeben:**  $N = 1200, I = 45$  mA,  $a = 35$  mm,  $b = 40$  mm,  $s = 8$  mm

**Gesucht:**  $H$

**Lösung:**



(Abb. 67)

$$l = 2 \cdot (a - s) + 2 \cdot (b - s)$$

$$l = 2 \cdot (35 - 8) + 2 \cdot (40 - 8)$$

$$l = 2 \cdot 27 + 2 \cdot 32 = \underline{\underline{118 \text{ mm}}}$$

$$H = \frac{I \cdot N}{l}$$

$$H = \frac{45 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 1200}{118 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = \underline{\underline{458 \frac{\text{A}}{\text{m}}}}$$

Die magnetische Feldstärke der Stromspule beträgt 458 A/m.

### 8.2.3. Eisenkern mit Luftspalt

Die magnetische Feldstärke ist die **Amperewindungszahl** pro Meter **Luftspalllänge**. Der magnetische Widerstand des Eisenkerns kann meistens vernachlässigt werden.

#### Größengleichung

$$H = \frac{\Theta}{s} = \frac{I \cdot N}{s} \quad \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$H$  = magnetische Feldstärke in A/m

$I$  = Stromstärke in A

$N$  = Windungszahl, Einheit 1

$s$  = Luftspalllänge in m

#### Einheitengleichung

$$\frac{\text{A}}{\text{m}} = \frac{\text{A} \cdot 1}{\text{m}}$$

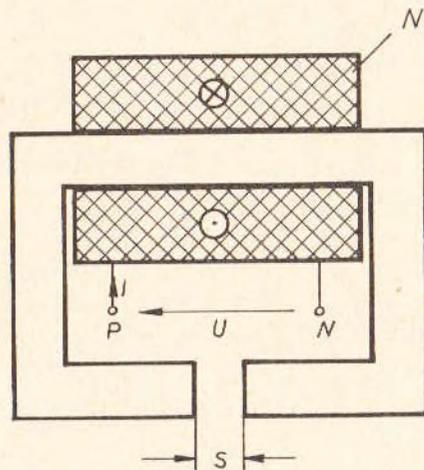
#### Übungsbeispiel:

Eine Stromspule befindet sich auf einem Eisenkern mit Luftspalt. Die Windungszahl ist  $N = 1200$  Windungen, der Strom beträgt  $I = 45 \text{ mA}$  und die Luftspalllänge ist  $s = 3 \text{ mm}$ . Der magnetische Widerstand des Kerns soll vernachlässigt werden (Abb. 67a). Wie groß ist die magnetische Feldstärke?

**Gegeben:**  $N = 1200$ ,  $I = 45 \text{ mA}$ ,  $s = 3 \text{ mm}$

**Gesucht:**  $H$

**Lösung:**



(Abb. 67a)

$$H = \frac{I \cdot N}{s}$$

$$H = \frac{45 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 1200}{3 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$H = \underline{\underline{18000 \text{ A/m}}}$$

Die magnetische Feldstärke der Stromspule beträgt  $H = 18 \text{ kA/m}$ .

### 8.3. Magnetische Flußdichte

#### 8.3.1. Spule mit Lufthohraum

Die magnetische Flußdichte ist das Produkt aus der **magnetischen Feldkonstanten** und der **magnetischen Feldstärke**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Magnetische Flußdichte	$B$	Tesla Voltsekunden pro Quadratmeter	T Vs/m <sup>2</sup>

#### Größengleichung

$$B = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot H \quad \text{T}$$

$B$  = magnetische Flußdichte in T

$1,257 \cdot 10^{-6}$  = magnetische Feldkonstante in Vs/Am

#### Einheitengleichung

$$\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} = \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}} \cdot \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$H$  = magnetische Feldstärke in A/m

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$$

#### Übungsbeispiel

Die magnetische Feldstärke einer Stromspule mit Lufthohraum beträgt  $H = 4,3 \text{ A/cm}$ .

Wie groß ist die magnetische Flußdichte?

**Gegeben:**  $H = 4,3 \text{ A/cm}$

**Gesucht:**  $B$

**Lösung:**  $B = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot H$

$$B = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}} \cdot 4,3 \frac{\text{A}}{10^{-2} \text{ m}} = \underline{\underline{5,4 \cdot 10^{-4} \text{ T}}}$$

Die magnetische Flußdichte beträgt  $B = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ T} = 0,54 \text{ mT}$ .

#### 8.3.2. Spule mit geschlossenem Eisenkern

Die magnetische Flußdichte ist das Produkt aus der **magnetischen Feldkonstanten** und der **Permeabilitätszahl** und der **magnetischen Feldstärke**.

#### Größengleichung

$$B = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot \mu_r \cdot H \quad \text{T}$$

$B$  = magnetische Flußdichte in T

$1,257 \cdot 10^{-6}$  = magnetische Feldkonstante in Vs/Am

$\mu_r$  = Permeabilitätszahl, Einheit 1

$H$  = magnetische Feldstärke in A/m

#### Einheitengleichung

$$\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} = \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}} \cdot 1 \cdot \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Diese Größengleichung hat jedoch praktisch keine Bedeutung, weil die Permeabilitätszahl von geschlossenen Eisenkernen meistens unbekannt ist. Zur Ermittlung der magnetischen Flußdichte in Kernen bedient man sich daher der **Magnetisierungskurven** (Anhang 3).

#### Übungsbeispiel

Die magnetische Feldstärke einer Stromspule beträgt  $H = 8,5 \text{ A/cm}$ . Der geschlossene Eisenkern ist aus Dynamoblechen hergestellt. Wie groß ist die magnetische Flußdichte?

**Gegeben:**  $H = 8,5 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$

**Gesucht:**  $B$

**Lösung:** Nach der Magnetisierungskurve für Dynamoblech (Anhang 3):

$$H = 8,5 \frac{\text{A}}{\text{cm}} = 8,5 \frac{\text{A}}{10^{-2} \text{ m}} = \underline{\underline{850 \frac{\text{A}}{\text{m}}}}$$

Die magnetische Feldstärke von  $850 \text{ A/m}$  entspricht einer magnetischen Flußdichte von  $B = \underline{\underline{1,4 \text{ T}}}$

Bei diesem Magnetisierungszustand beträgt die Permeabilitätszahl des Kerns:

$$B = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot \mu_r \cdot H \quad \text{umstellen nach } \mu_r$$

$$\mu_r = \frac{B \cdot 10^6}{1,257 \cdot H} = \frac{1,4 \cdot 10^6 \text{ Vs} \cdot \text{Am} \cdot \text{m}}{1,257 \cdot 850 \text{ m}^2 \cdot \text{Vs} \cdot \text{A}} = \underline{\underline{1311}}$$

Die magnetische Induktion der Stromspule beträgt  $B = 1,4 \text{ Tesla}$ .

### 8.3.3. Eisenkern mit Luftspalt

Die magnetische Flußdichte ist das Produkt aus der **magnetischen Feldkonstanten** und der **magnetischen Feldstärke**.

Für die Berechnung der Flußdichte für Stromspulen auf Kernen mit Luftspalt wird die gleiche Größengleichung wie die für Spulen mit Lufthohlraum zugrunde gelegt.

#### Übungsbeispiel

Eine Stromspule befindet sich auf einem Eisenkern mit Luftspalt. Der magnetische Widerstand des Kerns soll vernachlässigt werden. Die magnetische Feldstärke beträgt  $H = 18 \text{ kA/m}$ . Wie groß ist die magnetische Flußdichte?

**Gegeben:**  $H = 18 \text{ kA/m}$

**Gesucht:**  $B$

**Lösung:**  $B = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot H$

$$B = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}} \cdot 18 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}} = \underline{\underline{22,3 \cdot 10^{-3} \text{ T}}}$$

Die magnetische Flußdichte im Eisenkern und Luftspalt beträgt  $B = 22,3 \text{ mT}$ .

## 8.4. Magnetischer Fluß

Der magnetische Fluß ist das Produkt aus der **magnetischen Flußdichte** und der **Polfläche**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Magnetischer Fluß	$\Phi$ (Phi)	Weber Voltsekunde	Wb Vs

#### Größengleichung

$$\Phi = B \cdot A \text{ Vs}$$

$\Phi$  = magnetischer Fluß in Wb

$B$  = magnetische Flußdichte in T

#### Einheitengleichung

$A$  = Polfläche in  $\text{m}^2$

$$\text{Vs} = \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^2$$

$$\underline{\underline{1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs}}}$$

#### Übungsbeispiel

Von einem Elektromagneten betragen der Kernquerschnitt  $A = 4 \text{ cm}^2$  und die magnetische Flußdichte  $B = 0,45 \text{ T}$ . Wie stark ist der magnetische Fluß im Eisenkern?

**Gegeben:**  $A = 4 \text{ cm}^2$ ,  $B = 0,45 \text{ T}$

**Gesucht:**  $\Phi$

**Lösung:**  $\Phi = B \cdot A = 0,45 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = \underline{\underline{1,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}}}$

Der magnetische Fluß im Eisenkern beträgt  $\Phi = 180 \mu\text{Wb}$ .

## 8.5. Magnetischer Widerstand

Der magnetische Widerstand ist der Quotient aus der **Spulen- bzw. mittleren Feldlinienlänge** und dem Produkt aus der **Permeabilität** und des **Spulen- bzw. Kernquerschnitts**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Magnetischer Widerstand	$R$	Ampere pro Voltsekunde	$\frac{\text{A}}{\text{Vs}} = \frac{1}{\Omega\text{s}}$

#### Größengleichung

$$R = \frac{l}{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot \mu_r \cdot A}$$

$R$  = magnetischer Widerstand in  $\frac{1}{\Omega\text{s}}$

$l$  = Spulen- bzw. mittlere Feldlinienlänge in m

$1,257 \cdot 10^{-6}$  = magnetische Feldkonstante in  $\text{Vs/Am}$

$\mu_r$  = Permeabilitätszahl, Einheit 1

$A$  = Spulen- bzw. Kernquerschnitt in  $\text{m}^2$

### Übungsbeispiel

Die Spulenlänge einer Spule mit Lufthohraum beträgt  $l = 8,4 \text{ cm}$ ; der Spulenquerschnitt ist  $A = 2,56 \text{ cm}^2$ . Wie groß ist der magnetische Widerstand der Spule?

Gegeben:  $l = 8,4 \text{ cm}$ ,  $A = 2,56 \text{ cm}^2$

Gesucht:  $R$

$$\begin{aligned} \text{Lösung: } R &= \frac{1}{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot \mu_r \cdot A} \\ R &= \frac{1}{1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs} \cdot 1 \cdot 2,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \\ R &= \frac{8,4}{1,257 \cdot 2,56} \cdot 10^8 = 2,61 \cdot 10^8 \frac{1}{\Omega\text{s}} = 261 \cdot \frac{10^6}{\Omega\text{s}} = \underline{\underline{261 \frac{1}{\mu\Omega\text{s}}}} \end{aligned}$$

Der magnetische Widerstand der Spule beträgt  $R = 261 \frac{1}{\mu\Omega\text{s}}$ .

## 8.6. Ohmsches Gesetz des magnetischen Kreises

Der magnetische Fluß ist verhältnismäßig der magnetischen Durchflutung und umgekehrt verhältnismäßig dem magnetischen Widerstand.

### Größengleichung

$\Phi = \frac{\Theta}{R} \text{ Wb}$	$\Phi =$ magnetischer Fluß in Wb
	$\Theta =$ magnetische Durchflutung in A
	$R =$ magnetischer Widerstand in A/Vs

### Einheitengleichung

$$\text{Vs} = \frac{\text{A} \cdot \text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}}$$

### Übungsbeispiel

Der magnetische Widerstand einer Spule mit Lufthohraum beträgt  $R = 261 \text{ I}/\mu\Omega\text{s}$ . Die magnetische Durchflutung ist  $\Theta = 4,8 \text{ A}$ . Wie groß ist der erzeugte magnetische Fluß im Spulenraum?

Gegeben:  $R = 261 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}$ ,  $\Theta = 4,8 \text{ A}$

Gesucht:  $\Phi$

Lösung:  $\Phi = \frac{\Theta}{R} = \frac{4,8 \text{ A} \cdot \text{V} \cdot \text{s}}{261 \cdot 10^6 \text{ A}} = 1,84 \cdot 10^{-8} \text{ Wb} = \underline{\underline{18,4 \text{ nWb}}}$

Rechenprobe (vgl. Übungsbeispiel 8.5.):

$$\Theta = 4,8 \text{ A}, l = 8,4 \text{ cm}, A = 2,56 \text{ cm}^2$$

$$H = \frac{\Theta}{l} = \frac{4,8 \text{ A}}{8,4 \text{ cm}} = 0,571 \frac{\text{A}}{\text{cm}} = \underline{\underline{57,1 \text{ A/m}}}$$

$$B = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot H = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 57,1 \frac{\text{A}}{\text{m}} = \underline{\underline{71,9 \cdot 10^{-6} \text{ T}}}$$

$$\Phi = B \cdot A = 71,9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \cdot 2,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = \underline{\underline{18,4 \cdot 10^{-10} \text{ Wb}}}$$

Der magnetische Fluß beträgt  $\Phi = 18,4 \text{ nWb}$ .

## 8.7. Magnetische Kraftwirkung

Die Anzugskraft von Magneten ist verhältnismäßig der **magnetischen Flußdichte** im Quadrat und der **Polfläche**. Befindet sich im Kern ein **Luftspalt**, dann kann der magnetische Widerstand des **Kerns** meistens **vernachlässigt** werden. Ist der Kern aus voneinander **isolierten Blechen** zusammengesetzt, dann wird der Querschnittsverlust des Kerns mit dem **Eisenfüllfaktor** berücksichtigt. Es wird stets der **gesamte** wirksame Eisenquerschnitt angesetzt; bei Hufeisenmagneten **Nord- und Südpolquerschnitt**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Kraft	$F$	Kilopond	kp

### Größengleichung

$F = (2 \cdot B)^2 \cdot A \text{ kp}$	$F =$ Anzugskraft in kp
	$B =$ magnetische Flußdichte in T
	$A =$ wirksame Gesamtpolfläche in $\text{cm}^2$

### Übungsbeispiel

Der Anker eines Flachrelais soll mit einer Kraft von  $F = 180 \text{ p}$  angezogen werden. Der Luftspalt zwischen Kern und Anker einschließlich des Trennblechs beträgt  $s = 3 \text{ mm}$ ; die Polfläche des Ankers ist  $A = 1,44 \text{ cm}^2$ . Die Wicklung hat  $N = 3000$  Windungen. Der magnetische Widerstand des Eisenkerns wird vernachlässigt. Wie groß muß der Anzugsstrom eingestellt werden, damit das Relais mit der doppelten Stromsicherheit betätigt werden kann?

Gegeben:  $F = 180 \text{ p}$ ,  $s = 3 \text{ mm}$ ,  $A = 1,44 \text{ cm}^2$ ,  $N = 3000$ ,  $S = 2$

Gesucht:  $I_A$

Lösung:  $F = (2 \cdot B)^2 \cdot A$

$$B = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{F}{A}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{0,18}{1,44}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{0,125} = \frac{0,353}{2} = \underline{\underline{0,177 \text{ T}}}$$

$$\Phi = B \cdot A = 0,177 \text{ T} \cdot 1,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = \underline{\underline{0,255 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}}}$$

$$R = \frac{s}{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot \mu_r \cdot A} = \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6}{1,257 \cdot 1 \cdot 1,44 \cdot 10^{-4}}$$

$$R = \frac{3}{1,257 \cdot 1,44} \cdot 10^7 = \underline{\underline{1,65 \cdot 10^7 \text{ A/Vs}}}$$

$$\Theta = \Phi \cdot R = 0,255 \cdot 10^{-4} \cdot 1,65 \cdot 10^7 = 0,422 \cdot 10^3 \text{ A} = \underline{422 \text{ A}}$$

$$I = \frac{\Theta}{N} = \frac{422}{3000} = 0,141 \text{ A} = \underline{141 \text{ mA}}$$

$$I_A = I \cdot S = 141 \cdot 2 = \underline{282 \text{ mA}}$$

Rechenprobe:  $H = \frac{\Theta}{l} = \frac{422 \text{ A} \cdot 10^3}{3 \text{ m}} = \underline{141 \text{ kA/m}}$

$$B = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot H = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 141 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}} = \underline{0,177 \text{ T}}$$

Die Anzugsstromstärke muß  $I_A = 282 \text{ mA}$  betragen.

### 8.8. Umrechnungsfaktoren

Magnetische Feldstärke	A/m	A/cm	Oe
1 A/m =	1	$10^{-2}$	$12,56 \cdot 10^{-3}$
1 A/cm =	$10^2$	1	1,256
1 Oe =	$0,8 \cdot 10^2$	0,8	1

Magnetische Flußdichte	Vs/cm <sup>2</sup>	T	G
1 Vs/cm <sup>2</sup> =	1	$10^4$	$10^8$
1 T =	$10^{-4}$	1	$10^4$
1 G =	$10^{-8}$	$10^{-4}$	1

Magnetischer Fluß	Wb	M
1 Wb =	1	$10^8$
1 M =	$10^{-8}$	1

	nWb, nT	$\mu\text{Wb}, \mu\text{T}$	mWb, mT	Wb, T
1 nWb, nT =	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$
1 $\mu\text{Wb}, \mu\text{T}$ =	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$
1 mWb, mT =	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$
1 Wb, T =	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1

### 8.9. Aufgaben

1. Berechnen Sie:

a)  $\Phi = 4200 \text{ nWb} + 2,6 \mu\text{Wb} + 0,91 \text{ mWb} + 0,00248 \text{ Wb}$  in mWb,

b)  $\Phi = 300 \text{ nWb} + 1,1 \mu\text{Wb} + 0,064 \text{ mWb} + 0,000089 \text{ Wb}$  in  $\mu\text{Wb}$ ,

c)  $B = 5100 \text{ nT} + 3,2 \mu\text{T} + 0,76 \text{ mT} + 0,0069 \text{ T}$  in mT,

d)  $B = 420 \text{ nT} + 2,03 \mu\text{T} + 0,0012 \text{ mT} + 0,0001056 \text{ T}$  in  $\mu\text{T}$ .

2. Eine Spule von  $N = 3500$  Windungen wird von einer Stromstärke von  $I = 25 \text{ mA}$  durchflossen. Wie groß ist die magnetische Durchflutung?

3. Die magnetische Durchflutung beträgt  $\Theta = 18 \text{ A}$ . Die Windungszahl ist  $N = 2000$ . Von welcher Stromstärke wird die Stromspule durchflossen?

4. Berechnen Sie von nachstehenden Stromspulen die Stärke der magnetischen Durchflutung.

$N$	400	800	1200	900	1000	2000
$I \text{ mA}$	350	220	282	350	106	200
$\Theta \text{ A}$						

5. Berechnen Sie von nachstehenden Stromspulen die Stromstärke.

$N$	400	800	1200	900	1000	2000
$\Theta \text{ A}$	110	150	256	408	240	316
$I \text{ mA}$						

6. Berechnen Sie von nachstehenden Stromspulen die Windungszahl.

$\Theta \text{ A}$	110	150	256	408	240	316
$I \text{ mA}$	360	202	180	260	420	375
$N$						

7. Bestimmen Sie von folgenden Stromspulen mit geschlossenen Stahlgußkernen die Flußdichte und die Permeabilitätszahl.

$N$	400	600	800	1000	1200	1500
$I$ mA	300	250	180	95	105	64
$h$ mm	40	35	50	45	40	30
$b$ mm	60	50	50	55	60	40
$s$ mm	8	7	10	9	10	6
$B$ mT						
$\mu_r$						

8. Von einer Stromspule mit geschlossenem Stahlgußkern betragen die Windungszahl  $N = 800$  und die mittlere Feldlinienlänge  $l = 18$  cm. Bestimmen Sie für die nachstehenden Stromstärken die jeweiligen Werte der Flußdichte und der Permeabilität. Tragen Sie die Werte für die Permeabilitätszahl in ein Diagramm auf.

$I$ mA	50	100	150	250	300	350	400
$\mu$							
$\mu_r$							

9. Ein Flachrelais hat  $N = 800$  Windungen. Bei abgefallenem Anker ist der Luftspalt  $s = 3$  mm groß; hinzu kommt die Trennblechstärke von 0,8 mm. Die Erregerstromstärke ist  $I = 240$  mA. Wie groß sind die Werte der magnetischen Flußdichte bei angezogenem und abgefallenem Anker, wenn der Eisenweg vernachlässigt wird?
10. Ein Flachrelais hat  $N = 1000$  Windungen. Bei abgefallenem Anker ist der Luftspalt  $s = 3$  mm groß; das Trennblech fehlt. Kern und Anker bestehen aus Stahlguß; die mittlere Feldlinienlänge bei geschlossenem Relaiskern beträgt  $l = 16$  cm. Bei offenem Relaiskern wird der Eisenweg vernachlässigt. Die Erregerstromstärke ist  $I = 120$  mA. Wie groß sind die Werte der magnetischen Flußdichte bei angezogenem und abgefallenem Relaisanker?
11. Die Länge der Spule eines Fernmelderrelais beträgt  $l = 6$  cm, die Windungszahl ist  $N = 1200$ . Die magnetische Durchflutung der Spule soll  $\Theta = 6,6$  A betragen.
- Welchen Wert muß die Betriebsstromstärke haben?
  - Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Stromspule ohne Eisenkern?

12. Eine Stromspule von  $N = 800$  Windungen wird von einer Stromstärke von  $I = 3,5$  A durchflossen. Die Spulenlänge beträgt  $l = 8$  cm.
- Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Stromspule ohne Eisenkern?
  - Wie groß ist die magnetische Flußdichte im Spulenraum der Stromspule ohne Eisenkern?
13. Berechnen Sie von folgenden Stromspulen mit Lufthohlraum die magnetische Feldstärke und die magnetische Flußdichte.

$N$	400	600	800	1000	1200	1500
$I$ mA	300	250	180	95	105	64
$l$ cm	8	6	7	5,5	6,8	7,5
$H$ A/m						
$B$ T						

14. Berechnen Sie von folgenden Stromspulen mit Lufthohlraum die erforderliche Stromstärke.

$B$ mT	500	260	310	420	180	230
$N$	400	800	1200	600	900	1000
$l$ cm	8	7	7,5	6	5,5	6,4
$I$ mA						

15. Eine Stromspule mit geschlossenem Eisenkern hat  $N = 800$  Windungen; die Stromstärke beträgt  $I = 95$  mA. Der rechteckige Stahlgußkern hat folgende Außenmaße: Höhe 45 mm, Breite 50 mm, Schenkelstärke 8 mm.
- Wie groß ist die magnetische Flußdichte im Kern?
  - Wie groß ist die Permeabilitätszahl des Kerns?
16. Ein Spulenkern ist aus Dynamoblechen von 0,35 mm Stärke zusammengesetzt. Es liegen 24 Bleche voneinander isoliert übereinander. Die Außenmaße des Kernquerschnitts betragen  $1,2 \cdot 1,2$  cm.
- Wieviele Prozent des Kernquerschnitts bestehen aus der Legierung?
  - Wie groß ist der Eisenfüllfaktor des Kerns?

17. Der Kernquerschnitt eines Flachrelais beträgt  $1,0 \text{ cm} \cdot 0,5 \text{ cm}$ ; die magnetische Flußdichte ist  $B = 220 \text{ mT}$ . Wie groß ist der magnetische Fluß?
18. Der magnetische Fluß im Kern einer Stromspule beträgt  $\Phi = 6,4 \mu\text{Wb}$ . Der Kernquerschnitt ist  $0,8 \cdot 0,8 \text{ cm}$ . Wie groß ist die magnetische Flußdichte?
19. Berechnen Sie von folgenden Stromspulen die Stärke des magnetischen Flusses.

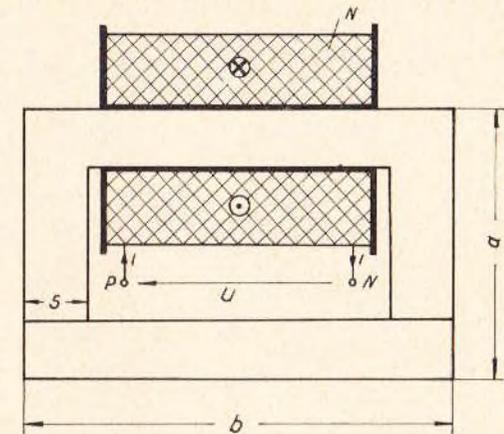
$B$ mT	400	250	130	280	510	390	600
$A$ cm <sup>2</sup>	1,0	0,81	0,64	0,72	1,1	0,8	1,3
$\Phi$ $\mu\text{Wb}$							

20. Berechnen Sie von folgenden Stromspulen die Stärke der magnetischen Flußdichte.

$\Phi$ $\mu\text{Wb}$	50	600	100	350	80	110	210
$A$ cm <sup>2</sup>	1,1	0,64	0,81	1,21	0,9	1,4	1,3
$B$ mT							

21. In dem Eisenkern einer Stromspule beträgt die magnetische Flußdichte  $B = 1,4 \text{ T}$  bei der magnetischen Feldstärke von  $H = 11,5 \text{ A/cm}$ .
- Wie groß ist die Permeabilität des Eisenkerns?
  - Aus welchem Material besteht der Eisenkern?
22. Bestimmen Sie aus der Magnetisierungskurve für Dynamoblech die Werte der Permeabilität bei den magnetischen Feldstärken von 0, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 A/m. Tragen Sie die errechneten Werte für die Permeabilität in ein Diagramm ein.

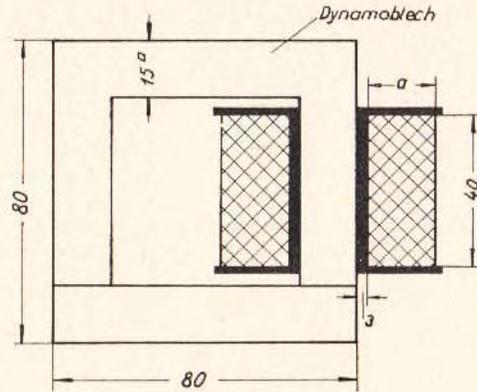
23. Von nebenstehender Stromspule mit quadratischem Eisenkern aus Dynamoblech betragen  $N \approx 3200$  Windungen und  $I = 60 \text{ mA}$ . Die Abmessungen des Eisenkerns sind:  $a = 40 \text{ mm}$ ,  $b = 60 \text{ mm}$  und  $s = 8 \text{ mm}$ , der Eisenfüllfaktor ist 0,90 (Abb. 68). Wie stark ist der magnetische Fluß im Eisenkern?



(Abb. 68)

24. Ein Fernmelderelais hat einen Kernquerschnitt von  $A = 1,15 \text{ cm}^2$ . Der Anker wird von dem Eisenkern ohne Trennblech mit einer Kraft von  $F = 200 \text{ p}$  festgehalten. Wie stark ist der magnetische Fluß im Relaiskern?
25. Der magnetische Fluß eines Elektro-Hufeisenmagneten beträgt  $\Phi = 2,8 \text{ mWb}$ , die magnetische Induktion ist  $B = 1,4 \text{ T}$ . Die Streuverluste werden vernachlässigt. Mit welcher Kraft wird das Joch von den Schenkeln des Hufeisenmagneten festgehalten?
26. Ein Fernmelderelais hat einen Kernquerschnitt von  $A = 1,2 \text{ cm}^2$ . Die Stärke des magnetischen Flusses beträgt  $\Phi = 21 \mu\text{Wb}$ . Die Streuverluste werden auf 20 v.H. geschätzt. Mit welcher Kraft wird der Anker von dem Kern des Fernmelderelais ohne Trennblech festgehalten?
27. Ein Hufeisenmagnet hat eine Anzugskraft von  $F = 110 \text{ kp}$ . Die magnetische Induktion im Eisenkern beträgt  $B = 1,08 \text{ T}$ . Die Streuverluste werden auf 15 v.H. geschätzt. Wie groß ist die Kantenlänge des quadratischen Schenkelquerschnitts?

28. Es soll ein Elektromagnet von nebenstehenden Abmessungen berechnet werden. Das Joch soll mit einer Kraft von  $F = 20$  kp festgehalten werden. Die Streuverluste werden auf 20 v.H. geschätzt. Die Stromstärke in der Stromspule soll 100 mA nicht übersteigen. Der Außendurchmesser des lackisolierten Kupferdrahtes beträgt  $d = 0,8$  mm (Abb. 69).



(Abb. 69)

- Wie groß ist die magnetische Flußdichte im Eisenkern?
  - Wie groß ist die magnetische Feldstärke der Stromspule mit geschlossenem Eisenkern?
  - Welche Windungszahl muß die Spule aufweisen?
  - Wieviel Windungen liegen senkrecht übereinander und wieviel Lagen liegen waagrecht übereinander?
  - Wie groß ist der Querschnitt des benötigten Wickelraums?
  - Wieviel m Kupferdraht werden für die Herstellung der Spule benötigt?
29. Von mehreren Fernmelderelais sind nachstehend die Anzugskräfte, die Kernquerschnitte und die geschätzten Streuverlustfaktoren aufgeführt. Berechnen Sie die jeweilig erforderliche magnetische Flußdichte.

$F$ p	120	180	240	300	175	200
$A$ cm <sup>2</sup>	0,8	0,9	1,0	0,8	0,64	1,1
$p$	0,8	0,75	0,82	0,8	0,78	0,7
$B$ mT						

30. Ein Flachrelais hat  $N = 1500$  Windungen; der Kernquerschnitt ist 1,1 cm<sup>2</sup> groß. Bei abgefallenem Anker ist der Luftspalt  $s = 3,5$  mm; hinzu kommt die Trennblechstärke von 0,75 mm. Die Erregerstromstärke ist  $I = 430$  mA. Der magnetische Widerstand des Eisenwegs

sowie die Streuverluste sollen vernachlässigt werden. Wie groß sind die Anzugskräfte bei abgefallenem und angezogenem Relaisanker?

31. Von mehreren Flachrelais sind nachstehend die Windungszahlen, Kernquerschnitte, Luftspatllängen bei abgefallenem Anker und die Erregerstromstärken angegeben. Der magnetische Widerstand des Eisenkerns und die Streuverluste werden vernachlässigt. Berechnen Sie für jedes Flachrelais die magnetische Durchflutung, den magnetischen Widerstand, den magnetischen Fluß, die magnetische Flußdichte sowie die Anzugskraft, mit der der Anker angezogen wird.

$N$	800	1200	600	900	2000
$A$ cm <sup>2</sup>	0,81	0,9	1,1	0,75	1,0
$s$ mm	4,2	2,7	3,3	3,1	3,8
$I$ mA	600	400	750	380	180
$\Theta$ A					
$R$ A/Vs					
$\Phi$ $\mu$ Wb					
$B$ mT					
$F$ p					

## 9. Spannungserzeugung

### 9.1. Bewegungsspannung

Die Höhe der erzeugten Bewegungsspannung ist verhältnisgleich der magnetischen Flußdichte, der wirksamen Leiterlänge und der Bewegungsgeschwindigkeit des Leiters.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Erzeugte Spannung	$U_o$	Volt	V

**Größengleichung**

$$U_o = B \cdot l \cdot v \quad \text{V}$$

$U_o$  = erzeugte Spannung in V (Höchstwert)

$B$  = magnetische Flußdichte in T

$l$  = wirksame Leiterlänge in m

$v$  = Bewegungsgeschwindigkeit des Leiters rechtwinklig zur Feldlinienrichtung in m/s

**Einheitengleichung**

$$V = \frac{V \cdot s}{m^2} \cdot m \cdot \frac{m}{s}$$

Bei einer sich im Magnetfeld drehenden Spule ist nur der Leiteranteil wirksam, der sich im **Magnetfeld** befindet. Das ist im allgemeinen die Leiterlänge, die der **doppelten Polbreite** entspricht mal der **Windungszahl**.

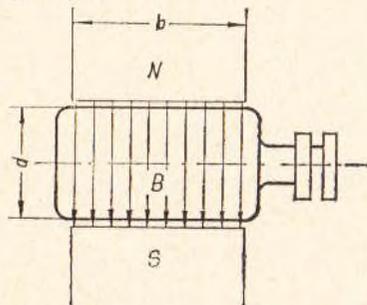
**Übungsbeispiel**

Der Anker eines Wechselstromgenerators hat  $N = 25$  Windungen; der mittlere Windungsdurchmesser ist  $d = 20$  cm. Die Polbreite des Erregermagneten ist  $b = 25$  cm; die magnetische Flußdichte ist  $B = 1$  T. Die Umdrehungszahl des Ankers beträgt  $n = 1500$  Umdrehungen pro Minute (Abb. 70). Wie groß ist der Höchstwert der erzeugten Wechselspannung?

**Gegeben:**  $N = 25$ ,  $d = 20$  cm,  $b = 25$  cm,  $B = 1$  T,  $n = 1500$  1/min

**Gesucht:**  $U_{\max}$

**Lösung:**



(Abb. 70)

Wirksame Leiterlänge:

$$l = N \cdot (b + b) = 25 \cdot (25 + 25)$$

$$l = 25 \cdot 50 \text{ cm} = \underline{1250 \text{ cm}}$$

Bewegungsgeschwindigkeit des Leiters:

$$v = d \cdot \pi \cdot n$$

$$v = \frac{20 \text{ cm} \cdot 3,14 \cdot 1500}{60 \cdot s}$$

$$v = \underline{1570 \text{ cm/s}}$$

$$U_{\max} = B \cdot l \cdot v = \frac{1 \text{ Vs} \cdot 12,5 \text{ m} \cdot 15,7 \text{ m}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = \underline{196 \text{ V}}$$

Der Höchstwert der Wechselspannung beträgt  $U_{\max} = 196$  V.

**9.2. Transformationsspannung**

Die Höhe der erzeugten Transformationsspannung ist verhältnismäßig der **magnetischen Flußdichte**, dem **Kernquerschnitt**, der **Frequenz** und der **Windungszahl**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Leerlaufspannung	$U_o$	Volt	V

**Größengleichung**

$$U_o = 4,44 \cdot \Phi_{\max} \cdot f \cdot N \quad \text{V}$$

$U_o$  = erzeugte Spannung in V (Effektivwert)

$\Phi_{\max}$  = Höchstwert des magnetischen Flusses in Wb

$f$  = Frequenz in 1/s

$N$  = Windungszahl, Einheit 1

**Einheitengleichung**

$$V = V \cdot s \cdot \frac{1}{s}$$

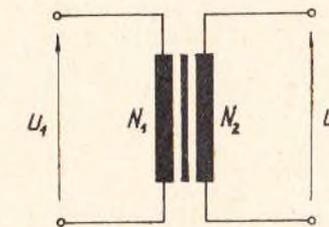
**Übungsbeispiel**

Durch den Primärstrom wird in dem Eisenkern eines Transformators eine magnetische Flußdichte von  $B_{\max} = 1,2$  T erzeugt; der Kernquerschnitt ist  $A = 3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ . Die Frequenz des Wechselstroms ist  $f = 50$  Hz. Auf der Sekundärseite des Transformators befinden sich  $N = 440$  Windungen (Abb. 71). Wie groß ist die erzeugte Sekundärspannung?

**Gegeben:**  $A = 3 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm}$ ,  $B_{\max} = 1,2$  T,  $f = 50$  Hz,  $N = 440$

**Gesucht:**  $U_o$

**Lösung:**



(Abb. 71)

$$A = a \cdot a = 3 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm} = \underline{9 \text{ cm}^2}$$

$$\Phi_{\max} = B \cdot A = \frac{1,2 \text{ Vs} \cdot 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{\text{m}^2}$$

$$\Phi_{\max} = \underline{10,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}}$$

$$U_o = 4,44 \cdot 10,8 \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \cdot 50 \text{ 1/s} \cdot 440$$

$$U_o = \underline{105 \text{ V}}$$

Die erzeugte Sekundärspannung beträgt  $U_o = 105$  V.

**9.3. Wechselstromgrößen****9.3.1. Frequenz**

Die Frequenz ist die **Schwingungszahl pro Sekunde**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Frequenz	$f$	Hertz Schwingungen pro Sekunde	Hz  1/s

**Größengleichung**

$$f = \frac{n \cdot p}{60} \frac{1}{s}$$

$f$  = Frequenz in Hz  
 $n$  = Umdrehungszahl pro min  
 $p$  = Polpaarzahl, Einheit 1

**Einheitengleichung**

$$\frac{1}{s} = \frac{1 \cdot 1}{60 \cdot \text{min}}$$

**Übungsbeispiel**

Ein Wechselstromgenerator hat  $p = 2$  Polpaare; die Umdrehungszahl des Ankers ist  $n = 1500$  Umdrehungen pro Minute. Wie groß ist die Frequenz der erzeugten Wechselspannung?

**Gegeben:**  $p = 2, n = 1500$  1/min

**Gesucht:**  $f$

$$\text{Lösung: } f = \frac{n \cdot p}{60} = \frac{1500 \cdot 2}{60 \text{ s}} = 50 \text{ 1/s} = \underline{\underline{50 \text{ Hz}}}$$

Die Frequenz der Wechselspannung ist  $f = 50$  Hz.

**9.3.2. Kreisfrequenz**

Die Kreisfrequenz ist das Produkt aus 2 mal  $\pi$  und der Frequenz.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Kreisfrequenz	$\omega$ (Omega)	Eins durch Sekunde	1/s

**Größengleichung**

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \frac{1}{s}$$

$\omega$  = Kreisfrequenz in 1/s  
 $f$  = Frequenz in Hz  
 $\pi = 3,14$

**Einheitengleichung**

$$\frac{1}{s} = 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{s}$$

**Übungsbeispiel**

Die Frequenz einer Wechselspannung beträgt  $f = 800$  Hz. Wie groß ist die Kreisfrequenz?

**Gegeben:**  $f = 800$  Hz

**Gesucht:**  $\omega$

$$\text{Lösung: } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 800 \text{ 1/s} = \underline{\underline{5024 \text{ 1/s}}}$$

Die Kreisfrequenz beträgt  $\omega = 5024$  1/s; in der Praxis wählt man hierfür  $\omega = 5000$  1/s.

**9.3.3. Periodendauer**

Die Periodendauer ist der umgekehrte Wert der Frequenz.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Periodendauer	$T$	Sekunde	s

**Größengleichung**

$$T = \frac{1}{f} \text{ s}$$

$T$  = Periodendauer in s  
 $f$  = Frequenz in Hz

**Übungsbeispiel**

Die Frequenz einer Wechselspannung beträgt  $f = 800$  Hz. Wie groß ist die Periodendauer?

**Gegeben:**  $f = 800$  Hz

**Gesucht:**  $T$

$$\text{Lösung: } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{800} = \frac{1}{800} \text{ s} = \frac{10^3}{800} \text{ ms} = \underline{\underline{1,25 \text{ ms}}}$$

Die Periodendauer beträgt  $T = 1,25$  ms.

**9.3.4. Wellenlänge**

Die Wellenlänge ist der Quotient aus der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Wechselspannung und der Frequenz.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Wellenlänge	$\lambda$ (Lambda)	Kilometer	km

**Größengleichung**

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ km}$$

$\lambda$  = Wellenlänge in km  
 $f$  = Frequenz in Hz  
 $c$  = Ausbreitungsgeschwindigkeit in km/s  
 $c = 300\,000$  km/s im freien Raum

**Einheitengleichung**

$$\text{km} = \frac{\text{km} \cdot \text{s}}{\text{s}}$$

**Übungsbeispiel**

Die Frequenz eines Rundfunksenders beträgt  $f = 1,5$  MHz. Wie groß ist die Wellenlänge der elektromagnetischen Welle?

**Gegeben:**  $f = 1,5$  MHz,  $c = 300\,000$  km/s

**Gesucht:**  $\lambda$

$$\text{Lösung: } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}}{1\,500\,000 \text{ s}} = 0,2 \text{ km} = \underline{\underline{200 \text{ m}}}$$

Der Rundfunksender sendet auf dem 200-m-Band.

### 9.3.5. Augenblickswert

Der Augenblickswert ist das Produkt aus dem **Höchstwert** und dem **Sinus des Umdrehungswinkels**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Augenblickswert	$u, i$	Volt, Ampere	V, A

#### Größengleichung

$u = U_{\max} \cdot \sin \alpha \text{ V}$	$u, i$ = Augenblickswert in V, A
$i = I_{\max} \cdot \sin \alpha \text{ A}$	$U_{\max}$ = Spannungshöchstwert in V
	$I_{\max}$ = Stromhöchstwert in A
	$\sin \alpha$ = Sinuswert des Umdrehungswinkels, Einheit 1

#### Übungsbeispiel

Der Höchstwert einer Wechselspannung ist  $U_{\max} = 311 \text{ V}$ . Der Umdrehungswinkel der Leiterschleife ist  $\alpha = 40^\circ$  (Abb. 72). Wie groß ist der Augenblickswinkel?

**Gegeben:**  $U_{\max} = 311 \text{ V}$ ,  $\alpha = 40^\circ$

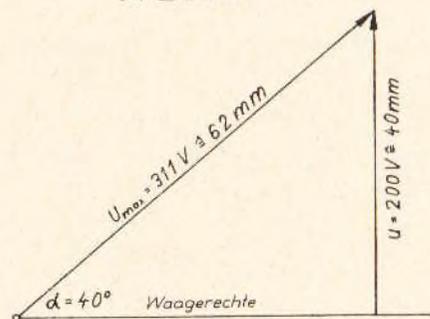
**Gesucht:**  $u$

**Lösung:** Zeichnerische Lösung:  
 $5 \text{ V} \approx 1 \text{ mm}$

**Rechnerische Lösung:**

$$\begin{aligned} u &= U_{\max} \cdot \sin \alpha \\ u &= 311 \cdot \sin 40^\circ \\ u &= 311 \cdot 0,643 \text{ (aus der Tabelle)} \\ u &= \underline{\underline{200 \text{ V}}} \end{aligned}$$

Der Augenblickswert der Wechselspannung beträgt  $u = 200 \text{ V}$ .



(Abb. 72)

### 9.3.6. Effektivwert

Der Effektivwert ist das Produkt aus dem **Höchstwert** und **0,707**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Effektivwert	$U, I$	Volt, Ampere	V, A

### Größengleichung

$U = U_{\max} \cdot 0,707 \text{ V}$	$U, I$ = Effektivwert in V, A
$I = I_{\max} \cdot 0,707 \text{ A}$	$U_{\max}, I_{\max}$ = Höchstwert in V, A

#### Übungsbeispiel

Der Höchstwert einer Wechselspannung beträgt  $U_{\max} = 311 \text{ V}$ . Wie groß ist der Effektivwert?

**Gegeben:**  $U_{\max} = 311 \text{ V}$

**Gesucht:**  $U$

**Lösung:**  $U = U_{\max} \cdot 0,707 = 311 \text{ V} \cdot 0,707 = \underline{\underline{220 \text{ V}}}$

Der Effektivwert beträgt  $U = 220 \text{ V}$ .

### 9.4. Induktivität

Die Induktivität ist verhältnismäßig der **Permeabilitätszahl**, der **Windungszahl** ins Quadrat, dem **Kernquerschnitt** und umgekehrt verhältnismäßig der **Spulenlänge**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Induktivität	$L$	Henry Voltsekunde pro Ampere	H  $\text{Vs/A} = \Omega \cdot \text{s}$

#### Größengleichung

$L = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A}{l} \text{ H}$	$L$ = Induktivität in H
	$\mu_r$ = Permeabilitätszahl, Einheit 1
	$N$ = Windungszahl, Einheit 1
	$A$ = Kernquerschnitt in $\text{m}^2$
	$l$ = Spulenlänge in m

#### Einheitengleichung

$$\frac{\text{Vs}}{\text{A}} = \frac{\text{V} \cdot \text{s} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}$$

Bei Spulen mit **Luft Hohraum** wird für  $l$  die **Spulenlänge** eingesetzt; bei **Kernen mit Luftspalt** wird der magnetische Widerstand des Kerns meistens vernachlässigt, so daß für  $l$  die **Luftspatllänge**  $s$  eingesetzt wird. Bei Spulen mit **geschlossenen Kernen** kann die Induktivität nur **meßtechnisch** ermittelt werden.

#### Übungsbeispiel

Eine Spule mit Luft Hohraum hat  $N = 1000$  Windungen; die Spulenlänge ist  $l = 6 \text{ cm}$ ; der Querschnitt des Spulenraums ist  $A = 1,44 \text{ cm}^2$ . Wie groß ist die Induktivität?

**Gegeben:**  $N = 1000$ ,  $l = 6 \text{ cm}$ ,  $A = 1,44 \text{ cm}^2$ ,  $\mu_r = 1$

**Gesucht:**  $L$

**Lösung:**  $L = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A}{l}$

$$L = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs} \cdot 1 \cdot 1000^2 \cdot 1,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{\text{Am} 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}}$$

$$L = \frac{1,257 \cdot 1,44}{6} \cdot 10^{-2} = 0,3016 \cdot 10^{-2} \text{ H} = \underline{\underline{3,016 \text{ mH}}}$$

Die Induktivität der Spule beträgt  $L = 3,016 \text{ mH}$ .

### 9.5. Zeitkonstante

Die Zeitkonstante ist der Quotient aus der Induktivität und dem Spulenwiderstand.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Zeitkonstante	$\tau$ (Tau)	Sekunde	s

#### Größengleichung

$$\tau = \frac{L}{R} \text{ s}$$

$\tau$  = Zeitkonstante in s  
 $L$  = Induktivität in H  
 $R$  = Wirkwiderstand in  $\Omega$

#### Einheitengleichung

$$\text{s} = \frac{\Omega \cdot \text{s}}{\Omega}$$

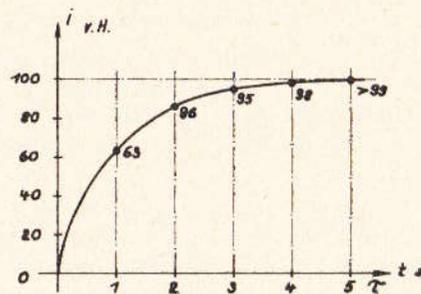
#### Übungsbeispiel

Eine Spule hat einen Wirkwiderstand von  $R = 20 \Omega$  und eine Induktivität von  $L = 480 \text{ mH}$ . Die Spule wird an einen Gleichstromkreis geschaltet. In welcher Zeit hat der Strom seinen Höchstwert erreicht?

Gegeben:  $R = 20 \Omega$ ,  $L = 480 \text{ mH}$

Gesucht:  $\tau$

Lösung:



(Abb. 73)

Der Strom hat in  $t = 120 \text{ ms}$  seinen Höchstwert erreicht.

$$\tau = \frac{L}{R}$$

$$\tau = \frac{480 \cdot 10^{-3} \text{ Vs}}{20 \Omega \cdot \text{A}}$$

$$\tau = \underline{\underline{24 \text{ ms}}}$$

Der Strom hat in der Zeitdauer von  $5 \cdot \tau$  seinen Höchstwert erreicht.

$$t = 5 \cdot \tau = 5 \cdot 24 \text{ ms} = \underline{\underline{120 \text{ ms}}}$$

## 9.6. Schaltung von Induktivitäten

### 9.6.1. Reihenschaltung

Die Gesamtinduktivität ist die Summe aller Einzelinduktivitäten.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtinduktivität	$L$	Henry	H

#### Größengleichung

$$L = L_1 + L_2 \text{ H}$$

$L$  = Gesamtinduktivität in H  
 $L_1$  = Einzelinduktivität in H  
 $L_2$  = Einzelinduktivität in H

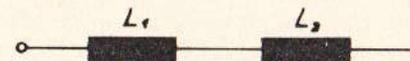
#### Übungsbeispiel

Zwei Induktivitäten von  $L_1 = 420 \text{ mH}$  und  $L_2 = 640 \text{ mH}$  sind hintereinandergeschaltet (Abb. 74). Wie groß ist die Gesamtinduktivität?

Gegeben:  $L_1 = 420 \text{ mH}$ ,  $L_2 = 640 \text{ mH}$

Gesucht:  $L$

Lösung:



(Abb. 74)

$$L = L_1 + L_2$$

$$L = 420 \text{ mH} + 640 \text{ mH} = 1060 \text{ mH}$$

$$L = \underline{\underline{1,06 \text{ H}}}$$

Die Gesamtinduktivität beträgt  $L = 1,06 \text{ H}$ .

### 9.6.2. Parallelschaltung

Der umgekehrte Wert der Gesamtinduktivität ist die Summe aller umgekehrten Werte der Einzelinduktivitäten.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtinduktivität	$L$	Henry	H

#### Größengleichungen

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \text{ H}$$

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \text{ H}$$

$L$  = Gesamtinduktivität in H  
 $L_1$  = Einzelinduktivität in H  
 $L_2$  = Einzelinduktivität in H

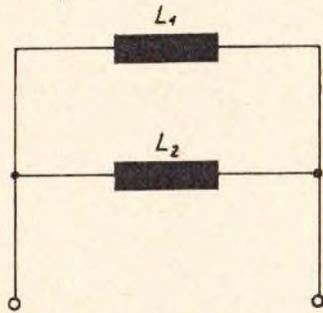
### Übungsbeispiel

Zwei Induktivitäten von  $L_1 = 400$  mH und  $L_2 = 600$  mH sind parallelgeschaltet (Abb. 75). Wie groß ist die Gesamtinduktivität?

Gegeben:  $L_1 = 400$  mH,  $L_2 = 600$  mH

Gesucht:  $L$

Lösung:



(Abb. 75)

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

$$L = \frac{400 \text{ mH} \cdot 600 \text{ mH}}{400 \text{ mH} + 600 \text{ mH}} = \underline{\underline{240 \text{ mH}}}$$

Anderer Rechengang:

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{400} + \frac{1}{600}$$

$$\frac{1}{L} = \frac{3+2}{1200} = \frac{5}{1200}$$

$$L = \frac{1200}{5} = \underline{\underline{240 \text{ mH}}}$$

Die Gesamtinduktivität beträgt  $L = 240$  mH

## 9.7. Aufgaben

### Bewegungsspannung

- Durch ein magnetisches Feld von  $B = 0,8$  T wird ein Leiter mit einer Geschwindigkeit von  $v = 6,5$  m/s rechtwinklig zur Feldlinienrichtung bewegt. Die für die Spannungserzeugung wirksame Leiterlänge beträgt  $l = 64$  cm. Wie groß ist die in dem Leiter erzeugte Leerlaufspannung?
- Nachstehend sind von mehreren Generatoren die Stärken der magnetischen Flußdichte, die wirksamen Leiterlängen und die Bewegungsgeschwindigkeiten angegeben. Wie groß ist die jeweilig erzeugte Leerlaufspannung?

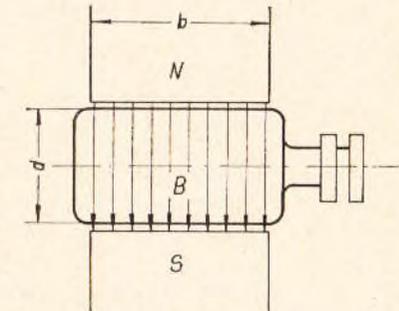
$B$ T	0,5	0,8	1,0	1,2	1,3
$l$ cm	100	150	60	90	110
$v$ m/s	12	36	84	54	300
$U_o$ V					

- Durch ein Magnetfeld von  $B = 1,2$  T wird ein Leiter mit einer Geschwindigkeit von  $v = 10$  m/s rechtwinklig zur Feldlinienrichtung bewegt. Die Länge des sich im Magnetfeld befindlichen Leiters beträgt  $l = 25$  cm, die Anzahl der Windungen ist  $N = 200$ . Wie groß ist die in der Spule erzeugte Leerlaufspannung?

- Ein Leiter von  $l = 120$  cm wird mit einer Geschwindigkeit von  $v = 9$  m/s durch ein Magnetfeld bewegt. Die dabei erzeugte Leerlaufspannung beträgt  $U_o = 15$  V. Wie stark ist die magnetische Induktion des Magnetfeldes?
- Nachstehend sind von mehreren Generatoren die im Magnetfeld befindlichen Leiterlängen, die Windungszahlen, die Bewegungsgeschwindigkeiten und die erzeugten Leerlaufspannungen angegeben. Wie groß sind die jeweiligen Werte der magnetischen Flußdichte?

$l$ cm	24	36	18	30	20
$N$	12	22	30	18	24
$v$ m/s	8	12	15,7	12,6	9,4
$U_o$	24	120	60	48	57
$B$					

- Der Anker eines Wechselstromgenerators hat  $N = 20$  Windungen und einen mittleren Windungsdurchmesser von  $d = 150$  mm. Die Polbreite der Magnetpole beträgt  $b = 200$  mm. Die magnetische Flußdichte ist  $B = 0,8$  T stark. Der Anker macht  $n = 1500$  Umdrehungen pro Minute (Abb. 76). Wie groß ist der Höchstwert der erzeugten Wechselspannung?



(Abb. 76)

- Mit einem zweipoligen Wechselstromgenerator soll eine Wechselspannung mit der Frequenz von  $f = 50$  Hz erzeugt werden. Die für die Spannungserzeugung wirksame Leiterlänge beträgt  $l = 60$  cm. Der mittlere Windungsdurchmesser ist  $d = 12$  cm groß und die Windungszahl beträgt  $N = 60$ . Die magnetische Flußdichte zwischen den Magnetpolen ist  $B = 0,55$  T.
  - Wie groß ist die Umfangsgeschwindigkeit der Leiterschleife?
  - Wie groß ist der Höchstwert der erzeugten Wechselspannung?
- Mit einem vierpoligen Wechselstromgenerator soll eine Wechselspannung von der Frequenz  $f = 50$  Hz erzeugt werden. Der Höchstwert der erzeugten Wechselspannung soll  $U_{\max} = 156$  V betragen.

Die für die Spannungserzeugung wirksame Leiterlänge ist  $l = 60$  cm, der mittlere Windungsdurchmesser ist  $d = 18$  cm und die Windungszahl beträgt  $N = 60$  Windungen.

- Wie groß ist die Umdrehungszahl des Wechselstromgenerators?
  - Wie groß ist die Umfangsgeschwindigkeit der Ankerspule?
  - Wie stark muß die magnetische Flußdichte zwischen den Magnetpolen sein?
9. Mit einer Leiterschleife soll eine Wechselspannung erzeugt werden. Der mittlere Windungsdurchmesser der Leiterschleife beträgt  $d = 30$  cm bei einer Windungszahl von  $N = 12$  Windungen. Die Breite der Magnetpole ist  $b = 50$  cm, ihre Stärke ist  $a = 25$  cm. Die Stärke der magnetischen Flußdichte zwischen den Magnetpolen ist  $B = 1$  T.
- Zeichnen Sie den zweipoligen Wechselstromgenerator in Vorderansicht und Seitenansicht im Maßstab 1:10.
  - Wie groß muß die Umdrehungszahl der Leiterschleife pro Sekunde sein, damit eine Wechselspannung von  $f = 50$  Hz erzeugt wird?
  - Wie groß ist die Umfangsgeschwindigkeit der Leiterschleife in cm/s?
  - Wie groß ist der Höchstwert der erzeugten Wechselspannung?
  - Wie groß ist der Effektivwert der erzeugten Wechselspannung?
  - Wie groß sind die Augenblickswerte der erzeugten Wechselspannung bei den Leiterschleifenstellungen von  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  und  $60^\circ$ ?
  - Zeichnen Sie für die erzeugte sinusförmige Wechselspannung das Zeigerdiagramm und das Liniendiagramm.  
Maßstab: Waagrecht:  $a \quad 45^\circ \triangle 15$  mm und  
 $t \quad 0,01$ s  $\triangle 60$  mm.  
Senkrecht:  $u \quad 20$ V  $\triangle 1$  mm (rot).
10. Berechnen Sie nach den Abmessungen nachstehend aufgeführter Wechselstromgeneratoren die Größe der erzeugten Leerlaufspannung.

$d_m$ cm	12	18	24	30	16	22
$l$ cm	18	24	32	44	28	30
$N$	15	20	18	24	25	14
$p$	2	2	4	4	2	6
$B$ T	0,6	0,8	1,0	0,48	1,2	0,96
$f$ Hz	50	50	50	50	50	50
$U_o$ V						

11. Die wirksame Leiterlänge der Feldwicklung eines Kurbelinduktors ist pro Windung 12,4 cm lang; die Windungszahl ist  $N = 10$  Windungen. Die magnetische Flußdichte zwischen den Magnetpolen ist  $B = 480$  mT. Mit Hilfe der Kurbel wird die Ankerwicklung mit  $v = 1,8$  m/s durch das Magnetfeld bewegt. Der mittlere Windungsdurchmesser der Ankerwicklung ist  $d_m = 5,6$  cm.
- Wie groß ist die erzeugte Leerlaufspannung?
  - Welche Frequenz hat die Spannung?
  - Wie groß ist die Umdrehungszahl der Handkurbel, wenn das Übersetzungsverhältnis der Umdrehungszahlen des Ankers zur Handkurbel 7:1 beträgt?

### Transformationsspannung

12. Die magnetische Flußdichte eines Transformators beträgt  $B = 0,9$  T; der Eisenquerschnitt ist  $A = 1,2$  cm  $\times$  1,2 cm. Auf der Sekundärseite befinden sich 400 Windungen. Die Netzfrequenz ist  $f = 50$  Hz. Wie groß ist die erzeugte Sekundärspannung?
13. Ein Netztransformator hat auf der Primärseite  $N_1 = 8000$  Windungen und auf der Sekundärseite  $N_2 = 240$  Windungen. Der Eisenkern hat die Abmessungen 9 mm  $\times$  9 mm. Die magnetische Flußdichte im Kern soll höchstens  $B = 1,2$  T betragen. Die Netzfrequenz ist  $f = 50$  Hz.
- An welchen Spannungshöchstwert kann der Transformator primärseitig höchstens geschaltet werden?
  - Wie groß ist der Höchstwert der Sekundärspannung?
  - Wie groß sind die Effektivwerte von Primär- und Sekundärspannung?
  - Errechnen Sie von diesem Transformator das Spannungsverhältnis Primär- zur Sekundärseite sowie das entsprechende Windungszahlenverhältnis.
14. Wie groß sind von den nachstehend aufgeführten Transformatoren die jeweiligen Werte der Primär- und Sekundärspannung?

$B_{\max}$ T	0,8	1,0	1,2	0,75	0,64	1,4
$A$ cm <sup>2</sup>	1,21	1,44	0,95	0,64	0,9	1,56
$f$ Hz	50	50	50	50	50	50
$N_1$	2000	1500	2400	5600	6800	7500
$N_2$	500	120	800	450	300	250
$U_1$ V						
$U_2$ V						

15. Von mehreren Transformatoren sind nachstehend die erforderlichen Primär- und Sekundärspannungen angegeben. Wie groß müssen die jeweiligen Primär- und Sekundärwindungszahlen bemessen werden?

$f$ Hz	50	50	50	50	25	25	25
$A$ cm <sup>2</sup>	1,4	1,2	1,1	1,81	1,41	1,0	0,78
$B_{\max}$ T	0,8	1,1	0,9	1,2	0,86	1,0	1,25
$U_1$ V	220	220	220	110	110	60	60
$U_2$ V	24	12	6	12	6	6	4
$N_1$							
$N_2$							

#### Wechselstromgrößen

16. Ein Wechselstromgenerator hat  $p = 2$  Polpaare; die Umdrehungszahl ist  $n = 1500$  pro Minute. Wie hoch ist die Frequenz der damit erzeugten Wechselspannung?
17. Mit einem achtpoligen Wechselstromgenerator soll eine Wechselspannung von  $f = 50$  Hz erzeugt werden. Welche Umdrehungszahl pro Minute muß der Wechselstromgenerator haben?
18. Ein Wechselstromgenerator macht 750 Umdrehungen pro Minute. Mit dem Wechselstromgenerator soll eine Wechselspannung von  $f = 50$  Hz erzeugt werden. Wieviel Pole und wieviel Polpaare muß der Wechselstromgenerator aufweisen?
19. Berechnen Sie für die nachstehend angegebenen Wechselstromgeneratoren die Frequenz.

$n$ 1/min	1500	1500	750	750	500	500
$p$	2	4	4	2	6	4
$f$ Hz						

20. Berechnen Sie für die nachstehend angegebenen Wechselstromgeneratoren die Umdrehungszahl pro Minute.

$f$ Hz	50	50	25	25	$16^2/3$
$p$	2	4	4	6	4
$n$ 1/min					

21. Wie groß ist die Kreisfrequenz für  $f = 50$  Hz?

22. Berechnen Sie für nachstehend angegebene Frequenzen die Werte der Kreisfrequenz.

$f$ Hz	25	50	300	3400	800	1600
$\omega$ 1/s						

23. Die Frequenz einer Wechselspannung beträgt  $f = 2000$  Hz. Wie groß ist die Periodendauer der Wechselspannung?
24. Die Periodendauer eines Wechselstroms beträgt  $T = 1/800$  s. Wie hoch ist die Frequenz des Wechselstroms?
25. Berechnen Sie für nachstehend angegebene Frequenzen die Periodendauer.

$f$ Hz	25	50	300	3400	800	1600
$T$ s						

26. Ein Rundfunksender strahlt sein Programm mit einer Trägerfrequenz von  $f = 394$  kHz aus. Wie groß ist die Wellenlänge des Rundfunksenders?
27. Die Wellenlänge eines Rundfunksenders beträgt  $\lambda = 15$  cm. Mit welcher Trägerfrequenz arbeitet der Rundfunksender?
28. Wie groß sind die Wellenlängen der nachstehenden Funkfrequenzen?

$f$ kHz	120	200	280	320	400	600
$\lambda$						

#### Wechselstromwerte

29. Der Höchstwert einer Wechselspannung beträgt  $U_{\max} = 500$  V. Wie groß ist der Augenblickswert der Wechselspannung bei der Leiterschleifenstellung von  $\varphi = 60^\circ$ ?
- a) Zeichnerische Lösung ( $7 \text{ V} \triangleq 1 \text{ mm}$ ).
- b) Rechnerische Lösung.
30. Berechnen Sie für den Höchstwert einer Wechselspannung von  $U_{\max} = 156$  V die jeweiligen Augenblickswerte.

$\varphi$ a grd	0	15	30	45	60	75	90
$u$ V							

31. Wie groß sind die jeweiligen Höchstwerte der angegebenen Augenblickswerte bei aufgeführtem Umdrehungswinkel?

$u$ V	12	18	180	120	220
$\varphi$ a grad	12	8	52	33	45
$U_{\max}$ V					

32. Der Höchstwert einer Wechselspannung beträgt  $U_{\max} = 535$  V. Wie groß ist der Effektivwert der Wechselspannung?
33. Ein an einer Wechselspannung geschalteter Spannungsmesser zeigt einen Wert von  $U = 220$  V an. Wie groß ist der Höchstwert der Wechselspannung?
34. Die Betriebsspannung eines Kondensators ist  $U = 450$  V. Wie groß ist der Effektivwert der Wechselspannung, die höchstens an den Kondensator geschaltet werden kann?
35. Berechnen Sie für die nachstehend angegebenen Höchstwerte die Effektivwerte der Wechselspannung.

$U_{\max}$ V	2,74	5,63	84,5	156	311
$U$ V					

36. Berechnen Sie für die nachstehend angegebenen Effektivwerte die zugehörigen Höchstwerte.

$U$ V	4	1,0	60	110	220
$U_{\max}$ V					

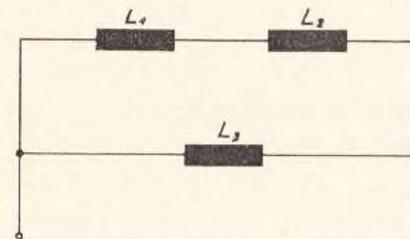
### Induktivität

37. Eine Spule mit Lufthohlraum hat  $N = 1200$  Windungen; die Spulenlänge ist  $l = 4,5$  cm. Der Querschnitt des Spulenraumes ist  $A = 0,64$  cm<sup>2</sup>. Wie groß ist die Induktivität der Spule?
38. Berechnen Sie von nachstehenden Spulen mit Lufthohlraum die Induktivitäten.

$N$	800	1400	1800	900	1200
$l$ cm	5,2	8,0	6,4	5,6	6,0
$A$ cm <sup>2</sup>	0,81	1,0	0,49	1,1	0,95
$L$					

39. Eine Spule mit geschlossenem Eisenkern hat eine Induktivität von  $L = 2,54$  H. Die mittlere Feldlinienlänge ist  $l = 28$  cm; der Eisenquerschnitt ist  $A = 1,69$  cm<sup>2</sup>. Die Windungszahl ist  $N = 880$ . Wie groß ist die Permeabilitätszahl des Kerns?

40. Die Windungszahl einer Spule mit unterbrochenem Kern hat  $N = 1200$  Windungen. Die Länge des Luftspalts beträgt  $s = 4,2$  mm; der Eisenweg des Kerns wird vernachlässigt. Der Kernquerschnitt hat die Abmessungen  $A = 1,0$  cm  $\cdot$  1,2 cm. Wie groß ist die Induktivität der Spule?
41. Eine Spule hat einen Drahtwiderstand von  $R = 12$   $\Omega$  und eine Induktivität von  $L = 600$  mH. Wie groß ist die Zeitkonstante der Spule?
42. Eine Spule hat einen Drahtwiderstand von  $R = 48$   $\Omega$  und eine Induktivität von  $L = 1,83$  H. Die Spule wird in einem Gleichstromkreis eingeschaltet. In welcher Zeit hat der Strom seinen Höchstwert erreicht?
43. Eine Spule von  $R = 120$   $\Omega$  und  $L = 1,41$  H ist mit einem Widerstand von  $R = 1,4$  k $\Omega$  hintereinandergeschaltet. Die Reihenschaltung wird in einem Gleichstromkreis eingeschaltet. In welcher Zeit hat der Strom seinen Höchstwert erreicht?
44. Eine Spule mit einem Drahtwiderstand von  $R = 100$   $\Omega$  und einer Induktivität von  $L = 5,6$  H wird an einen Stromkreis von  $U = 60$  V geschaltet.
- Wie groß ist der Höchstwert der Stromstärke?
  - In welcher Zeit wird der Höchstwert erreicht?
  - Stellen Sie den Stromanstieg in einem Strom-Zeit-Diagramm dar; 100 mA  $\triangleq$  1 cm, 40 ms  $\triangleq$  1 cm.
45. Zwei Induktivitäten von  $L_1 = 1,25$  H und  $L_2 = 0,87$  H sind hintereinandergeschaltet. Wie groß ist die Gesamtinduktivität?
46. Drei Induktivitäten von  $L_1 = 0,44$  H,  $L_2 = 156$  mH und  $L_3 = 85$  mH sind parallelgeschaltet. Wie groß ist die Gesamtinduktivität?
47. Die Gesamtinduktivität einer Parallelschaltung von zwei Einzelinduktivitäten beträgt  $L = 13$  mH. Die eine Einzelinduktivität ist  $L_1 = 64$  mH groß. Wie groß ist die Einzelinduktivität  $L_2$ ?
- 48.



(Abb. 77)

Bei der Schaltung nach Abb.77 betragen:

	$L_1$ mH	$L_2$ mH	$L_3$ mH
a)	300	800	600
b)	900	200	500
c)	800	300	600

Wie groß sind die jeweiligen Werte der Gesamtinduktivität?

## 10. Elektrisches Feld

### 10.1. Elektrische Feldstärke

Die elektrische Feldstärke ist der Quotient aus dem **Spannungsunterschied** und der **Feldlinienlänge**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Elektrische Feldstärke	$E$	Volt pro Meter	V/m

#### Größengleichung

$$E = \frac{U}{l} \quad \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$E$  = elektrische Feldstärke in V/m  
 $U$  = elektrische Spannung in V  
 $l$  = Feldlinienlänge in m

#### Einheitengleichung

$$\frac{\text{V}}{\text{m}} = \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

#### Übungsbeispiel

Ein Kondensator ist an eine Gleichspannung von  $U = 500 \text{ V}$  angeschlossen; der Plattenabstand ist  $l = 0,5 \text{ mm}$ . Wie groß ist die elektrische Feldstärke im Isolierstoff?

**Gegeben:**  $U = 500 \text{ V}$ ,  $l = 0,5 \text{ mm}$

**Gesucht:**  $E$

$$\text{Lösung: } E = \frac{U}{l} = \frac{500 \text{ V}}{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 10^6 \text{ V/m} = \underline{\underline{1 \text{ MV/m}}}$$

Die elektrische Feldstärke beträgt  $E = 1 \text{ MV/m}$ .

### 10.2. Kapazität

Die Kapazität ist verhältnismäßig der **Dielektrizitätskonstanten**, der **Dielektrizitätszahl**, der wirksamen **Plattengröße** und umgekehrt verhältnismäßig dem **Plattenabstand**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Kapazität	$C$	Farad Amperesekunde pro Volt	F As/V

#### Größengleichung

$$C = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \epsilon_r \cdot A}{s} \quad \text{F}$$

$C$  = Kapazität in F

$8,85 \cdot 10^{-12}$  = Dielektrizitätskonstante in As/Vm

#### Einheitengleichung

$$\frac{\text{As}}{\text{V}} = \frac{\text{A} \cdot \text{s} \cdot 1 \cdot \text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}$$

$\epsilon_r$  = Epsilon, relativ =

= Dielektrizitätszahl, Einheit 1

$A$  = Plattenfläche in  $\text{m}^2$

$s$  = Plattenabstand in m

#### Übungsbeispiel

Die wirksame Plattengröße eines Wickelkondensators ist  $A = 84 \text{ cm}^2$ ; der Abstand der Beläge beträgt  $s = 0,2 \text{ mm}$ . Als Dielektrikum ist Glimmer mit der Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r = 7$  verwendet worden. Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?

**Gegeben:**  $A = 84 \text{ cm}^2$ ,  $s = 0,2 \text{ mm}$ ,  $\epsilon_r = 7$

**Gesucht:**  $C$

$$\text{Lösung: } C = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \epsilon_r \cdot A}{s}$$

$$C = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As} \cdot 7 \cdot 84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{\text{Vm} \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}}$$

$$C = \frac{8,85 \cdot 7 \cdot 84}{0,2} \cdot 10^{-13} = 26000 \cdot 10^{-13} \text{ F} = \underline{\underline{2,6 \text{ nF}}}$$

Die Kapazität des Kondensators beträgt  $C = \underline{\underline{2,6 \text{ nF}}}$ .

### 10.3. Elektrizitätsmenge

Die Elektrizitätsmenge ist das Produkt aus der **Stromstärke** und der **Zeit**. Die Elektrizitätsmenge ist das Produkt aus der angeschalteten **Spannung** und der **Kapazität** des Kondensators.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Elektrizitätsmenge	$Q$	Amperesekunde	As

#### Größengleichungen

$$Q = I \cdot t \quad \text{As}$$

$$Q = U \cdot C \quad \text{As}$$

$Q$  = Elektrizitätsmenge in As

$I$  = Stromstärke in A

$t$  = Zeitdauer des Stromflusses in s

#### Einheitengleichungen

$U$  = angeschaltete Spannung in V

$\text{As} = \text{A} \cdot \text{s}$

$C$  = Kapazität in As/V

$$\text{As} = \text{V} \cdot \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V}}$$

**Übungsbeispiel 1**

Eine Relaiswicklung wird  $t = 12$  min lang von einem Strom  $I = 400$  mA durchflossen. Wie groß ist die bewegte Elektrizitätsmenge?

**Gegeben:**  $t = 12$  min,  $I = 400$  mA

**Gesucht:**  $Q$

**Lösung:**  $Q = I \cdot t = 400 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 12 \cdot 60 \text{ s} = \underline{\underline{288 \text{ As}}}$

Die aufgenommene Elektrizitätsmenge beträgt  $Q = 288$  As.

**Übungsbeispiel 2**

Ein Kondensator von  $C = 600$  nF wird an eine Spannung von 60 V geschaltet. Wie groß ist die aufgenommene Elektrizitätsmenge?

**Gegeben:**  $C = 600$  nF,  $U = 60$  V

**Gesucht:**  $Q$

**Lösung:**  $Q = U \cdot C = 60 \text{ V} \cdot 600 \cdot 10^{-9} \text{ As/V} = \underline{\underline{36 \mu\text{As}}}$

Die aufgenommene Elektrizitätsmenge beträgt  $Q = 36 \mu\text{As}$ .

**10.4. Verschiebungsdichte**

Die Verschiebungsdichte ist der Quotient aus der aufgenommenen **Elektrizitätsmenge** und der wirksamen **Plattengröße**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Verschiebungsdichte	$D$	Amperesekunden pro Quadratmeter	$\text{As/m}^2$

**Größengleichung**

$$D = \frac{Q}{A} \quad \frac{\text{As}}{\text{m}^2}$$

$D =$  Verschiebungsdichte in  $\text{As/m}^2$   
 $Q =$  Elektrizitätsmenge in As  
 $A =$  wirksame Plattenfläche in  $\text{m}^2$

**Einheitengleichung**

$$\frac{\text{As}}{\text{m}^2} = \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

**Übungsbeispiel**

Die Plattengröße eines Kondensators ist  $A = 84$   $\text{cm}^2$ ; die aufgenommene Elektrizitätsmenge beträgt  $Q = 288$  nAs. Wie groß ist die Verschiebungsdichte?

**Gegeben:**  $A = 84$   $\text{cm}^2$ ,  $Q = 288$  nAs

**Gesucht:**  $D$

**Lösung:**  $D = \frac{Q}{A} = \frac{288 \cdot 10^{-9} \text{ As}}{84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 3,43 \cdot 10^{-5} \text{ As/m}^2 = \underline{\underline{34,3 \mu\text{As/m}^2}}$

Die Verschiebungsdichte beträgt  $D = 34,3 \mu\text{As/m}^2$ .

**10.5. Elektrisches Potential**

Das elektrische Potential ist der **Spannungswert** bezogen auf einen vereinbarten **Bezugspunkt**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Elektrisches Potential	$\varphi$ (Phi)	Volt	V

**Größengleichung**

$$U_{AB} = \varphi_1 - \varphi_2 \quad \text{V}$$

$U_{AB} =$  Spannung zwischen den Punkten A und B in V

**Einheitengleichung**  $\varphi_1 =$  elektrisches Potential des Punktes A in V gegenüber einem Bezugspunkt  
 $V = V - V$

$\varphi_2 =$  elektrisches Potential des Punktes B in V gegenüber einem Bezugspunkt

**Übungsbeispiel**

Bei einer Transistorschaltung wird als Spannungsbezug die Masse mit dem elektrischen Potential = 0 gewählt. Der Punkt A ist um 0,64 V positiver als die Masse des Gehäuses, der Punkt B ist um 5,2 V negativer als die Masse. Wie groß ist die Spannung zwischen den Punkten A und B?

**Gegeben:**  $\varphi_1 = +0,64$  V,  $\varphi_2 = -5,2$  V

**Gesucht:**  $U_{AB}$

**Lösung:**  $U_{AB} = \varphi_1 - \varphi_2 = +0,64 \text{ V} - (-5,2 \text{ V})$   
 $U_{AB} = 0,64 + 5,2 = \underline{\underline{5,84 \text{ V}}}$

Der letztgenannte Buchstabe des Indexes für das Formelzeichen gibt den Bezugspunkt für die Spannungsangabe an:

$+U_{AB} = +5,84$  V bedeutet, daß der Punkt B das Potential 0 und der Punkt A das Potential +5,84 V aufweist. Der Punkt A ist um 5,84 V positiver als der Punkt B.

$+U_{AB} = +5,84$  V ist gleichbedeutend mit  $+U_{BA} = -5,84$  V, weil der Punkt B um 5,84 V negativer ist als der Punkt A.

$+U_{AB} = +5,84$  V ist gleichbedeutend mit  $-U_{AB} = -5,84$  V;

$+U_{BA} = -5,84$  V ist gleichbedeutend mit  $-U_{BA} = +5,84$  V.

**10.6. Zeitkonstante**

Die Zeitkonstante ist das Produkt aus dem **Wirkwiderstand** und der **Kapazität**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Zeitkonstante	$\tau$ (Tau)	Sekunde	s

**Größengleichung**

$$\tau = R \cdot C \quad \text{s}$$

$\tau$  = Zeitkonstante in s  
 $R$  = Wirkwiderstand in  $\Omega$

**Einheitengleichung**

$C$  = Kapazität in F

$$\text{s} = \Omega \cdot \frac{\text{s}}{\Omega}$$

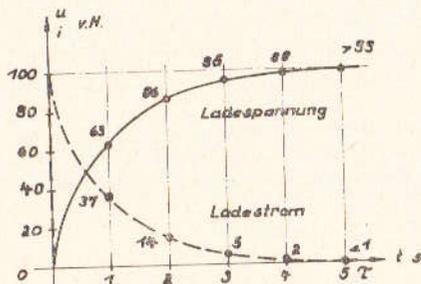
**Übungsbeispiel**

Ein Wirkwiderstand von  $R = 800 \Omega$  ist mit einer Kapazität von  $C = 12 \mu\text{F}$  hintereinandergeschaltet. Die Reihenschaltung wird in einen Gleichstromkreis geschaltet (Abb. 78). In welcher Zeit ist der Kondensator aufgeladen?

**Gegeben:**  $R = 800 \Omega$ ,  $C = 12 \mu\text{F}$

**Gesucht:**  $\tau$ ,  $t$

**Lösung:**



(Abb. 78)

$$\tau = R \cdot C$$

$$\tau = 800 \Omega \cdot 12 \cdot 10^{-6} \text{ s}/\Omega$$

$$\tau = 9600 \cdot 10^{-6} \text{ s} = \underline{\underline{9,6 \text{ ms}}}$$

Die Kondensatorspannung hat in der Zeitdauer von  $5 \cdot \tau$  ihren Höchstwert erreicht.

$$t = 5 \cdot \tau = 5 \cdot 9,6 \text{ ms} = \underline{\underline{48 \text{ ms}}}$$

Der Kondensator ist in  $t = 48 \text{ ms}$  geladen.

**10.7. Schaltung von Kapazitäten**

**10.7.1. Reihenschaltung**

Der umgekehrte Wert der **Gesamtkapazität** ist die Summe aller umgekehrten Werte der **Einzelkapazitäten**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtkapazität	$C$	Farad	F

**Größengleichungen**

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \frac{1}{F}$$

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad \text{F}$$

$C$  = Gesamtkapazität in F  
 $C_1$  = Einzelkapazität in F  
 $C_2$  = Einzelkapazität in F

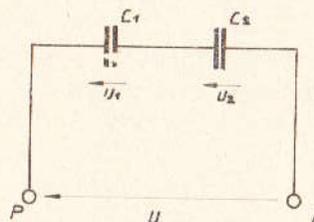
**Übungsbeispiel**

Zwei Kondensatoren von  $C_1 = 300 \text{ nF}$  und  $C_2 = 600 \text{ nF}$  sind in Reihenschaltung an eine Gleichspannung von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet (Abb. 79). Welche Spannungsaufteilung entsteht an den Kondensatoren?

**Gegeben:**  $C_1 = 300 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 600 \text{ nF}$ ,  $U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:**  $U_1$ ,  $U_2$

**Lösung:**



(Abb. 79)

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{300 \cdot 600}{300 + 600} = \underline{\underline{200 \text{ nF}}}$$

**Anderer Rechengang:**

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{300} + \frac{1}{600}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{2 + 1}{600} = \frac{3}{600}$$

$$C = \frac{600}{3} = \underline{\underline{200 \text{ nF}}}$$

$$Q = U \cdot C = 60 \text{ V} \cdot 200 \cdot 10^{-9} \text{ As/V}$$

$$Q = \underline{\underline{12 \mu\text{As}}}$$

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad \text{bei Reihenschaltung}$$

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{12 \cdot 10^{-6} \text{ As} \cdot \text{V}}{300 \cdot 10^{-9} \text{ As}} = \underline{\underline{40 \text{ V}}}$$

$$U_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{12 \cdot 10^{-6} \text{ As} \cdot \text{V}}{600 \cdot 10^{-9} \text{ As}} = \underline{\underline{20 \text{ V}}}$$

**Rechenprobe:**  $U = U_1 + U_2 = 40 \text{ V} + 20 \text{ V} = \underline{\underline{60 \text{ V}}}$

Die Teilspannungen betragen  $U_1 = 40 \text{ V}$  und  $U_2 = 20 \text{ V}$ .

**10.7.2. Parallelschaltung**

Die **Gesamtkapazität** ist die Summe aller **Einzelkapazitäten**.

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Gesamtkapazität	$C$	Farad	F

**Größengleichung**

$$C = C_1 + C_2 \quad \text{F}$$

$C$  = Gesamtkapazität in F

$C_1$  = Einzelkapazität in F

$C_2$  = Einzelkapazität in F

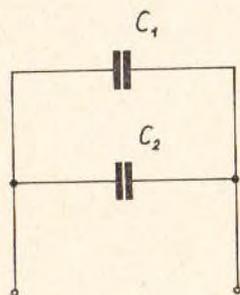
**Übungsbeispiel**

Zwei Kondensatoren von  $C_1 = 300 \text{ nF}$  und  $C_2 = 600 \text{ nF}$  sind in Parallelschaltung an eine Gleichspannung von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet (Abb. 80). Wie groß ist die aufgenommene Gesamtelektrizitätsmenge?

**Gegeben:**  $C_1 = 300 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 600 \text{ nF}$ ,  $U = 60 \text{ V}$

**Gesucht:**  $Q$

Lösung:



(Abb. 80)

$$C = C_1 + C_2 = 300 \text{ nF} + 600 \text{ nF} = \underline{900 \text{ nF}}$$

$$Q = U \cdot C = 60 \text{ V} \cdot 900 \text{ As/V} \cdot 10^{-9} = \underline{54 \mu\text{As}}$$

Rechenprobe:

$$Q_1 = U \cdot C_1 = 60 \cdot 300 = \underline{18 \mu\text{As}}$$

$$Q_2 = U \cdot C_2 = 60 \cdot 600 = \underline{36 \mu\text{As}}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 18 \mu\text{As} + 36 \mu\text{As} = \underline{54 \mu\text{As}}$$

Die Gesamtelektrizitätsmenge beträgt  $Q = 54 \mu\text{As}$ .

## 10.8. Umrechnungsfaktoren

Kapazität	F	$\mu\text{F}$	nF	pF
1 F =	1	$10^6$	$10^9$	$10^{12}$
1 $\mu\text{F}$ =	$10^{-6}$	1	$10^3$	$10^6$
1 nF =	$10^{-9}$	$10^{-3}$	1	$10^3$
1 pF =	$10^{-12}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	1

Elektrische Feldstärke	V/m	V/cm	V/mm	kV/cm
1 V/m =	1	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-5}$
1 V/cm =	$10^2$	1	$10^{-1}$	$10^{-3}$
1 V/mm =	$10^3$	10	1	$10^{-2}$
1 kV/cm =	$10^5$	$10^3$	$10^2$	1

## 10.9. Aufgaben

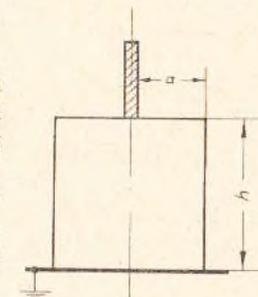
1. Berechnen Sie:

- a)  $C = 0,00046 \text{ F} + 200 \mu\text{F} + 34200 \text{ nF} + 6800000 \text{ pF}$  in  $\mu\text{F}$ ,  
 b)  $C = 0,000096 \text{ F} + 12,6 \mu\text{F} + 3080 \text{ nF} + 72000 \text{ pF}$  in nF.

- Der Plattenabstand eines Kondensators beträgt  $l = 0,3 \text{ mm}$ . Der Kondensator ist an eine Gleichspannung von  $U = 150 \text{ V}$  geschaltet. Wie groß ist die elektrische Feldstärke im Isolierstoff des Kondensators?
- Die Oxidschicht eines Elektrolytkondensators beträgt  $l = 10^{-4} \text{ mm}$ , die angeschaltete Gleichspannung ist  $U = 24 \text{ V}$ . Wie groß ist die elektrische Feldstärke in der Oxidschicht des Elektrolytkondensators?
- Die Durchschlagsfestigkeit für Luft beträgt  $E = 15 \text{ kV/cm}$ . Die Spannung zwischen zwei Schaltkontakten ist  $U = 311 \text{ V}$  groß. Bei welcher Entfernung zwischen den Schaltkontakten springt der Schließungsfunke über?
- Berechnen Sie für nachstehend aufgeführte Kondensatoren die jeweiligen Werte der elektrischen Feldstärke.

U V	120	60	550	400	311	750
s mm	0,4	0,01	0,12	0,03	0,24	0,5
E V/m						

- Eine Sammelschiene für eine Spannung von  $U = 15000 \text{ V}$  gegen Erde ist mit einem Isolator nach nebenstehender Zeichnung befestigt. Die Abmessungen betragen:  $a = 90 \text{ mm}$ ,  $c = 200 \text{ mm}$ . Die Durchschlagsfestigkeiten sind für Luft  $E_L = 15 \text{ kV/cm}$  und für Porzellan  $E_P = 200 \text{ kV/cm}$  (Abb. 81).



(Abb. 81)

- Wie groß ist die größte elektrische Feldstärke in der Luftstrecke zwischen der Sammelschiene und dem geerdeten Befestigungseisen?
- Wie groß ist die größte elektrische Feldstärke im Porzellan-körper?
- Durch Blitzeinschlag erhöht sich die Spannung der Sammelschiene gegen Erde beträchtlich.
  - Bei welcher Spannung erfolgt ein Überschlag der Spannung zwischen der Sammelschiene und dem Befestigungseisen durch die Luftstrecke?
  - Bei welcher Spannung der Sammelschiene wird der Isolator durch den Durchschlag der Spannung zwischen Sammelschiene und dem geerdeten Befestigungseisen zerstört?

7. Ein Kondensator hat eine Plattengröße von  $A = 48 \text{ cm}^2$  bei einem Plattenabstand von  $s = 0,65 \text{ mm}$ ; das Dielektrikum besteht aus Vulkanfiber. Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?
8. Berechnen Sie von nachstehend aufgeführten Kondensatordaten die jeweiligen Kapazitätswerte.

$A \text{ cm}^2$	20	52	16	78
$s \text{ mm}$	0,6	0,08	0,2	0,12
Dielektrikum	STEATIT	Papier	Glimmer	PVC
$C$				

9. Die wirksame Plattenoberfläche eines Elektrolytkondensators ist  $A = 280 \text{ cm}^2$ ; die Metalloxidschicht des Dielektrikums ist  $s = 10^{-3} \text{ mm}$ .
- Wie groß ist die Kapazität des Elektrolytkondensators?
  - Mit welcher Spannung kann der Kondensator höchstens belastet werden, wenn die Durchschlagsfestigkeit der Oxidschicht  $50 \text{ kV/mm}$  beträgt?
10. Ein Drehkondensator hat insgesamt 23 Platten mit seiner jeweils wirksamen Plattengröße von  $18,4 \text{ cm}^2$ . Der Abstand zwischen den Platten ist  $s = 0,6 \text{ mm}$ . Wie groß ist die Kapazität des Kondensators bei voll eingedrehtem Kondensator?
11. Die Kapazität eines Wickelkondensators soll  $C = 320 \text{ nF}$  betragen. Als Dielektrikum wird Papier von der Stärke  $s = 0,06 \text{ mm}$  verwendet. Die Breite des Wickels beträgt  $b = 4,5 \text{ cm}$ . Wie lang müssen die Wickelbeläge sein?
12. Ein Akkumulator soll in drei Stunden mit einer Stromstärke von  $I = 4 \text{ A}$  entladen werden. Welche Kapazität in Ah muß der Akkumulator haben?
13. Ein Relais einer Feuermeldeanlage ist an eine Batterie für  $Q = 60 \text{ Ah}$  30 Tage lang geschaltet. Nach 30tägigem Anschluß des Relais ist die Batterie entladen. Welche durchschnittliche Stromstärke fließt während der 30 Tage durch das Relais?
14. Berechnen Sie für die nachstehend angegebenen Strom- und Zeitwerte die jeweilige Elektrizitätsmenge.

$I \text{ mA}$	500	254	760	36	124
$t$	5 min	12 min	360 s	1 min 20 s	1 h 24 min
$Q$					

15. Für eine Notbeleuchtung von  $U = 110 \text{ V}$  wird eine elektrische Leistung von  $P = 1,475 \text{ kW}$  gebraucht. Die Notbeleuchtung soll nachts  $t = 7$  Stunden in Betrieb sein. Welche Kapazität muß die Notlichtbatterie mindestens haben?
16. Für die Stromversorgungsanlage einer Wahlvermittlungsstelle wird eine durchschnittliche Stromstärke von  $I = 120 \text{ A}$  benötigt. Bei etwaigem Netzausfall soll die Vermittlungsstelle mindestens 6 Stunden aus der Batterie mit Strom versorgt werden können. Welche Kapazität muß die Batterie für die Vermittlungsstelle mindestens haben?
17. Eine Batterie von  $Q = 24 \text{ Ah}$  soll eine Notbeleuchtung mit Strom versorgen, deren durchschnittlicher Stromverbrauch  $I = 300 \text{ mA}$  beträgt. In welchem Zeitabstand muß die Batterie mindestens wieder aufgeladen werden?
18. Berechnen Sie von nachstehend aufgeführten Batteriewerten die Dauer der Entladezeiten.

$Q \text{ Ah}$	12	24	36	48	144	288
$I \text{ A}$	0,64	1,6	2,7	0,9	12	5,6
$t$						

19. Für die Sicherheitsbeleuchtung eines Fernmeldegebäudes soll die Kapazität der Notlichtbatterie bestimmt werden. Das Notlichtnetz besteht aus 15 Glühlampen von je  $24 \text{ V} / 12 \text{ W}$ . Nach Netzausfall sollen sämtliche Glühlampen noch mindestens 3 Stunden in Betrieb bleiben, bei nur 80prozentiger Entladung der Batterie. Wieviel Amperestunden muß die Batterie aufweisen?
20. Ein Kondensator von  $C = 25 \mu\text{F}$  wird an eine Gleichspannung von  $U = 120 \text{ V}$  geschaltet. Wie groß ist die aufgenommene Elektrizitätsmenge?
21. Berechnen Sie von nachstehend angegebenen Kapazitätswerten die jeweils aufgenommene Elektrizitätsmenge.

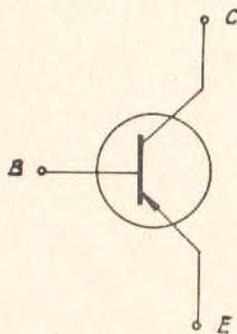
$C$	320 nF	480 pF	12 $\mu\text{F}$	800 nF
$U \text{ V}$	250	300	60	650
$Q$				

22. Berechnen Sie von nachstehend angegebenen Spannungs- und Elektrizitätsmengen die dazugehörigen Kapazitäten.

$U$ V	220	100	60	300	9
$Q$	$8,8 \mu\text{As}$	$1 \text{ mAs}$	$18 \text{ nAs}$	$24 \text{ nAs}$	$72 \mu\text{As}$
$C$					

23. Ein Kondensator von  $C = 600 \text{ nF}$  ist an eine Gleichspannung von  $U = 400 \text{ V}$  geschaltet; die Größe seiner Beläge beträgt  $A = 24,4 \text{ cm}^2$ . Wie groß ist die Verschiebungsdichte im Dielektrikum?
24. Die Verschiebungsdichte eines Kondensators beträgt  $D = 420 \text{ nAs/cm}^2$ . Die Plattenfläche ist  $A = 18 \text{ cm}^2$ . Wie groß ist die aufgenommene Elektrizitätsmenge?

25.



(Abb. 82)

Die elektrischen Potentiale des nebenstehenden Transistors betragen:  $B = -0,8 \text{ V}$ ,  $C = -6,5 \text{ V}$  und  $E = 0 \text{ V}$  bezogen auf den Emitteranschluß E. Wie groß ist die elektrische Spannung zwischen den Punkten C und B?

Bei der Spannungsangabe wählen Sie die Buchstaben für den Index so, daß sie sich auf den Punkt B bezieht. Ferner soll die Spannungsangabe so vorgenommen werden, daß der Zahlenwert stets ein positives Vorzeichen erhält; das Vorzeichen für das Formelzeichen kann je nach Bedarf positiv oder negativ sein.

26. Von einer Transistorschaltung (Abb. 82) betragen die elektrischen Potentiale:  $E = -2,1 \text{ V}$ ,  $B = -3,04 \text{ V}$  und  $C = -9,0 \text{ V}$  bezogen auf den Pluspol der Spannungsquelle, der mit dem Punkt E verbunden ist. Wie groß sind die Spannungen  $-U_{CB}$  und  $-U_{CE}$ ?
27. Von mehreren Transistorschaltungen sind nachstehend die elektrischen Potentiale angegeben. Berechnen Sie die jeweiligen Spannungswerte  $-U_{CB}$  und  $-U_{CE}$ .

E	V	0	-1,7	-2,06	-0,86	-1,24
B	V	-0,64	-2,84	-3,61	-1,99	-2,11
C	V	-7,5	-6,84	-8,9	-6,62	-9,0
$-U_{CB}$	V					
$-U_{CE}$	V					

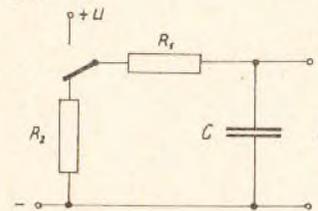
28. Eine Kapazität von  $C = 24 \mu\text{F}$  ist mit einem Wirkwiderstand von  $R = 1200 \Omega$  hintereinandergeschaltet. Wie groß ist die Zeitkonstante?

29. Eine Kapazität von  $C = 440 \text{ nF}$  ist mit einem Widerstand von  $R = 2,4 \text{ k}\Omega$  hintereinandergeschaltet. Die Reihenschaltung wird in einen Gleichstromkreis geschaltet. In welcher Zeit ist der Kondensator aufgeladen?

30. Die Reihenschaltung eines Widerstands von  $R = 480 \Omega$  und einer Kapazität von  $C = 32 \mu\text{F}$  wird an eine Gleichspannung von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet.

- a) Wie groß ist der Spitzenwert des Ladestroms?
- b) In welcher Zeit ist der Ladestrom auf Null herabgesunken?
- c) Zeichnen Sie den Verlauf des Ladestroms und der Kondensatorspannung in einem Spannungs-Strom-Diagramm auf.  
 $20 \text{ mA} \triangleq 1 \text{ cm}$  (blau)       $10 \text{ V} \triangleq 1 \text{ cm}$  (rot)

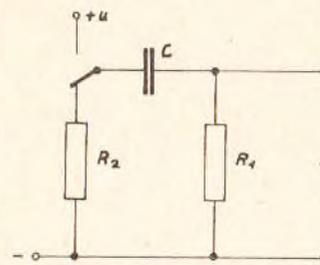
31.



(Abb. 83)

Von der nebenstehenden Widerstands-Kondensator-Schaltung betragen  $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$  und  $C = 20 \mu\text{F}$ . An den Eingang der Schaltung wird durch Betätigung des Schaltkontaktes ein rechteckig verlaufender Spannungsimpuls von  $t = 500 \text{ ms}$  Dauer und  $U = +10 \text{ V}$  angeschaltet. Berechnen und zeichnen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung während des Spannungsimpulses.

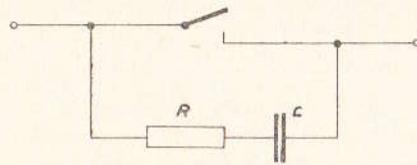
32.



(Abb. 84)

Von der nebenstehenden Widerstands-Kondensator-Schaltung betragen  $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$  und  $C = 20 \mu\text{F}$ . An den Eingang der Schaltung wird durch Betätigung des Schaltkontaktes ein rechteckig verlaufender Spannungsimpuls von  $t = 500 \text{ ms}$  Dauer und  $U = +10 \text{ V}$  geschaltet. Berechnen und zeichnen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung während des Spannungsimpulses.

33.



(Abb. 85)

Von nebenstehendem Funkenlöschkreis betragen  $R = 100 \Omega$  und  $C = 1 \mu\text{F}$ . Die Betriebsspannung des Fernmeldenetzes ist  $U = 60 \text{ V}$ .

- Wie hoch ist die Entladestromspitze beim Einschalten des Kontakts?
- Wie lang darf die Impulsschaltzeit des Kontakts höchstens sein, damit der Funkenlöschkreis noch einwandfrei arbeitet?

34. Drei Kondensatoren von  $C_1 = 240 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 320 \text{ nF}$  und  $C_3 = 600 \text{ nF}$  sind in Reihenschaltung an eine Spannung von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet. Wie groß sind die Teilspannungen an den Kondensatoren?

35. Berechnen Sie von nachstehenden Reihenschaltungen die jeweiligen Werte der Teilspannungen.

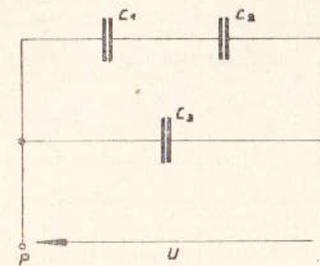
$C_1$	450 nF	380 pF	34 nF	$16 \mu\text{F}$
$C_2$	120 nF	100 pF	16 nF	$4 \mu\text{F}$
$C_3$	825 nF	290 pF	48 nF	$24 \mu\text{F}$
$U_1$ V				
$U_2$ V				
$U_3$ V				

36. Drei Kondensatoren von  $C_1 = 480 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 300 \text{ nF}$  und  $C_3 = 610 \text{ nF}$  sind in Parallelschaltung an eine Spannung von  $U = 60 \text{ V}$  geschaltet. Wie groß sind die Gesamt- und die Einzelkapazitätsmengen?

37. Berechnen Sie von den nachstehenden Parallelschaltungen die jeweiligen Werte der Gesamtelektrizitätsmenge.

$C_1$	350 nF	240 nF	14 nF	$12 \mu\text{F}$
$C_2$	95 nF	80 pF	20 nF	$4 \mu\text{F}$
$C_3$	650 nF	520 pF	12 nF	$20 \mu\text{F}$
$Q$				

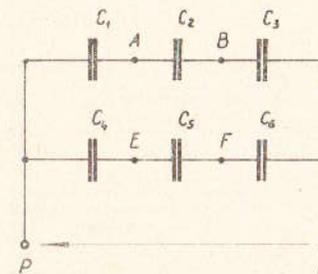
38.



(Abb. 86)

Von nebenstehender Kondensatorschaltung betragen:  $C_1 = 500 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 800 \text{ nF}$  und  $C_3 = 280 \text{ nF}$ ; die angeschaltete Spannung ist  $U = 60 \text{ V}$ . Wie groß sind die einzelnen Teilspannungen der Schaltung und die Einzelkapazitätsmengen?

39.



(Abb. 87)

Von nebenstehender Kondensatorschaltung betragen:  $C_1 = 550 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 900 \text{ nF}$ ,  $C_3 = 220 \text{ nF}$ ,  $C_4 = 640 \text{ nF}$ ,  $C_5 = 360 \text{ nF}$ ,  $C_6 = 120 \text{ nF}$ . Die Spannung ist  $U = 60 \text{ V}$ .

- Wie groß sind die Gesamtkapazität, Gesamtelektrizitätsmenge und Einzelkapazitätsmengen sowie die Teilspannungen?
- Wie groß sind die Spannungswerte zwischen den Punkten A und E und B und F?

## Werkstoffeigenschaften – Leiter

## Anhang 1

Nr.	Werkstoff	Spezi- fischer Widerstand	Spezi- fisches Gewicht	Spezi- fische Wärme	Tempera- turbeiwert	Längen- ausdeh- nungszahl	Elektro- chemisches Äquivalent
		$\frac{\rho \Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	$\gamma \frac{\text{kp}}{\text{dm}^3}$	$c \frac{\text{kcal}}{\text{kp} \cdot ^\circ\text{C}}$	$\alpha \frac{1}{^\circ\text{C}}$	$\alpha \frac{1}{^\circ\text{C}}$	$c \frac{\text{mp}}{\text{As}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Aldrey	0,033	2,7	—	0,0036	—	—
2	Aluminium	0,0278	2,7	0,235	0,004	0,000024	0,093
3	Blei	0,22	11,3	0,031	0,0042	0,000029	1,072
4	Beton	—	2,1	0,21	—	0,000021	—
5	Bronze	0,028	8,6	0,09	0,004	0,000007	—
6	Chrom	0,15	6,92	—	—	—	0,183
7	Chrom-Nickel	1,1	—	—	0,001	—	—
8	Eisen s. Stahl	—	—	—	—	—	—
9	Gold	0,021	19,3	0,034	0,0036	0,000014	0,68
10	Graphit	20 · 100	2,0	0,2	-0,0002	0,000001	—
11	Holz	—	0,53	—	—	—	—
12	Kohle s. Graphit	—	—	—	—	—	—
13	Konstantan	0,5	8,9	—	-0,00003	—	—
14	Kupfer	0,018	8,9	0,105	0,004	0,000019	0,329
15	Nickel	0,1	8,7	0,132	0,004	0,000013	0,304
16	Nickelin	0,43	8,8	0,132	0,00023	0,000013	—
17	Manganin	0,42	8,4	0,108	0,00001	—	—
18	Quecksilber <sup>1)</sup>	0,953	13,6	0,033	0,0009	0,000182	1,036
19	Sand	—	1,7	—	—	—	—
20	Sauerstoff	—	0,00143	—	—	—	0,083
21	Silber	0,016	10,5	0,062	0,0036	0,00002	1,118
22	Stahl	0,125	7,85	0,158	0,0048	0,000014	0,289
23	Wasserstoff	—	0,000089	—	—	—	0,0104
24	Wolfram	0,055	19,1	0,034	0,0041	—	—
25	Zink	0,06	7,2	0,096	0,004	0,000027	0,339
26	Zinn	0,1	7,28	0,056	0,0046	0,000023	0,61

1) in Sp. 7 = Volumenausdehnung = 3  $\alpha$ 

## Werkstoffeigenschaften – Isolierstoffe

## Anhang 2

Nr.	Werkstoff	Spezifischer Widerstand $\Omega \cdot \text{cm}$	Dielektrizitäts- zahl	Durchschlags- festigkeit kV/mm
1	Luft	—	1,0	1,5
2	Papier	$10^{12}$	2,8	30
3	Porzellan	$10^{13}$	5,0	35
4	Glimmer	$10^{16}$	7,0	30
5	Hartglas	$10^{14}$	6,5	400
6	Steatit	$10^{13}$	4,5	30
7	Plexiglas	$10^{12}$	3,5	40
8	Keramik	$10^{13}$	5,2	—
9	Metalloxid	—	800	—
10	Vulkanfiber	$10^9$	4,5	30
11	Polyvinylchlorid	$10^{13}$	4,0	25

## Internationale Normenreihen

zulässige Abweichung	20 v. H.	10 v. H.	5 v. H.
Nennwerte für Widerstände und Kondensatoren	1,0	1,0	1,0
			1,1
			1,2
	1,5	1,5	1,3
			1,5
			1,6
			1,8
			2,0
	2,2	2,2	2,2
			2,4
			2,7
			3,0
	3,3	3,3	3,3
			3,6
			3,9
			4,3
			4,7
4,7	4,7	4,7	
		5,1	
		5,6	
		6,2	
6,8	6,8	6,8	
		7,5	
		8,2	
		9,1	

Magnetisierungskurven

Anhang 3

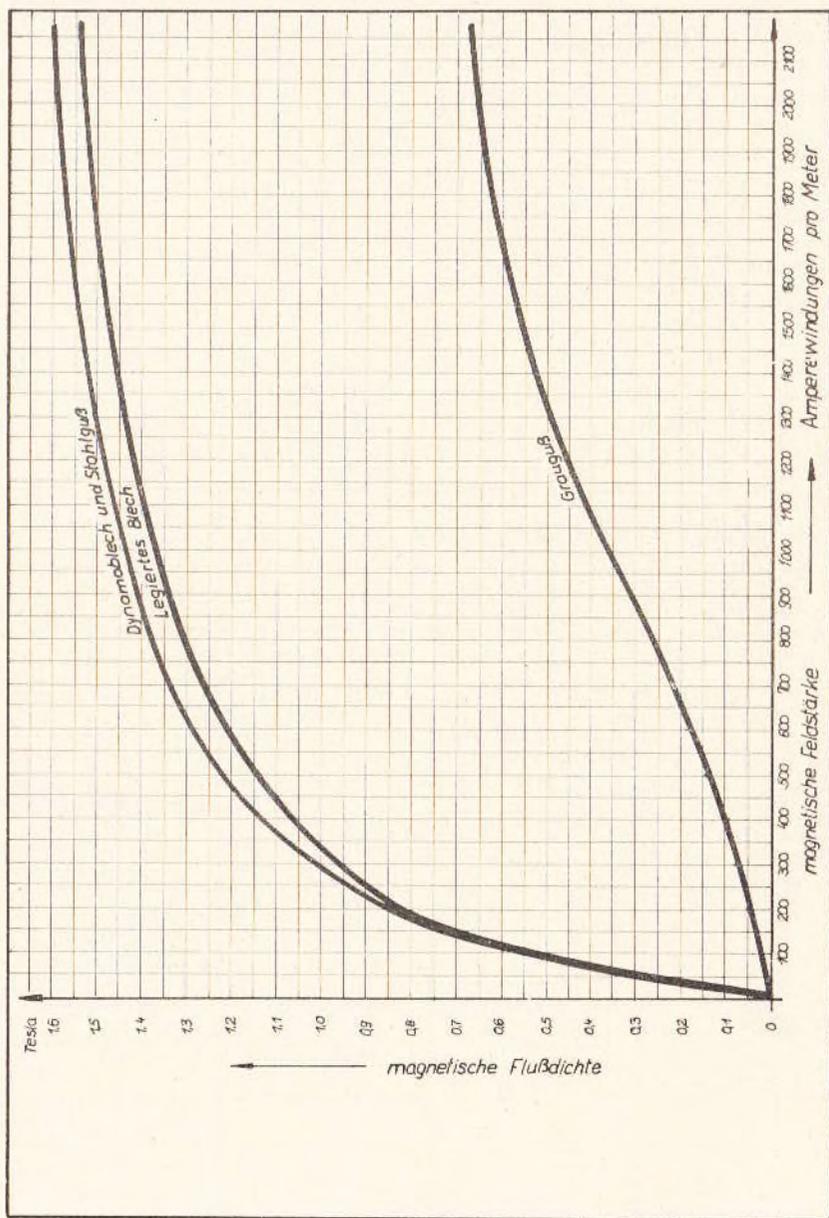


Tabelle der Sinus-, Cosinus- und Tangenswerte

Anhang 4

Grad	sin	cos	tg	Grad	sin	cos	tg
0	0,000	1,000	0,000	45	0,707	0,707	1,000
1	0,017	1,000	0,017	46	0,719	0,695	1,036
2	0,035	0,999	0,035	47	0,731	0,682	1,072
3	0,052	0,999	0,052	48	0,743	0,669	1,111
4	0,070	0,998	0,070	49	0,755	0,656	1,150
5	0,087	0,996	0,087	50	0,766	0,643	1,192
6	0,105	0,995	0,105	51	0,777	0,629	1,235
7	0,122	0,993	0,123	52	0,788	0,616	1,280
8	0,139	0,990	0,141	53	0,799	0,602	1,327
9	0,156	0,988	0,158	54	0,809	0,588	1,376
10	0,174	0,985	0,176	55	0,819	0,574	1,428
11	0,191	0,982	0,194	56	0,829	0,559	1,483
12	0,208	0,978	0,213	57	0,839	0,545	1,540
13	0,225	0,974	0,231	58	0,848	0,530	1,600
14	0,242	0,970	0,249	59	0,857	0,515	1,664
15	0,259	0,966	0,268	60	0,866	0,500	1,732
16	0,276	0,961	0,287	61	0,875	0,485	1,804
17	0,292	0,956	0,306	62	0,883	0,469	1,881
18	0,309	0,951	0,325	63	0,891	0,454	1,963
19	0,326	0,946	0,344	64	0,899	0,438	2,05
20	0,342	0,940	0,364	65	0,906	0,423	2,14
21	0,358	0,934	0,384	66	0,914	0,407	2,25
22	0,375	0,927	0,404	67	0,921	0,391	2,36
23	0,391	0,921	0,424	68	0,927	0,375	2,48
24	0,407	0,914	0,445	69	0,934	0,358	2,61
25	0,423	0,906	0,466	70	0,940	0,342	2,75
26	0,438	0,899	0,488	71	0,946	0,326	2,90
27	0,454	0,891	0,510	72	0,951	0,309	3,08
28	0,469	0,883	0,532	73	0,956	0,292	3,27
29	0,485	0,875	0,554	74	0,961	0,276	3,49
30	0,500	0,866	0,577	75	0,966	0,259	3,73
31	0,515	0,857	0,601	76	0,970	0,242	4,01
32	0,530	0,848	0,625	77	0,974	0,225	4,33
33	0,545	0,839	0,649	78	0,978	0,208	4,70
34	0,559	0,829	0,675	79	0,982	0,191	5,14
35	0,574	0,819	0,700	80	0,985	0,174	5,67 <sup>1)</sup>
36	0,588	0,809	0,727	81	0,988	0,156	6,31
37	0,602	0,799	0,754	82	0,990	0,139	7,12
38	0,616	0,788	0,781	83	0,993	0,122	8,14
39	0,629	0,777	0,810	84	0,995	0,105	9,51
40	0,643	0,766	0,839	85	0,996	0,087	11,4
41	0,656	0,755	0,869	86	0,998	0,070	14,3
42	0,669	0,743	0,900	87	0,999	0,052	19,1
43	0,682	0,731	0,933	88	0,999	0,035	28,6
44	0,695	0,719	0,966	89	1,000	0,017	57,3
45	0,707	0,707	1,000	90	1,000	0,000	—

<sup>1)</sup> Die Werte für Tangens steigen mit zunehmendem Winkel immer unregelmäßiger an. Ab 80° werden sie sehr ungenau; für den hier beabsichtigten Zweck genügen sie jedoch vollauf.

- Band C 1** — **Werkstoffkunde und Werkstoffbearbeitung**  
Werkstoffe der Fernmeldetechnik und ihre Bearbeitung — Werkzeuge und Werkzeugmaschinen — Werkstoffprüfung — Oberflächenschutz der Metalle — Nichtmetallische Werkstoffe — Isolierstoffe — Kunststoffe
- Band C 2** — **Oberirdischer Linienbau**  
FBG und FBZ im oberirdischen Linienbau — Planung und Bau oberirdischer Anschlußlinien — Installationskabel und Luftkabel — Erdungsanlagen
- Band C 3** — **Unterirdischer Linienbau**  
Gestaltung der Fernmeldenetze — Fernmeldekabel — Aufgaben und Aufbau der Bauteile im Anschlußnetz — Schaltungen in Verzweigungseinrichtungen — Druckluftprüfeinrichtungen
- Band C 4** — **Fernsprechapparate und Zusatzeinrichtungen**  
Aufbau, Schaltung und Wirkungsweise der Fernsprechapparate und Zusatzeinrichtungen
- Band C 5** — **Wählvermittlungstechnik**  
(mit Beiheft) Grundzüge der Wählvermittlungstechnik — Bauelemente und ihre Verwendung — Gliederung und Aufbau der Ortsvermittlungen — Vorfeldeinrichtungen — Stromversorgungs- und Erdungsanlagen — Fernwählvermittlungsstellen
- Band C 6** — **Nebenstellenanlagen**  
(mit Beiheft) Zweck der Nebenstellenanlagen — Baustufen — Stromversorgung — Schaltungsaufbau der kleinen Nebenstellenanlagen und der Reihenanlagen
- Band C 7** — **Sprechstellenbau**  
Bauftrag — Einrichtungs- und Änderungsgebühren — Teilnehmer-einrichtungen — Fernmeldebauzeug — Bauausführung

**Umfang je Band rund 140 Seiten**

---

### Wichtig zur Vorbereitung auf Eignungsfeststellungen und Prüfungen

#### Deutschlehre (mit Beiheft)

Rechtschreibung — Wortlehre — Satzlehre — Zeichensetzung — Stil- und Aufsatzkunde — Übungsaufgaben — Übungsdiktate — Lösungen

Umfang rund 200 Seiten

Preis 5,— DM

#### Rechenlehre

Rechnen — Raumlehre — Sortenverwandlung — Übungsaufgaben — Angewandte Aufgaben — Lösungsheft

Umfang rund 190 Seiten

Preis 5,— DM

— Weitere Lehrbücher siehe 2. und 4. Umschlagseite —

# Handbuch der Fernmeldetechnik

— Buchreihe BFt —

**15**

wichtige Lehr- und Lernwerke zur Vorbereitung auf den Grundlehrgang Ft 2, die verschiedenen Aufbaulehrgänge BFt und den Abschlußlehrgang BFt

---

**Band G** — Grundlagen der Fernmeldetechnik (2 Teile)

**Band E** — Entstörungstechnik (2 Teile)

**Band L** — Linientechnik (2 Teile)

**Band V** — Vermittlungstechnik (3 Teile)

**Band T** — Telegrafentechnik (2 Teile)

**Band U** — Übertragungstechnik (2 Teile)

**Band Fu** — Funktechnik (2 Teile)

Umfang je Band etwa 180 Seiten

---

**Sonderband:**

**Allgemeines Prüfungswissen**  
(für die Kräfte des BFW-, BFt- und BPT-Dienstes)  
(2 Teile)

---

Sämtliche Lehrwerke können bestellt werden bei  
**Deutsche Postgewerkschaft — Hauptvorstand — Verlag**  
6 Frankfurt 1 — Savignystraße 43