MINISTERRAT DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
MINISTERIUM FÜR VOLKSBILDUNG

Schülerarbeitsmaterial

für den
wahlweise-obligatorischen Physikunterricht
an Spezialschulen
mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Richtung

Lehrgang
Ausgewählte Gebiete der Physik

VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN · 1988

Schülerarbeitsmaterial

für den
wahlweise-obligatorischen Physikunterricht
an Spezialschulen
mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Richtung

Lehrgang
Ausgewählte Gebiete der Physik

V
W Volk und Wissen Volkseigener Verlag · Berlin 1988
V

Herausgeber: Forschungskollektiv "Methodik des Physikunterrichts"
Pädagogische Hochschule "Lieselotte Herrmann" Güstrow
Leiter: Prof. Dr. J. Wendt

Autorenkollektiv: Dipl. Ing. A. Busse
Dr. W. Heyder
Prof. Dr. J. Wendt
Dr. S. Wessolowski

1. Auflage
Lizenz Nr. 203/1000/88 (E)
LSV 0645
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung:
Verlagstitelnummer 30 10 75-1

INHALT

		Seite
Einleitung		5
1.	Teillehrgang Akustik	7
1.1.	Schallerzeugung mit schwingenden festen Körpern	7
1.2.	Schallerzeugung und Schallausbreitung in Luft	10
1.3.	Schallmessung	17
1.4.	Anwendungen	20
2.	Teillehrgang Strömungslehre	25
2.1.	Einführung	25
2.2.	Strömungen idealer Flüssigkeiten und Gase	26
2.3.	Laminare Strömungen realer Flüssigkeiten	29
2.4.	Turbulente Strömungen realer Flüssigkeiten	30
2.5.	Strömungsvorgänge am Flugzeug	31
3.	Teillehrgang Elektrotechnik	35
3.1.	Gleichstromnetzwerke	35
3.1.1.	Mathematische Grundlagen	35
3.1.2.	Ersatzwiderstände und Ersatzquellen	36
3.1.3.	Berechnungen von Spannungen und Strömen in vermaschten linearen Netzwerken	41
3.2.	Wechselstromnetzwerke	46
3.2.1.	Mathematische Grundlagen	46
3.2.2.	Komplexe Berechnungen in Wechselstromnetzwerken	48

Einleitung

Im wahlweise-obligatorischen Physikunterricht werden Sie im Lehrgang "Ausgewählte Gebiete der Physik" tiefer in die Teilgebiete Akustik, Strömungslehre und Elektrotechnik eindringen können. Dabei sollen Sie Ihr Wissen und Können aus dem obligatorischen Unterricht erweitern und auf neue Sachverhalte anwenden.

Das vorliegende Schülerarbeitsmaterial bildet eine wichtige Grundlage für Ihre selbständige Lerntätigkeit.

Entsprechend der Gliederung im Plan für den Lehrgang "Ausgewählte Gebiete der Physik" werden Ihnen zu jedem Teillehrgang zunächst Hinweise für das Literaturstudium gegeben. Daran schließen sich experimentelle Aufgabenstellungen an, die sowohl der Erarbeitung als auch der Bestätigung neuer physikalischer Erkenntnisse dienen. Beim Lösen der danach folgenden Aufgaben sollen Sie Ihr Wissen anwenden. Ihren Physiklehrern liegt ein ähnliches Material vor, so daß Sie sich bei auftretenden Fragen zu den Experimenten und Aufgaben an ihn wenden können.

Wir wünschen Ihnen bei der Arbeit mit diesem Schülermaterial viel Erfolg.

1. Teillehrgang Akustik

1.1. Schallerzeugung mit schwingenden festen Körpern

Hinweise zum Literaturstudium

Auf der Grundlage des in Klasse 10 behandelten Stoffes sollte man sich deutlich machen, daß die Akustik als Spezialgebiet der Schwingungen und Wellen aufzufassen ist, das die elastischen Longitudinal- und Transversalwellen sowie die diese Wellen erzeugenden Schwingungen umfaßt.
Will man sich intensiver mit dieser Thematik beschäftigen, muß man weitere Literatur heranziehen. Dazu findet man in den einschlägigen Fachbüchern, die die Experimentalphysik behandeln, ausführliche Darstellungen. Voraussetzung für das Verständnis der Akustik sind die Grundlagen der Schwingungen und Wellen. Einige grundlegende Ausführungen findet man in den Schullehrbüchern.
Sehr anschaulich behandelt E. Grimsehl /5/, /6/ die Schwingungen und Wellen. Das trifft auch für die Akustik zu. Weiterhin seien Physik, Fundament der Technik /11/ und Stroppe /14/ genannt, die dem Grundlagenstudium dienen könnten.
Natürlich bieten auch Nachschlagewerke, Wissensspeicher und Tabellenbücher Hinweise für das Studium. Hier sei vor allem auf das Taschenbuch Akustik in zwei Teilen /1/ verwiesen, das für den genannten Lehrgang als Nachschlagewerk gut geeignet ist.
Für die Experimente nutze man Band 10 der Physikalischen Schulversuche /4/ sowie /2/, /3/ und /9/.

Experimente

Experiment 1
Zeigen Sie die Verstärkung der Abstrahlung einer Stimmgabel durch eine Schallwand!

Experiment 2
Zeigen Sie die Verstärkung eines Tones mit Hilfe einer Membrane durch einen Wasserstrahl!

Experiment 3
Zeichnen Sie verschiedene Schwingungsformen mit dem Kathodenstrahloszillographen auf!

Experiment 4

Zeichnen Sie verschiedene Schwingungsformen von Saiten auf!

Experiment 5

Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Frequenz einer Grundschwingung von der Spannkraft, der Querschnittsfläche und der Länge einer Saite! Benutzen Sie dazu ein Monochord!

Experiment 6

Untersuchen Sie den Zusammenhang zwischen Stablänge, Wellenlänge und Tonhöhe für Stäbe aus Stahl und Glas!

Experiment 7

Untersuchen Sie Grund- und Oberschwingungen von Membranen!

Experiment 8

Untersuchen Sie Grund- und Oberschwingungen von Platten (Chladnische Klangfiguren)!

Experiment 9

Untersuchen Sie Konsonanz und Dissonanz mit Hilfe der Lochsirene!

Aufgaben

1. In welchem Fall dauern die Schwingungen einer Stimmgabel länger an?
   Wenn die Stimmgabel
   a) mit einem Resonanzkasten verbunden ist
   b) mit ihrem Fuß an einem Stativ befestigt ist.
2. Dreht man eine in senkrechter Lage vor das Ohr gehaltene Stimmgabel um ihre Längsachse, so verschwindet der Ton während einer Umdrehung viermal. Wie kommt diese Erscheinung zustande?
3. Wie entsteht der Ton einer Violinsaite?
4. Die Glocken sind gekrümmte Platten und das flächenhafte Gegenstück zu Stimmgabeln. Zeichnen Sie die Schwingungsform eines Glockenrandes auf! Könnte man durch ein einfaches analoges Experiment mit einem Weinglas die Knoten und Bäuche nachweisen?

5. Warum hat die Stimmgabel zwei Zinken und nicht nur einen?

6. Warum stellt man den hohlen Körper, z. B. der Geige und des Violoncellos in einer bestimmten Form her? Wie hängt von dessen Größe der Klang ab?

7. Eine harmonische Schwingung, die definitionsgemäß einem Ton entspricht, hat die Elongation $x = x_{max} \cdot \sin (\omega \cdot t + \varphi_0)$. Spielt es für die Tonempfindung eine Rolle, welche augenblickliche Phase die erzeugte Schwingung hat?

8. Zwei Stimmgabeln sind auf nahe beieinanderliegenden Frequenzen 500 Hz und 505 Hz abgestimmt. Sie werden nebeneinander aufgestellt. Die Stimmgabel mit 500 Hz wird angeschlagen. Die zweite Stimmgabel reagiert nicht. Legt man jetzt aber periodisch die Hand an den Resonanzboden, dann beginnt die zweite Stimmgabel laut zu tönen. Wie ist das zu erklären?

9. Zwei Stimmgabeln sind auf den gleichen Ton mit 435 Hz gestimmt. Beklebt man die eine mit Wachs und läßt nun beide gleichzeitig ertönen, so zählt man in 10 s 45 Schwebungen. Welche Frequenz hat nun der Ton der abgeänderten Stimmgabel?

10. Eine Druckkammer ist mit einem Gemisch aus Helium und Sauerstoff gefüllt. Wie verändert sich der Klang der Stimmen von Menschen, die sich in der Druckkammer unterhalten? Verändert sich dort der Ton einer Stimmgabel?

11. Ein in der Mitte eingeklemmter Aluminiumstab von 40 cm Länge erzeugt, wenn er gerieben wird, einen Ton der Frequenz von 6300 Hz. Wie groß ist die Geschwindigkeit des Schalls im Aluminium?

12. Eine Gitarrensaite hat eine Länge von 0,70 m. Sie ist für den Ton e (330 Hz) gestimmt. Wie weit vom Ende der Saite muß man diese mit dem Finger berühren, wenn der Ton a (440 Hz) ertönen soll?

13. Schallwellen mit einer Frequenz von f = 500 Hz und mit einer Amplitude von x_{max} = 0,25 mm breiten sich in Luft aus. Die Wellenlänge soll λ = 70 cm betragen. Gesucht sind
    a) die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schwingungen und
    b) die maximale Geschwindigkeit der Luftteilchen.

14. Welche Kraft ist nötig, um eine Gitarrensaite (Länge 60 cm, Dichte 8,7 g/cm^3, Radius 0,2 mm) straff zu ziehen, damit sie mit einer Frequenz von 100 Hz in der Grundschwingung klingt?

15. Eine Stahlsaite (ϱ = 7,5 g/cm^3) soll, im Grundton schwingend, die Frequenz f = 261 Hz ergeben. Sie ist 60 cm lang und hat einen Durchmesser von d = 0,4 mm. Mit welcher Kraft muß man sie spannen?

16. Bei Kenntnis der Belastungsgrenze für Stahl ist die maximale Frequenz gesucht, auf die man eine Saite mit einer Länge von 1 m stimmen kann.

17. Eine mit 150 N belastete Saite übergibt an eine Stimmgabel acht Ausschläge je Sekunde. Nachdem diese Saite mit 160 N belastet wird, stimmt sie mit der Stimmgabel überein. Gesucht ist die Frequenz der Stimmgabel.

18. Eine Gitarrensaite aus Stahl ist 30 cm lang und hat eine Masse von 10 g. Welche Kraft in Längsrichtung muß auf die Saite ausgeübt werden, um sie auf das c' (262 Hz) abzustimmen?

19. Das menschliche Ohr kann Schallfrequenzen von etwa 20 bis 20 000 Hz aufnehmen. Wie sind die Intervallgrenzen der Wellenlängen für den Hörbereich der Schallwellen in Luft? (c_{Schall} = 340 m/s).

20. Auf eine waagerechte Membran wird feines Salz gestreut. Die Membran schwingt mit einer Frequenz f = 500 Hz. Wie groß ist die Schwingungsamplitude, wenn die Salzkörnchen bis zu einer Höhe von h = 3 mm in bezug auf die Gleichgewichtslage der Membran springen?

1.2. Schallerzeugung und Schallausbreitung in Luft

Hinweise zum Literaturstudium

Die fachlichen Grundlagen dieses Abschnittes, die solche Begriffe wie Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz betreffen, haben Sie bereits im obligatorischen Unterricht behandelt. Zum tieferen Eindringen in diesen Teilbereich der Akustik kann man die schon im Abschnitt 1.1. erwähnte Grundlagenliteratur

benutzen. Bei der Betrachtung der Schallgeschwindigkeit in Gasen muß man sich mit der "adiabatischen" Kompressibilität (Laplacesche Gleichung) befassen (vgl. auch /5/, S. 342 und 517, sowie in /6/, S. 228 und 242). Für die Experimente kann man neben den Physikalischen Schulversuchen Band 10 /4/ die Praktikumsbücher /2/ und /9/ verwenden.

Experimente

Experiment 1

Führen Sie ein Experiment durch, mit dem man stehende Wellen in Luft nachweisen kann!

Experiment 2

Weisen Sie die Interferenz von Schallwellen nach!

Experiment 3

Untersuchen Sie die Eigenschwingungen einer gedeckten und einer offenen Pfeife!

Experiment 4

Bestimmen Sie die Frequenz einer Stimmgabel mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren!

Experiment 5

Bestimmen Sie die Schallgeschwindigkeit mit dem Kundtschen Rohr für

a) Eisen,

b) Aluminium,

c) Glas!

Bestimmen Sie auch den Elastizitätsmodul für diese Stoffe!

Experiment 6

Bestimmen Sie die Schallgeschwindigkeit in Luft mit verschiedenen Verfahren!

Aufgaben

1. Was kann man über die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Tönen unterschiedlicher Frequenz in Luft sagen?
   Aufgrund welcher Beobachtungen kann man darüber urteilen?

2. Warum hört man an einem See sehr deutlich, was die Leute am anderen Ufer sprechen?
   Ist der Effekt bei einer glatten Wüstenfläche auch vorhanden?

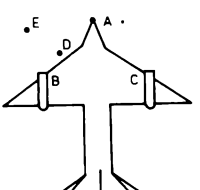
3. Bei welcher Länge l der Luftsäule eines zum Teil mit Wasser gefüllten Gefäßes sind die Amplitude der Schallwellen mit der Wellenlänge λ und die Schallstärke am größten?

4. Wovon hängt die Frequenz des Tones eines Pfiffes hauptsächlich ab, der durch das Blasen von Luft an der Öffnung eines Schlüssels entsteht?

5. Wie kann man sehr einfach den Frequenzunterschied der Töne zwischen einer beiderseits offenen und einer einseitig verschlossenen Röhre zeigen?

6. Wieviel mal so groß ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls in Luft im Sommer (t = 24 °C) gegenüber der im Winter (t = -30 °C)?

7. Ein Flugzeug fliegt mit Überschallgeschwindigkeit. Der Pilot befindet sich in der Rumpfspitze A, die Triebwerke an den Tragflächen in den Punkten B und C. Kann der Pilot das Geräusch der Triebwerke seines Flugzeuges hören?
   Könnte ein mit gleicher Geschwindigkeit in Punkt D befindlicher Mensch das Geräusch der Triebwerke hören?
   Wie wirkt die gleiche Situation in E?



8. Auf einem Hohlschlüssel mit einer zylindrischen Bohrung der Tiefe h = 30 mm wird gepfiffen.
   a) Man stelle die Druck- und Geschwindigkeitsverteilung p (x) und c (x) der Grundschwingung in einer Skizze dar!
   b) Welche Frequenz besitzt die Grundschwingung des erzeugten Tones? (c = 340 m/s)

9. Ein Beobachter auf der Erde sieht ein sich ihm näherndes Flugzeug, hört es aber nicht. Das Flugzeug überholt den Beobachter und entfernt sich auf geradliniger, horizontaler Bahn. Der Beobachter hört es in dem Moment, in dem die Richtung, in der er es sieht, mit der Horizontalen einen Winkel φ bildet.
Man erläutere die Erscheinung und berechne die Geschwindigkeit des Flugzeuges für den Fall, daß $\varphi = 30^{\circ}$ und die Schallgeschwindigkeit $c = 340 \frac{m}{s}$ ist!

10. Ein in der Mitte eingespannter Stahlstab ($l = 51$ cm; $\varrho = 8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) wird zum Tönen gebracht. Der Ton wird auf eine Luftröhre übertragen, in der sich stehende Wellen ausbilden. Bei $t = 20\ ^{\circ}C$ konnte eine Wellenlänge von $\lambda = 6{,}8$ cm gemessen werden.
Wie groß ist der Elastizitätsmodul des Stahlstabes?

11. Durch eines von zwei unbeweglichen Schiffen wird in das Wasser ein Ultraschallsignal ausgestrahlt, das unter Wasser vom Empfänger des zweiten Schiffes zweimal registriert wird, und zwar zu den Zeiten t_1 und t_2 ($t_2 > t_1$) nach dem Aussenden vom ersten Schiff. Unter den Voraussetzungen, daß der Boden waagerecht verläuft und die Schallgeschwindigkeit im Wasser c beträgt, ist die Meerestiefe zu bestimmen.

12. Bei der Bildung von stehenden Wellen in einer Kundtschen Röhre wurden in der Luftsäule sechs Bäuche beobachtet. Wie groß ist die Länge der Luftsäule, wenn der Stahlstab
a) in der Mitte,
b) am Ende
befestigt ist? Die Stablänge beträgt 1 m. Die Schallgeschwindigkeit im Stahl ist $v = 5250 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und in Luft $c = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

13. Bis zu welcher maximalen Frequenz kann man die Kundtsche Röhre zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit anwenden, wenn man berücksichtigt, daß der kleinste unterscheidbare Abstand zwischen den Bäuchen $l \approx 4$ mm beträgt?
($c_{Luft} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

14. Zur Messung der Temperatur der oberen Atmosphärenschichten startet eine Rakete mit Granaten, die beim Erreichen einer bestimmten Höhe explodieren. Gesucht ist die Temperatur in einer Höhe von 20 km über der Erdoberfläche, wenn der Schall der in einer Höhe von 21 km ausgelösten Explosion 6,75 s später ankam als der Schall der in einer Höhe von 19 km ausgelösten Explosion.

15. Es ist bekannt, daß die Schallgeschwindigkeit in einem Gas nur vom Gasdruck, der Gasdichte und Konstanten abhängt. Man berechne das Verhältnis der Schallgeschwindigkeiten in zwei Zuständen, die durch p_1; ϱ_1 und p_2; ϱ_2 gekennzeichnet sind!

16. Eine geschlossene Pfeife erzeugt den Grundton c, der eine Frequenz von 130,5 Hz hat. Die Pfeife wird dann geöffnet. Welchen Grundton erzeugt sie jetzt? Wie groß ist die Länge der Pfeife? (c_{Luft} = 340 m/s)

17. Man berechne die Resonanzfrequenz der Luftsäule im Außenohr eines Menschen, die 2,5 cm lang ist. Entspricht das Ergebnis einer hohen Empfindlichkeit des Ohres?

18. Eine 80 cm lange Gitarrensaite mit der Masse m = 1,5 g wird in der Nähe einer einseitig offenen Röhre gespannt, die ebenfalls 80 cm lang ist. Mit welcher Kraft muß die Saite gespannt werden, damit ihre vierte harmonische Schwingung dieselbe Frequenz hat wie die fünfte harmonische Schwingung der schwingenden Luftsäule?

19. In die Pfeife einer Orgel wird Luft der Temperatur t_1 = 17 °C eingeblasen, wobei sie einen Ton der Frequenz f_1 = 440 Hz abgibt. Bei welcher Temperatur der eingeblasenen Luft entsteht ein Ton von f_2 = 466 Hz?

20. Ein Düsenflugzeug flog mit einer Geschwindigkeit, die 2,5mal so groß ist wie die Schallgeschwindigkeit in einer Höhe von 5 km über dem Beobachter. In welcher Entfernung befand sich das Flugzeug vom Beobachter, als dieser den Schall hörte?

21. Der Abstand zwischen zwei Knotenpunkten einer stehenden Welle, die in Luft von einer Stimmgabel erzeugt wurde, beträgt $l = 40$ cm. Man bestimme die Frequenz der Stimmgabel. ($c = 340$ m/s)

22. Der Schall eines Schusses und das Geschoß erreichen gleichzeitig eine Höhe von $h = 680$ m. Welche Anfangsgeschwindigkeit hat das Geschoß?
Der Schuß geht vertikal nach oben. Die Reibung werde vernachlässigt. ($c = 340$ m/s)

23. Ein Unterseeboot schwimmt in einer Tiefe $h_o = 500$ m. In welchem Abstand zum Boot (längs der Meeresoberfläche) kann der Horchgast ein sich näherndes Schiff ausmachen, wenn die Schallgeschwindigkeit im Wasser mit der Tiefe um $\triangle c = 4\ ms^{-1}$ auf $\triangle h = 100$ m abnimmt und sie an der Meeresoberfläche $c_o = 1500\ ms^{-1}$ beträgt?

24. Wie groß ist die Schallgeschwindigkeit in Kohlendioxyd bei 20 °C, wenn diejenige in Luft bei 0 °C den Wert $c_o = 331{,}7$ m/s hat?

25. Eine Quelle, die Schall der Frequenz $f_o = 600$ Hz abstrahlt, bewegt sich mit der Geschwindigkeit $v = 40$ m/s an einem ruhenden Beobachter vorüber. Um welchen Betrag unterscheiden sich die Schallfrequenzen, die vom Beobachter bei Annäherung und bei Entfernung der Quelle wahrgenommen werden? ($t_{Luft} = 17$ °C)

26. Wenn sich eine Schallquelle, die Schallwellen mit der Frequenz 360 Hz abstrahlt, einem unbeweglichen Empfänger nähert, registriert dieser eine Frequenz von 400 Hz. Bei $t_{Luft} = 16$ °C sind zu bestimmen:
    1. die Geschwindigkeit, mit der sich die Schallquelle bewegt,
    2. die Frequenz des Schalles, die im unbeweglichen Empfänger registriert wird, wenn sich die Quelle mit derselben Geschwindigkeit entfernt,
    3. die Frequenz der empfangenen Schwingungen, wenn die Quelle unbeweglich ist und sich der Empfänger ihr mit einer Geschwindigkeit nähert, die gleich der Geschwindigkeit der Quelle im ersten Fall ist.

27. Zwischen zwei großen, vertikalen, parallel zueinander verlaufenden Felswänden führt eine Eisenbahnlinie hindurch. Hier bewegt sich eine Lok mit der gleichförmigen Geschwindigkeit v und pfeift mit der Frequenz f. Welche Frequenzen haben die Echos, die der Lokführer hört? Die Schallgeschwindigkeit in Luft ist c.

28. Zwei Züge bewegen sich mit den Geschwindigkeiten 72 km/h und 54 km/h aufeinander zu. Der erste Zug läßt einen Pfiff mit einer Frequenz von 600 Hz ertönen. Gesucht ist die Frequenz der Schallwellen, die ein Passagier im zweiten Zug
a) vor der Begegnung der Züge,
b) nach der Begegnung der Züge wahrnimmt.
($c_{Schall} = 340\ m \cdot s^{-1}$)

29. Wenn ein Zug an einem unbewegten Beobachter vorbeifährt, verringert sich die Höhe des Tones der Pfeife der Lokomotive sprungartig. Wieviel Prozent der ursprünglichen Frequenz des Tones macht der Abfall aus, wenn sich der Zug mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h bewegt?

30. Zwei Züge fahren mit der gleichen Geschwindigkeit einander entgegen. Wie groß muß die Geschwindigkeit sein, damit sich die Höhe des Pfeiftones des einen Zuges, der in dem anderen wahrgenommen wird, auf 9/8 des ursprünglichen Wertes ändert? ($c_{Schall} = 335$ m/s)

31. Mit welcher Geschwindigkeit müssen zwei Fahrzeuge, die gleich schnell sind, einander entgegenfahren, damit bei der Begegnung ein Ton, der von dem einen ausgesendet wird, für einen Beobachter auf dem anderen Fahrzeug um zwei ganze Töne umschlägt? ($c_{Schall} = 340$ m/s)

32. Wie müssen die Längen einer Panflöte aus Schilfrohr abgestuft sein, damit man die zwölf Halbtöne einer Oktave spielen kann? Wie kann man die absolute Höhe im voraus festlegen? Welche Kurve stellen die Rohrenden dar?

33. Flüssiges Helium hat bei $T = 4{,}2$ K eine Dichte von $\varrho = 0{,}15\ g/cm^3$. Der Schall breitet sich in dieser Flüssigkeit mit $v = 220\ \frac{m}{s}$ aus. Man berechne die Kompressibilität des flüssigen Heliums. Erklären Sie auftretende Unterschiede zu anderen Flüssigkeiten!

1.3. Schallmessung

Hinweise zum Literaturstudium

Um eine Messung der Schallfeldgrößen überhaupt vornehmen zu können, muß man sich mit den Bestimmungsstücken und Meßgrößen des Schallfeldes näher befassen. Dabei genügt schon die Betrachtung des Feldes einer ebenen Welle, da wir die Schallwellen bei hinreichend großen Entfernungen von der Schallquelle als ebene Wellen ansehen können.
Sie können sich ausführlich informieren in /1/, /3/, /5/, /6/, /12/ und /10/, wobei im Grimsehl und Recknagel in knapper Form auch auf einige Nachweisgeräte eingegangen wird.

Experimente

Experiment 1
Weisen Sie den Schallausschlag mit Hilfe eines Ventilmanometers nach!

Experiment 2
Weisen Sie die Geschwindigkeitsamplitude mit Hilfe einer sensitiven Flamme nach!

Experiment 3
Unterbreiten Sie einen Vorschlag zur experimentellen Bestimmung der Geschwindigkeitsamplitude!

Experiment 4
Weisen Sie die Druckamplitude mit dem Rubensschen Flammenrohr nach!

Experiment 5
Weisen Sie die Druckamplitude über Mikrofon und Verstärker auf dem Oszillographen nach!

Experiment 6
Bestimmen Sie die untere Hörschwelle für verschiedene Frequenzen!

Aufgaben

1. Eine Druckamplitude sei $\hat{p} = 10^{-6}$ bar. Wie groß sind für einen Ton von f = 1000 Hz die Geschwindigkeitsamplitude und die Bewegungsamplitude?

2. Die Geschwindigkeitsamplitude eines Schallfeldes wurde mit der Rayleighschen Scheibe zu $v = 3{,}5 \cdot 10^{-2}$ cm/s bestimmt. Wie groß ist der maximale Schalldruck, wenn sich die Schallwelle in Luft ausbreitet? ($c_{Luft} = 334 \frac{m}{s}$)

3. Die Geschwindigkeitsamplitude eines Schallfeldes in Luft sei $\hat{v} = 0{,}07\ cm/s^{-1}$. Wie groß sind die Schallstärke und die Schalldichte für einen Ton von 1000 Hz?

4. Ein Mensch mit einem guten Gehör kann noch Schallwellen mit einer Druckschwankung bis zu $10^{-8} \frac{N}{cm^2}$ bei Frequenzen von 2000 Hz wahrnehmen. Wie groß ist in diesem Falle die Bewegungsamplitude?

5. Lautes Sprechen erzeugt im freien Raum in etwa 1 m Entfernung einen Schalldruck von $\hat{p} = 0{,}4$ µbar. Welche Schallstärke besteht an dieser Stelle?

6. Entsprechend der kinetischen Wärmetheorie hat jedes Teilchen oder jeder Körper (z. B. auch das Trommelfell) infolge molekularer Stöße bei Raumtemperatur eine kinetische Energie von etwa $6 \cdot 10^{-21}$ J.
   Wie groß ist die kinetische Energie, die ein Trommelfell durch eine Schallwelle an der Hörgrenze erhält?
   ($c_{Schall} = 330$ m/s; $\varrho_{Luft} = 1{,}3 \frac{kg}{m^3}$)

7. Ist die Behauptung richtig, daß das menschliche Ohr fast die thermische Bewegung der Moleküle (die thermischen Druckschwankungen beiderseits des Trommelfells) hören kann? Man beachte, daß das Empfindlichkeitsmaximum bei etwa 1000 Hz liegt! Wie könnte man die Hörschwelle senken, ohne ins thermische Rauschen zu geraten? (z. B. Vergrößerung des Trommelfelles, der Ohrmuschel, andere Maßnahmen)

8. Ein Lautsprecher soll bei lauter Musik etwa 10 W "Sprechleistung" abgeben. Nehmen wir an, die Schallenergie breite sich vom hoch aufgehängten Lautsprecher ungestört nach allen

Seiten gleichmäßig aus und wir befinden uns 10 m vom Lautsprecher entfernt. Von Energieverlusten sehen wir ab. (c_{Schall} = 340 m/s)

a) Welche Schallstärke trifft dann auf eine nicht zu große ebene Fläche, deren Normale zur Schallquelle weist?

b) Welche Lautstärke in phon nehmen wir wahr?

c) Welche Schwingungsenergie befindet sich an unserem Standort in 1 l Luft?

d) Welche Druckamplitude herrscht an unserem Ohr? (Luftdichte ϱ = 1,2 kg/m^3)

9. Die Amplitude einer Schallwelle werde verdoppelt. Wie groß ist ihre Żunahme in dB?

10. Die Schallintensität eines Lautsprechers ist proportional zum Quadrat der Eingangsspannung. Wie groß ist die Differenz in dB zwischen zwei Signalspannungen U_1 und U_2?

11. Straßenlärm mit einer Stärke von 70 phon wird in einem Zimmer mit einer Stärke von 40 phon wahrgenommen. Wie groß ist das Verhältnis der Schallintensitäten auf der Straße und im Zimmer?

12. Eine bestimmte Schallintensität wird 1000fach verstärkt. Um wieviel dB vergrößert sich der Schalldruckpegel und wievielmal größer wird die Amplitude des Schalldruckes?

13. Die Schallstärke beträgt $J = 10^{-2} \frac{W}{m^2}$. Wie groß sind der Lautstärkepegel und die Amplitude des Schalldruckes?

14. Wie groß ist die Intensität einer Schallwelle, wenn Luftmoleküle bei einer Frequenz von 50 Hz um 1 μm ausgelenkt werden?

15. Das Trommelfell eines Kaninchens besitze die 10fache Fläche und die gleiche Dichte wie ein menschliches Trommelfell. Die kinetische Energie des Trommelfells an der Hörgrenze sei die gleiche wie beim Menschen. Bei welcher Intensität in dB liegt dann die Hörgrenze des Kaninchens?

16. Ein seitlich begrenztes Wellenbündel fällt auf einen Schirm. Im Bündel haben die Teilchen maximal die Geschwindigkeit $\hat{v}$. Welchen Einfluß hat das auf den statischen Druck im Bündel?

Was geschieht, um den Druckausgleich mit der Luft außerhalb des Bündels herzustellen? Am Schirm sei die Teilchengeschwindigkeit Null.

1.4. Anwendungen

Hinweise zum Literaturstudium

Im Abschnitt 1.4. geht es vor allem um die Anwendung der in den vorangegangenen Abschnitten erarbeiteten theoretischen Grundpositionen in der Physik, Technik und Industrie.
Die Erzeugung, die praktische Anwendung des Ultraschalls sowie die Raum- und Bauakustik stehen dabei im Vordergrund.
Eine sehr ausführliche zusammenhängende Darstellung der Grundlagen und Anwendungen des Ultraschalls finden Sie in /8/. Man sollte dieses Buch als Grundlage für die Arbeit nutzen. Weitere Einzelheiten finden Sie auch in /1/, /3/, /4/, /5/ und /6/.

Im Zusammenhang mit dem Anwendungsbereich der Raum- und Bauakustik sei auf das Buch von K. Kleber "Praktische Bauphysik", (Verlag für Bauwesen, Berlin 1971) hingewiesen. Hier findet man auch Tabellen, die z. B. über den Lärm am Arbeitsplatz, Schallschutzmaßnahmen, zulässiger Lärm in Wohnräumen und gesellschaftlichen Bauten ausführliche Informationen liefern.

Experimente

(Für die Experimente 1 bis 4 ist ein Ultraschallgenerator mit Schallkopf erforderlich!)

Experiment 1
Ermitteln Sie die Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Ultraschallwelle in Xylol durch eine stehende Welle in Zentralprojektion!

Experiment 2
Stellen Sie eine stehende Ultraschallwelle mit Hilfe des Toeplerschen Schlierenverfahrens dar!

Experiment 3
Weisen Sie die Lichtbeugung an stehenden Ultraschallwellen nach (Debye-Sears-Effekt)!

Experiment 4

Weisen Sie durch den Piezoeffekt den Ultraschall nach!

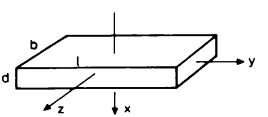
Experiment 5

Weisen Sie nach und bestimmen Sie die Hörbarkeitsgrenze von Schallwellen mit der Galtonpfeife!

Aufgaben

1. Eine Galtonpfeife ist eine gedeckte Lippenpfeife aus Metall von veränderlicher Pfeifenlänge zur Erzeugung sehr hoher Töne bis ins Ultraschallgebiet.
   Wie erfolgt die Tonerzeugung, und welche Beziehungen bestehen zwischen der Frequenz der Eigenschwingungen, der Luftstromgeschwindigkeit und der sogenannten Maulweite?

2. Eine Quarzplatte hat folgende Achsenorientierungen (siehe Abbildung). Welche piezoelektrischen bzw. reziproken piezoelektrischen Effekte können auftreten?



3. Wovon hängt die von einem piezoelektrischen Schallgeber in ein Medium abgestrahlte Schallintensität ab?

4. Wie groß ist die elektrische Eigenfrequenz einer Quarzplatte von 0,5 cm Dicke? Der Elastizitätsmodul von Quarz im Falle einer Dickenänderung ist $E_d = 86{,}05 \cdot 10^5 \frac{N}{cm^2}$ und $\varrho = 2{,}65\ g/cm^3$.

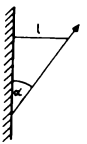
5. Wie groß ist der charakteristische Elastizitätsmodul eines Quarzes der Länge l im Falle einer Längsschwingung, wenn für die Grundschwingung $f_1 = 2727$ kHz gilt?

6. Die Ultraschallleistung eines Fledermausschreies liegt zwischen 10^{-6} und 10^{-5} W bei einer Frequenz von 100 kHz. Falls das Fledermausohr ebenso empfindlich ist wie das Menschenohr, aus welcher Entfernung kann dann die Fledermaus bestimmte Objekte wahrnehmen? (störende Einflüsse sollen ausgeschaltet sein)

7. Starke Detonationen sind oft ab etwa 50 km Entfernung nicht mehr hörbar, können aber von etwa 100 km an wieder deutlich wahrgenommen werden. Wie ist das möglich?

8. Bestimmen Sie aus der Länge l eines Stimmgabelzinken, der einen rechteckigen Querschnitt a · b, einen Elastizitätsmodul E und die Dichte ϱ hat, die Frequenz der Stimmgabel!

9. Ein Auto bewegt sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit v_A an einer langen Wand unter einem Winkel α entlang. In dem Moment, wo das Auto eine Entfernung l zur Wand hat, gibt es ein kurzes lautes Signal ab.
Welche Entfernung legt es bis zu dem Moment zurück, in dem der Fahrer das Echo hört?



10. Eine Rakete wird durch ein Radargerät mit 120 MHz verfolgt. Die Überlagerung der von der Rakete reflektierten mit den ausgesandten Wellen liefert eine Schwebungsfrequenz von f = 450 Hz. Welche Geschwindigkeit hat die Rakete?

11. Man berechne die maximale Beschleunigung und die maximale Geschwindigkeit der Luftteilchen in einer Ultraschallwelle mit der Frequenz von 50 kHz und einer Amplitude von 0,1 µm.

Literatur

/1/ Autorenkollektiv: Taschenbuch Akustik, Teile 1 und 2. VEB Verlag Technik, Berlin 1984.

/2/ Bergmann; Schäfer, Kliefoth: Grundaufgaben des physikalischen Praktikums. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1954.

/3/ Eder, F. X.: Moderne Meßmethoden der Physik, Band 1. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1968.

/4/ Sprockhoff, G.: Physikalische Schulversuche. Zehnter Teil: Wellenlehre. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1982.

/5/ Grimsehl, E.: Lehrbuch der Physik, Band I. 15. Auflage, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1954.

/6/ Grimsehl, E.: Lehrbuch der Physik, Band I. 24. Auflage, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1985.

/7/ Hänsel; Neumann: Physik, Band II. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1972.

/8/ Herforth, L.; Winter, M.: Ultraschall. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Bibliothek 15. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1958.

/9/ Ilberg, W.: Physikalisches Praktikum für Anfänger. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1985.

/10/ König, L.: Tontechnik selbst erlebt. Urania Verlag, Berlin 1984.

/11/ Körner, W.: Physik, Fundament der Technik. Leipzig 1980.

/12/ Recknagel, A.: Physik, Schwingungen und Wellen, Wärmelehre. Verlag Technik, Berlin 1958.

/13/ Reichardt, W.: Grundlagen der Elektroakustik. AVG Geest und Portig, Leipzig 1952.

/14/ Stroppe, H.: Physik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1974.

2. Teillehrgang Strömungslehre

2.1. Einführung

Hinweise zum Literaturstudium

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Anwendung der Strömungslehre auf den verschiedensten Gebieten ist aus den Ausführungen, die u. a. in /1/, /5/, /4/ und in /9/ gemacht werden, ersichtlich.
Die Grundbegriffe der Mechanik ruhender und strömender Flüssigkeiten und Gase sind in /8/, /6/ und /1/ anschaulich dargestellt.

Für die Lösung der experimentellen Aufgaben wären /7/ und /2/ zu empfehlen.

Experimente

Experiment 1
Bestimmen Sie die Dichte einer Flüssigkeit mit Hilfe eines Aräometers!

Experiment 2
Bestimmen Sie die Dichte einer mit Wasser mischbaren Flüssigkeit mit Hilfe eines Tauchrohres!

Experiment 3
Bestimmen Sie die Dichte fester Körper nach der Auftriebsmethode!

Aufgaben

1. Ein hydraulischer Wagenheber soll Kraftwagen bis zu einer Masse von 3 t heben. Der Druckkolben, auf den eine Kraft von 400 N wirkt, hat einen Durchmesser von 4 cm. Berechnen Sie den Mindestdurchmesser des Arbeitskolbens!

2. In einem U-Rohr befindet sich Wasser. In einem der beiden Schenkel wird Benzin in einer Höhe von 5 cm eingefüllt. Die beiden Flüssigkeitsspiegel zeigen danach eine Höhendifferenz von 1,4 cm. Zu berechnen ist die Dichte des Benzins.

3. Mit welcher Kraft wirkt das Wasser auf die rechteckige Seitenwand eines Bassins? Die Wand ist 10 m breit, und das Wasser steht 2 m hoch.

4. Ein Wrackteil aus Stahl befindet sich unter Wasser und belastet das Zugseil mit einer Kraft von 8,2 kN. Wie groß ist die Masse des Wrackteils?

5. Berechnen Sie die Tragkraft eines Rettungsringes aus Kork mit einer Masse von 3,5 kg. Die Dichte des Korks beträgt 0,25 kg/dm^3.

6. Ein Aräometer taucht in Wasser bis in eine Tiefe h_o und in Flüssigkeit der Dichte ϱ_1 bis in eine Tiefe h_1 ein. Wie tief taucht es in eine Flüssigkeit der Dichte ϱ ein?

7. Welche Kraft muß zum Heben eines unter Wasser liegenden Steines aufgewendet werden, dessen Dichte $\varrho = 3 \cdot 10^3\ kg/m^3$ beträgt und der eine Masse von 15 kg hat?

8. Eine Hohlkugel aus Messing mit der Dichte $\varrho = 8{,}5 \cdot 10^3\ kg/m^3$, dem Außendurchmesser $d_1 = 0{,}1$ m und der Wanddicke $s = 3 \cdot 10^{-3}$ m wird ins Wasser gelegt. Ermitteln Sie, ob die Kugel schwimmt oder ob sie auf den Boden sinkt!

9. Eine Rohrleitung hat einen Durchmesser von 50 mm. Der Volumenstrom beträgt 8,3 m^3/h. Welche Geschwindigkeit hat die Strömung?

10. Wieviel Luft kann ein Ventilator in 10 s fördern, wenn eine Antriebsleistung von 1,2 kW zur Verfügung steht, der Ventilator mit einem Wirkungsgrad von 60 % arbeitet und das Druckgefälle 2,5 kPa beträgt?

2.2. Strömungen idealer Flüssigkeiten und Gase

Hinweise zum Literaturstudium

Die Herleitung der grundlegenden Beziehungen zur Behandlung der Strömungsvorgänge idealer Flüssigkeiten und Gase sind in /8/ gegeben.
Zur Erarbeitung der Anwendungen der Beziehungen sowie der Druck- und Geschwindigkeitsmessung in strömenden Medien sind /1/ und /4/ zu empfehlen.

Experimente

Experiment 1

Bestimmen Sie den Staudruck mit Hilfe eines Pitotrohres!

Experiment 2

Bestimmen Sie den statischen Druck mit Hilfe einer Drucksonde!

Experiment 3

Bestimmen Sie die Strömungsgeschwindigkeit mit Hilfe eines Prandtlschen Staurohres und einer Venturidüse!

Experiment 4

Bestimmen Sie die Durchflußmenge mit Hilfe einer Ringblende!

Aufgaben

1. Im Boden eines zylindrischen Gefäßes befindet sich eine runde Öffnung mit dem Durchmesser d = 1 cm. Der Gefäßdurchmesser beträgt D = 0,5 m. Gesucht ist die Geschwindigkeit v mit der das Wasserniveau im Gefäß absinkt in Abhängigkeit von der Höhe h dieses Niveaus.

2. In ein Gefäß fließen in 1 s $2 \cdot 10^{-4}$ m^3 Wasser. Wie groß muß der Durchmesser der Öffnung im Boden des Gefäßes sein, damit das Wasser im Gefäß auf dem konstanten Niveau von h = 8,3 cm gehalten wird?

3. Ein Gas steht unter einem Überdruck von 2 kPa und strömt aus einer Öffnung von 1 cm^2 Querschnittsfläche. Zu berechnen ist die Dichte des Gases, wenn in 10 min 3,4 m^3 Gas ausströmen.

4. Ein zylindrischer Behälter mit der Höhe h = 1 m ist bis zum Rand mit Wasser gefüllt. In welcher Zeit fließt das gesamte Wasser durch eine am Boden des Behälters befindliche Öffnung? Die Querschnittsfläche der Öffnung ist 400mal kleiner als die Querschnittsfläche des Behälters.

5. In einem zylindrischen Gefäß vom Radius r befindet sich eine Flüssigkeit der Dichte ϱ . Das Gefäß dreht sich um seine Längsachse mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω . Die Flüssigkeitsoberfläche stabilisiert sich in Form eines Paraboloids. Ermitteln Sie den Flüssigkeitsdruck in einer Tiefe h, auf der Symmetrieachse vom Scheitelpunkt des Paraboloids aus

nach unten gemessen, und in der Entfernung x von der Symmetrieachse unter der Voraussetzung, daß auf die Flüssigkeitsoberfläche Normaldruck wirkt.

6. Aus einer Öffnung mit der Querschnittsfläche A fließt ein Wasserstrahl der Dichte ϱ mit der Geschwindigkeit v in waagerechter Richtung aus und prallt auf eine Wand, die sich mit der Geschwindigkeit $u < v$ in gleicher Richtung fortbewegt. Mit welcher Kraft wirkt das Wasser auf die senkrechte Wand, wenn wir annehmen, daß der Wasserstrahl sich nach dem Aufprall über die Wand gleichmäßig verteilt? Bei welcher Geschwindigkeit u ist die an die Wand übertragene Leistung des Wasserstrahls ein Maximum?

7. In der Seitenwand eines geschlossenen Gefäßes A, das mit Wasser gefüllt ist, befindet sich ein Steigrohranschluß B. Welcher Druck wirkt auf die freie Wasseroberfläche im Gefäß A, wenn durch die Wirkung dieses Druckes die Wassersäule in B um 1,5 m über der in A steht und wenn der barometrische Außendruck 101325 N/m^2 beträgt?

8. In einem Gefäß steht Wasser bis zur Höhe h = 1 m. In einer senkrechten Seitenwand ist eine Öffnung vom Radius r = 0,2 m angebracht, deren Mittelpunkt in der Höhe h_1 = 0,5 m über dem Boden des Gefäßes liegt. Sie ist mit einem Deckel verschlossen. Bestimmen Sie die Gesamtkraft, die auf den Deckel wirkt!

9. Bestimmen Sie die Abhängigkeit des atmosphärischen Druckes als Funktion der Höhe über der Erdoberfläche unter der Voraussetzung konstanter Temperatur!

10. Ein halbkugelförmiges Gefäß hat einen Radius r = 0,1 m und ist bis zum Rand mit Wasser gefüllt. An seinem Boden ist eine Öffnung mit der Querschnittsfläche $A = 4 \cdot 10^{-6}\ m^2$. In welcher Zeit nach Freigabe der Öffnung sinkt der Flüssigkeitsspiegel im Gefäß auf die Hälfte des ursprünglichen Wertes, wenn der Verengungskoeffizient des ausströmenden Flüssigkeitsstrahls μ = 0,6 beträgt?

2.3. Laminare Strömungen realer Flüssigkeiten

Hinweise zum Literaturstudium

In /8/ ist der Umfang der zu behandelnden Thematik dieses Abschnittes gegeben. Weiterführende Darlegungen zu diesem Gebiet und technische Anwendungsfälle sind in /5/ zu finden.

Experimente

Experiment 1
Bestimmen Sie die dynamische Viskosität von Wasser mit Hilfe der Messung des Druckgefälles an einem Rohr!

Experiment 2
Bestimmen Sie die dynamische Viskosität einer sehr zähen Flüssigkeit nach der Kugelfallmethode bei Zimmertemperatur!

Aufgaben

1. Zwischen zwei ebenen Platten von 30 cm^2 Fläche befindet sich eine Schicht von 3,0 mm Motorenöl mit einer dynamischen Viskosität von 0,8 Pa · s. Zu berechnen ist die Reibungskraft, die überwunden werden muß, wenn die beiden Platten mit einer Geschwindigkeit von 1 cm/s gegeneinander verschoben werden sollen.

2. In 225 s fließen 1,7 cm^3 Wasser durch eine Kapillare mit einem Radius von 0,2 mm und einer Länge von 20 cm. Die Druckdifferenz zwischen den Enden der Kapillare beträgt 2,2 kPa. Zu berechnen ist die Viskosität des Wassers.

3. In die Seitenfläche eines zylindrischen Gefäßes mit dem Radius R ist eine horizontale Kapillare mit dem Innenradius r und der Länge l eingesetzt. Im Gefäß befindet sich eine Flüssigkeit mit der dynamischen Zähigkeit η . Gesucht ist die Abhängigkeit der Geschwindigkeit v, mit der das Niveau der Flüssigkeit absinkt, von der Höhe dieses Niveaus.

4. Ermitteln Sie die Endgeschwindigkeit eines fallenden Regentropfens in Luft, wenn der Tropfen als Kugel mit dem Radius $r = 1 \cdot 10^{-3}$ m und die Viskosität der Luft mit $\eta = 1{,}8 \cdot 10^{-4}\ g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$ angenommen wird!

5. Eine Kugel aus einem Material der Dichte ϱ_1 hat einen Durchmesser d. Wir lassen diese Kugel in einer Flüssigkeit mit der Viskosität η und der Dichte ϱ_2 frei fallen. Wie groß wird die Geschwindigkeit der Kugel nach der Zeit t, vom Beginn an gemessen?

6. Durch ein Rohr fließt Wasser, wobei in 1 s durch den Rohrquerschnitt 200 cm^3 Wasser fließen. Die dynamische Viskosität des Wassers beträgt unter den Versuchsbedingungen 0,001 N · s/m^2. Bis zu welchem Grenzwert des Rohrdurchmessers bleibt die Bewegung des Wassers laminar (Reynolds-Zahl $\leq$ 3000)?

2.4. Turbulente Strömungen realer Flüssigkeiten

Hinweise zum Literaturstudium

Ausführliche Erläuterungen zur Turbulenz sind in /5/ gegeben. Die Wirbelentstehung ist sehr anschaulich in /6/ beschrieben. Weiterhin wäre für die Behandlung der Widerstände in Strömungen und der Ähnlichkeit von Strömungen /8/ geeignet.

Experimente

Experiment 1

Bestimmen Sie die Reynolds-Zahl, bei der die laminare Strömung in einem Rohr in eine turbulente Strömung umschlägt!

Experiment 2

Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Widerstandskraft von der Form des Körpers bei gleicher Anströmgeschwindigkeit und gleich großer Stirnfläche!

Aufgaben

1. Mit welcher Geschwindigkeit fallen Regentropfen von 2 mm Durchmesser zur Erde? Der Widerstandsbeiwert soll mit 0,4 angenommen werden, die Luftdichte mit 1,2 kg/m^3.

2. Welche Leistung muß der Motor eines Kraftwagens (Frontfläche 2,25 m^2, Widerstandsbeiwert 0,4) bei einer Geschwindigkeit von 90 km/h zur Überwindung des Strömungswiderstandes aufbringen? Die Luftdichte beträgt 1,25 kg/m^3.

3. Um das strömungstechnische Verhalten einer Rennwagenkarosserie zu untersuchen, soll ein Modellversuch durchgeführt werden, wobei ein im Maßstab 1 : 3 verkleinertes Modell angefertigt wird.
   a) Welche Geschwindigkeit müßte die Luft im Modellversuch haben, wenn das Verhalten der Karosserie bei 120 m/s simuliert werden soll?
   b) Mit welcher Geschwindigkeit muß das Modell durch Wasser geschleppt werden?

4. Mit einem Prandtl-Staurohr wird an einem bewegten Fahrzeug ein Staudruck von 50 Pa gemessen. Zu berechnen ist der Luftwiderstand bei einer Querschnittsfläche von 2 m^2, einem Widerstandsbeiwert von 0,4 und einer Luftdichte von 1,2 kg/m^3.

5. Ein Kraftwagen (Masse 1,3 t, Querschnittsfläche 2 m^2) fährt mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h auf einer asphaltierten Autobahn (Fahrwiderstandszahl 0,02, Widerstandsbeiwert 0,4, Luftdichte 1,2 kg/m^3). Berechnen Sie die erforderliche Motorleistung!

6. Wie kommt es, daß Regentropfen mit gleichbleibender Geschwindigkeit fallen?

7. Warum muß an der höchsten Stelle des Fallschirms eine Öffnung verbleiben, und welchen Einfluß hat die Größe der Öffnung?

8. Ein Körper erfährt eine Luftkraft, wobei c_w konstant sein soll. Der Körper bewege sich relativ zur Erde mit der Geschwindigkeit v und erfahre Seitenwind senkrecht zur Bahn mit der Geschwindigkeit v_w. Welche Leistung wird gebraucht, um die Bewegung aufrechtzuerhalten? Wie lautet die Antwort, wenn der Widerstand durch das Gesetz von Stokes gegeben ist?

2.5. Strömungsvorgänge am Flugzeug

Hinweise zum Literaturstudium

Die Strömungsvorgänge an der Tragfläche und der prinzipielle Aufbau und die Wirkungsweise eines Flugzeuges sind in /4/ und /3/ gegeben. Für ein tieferes theoretisches Eindringen in die Tragflügeltheorie ist /5/ zu empfehlen.

Experimente

Experiment 1

Ermitteln Sie das Polardiagramm eines Tragflügelmodells!

Experiment 2

Ermitteln Sie die Druckverhältnisse am Tragflügel bei einem bestimmten Anstellwinkel!

Aufgaben

1. Welcher Unterschied besteht zwischen einem stark gewölbten, dicken und einem schwach gewölbten, dünnen Profilflügel in bezug auf Widerstand und Auftrieb?
2. Warum ist es unzweckmäßig, bei einem Flugmodell den Einstellwinkel der Tragflügel zur Erzeugung eines großen Auftriebs übermäßig zu erhöhen?
3. Warum sinkt der Drachen, wenn die Halteschnur durchgeschnitten oder durch schnelles Abwickeln verlängert wird?
4. Warum haben Segelflugzeuge gewöhnlich eine größere Flügelstreckung als Verkehrsflugzeuge?
5. Welche Fehler liegen vor?
   a) Das Modell steigt nach dem Start und stürzt dann mit der Rumpfspitze auf den Boden.
   b) Das Modell geht sofort nach dem Start in einem Kurvenflug über.
   c) Das Modell fliegt sofort nach dem Start in kurzer und steiler Bahn zu Boden.
   d) Das Modell kippt seitlich ab.

Literatur

/1/ Grimsehl, E.: Lehrbuch der Physik, Band I. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1954.

/2/ Ilberg, W.: Physikalisches Praktikum für Anfänger. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1967.

/3/ Meyer, G.: Elementare Aerodynamik und Flugphysik. Fachbuchverlag, Leipzig 1955.

/4/ Neunaß, E.: Praktische Strömungslehre. VEB Verlag Technik, Berlin 1967.

/5/ Prandtl, L.: Strömungslehre. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1957.

/6/ Recknagel, A.: Physik - Mechanik. VEB Verlag Technik, Berlin 1961.

/7/ Sprockhoff, G.: Physikalische Schulversuche. Dritter bis fünfter Teil: Mechanik der Flüssigkeiten und Gase. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1974.

/8/ Stroppe, H.: Physik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1976.

/9/ Autorenkollektiv: Kraft- und Arbeitsmaschinen - Kältemaschinen. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1971.

3. Teillehrgang Elektrotechnik

3.1. Gleichstromnetzwerke

3.1.1. Mathematische Grundlagen

Hinweise zum Literaturstudium

Bei der Wiederholung der grundlegenden Kenntnisse über das Lösen linearer Gleichungssysteme können Sie sich auf Ihre Unterlagen aus dem Mathematikunterricht stützen. Ein weiteres Verfahren neben dem Gaußschen Algorithmus ist die Cramersche Regel, die auf der Verwendung der Determinanten eines Gleichungssystems beruht. Studieren Sie dazu /1/, /5/!

Aufgaben

Lösen Sie folgende Gleichungssysteme!

1. $\begin{aligned} 2x_1 - 3x_2 + x_3 &= 2 \\ x_1 + 2x_2 - x_3 &= -1 \\ 4x_1 - 5x_2 - x_3 &= 4 \end{aligned}$

2. $\begin{aligned} x_1 + 3x_2 + 2x_3 &= -9 \\ -x_1 + 4x_3 &= 9 \\ 2x_1 + 9x_2 + 7x_3 &= -21 \end{aligned}$

3. $\begin{aligned} x_1 - 3x_2 + 4x_3 &= 12 \\ -2x_1 + 8x_2 - 6x_3 &= -4 \\ 3x_1 - 5x_2 + 15x_3 &= 72 \end{aligned}$

4. $\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 &= 9 \\ x_1 + 2x_2 + 4x_3 &= 15 \\ x_1 + 3x_2 + 9x_3 &= 23 \end{aligned}$

5. $\begin{aligned} 7x_1 + 6x_2 + 7x_3 &= 100 \\ x_1 - 2x_2 + x_3 &= 0 \\ 3x_1 + x_2 - 2x_3 &= 0 \end{aligned}$

6. $\begin{aligned} x_1 - 2x_2 + x_3 &= -2 \\ 2x_1 + x_2 - 3x_3 &= 11 \\ 3x_1 + 2x_2 + 2x_3 &= -17 \end{aligned}$

7. $\begin{aligned} 2x_1 + 4x_2 + 6x_3 + 2x_4 &= 14 \\ x_1 - x_2 + x_3 - x_4 &= 10 \\ 2x_1 + 3x_2 + 2x_3 - x_4 &= 4 \\ 4x_1 + 2x_2 - x_3 + 2x_4 &= -4 \end{aligned}$

8. $\begin{aligned} x_2 + x_3 + x_4 &= -2 \\ x_1 - 3x_3 - x_4 &= 0 \\ \tfrac{1}{2}x_1 + x_2 - x_3 + 2x_4 &= -4 \\ 2x_1 - 2x_2 - x_3 &= 7 \end{aligned}$

9. $\begin{aligned} 2x_1 - 3x_2 - 8x_3 &= 0 \\ 5x_1 + x_2 - 37x_3 &= 0 \\ 4x_1 + 11x_2 - 50x_3 &= 0 \end{aligned}$

Berechnen Sie die Determinanten folgender Matrizen!

10. $A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 \\ -1 & 0 & 5 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix}$

11. $B = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 5 \\ 0 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 0 \end{pmatrix}$

12. $C = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & -2 & 0 \\ -2 & -2 & -2 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 6 \end{pmatrix}$

13. $D = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 3 \\ 2 & 1 & 3 & -2 & 1 \\ 0 & -1 & 5 & 4 & -2 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 1 & 3 & 1 \end{pmatrix}$

14. $F = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \\ 2 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

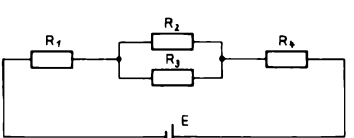
3.1.2. Ersatzwiderstände und Ersatzquellen

Hinweise zum Literaturstudium

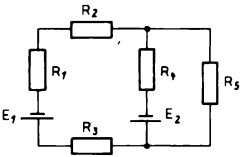
Auf der Grundlage Ihrer Unterlagen aus dem obligatorischen Physikunterricht sowie der Literatur /3/, /13/, /17/ sollten Sie die Gesetze des Gleichstromkreises sowie die Berechnung von Ersatzschaltungen für aktive und passive Zweipole wiederholen.

Aufgaben

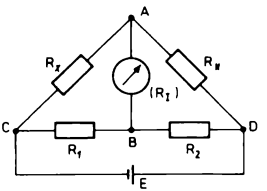
1. Berechnen Sie in der angegebenen Schaltung die Stärke des Stroms durch R_2
   a) mit Hilfe der Kirchhoffschen Sätze,
   b) mit Hilfe der Stromteilerregel,
   c) mit Hilfe der Spannungsteilerregel!



2. Gegeben ist folgende Schaltung. Gesucht ist der Strom durch R_5.



3. Gegeben ist die folgende Brückenschaltung. Im Zweig AB liegt ein Anzeigeinstrument mit einem Innenwiderstand R_1.



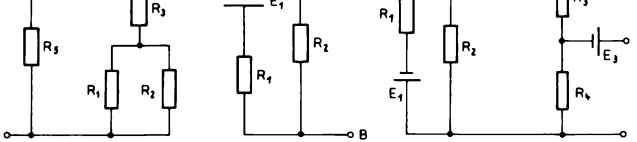
Gesucht ist:

a) die Spannung über AB für $R_I = \infty$ (Berechnung unter Anwendung der Spannungsteilerregel),

b) der Instrumentenstrom als Funktion aller Widerstände einschließlich R_I (Lösung des Gleichungssystems mit Hilfe der Determinantenrechnung).

4. An einem aktiven Zweipol wird eine Leerlaufspannung von 100 V gemessen. Bei Anschluß eines Widerstandes von 1 kΩ an die Klemmen dieses Zweipols sinkt die Klemmenspannung auf 50 V ab. Zeichnen Sie das Leerlaufspannungs- und Kurzschlußstrom-Ersatzschaltbild des aktiven Zweipols, und geben Sie deren charakteristische Größen an!

5. Berechnen Sie die einfachste Ersatzschaltung für die dargestellten Zweipole!



a) $R_1 = 50\,\Omega$; $R_2 = 1\,k\Omega$; $R_3 = 2{,}5\,\Omega$; $R_4 = 50\,\Omega$; $R_5 = 1\,k\,\Omega$

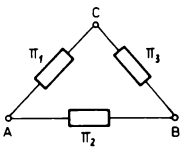
b) und c) $R_1 = R_2 = 20\,\Omega$; $R_3 = 10\,\Omega$; $R_4 = 40\,\Omega$;

$E_1 = 10$ V; $E_2 = E_3 = 2$ V

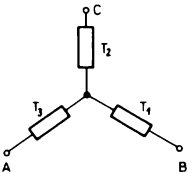
Bei b) und c) sollen die Leerlaufspannungs- und Kurzschluß-strom-Ersatzschaltungen angegeben werden.

6. Gegeben sind die beiden Schaltungen

a) Dreieck- oder π -Schaltung

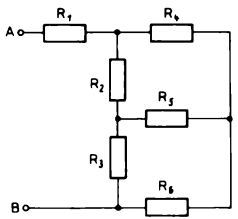


b) Stern- oder T-Schaltung



Die Gleichungen für die Umrechnung einer gegebenen Dreieckschaltung in eine Sternschaltung und umgekehrt sollen abgeleitet werden.

7. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand der Schaltung und die Stromstärke durch den Widerstand R_5, wenn an AB eine Spannung von 4 V angelegt wird!



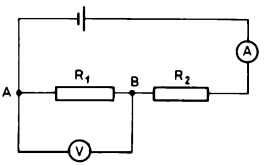
$R_1 = 500\,\Omega$; $R_2 = R_4 = 200\,\Omega$;
$R_5 = 300\,\Omega$; $R_3 = R_6 = 100\,\Omega$.

8. Eine Gleichspannungsquelle mit der konstanten Spannung $U = 20$ V wird in Reihe mit den beiden Widerständen $R_1 = 8\,\Omega$ und $R_2 = 6\,\Omega$ sowie dem Strommesser ($R_i \approx 0$ Ohm) geschaltet. Über R_1 ist ein Spannungsmesser ($R_i \to \infty$) geschaltet.

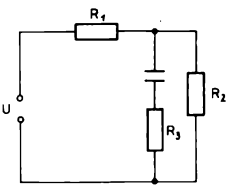
a) Welche Stromstärke zeigt der Strommesser an?

b) Wie groß sind die Meßwerte an Strom- und Spannungsmesser, wenn der Punkt B geerdet ist?

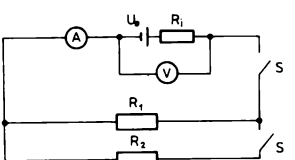
c) Wie groß sind die Stromstärke- und Spannungsmeßwerte, wenn die Punkte A und B geerdet sind?



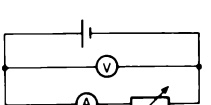
9. Auf welche Spannung lädt sich der Kondensator auf, wenn U = 220 V, R_1 = 3 kΩ, R_2 = 5 kΩ und R_3 = 10 kΩ sind?



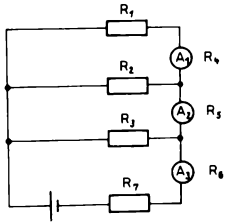
10. Was zeigen der hochohmige Spannungsmesser und der Strommesser ($R_A \approx 0\,\Omega$) bei folgenden Stellungen der Schalter S_1 und S_2 an:
   a) S_1 und S_2 offen,
   b) S_1 geschlossen und S_2 offen,
   c) S_1 offen und S_2 geschlossen,
   d) S_1 und S_2 geschlossen?
   (U_o = 16 V; R_1 = 1,6 Ω; R_1 = 20 Ω; R_2 = 8 Ω)



11. Mit der angegebenen Schaltung werden folgende Meßwerte (U; I) gemessen (1,22 V; 1,50 A) und (1,19 V; 2,50 A). Die Spannung wurde elektrostatisch gemessen. Berechnen Sie die Urspannung, den inneren Widerstand und den Kurzschlußstrom der Batterie!



12. Welche Meßwerte zeigen die drei Strommesser in der folgenden Schaltung an?



$R_1 = 1M\Omega$; $R_2 = 1k\Omega$;
$R_3 = 1\Omega$; $R_4 = 10\Omega$;
$R_5 = 1\Omega$; $R_6 = 5\Omega$;
$R_7 = 4\Omega$; $U = 3$ V

13. Ein Drehspulgerät hat einen Innenwiderstand von 50 Ohm und erreicht bei 2 mA seinen größten Ausschlag. Welcher Vorwiderstand ist notwendig, um dieses Gerät als Spannungsmesser für Spannungen bis 250 V einsetzen zu können?

14. Mit Hilfe eines Vorwiderstandes konnte der Meßbereich eines Spannungsmessers u-mal vergrößert werden, ein anderer Vorwiderstand erzielt eine m-fache Vergrößerung.
Um wieviel Mal kann man den Meßbereich des Gerätes erweitern, wenn beide Widerstände
a) parallel,
b) in Reihe geschaltet werden?

15. Eine Batterie besteht aus zwei gleichen Elementen mit den Daten $U_0 = 1{,}5$ V und $R_i = 0{,}2\Omega$. An die Spannungsquelle werden zwei Widerstände $R_1 = 1{,}6\Omega$ und $R_2 = 4{,}0\Omega$ angeschlossen. Berechnen Sie:
a) den Strom durch R_1, wenn die Elemente und die Widerstände in Reihe geschaltet sind!
b) den Strom durch die Elemente und die Klemmenspannung, wenn die Widerstände parallel geschaltet sind!
c) den Strom durch R_2, wenn die Elemente parallel und die Widerstände in Reihe geschaltet sind!
d) die Ströme im Kreis, wenn die Elemente und die Widerstände parallel geschaltet sind.

16. Wie groß sind in der gegebenen Schaltung:
a) der Strom durch den Widerstand R_a,
b) die Klemmenspannung der Batterie,

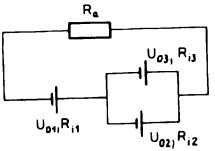
c) die am Widerstand R_a umgesetzte Leistung,

d) der Wirkungsgrad der eingesetzten Batterie,

e) der Kurzschlußstrom der Batterie?

f) Welcher Widerstand R müßte zu R_a parallel geschaltet werden, damit ein maximaler Leistungsumsatz am äußeren Widerstand erfolgt?

($R_a = 3\,\Omega$; $R_{i1} = R_{i2} = R_{i3} = 1\,\Omega$; $U_{o1} = U_{o2} = U_{o3} = 1$ V)



17. Eine Batterie besteht aus sechs Elementen ($U_o = 1{,}9$ V; $R_i = 0{,}8\,\Omega$).

a) Wie groß muß der äußere Widerstand sein, damit sowohl bei der Reihen- als auch bei der Parallelschaltung der Elemente die Stromstärke gleich groß ist?

b) Wie groß ist die Stromstärke?

c) Welcher Fall würde in einer technischen Schaltung angewendet werden? Begründen Sie!

3.1.3. Berechnungen von Spannungen und Strömen in vermaschten linearen Netzwerken

Hinweise zum Literaturstudium

Aus der Möglichkeit, den zu berechnenden Strom in einem linearen Netzwerk als Überlagerung mehrerer Ströme aufzufassen oder ganze Netzteile durch Zweipole zu ersetzen, lassen sich vereinfachte Berechnungsmethoden für lineare Netze ableiten:

- Maschenstromverfahren,
- Verfahren Zweipoltheorie

(vgl. /3/, /7/, /8/, /10/, /17/).

Zur Lösung der Gleichungssysteme und zur Berechnung der Netzwerke sollten Sie den Computer nutzen (vgl. /4/).

Hinweise zur Lösung der experimentellen Aufgaben finden Sie in /2/, /11/, /12/, /14/.

Experimente

Experiment 1

Erweitern Sie den Meßbereich eines Spannungsmessers

a) von 1 V auf 10 V, indem Sie die Größe des Vorwiderstandes zunächst berechnen und dann experimentell bestätigen und

b) von 10 V auf 20 V auf experimentellem Wege!

Experiment 2

Erweitern Sie den Meßbereich eines Strommessers von 10 mA auf 25 mA und von 25 mA auf 100 mA! Führen Sie die Meßbereichserweiterungen sowohl rein experimentell als auch durch Vorausberechnen der Größen der Nebenwiderstände durch!

Experiment 3

Nehmen Sie die I-U-Kennlinie einer Z-Diode in Durchlaß- und Sperrichtung punktweise auf!

Experiment 4

Bauen Sie mit Hilfe einer Z-Diode eine Schaltung zur Stabilisierung einer Gleichspannung auf, und weisen Sie ihre Funktionsweise nach!

Experiment 5

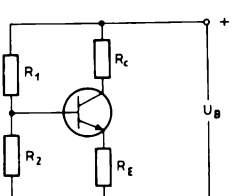
Entwerfen und erproben Sie eine Schaltung eines stabilisierten Netzteiles für ein Transistorgerät!
Beobachten Sie die charakteristischen Spannungsverläufe dieser Schaltung auf dem Oszillographen!

Experiment 6

Entwerfen und erproben Sie eine Schaltung zur Spannungsverdopplung mit Stabilisierung!

Experiment 7

Legen Sie den Arbeitspunkt im Kennlinienfeld eines Bipolartransistors $I_C = f(U_{CE})$ fest, und ermitteln Sie auf grafischem Wege die erforderlichen Widerstände. Überprüfen Sie die Schaltung im Experiment!



Experiment 8

Ermitteln Sie die Struktur der gegebenen Black-box! Als Hilfsmittel stehen Ihnen ein Spannungsmesser, ein Strommesser, ein Widerstandsmesser, Verbindungsleiter sowie als Ausschaltelemente Widerstände, Kondensatoren, Spulen und Dioden zur Verfügung.

Experiment 9

In einer Black-box befinden sich zwei gleiche Halbleiterdioden und ein Widerstand, die zu einem einfachen Kreis geschlossen sind. Mit Hilfe folgender Geräte ist die Größe des Ohmschen Widerstandes zu bestimmen: zwei Universalmeßgeräte, eine Batterie, ein Schiebewiderstand, Verbindungsleiter, Millimeterpapier.

Hinweis: Für die Versuchsdurchführung kann angenommen werden, daß die Dioden den Strom nur in einer Richtung durchlassen.

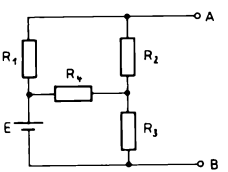
Experiment 10

Bestimmen Sie die Stärke des Stromes durch einen Widerstand R mit Hilfe einer Kompensationsschaltung!

Aufgaben

1. Lösen Sie Aufgabe 3 b) im Abschnitt 3.1.2. mit Hilfe der Maschenströme!

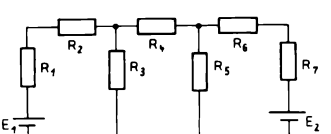
2. Geben Sie die Kenngrößen des Leerlauf- und Kurzschlußersatzschaltbildes für die Schaltung an. (Anwendung des Maschenstromverfahrens)



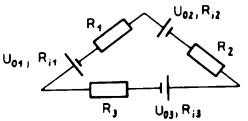
Weisen Sie nach, daß $R_i = \frac{U_L}{I_k}$ ist!

3. Berechnen Sie den Innenwiderstand der Schaltung in Aufgabe 2 mit Hilfe der Umwandlung einer Dreiecks- in eine Sternschaltung!

4. Berechnen Sie mit Hilfe des Verfahrens der Zweipoltheorie die Stärke des Stromes durch den Widerstand R_4!



5. Berechnen Sie für den gegebenen Stromkreis mit $U_{o1} = 1{,}5$ V; $R_{i1} = 1\,\Omega$; $U_{o2} = 4{,}5$ V; $R_{i2} = 1{,}2\,\Omega$; $U_{o3} = 9$ V; $R_{i3} = 1{,}5\,\Omega$ und $R_1 = R_2 = R_3 = 1\,\Omega$:
   a) die Stromstärke im Kreis,
   b) die von den Spannungsquellen an den Widerständen R_1, R_2, R_3 umgesetzten Leistungen sowie den Wirkungsgrad zwischen der erzeugten und der umgesetzten Leistung!
   c) Wie verändern sich die in a) und b) berechneten Werte, wenn die Spannungsquelle 2 umgekehrt in den Stromkreis geschaltet wird?



6. Ein Akkumulator A_1 wird mit einem Akkumulator A_2 in Reihe geschaltet. Danach wird die so entstandene Batterie an einen Widerstand geschlossen. Berechnen Sie für $R = 0{,}9\,\Omega$, $U_{o1} = 2{,}0$ V; $U_{o2} = 1{,}5$ V und $R_{i1} = 0{,}1\,\Omega$ R_{i2} so, daß der durch den Widerstand R fließende Strom nicht von der Anzahl der Akkumulatoren abhängt!

7. Die Stromstärke im äußeren Kreis eines Akkumulators A_1 betrage 1 A. Um sie zu erhöhen, wurde zum Akkumulator A_1 ein Akkumulator A_2 in Reihe geschaltet, jedoch blieb die Stromstärke von 1 A im äußeren Kreis bestehen. Danach schaltete man den Akkumulator A_2 parallel zu A_1. Die Stromstärke von 1 A änderte sich nicht.
   Berechnen Sie die Innenwiderstände der Akkumulatoren und den Widerstand R des äußeren Stromkreises ($U_{o1} = 12$ V; $U_{o2} = 8$ V)!

8. Ein Metallstab der Masse m = 50 kg und der Anfangstemperatur $\vartheta_1 = 0\ ^\circ C$ wird elektrisch erwärmt bis zum vollständigen Schmelzen bei der Temperatur $\vartheta_2 = 250\ ^\circ C$.
   Der Stab erhält die Energiezufuhr von einem Rotor eines Nebenschlußgenerators, der parallel geschaltet zum Stab eine konstante Urspannung von 10,5 V liefert. Ebenfalls parallel zum Dynamo angeschlossen ist der Erregerstromkreis mit dem Wider-

stand $R_e = 0{,}1\Omega$. Zu Beginn der Erwärmung hat der Strom durch den Stab die Stärke $I_1 = 1000$ A, und beim Erreichen der Schmelztemperatur beträgt die Stromstärke $I_2 = 525$ A. Bestimmen Sie:

a) den Widerstand R_1 des Rotors des Generators,

b) die grafische Darstellung für den Zusammenhang Leistung des Generators - Temperatur, bedingt durch die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes des Metallstabes, vom Beginn der Erwärmung bis zum Erreichen der Schmelztemperatur,

c) die Länge des Metallstabes bei der Temperatur $\vartheta_1 = 0\ ^{\circ}C$,

d) die zum Erwärmen des Stabes notwendige Energie bis zum Schmelzen.

Der Widerstand des Rotors und des Erregerkreises werden als konstant angesehen.

Die charakteristischen physikalischen Konstanten des Stabmaterials sind:

- der spezifische elektrische Widerstand bei der Temperatur $\vartheta_1 = 0\ ^{\circ}C$: $\varrho_1 = 4 \cdot 10^{-6}$ Ohm · m
- der Widerstands-Temperatur-Koeffizient: $\beta = 0{,}004\ K^{-1}$
- spezifische Wärme: c = 200 J/kg · K
- spezifische Schmelzwärme: $\varrho_s = 60$ kJ/kg
- Dichte des Stabes bei der Temperatur $\vartheta_1 = 0\ ^{\circ}C$: $\varrho_o = 5 \cdot 10^3\ kg/m^3$

9. Eine Batterie aus gleichartigen Elementen ($U_o = 1{,}9$ V; $R_i = 0{,}1\Omega$) soll zwei Stromkreise mit den Widerständen $R_1 = 3\Omega$ und $R_2 = 10\Omega$ betreiben.
Wie müssen diese beiden Stromkreise mit den Elementen verbunden werden, damit jeder der Widerstände von einem Strom der Stärke I = 2 A durchflossen wird?

10. Eine Gleichspannungsquelle besteht aus vier gleichen parallel geschalteten Zweigen, wobei jeder Zweig aus n Elementen ($U_o = 6$ V, $R_i = 0{,}2\Omega$), in Reihe geschaltet, besteht. Diese Quelle liefert den Strom an einen Stromkreis der aus zwei in Reihe geschalteten Verbrauchern besteht. Der erste Verbraucher besteht aus zehn parallel geschalteten Glühlampen mit jeweils einer Leistung von 100 W und einer Betriebsspannung von 100 V, der zweite Verbraucher aus zehn parallel

geschalteten Glühlampen mit jeweils einer Leistung von 200 W und einer Betriebsspannung von 100 V.
Berechnen Sie:

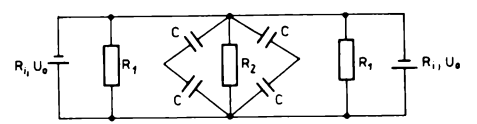
a) den Widerstand eines Zusatzwiderstandes, der es ermöglicht, daß alle Glühlampen bei ihrer Betriebsspannung leuchten. Wie muß der Widerstand geschaltet werden?

b) die Anzahl der Elemente in einem Zweig.

11. Wie kann man die Urspannung U_0 einer Spannungsquelle mit großem Innenwiderstand R_i messen, wenn zwei Spannungsmesser mit unbekanntem innerem Widerstand zur Verfügung stehen? Der Widerstand benutzter Verbindungsleiter werde vernachlässigt.

12. Wie kann der Innenwiderstand eines ungeeichten Galvanometers bestimmt werden, wenn Sie folgende Geräte zur Verfügung haben: eine Batterie mit unbekannten Kenndaten, zwei Dekadenwiderstände (Widerstand ablesbar), einen Festwiderstand (Widerstand bekannt), einen Schalter und Verbindungsleiter?

13. Berechnen Sie die Ladung eines Kondensators!



$R_1 = 50\Omega$; $R_i = 1\Omega$; $R_2 = 100\Omega$; $U_0 = 10$ V; $C = 1\mu F$

3.2. Wechselstromnetzwerke

3.2.1. Mathematische Grundlagen

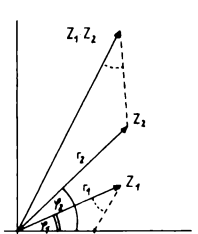
Hinweise zum Literaturstudium

Berechnungen an Schaltungen, bei denen Kapazitäten und Induktivitäten im Kreis enthalten sind und die angelegte Spannung bzw. die Ströme zeitabhängige Größen sind, führen immer auf Differentialgleichungen. Sind die Zeitfunktionen der Spannungen und Ströme im Stromkreis sinusförmig, so läßt sich der Rechenaufwand durch die komplexe Darstellung der Sinusfunktion entscheidend vereinfachen.

Verschaffen Sie sich einen Überblick über die Definition der komplexen Zahl, ihre Darstellungsformen und das Rechnen mit komplexen Zahlen in /3/, /6/, /17/!

Aufgaben

1. Berechnen Sie Produkt und Quotient von z und z^* für z = a + bj!
2. Überführen Sie folgende komplexe Zahlen in die trigonometrische Form:
   a) $1 - \sqrt{3}\,j$; b) $-1 - j$; c) -1!
3. Bringen Sie die komplexe Zahl auf die Form a + bj, wenn
   a) $r = 3, \varphi = 30^0$; b) $r = 6, \varphi = 150^0$
   gegeben ist!
4. Berechnen Sie a) $(\sqrt{3} + j)^9$; b) $(-\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{3}\,j)^6$!
5. Beweisen Sie die Richtigkeit folgender Konstruktion für das Produkt zweier komplexer Zahlen z_1 und z_2!
   Man drehe den Zeiger $\overrightarrow{Oz}_2$ im positiven Sinn um den Winkel φ_1 und strecke ihn im Verhältnis $1 : r_1$. Die Spitze dieses neuen Zeigers stellt dann den zum Produkt $z_1 \cdot z_2$ gehörigen Bildpunkt dar.



6. Konstruieren Sie den Quotienten aus z_1 und z_2, und geben Sie eine Vorschrift dafür an!
7. Berechnen Sie
   a) $\sqrt{j}$; b) alle Wurzeln der Gleichung $x^3 = 8$!

3.2.2. Komplexe Berechnungen in Wechselstromnetzwerken

Hinweise zum Literaturstudium

Aus dem obligatorischen Physikunterricht ist Ihnen bekannt, daß
- harmonische Wechselstromgrößen als Zeiger dargestellt werden können,
- der Zeiger durch seinen Betrag und seine Richtung die Maßzahl und die Zusammensetzung einer Wechselstromgröße aus Wirk- und Blindanteil beschreibt und eine Aussage über die Phasenbeziehungen enthält,
- mit Hilfe der Zeigermethode für Netzwerke Zeigerbilder konstruiert werden können, aus denen unter Anwendung geometrischer Beziehungen gesuchte Größen einfach berechnet werden können.

Diese Vorteile des Zeigers sollen nun auch auf die numerische Berechnung von Wechselstromnetzwerken übertragen werden.
Erarbeiten Sie sich, wie die reellen physikalischen Größen des Wechselstromkreises in komplexer Form dargestellt werden können und welche Gesetze unter Verwendung der komplexen Schreibweise für Wechselstromkreise gelten! Besonders geeignet zum Selbststudium sind /3/, /9/, /17/, aber auch /18/.
Hinweise zur Lösung der experimentellen Aufgaben finden Sie in /12/, /15/, /16/.

Experimente

Experiment 1

Es ist die Frequenzabhängigkeit der Teilwiderstände und des Gesamtwiderstandes eines RC-Spannungsteilers im Wechselstromkreis zu ermitteln.

Experiment 2

Bestimmen Sie die Frequenzabhängigkeit der Teilwiderstände und des Gesamtwiderstandes eines RL-Spannungsteilers im Wechselstromkreis!

Experiment 3

Nehmen Sie für die Reihenschaltung einer Spule und eines Kondensators im Wechselstromkreis den Verlauf der Teilspannungen an Kondensator und Spule, der Gesamtspannung sowie der Stromstärke in Abhängigkeit von der Frequenz der Spannungsquelle auf, und interpretieren Sie die Diagramme!
Berechnen Sie für den Resonanzfall die Spannungsüberhöhung!

Experiment 4

Bestätigen Sie experimentell die Gleichung

$Z = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C})^2}$ für die Reihenschaltung eines ohmschen Widerstandes, eines induktiven Widerstandes und eines kapazitiven Widerstandes im Wechselstromkreis! Der Widerstand des ohmschen Bauelementes, die Induktivität der Spule sowie die Kapazität des Kondensators seien unbekannt.

Experiment 5

An einen passiven Zweipol wird eine harmonische Wechselspannung angelegt.

Geben Sie die Funktion $\frac{i}{I_m} = f\,(\frac{u}{U_m})$ an und diskutieren Sie das Ergebnis unter Veränderung des Parameters $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$!

Stellen Sie die Strom-Spannungs-Kennlinie für verschiedene Zweipole auf dem Oszillografen dar, und geben Sie jeweils die spezielle Lösung an! (vgl. /16/)

Experiment 6

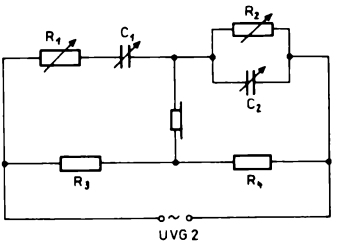
Bestimmen Sie mit Hilfe einer Wechselstrombrücke und eines Oszillographen den Wechselstromwiderstand eines Elektrolytkondensators!

Experiment 7

Bestimmen Sie mit Hilfe einer Wechselstrombrücke den Wechselstromwiderstand einer Spule! Leiten Sie aus den Abgleichbedingungen die Gleichungen für R_x und L_x ab!

Experiment 8

Mit Hilfe folgender Brückenschaltung sollen Frequenzmessungen durchgeführt werden. Leiten Sie ab, wie die Frequenz aus den Kenndaten der Brückenelemente bei Abgleich berechnet werden kann.



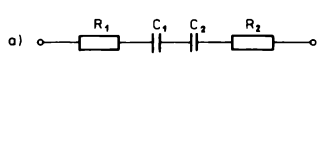
Es gilt immer
$C_1 = C_2 = C$
und
$R_1 = R_2 = R$

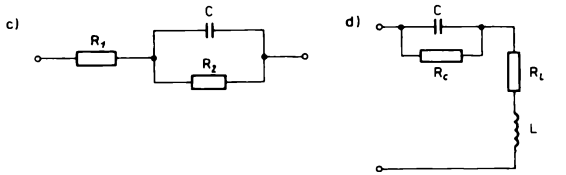
$R_3 = R_4 = 0{,}1\ M\Omega$; $C_1 = C_2 = 10\ nF$; $R_{Pot.} = 1\ k\Omega$

Aufgaben

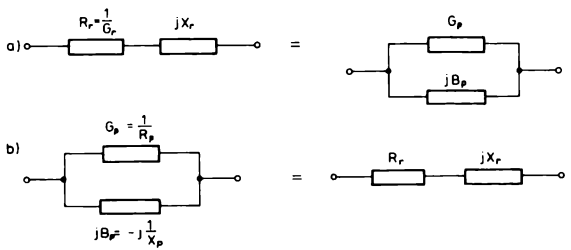
1. Durch verschiedene passive Zweipole fließt ein Strom
   $i = I_m \cdot \sin \omega \cdot t$ ($I_m = 1$ mA, $f = 50$ Hz).
   Es wird ein Spannungsabfall $u = U_m \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ mit:
   I. $U_m = 1$ V, $\varphi = 30^o$ und
   II. $U_m = 1$ V, $\varphi = -60^o$ gemessen.
   a) Durch welchen komplexen Widerstand sind die Zweipole darstellbar?
   b) Durch welche zwei Schaltelemente kann man jeweils den komplexen Widerstand im einfachsten Fall realisieren, wenn diese bei gegebener Frequenz
      - in Reihe bzw.
      - parallel geschaltet werden sollen?

2. Berechnen Sie die komplexen Gesamtwiderstände der Schaltungen a) bis d) für Wechselstromgrößen mit der Kreisfrequenz ω!
   Ermitteln Sie für jeden Zweipol ein Ersatzschaltbild, das aus zwei Schaltelementen besteht!

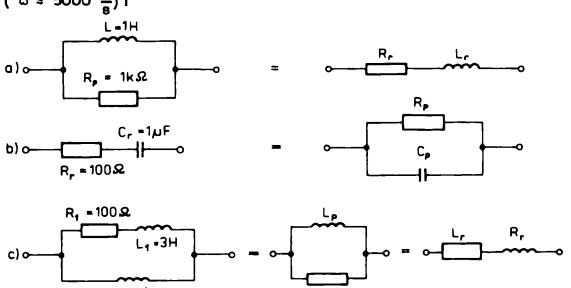




3. Leiten Sie die Gleichungen ab zur Umrechnung einer Parallelschaltung in eine äquivalente Reihenschaltung und umgekehrt!



4. Berechnen Sie mit Hilfe der Ergebnisse der Aufgabe 3 die Ersatzschaltungen von folgenden Schaltungen für f = 800 Hz ($\omega \approx 5000 \frac{1}{s}$)!



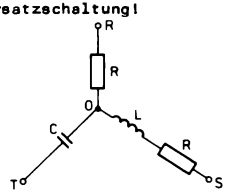
(Rechnen Sie zweckmäßigerweise mit Näherungsformeln.)

5. a) Berechnen Sie den komplexen Leitwert der Dreieck-Ersatzschaltung für die gegebene Sternschaltung!

   b) Berechnen Sie die Größen der Schaltelemente der Dreieck-Ersatzschaltung als Vielfache von L, R und C mit

   $\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C} = R$!

   Zeichnen Sie die Ersatzschaltung!



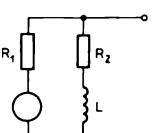
(Vgl. Aufgabe 6 in Abschnitt 3.1.2.!)

6. Berechnen Sie die Elemente der komplexen Ersatzschaltung des aktiven Zweipols für:

   a) die Leerlaufspannungs-Ersatzschaltung,

   b) die Kurzschlußstrom-Ersatzschaltung!

$u = U_m \cdot \sin \omega \cdot t$

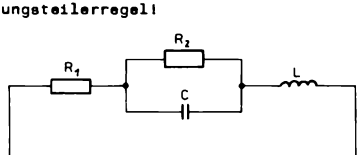


7. Berechnen Sie den Momentanwert der Stromstärke durch R_2, indem Sie komplex ansetzen:

   a) die Kirchhoffschen Gesetze,

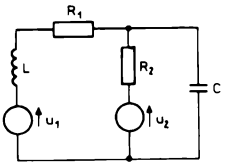
   b) die Stromteilerregel,

   c) die Spannungsteilerregel!



$u = U_m \cdot \sin \omega \cdot t$

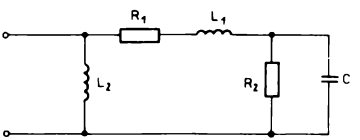
8. Berechnen Sie den Strom durch den Kondensator mit Hilfe des Maschenstromverfahrens komplex!



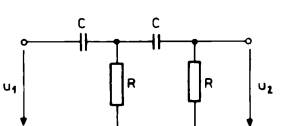
$u_1 = U_m \cdot \sin \omega \cdot t$
$u_2 = U_m \cdot \cos \omega \cdot t$

9. Berechnen Sie mit Hilfe der Zweipoltheorie den Strom durch R_2!

$u = U_m \cdot \cos \omega \cdot t$



10. Die Spannung u_2 soll in der gegebenen Schaltung der sinusförmigen Eingangsspannung u_1 um 90^o vorauseilen.
    a) Wie groß muß die Kapazität C bei gegebenem Widerstand R und gegebener Frequenz sein?
    b) In welchem Verhältnis stehen die Effektivwerte der beiden Spannungen?
    c) Zeichnen Sie ein maßstabsgerechtes Zeigerbild, und überprüfen Sie die Ergebnisse!
    d) Berechnen Sie den komplexen Eingangswiderstand der Schaltung!



11. Bei einer idealen Spule eilt ein sinusförmiger Wechselstrom der Spannung genau um 90^o nach. Technisch ist eine solche Spule nicht herstellbar, da eine Spule mindestens den ohmschen Widerstand des Wicklungsdrahtes hat. Somit ist die

Phasenverschiebung einer realen Spule zwischen Klemmenspannung und Strom um den Winkel φ kleiner als 90^0. Durch Hinzuschalten eines geeigneten Kondensators kann ein zu einer gegebenen Sinusspannung u genau um 90^0 nacheilender Strom i durch die Spule (R_L, L) fließen. Das ist bekannt.
Oberprüfen Sie, ob und unter welchen Bedingungen der gleiche Effekt mit Hilfe einer geeigneten Hinzuschaltung einer weiteren Spule (R_{L1}, L_1) und eines Widerstandes R zur gegebenen Spule und bei gegebener Spannung u zu erreichen ist!

12. In einem passiven Zweipol fließt bei sinusförmiger Spannung von 50 Hz mit einem Effektivwert von 220 V ein sinusförmiger Strom gleicher Frequenz mit einem Effektivwert von 10 A. Der Strom eilt der Spannung um 30^0 nach.
    a) Berechnen Sie das Ersatzschaltbild des Zweipols mit Reihen- bzw. Parallelschaltung zweier Bauelemente!
    b) Berechnen Sie die Wirk-, Blind- und Scheinleistung!

13. Ein Verbraucher (Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0{,}866$; kapazitiv) wird bei einer Klemmenspannung von 220 V (50 Hz) von einem Strom mit dem Effektivwert 8 A durchflossen. Die Leitung zwischen Verbraucher und Generator hat eine Induktivität von 0,1 mH und einen ohmschen Widerstand von 1Ω.
    Wie groß sind die Spannung und der Leistungsfaktor an den Klemmen des Generators?

14. An einen aktiven Zweipol mit einer Leerlaufspannung $e(t) = E_m \cos \omega \cdot t$ und einem komplexen Innenwiderstand $R_i + jX_i$ wird ein Verbraucher mit einem komplexen Widerstand $R_a = jX_a$ angeschlossen.
    Wie sind R_a und X_a zu wählen, damit der Verbraucher eine maximale Wirkleistung vom gegebenen Generator aufnimmt?
    Wie groß ist für diesen Fall der Wirkungsgrad?

Literatur

/1/ Belkner, H.: Matrizen. Mathematische Schülerbücherei, Nr. 48. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1986.

/2/ Burmeister, R.: Elektronik. In: Studienbücherei, Physik für Lehrer, Bd. 8. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1979.

/3/ Claussnitzer, H.: Einführung in die Elektrotechnik. VEB Verlag Technik, Berlin 1980.

/4/ Doberenz, W.: Netzwerksanalysen mit Basic. In: "radio - fernsehen - elektronic", Heft 1/1986 u. ff.

/5/ Hilbert, A.: Wir wiederholen - Gleichungssysteme. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

/6/ Kuhn, W.; Stöckel, H.: Mathematische Hilfsmittel der Physik. Studienbücherei. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1986.

/7/ Lunze, K.: Berechnung elektrischer Stromkreise. Arbeitsbuch. VEB Verlag Technik, Berlin 1979.

/8/ Lunze, K.: Einführung in die Elektrotechnik. Lehrbuch. VEB Verlag Technik, Berlin 1978.

/9/ Lunze, K.: Theorie der Wechselstromschaltungen. Lehrbuch. VEB Verlag Technik, Berlin 1978.

/10/ Lunze, K.; Wagner, E.: Einführung in die Elektrotechnik. Arbeitsbuch. VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

/11/ Müller, R.: Baukastensystem Elektrotechnik/Elektronik Stufe 5. Grundlagen der Elektronik, Versuchsanleitungen. Herausgegeben von der APW der DDR, Institut für Unterrichtsmittel.

/12/ Müller, R.: Bedienung und Einsatz des Demonstrationsoszillografen ED 2 im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht, Band 1 bis 3. Fachbuchdruck Naumburg.

/13/ Physik - Fundament der Technik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1973.

/14/ Physikalische Schulversuche, Sechster Teil, Elektrizitätslehre I. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980.

/15/ Physikalische Schulversuche, Neunter Teil, Elektrizitätslehre II. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1975.

/16/ Physikalisches Praktikum für Anfänger. BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1982.

/17/ Rausch, K.; Hoschke, G.; Scholz, J.: Lehrbuch der Elektrotechnik, Bd. 1. VEB Verlag Technik, Berlin 1966.

/18/ Stroppe, H.: Physik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1974.

Wir weisen darauf hin, daß ein Teil der Aufgaben im Schülermaterial aus verschiedenen Aufgabensammlungen zusammengestellt wurde.